



تأثیر شاخص های گیاهی و خصوصیات سطح شهری بر تغییرات دمای سطح زمین (مطالعه موردی: شهرستان سنندج)

شادمان درویشی^{۱*}، کریم سلیمانی^۲، مصطفی رشیدپور^۳

۱. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده علوم محیطی، مؤسسه آموزش عالی هراز، آمل
۲. استاد گروه آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
۳. دانشجوی دکتری مدیریت آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

مشخصات مقاله

چکیده

پیشینه مقاله:

دریافت: ۶ آذر ۱۳۹۷

پذیرش: ۱ اردیبهشت ۱۳۹۸

دسترسی اینترنتی: ۳۰ اردیبهشت ۱۳۹۸

واژه‌های کلیدی:

خصوصیات سطح شهر

شاخص گیاهی

درجه حرارت سطح زمین

سنندج

دمای سطح زمین عامل مهمی در مطالعات گرمایش جهانی است. بنابراین، با توجه به تأثیرات منفی آن بر زندگی انسان بررسی این پدیده بسیار ضروری است. هدف مطالعه حاضر بررسی تأثیر شاخص‌های گیاهی و خصوصیات سطح شهر سنندج بر تغییرات دمای سطح زمین است. برای این منظور، دمای سطح زمین در محیط ArcGIS محاسبه و سپس شاخص‌های گیاهی و سطح شهر سنندج از تصاویر لندست در نرم‌افزار ENVI استخراج گردید. نتایج تحلیل رگرسیون و همبستگی دمای سطح زمین با داده‌های ایستگاه سینوپتیک به ترتیب ۰/۴۵ و ۰/۲۰ بوده که یک ارتباط مثبت را نشان می‌دهد. نتایج صحت کلی شاخص‌ها و تحلیل همبستگی نشان می‌دهد که شاخص‌های دقیق (شاخص توسعه یافته نواحی مسکونی و بایر، شاخص اساس ساخت‌وساز، شاخص نرمال شده تفاضل ساخت‌وساز، شاخص شهری) ارتباط مثبت و شاخص‌های با دقت پایین (شاخص نرمال شده تفاضل بایر، شاخص جدید ساخت‌وساز، شاخص نرمال شده تفاضل آب، شاخص نرمال شده بهبود یافته تفاضل آب) ارتباط معکوس با دمای سطح زمین دارند. نتایج وضعیت دما در طبقات پوشش گیاهی نشان می‌دهد که بیشترین دما در طبقات با پوشش گیاهی ضعیف در اوایل فصل تابستان سال‌های ۱۳۶۷، ۱۳۷۸، ۱۳۸۷، ۱۳۹۱، ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ و کمترین دما در طبقات با پوشش گیاهی متراکم در اواخر فصل بهار سال‌های ۱۳۶۸، ۱۳۷۲، ۱۳۷۹، ۱۳۸۶، ۱۳۸۹ و ۱۳۹۵ رخ داده است. بنابراین کاهش پوشش گیاهی و رشد نواحی مسکونی نقش مؤثری در افزایش دمای سطح زمین دارد. همچنین شاخص‌های طیفی برای استخراج نواحی مسکونی از تصاویر ماهواره‌ای می‌تواند نتایج قابل قبول ارائه نماید.

*sh_darvishi@yahoo.com: پست الکترونیکی مسئول مکاتبات

مقدمه

دمای سطح زمین یکی از مهم‌ترین پارامترهای مؤثر در مطالعات جهانی به حساب می‌آید و فاکتوری مهم در کنترل فرآیندهای بیولوژیکی، فیزیکی، برنامه‌ریزی زمین، مطالعات تبخیر و تعرق، مدیریت منابع آب و پایش وضعیت سلامت گیاه است (۹ و ۱۰). دمای سطح زمین در هر محدوده‌ای به خصوصیات مواد تشکیل‌دهنده آن و بازتابش انرژی خورشید وابسته است و تابعی از انرژی خالص در سطح زمین است که به مقدار انرژی رسیده به سطح زمین، گسیلندگی سطح، رطوبت و جریان هوای اتمسفر بستگی دارد. می‌توان این دما را با استفاده از تابش مادون قرمز که از سطح زمین ساطع می‌گردد به وسیله معادله معکوس پلانک برآورد نمود (۸، ۱۰ و ۱۷). امروزه ویژگی‌های سطح شهر از قبیل ساختمان، خیابان‌ها و فعالیت‌های صنعتی منجر به افزایش دمای سطح و پیدایش جزیره حرارتی شهری می‌شود. جایگزین شدن پوشش طبیعی زمین با سنگفرش، ساختمان، بتون، آسفالت و سایر ساخت‌وسازهای شهری اثرات خنک‌کنندگی سطوح طبیعی را از بین می‌برند (۱۴). افزایش حرارت در شهرها علاوه بر افزایش تعداد رعدوبرق و تأثیر بر میزان بارش، شرایط هوا و اقلیم محلی را تحت تأثیر قرار می‌دهد (۱۵) و در نتیجه کیفیت هوای شهری را پایین آورده و سبب ناراحتی و عدم آسایش شهرنشینان می‌شود و با تأثیر بر سلامتی انسان‌ها، احتمال بروز آسم و انواع بیماری‌های تنفسی دیگر را افزایش می‌دهد (۳ و ۳۰). پس از مطرح شدن مفهوم جزیره حرارتی در سال ۱۸۳۳ این موضوع مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفت (۲). اخیراً، با توسعه بیشتر جوامع و شتاب یافتن فرآیند شهرنشینی، پدیده جزیره حرارتی اهمیت بیشتری یافته است (۲۱ و ۳۶) و توجه به بررسی و پایش دمای سطح زمین و جزایر حرارتی در ارتباط با زندگی انسان به یک اصل مهم تبدیل شده است. امروزه با توسعه علوم و بخصوص پیشرفت علم سنجش از دور به راحتی می‌توان دمای سطح زمین و شدت جزایر حرارتی را مورد مطالعه قرارداد. تاکنون مطالعات زیادی در ارتباط با

بررسی و ارزیابی جزایر حرارتی انجام گرفته است که می‌تواند به مطالعات ژانگ و همکاران (۵۰) اشاره کرد. آن‌ها با بررسی ارتباط بین پوشش گیاهی سبز و جزایر حرارتی شهری در بیژینگ چین پرداختند. نتایج همبستگی منفی بین دمای درخشندگی (TB) و شاخص نرمال شده پوشش گیاهی (NDVI) را نشان می‌دهد. در این تحقیق بین پوشش گیاهی درجه حرارت همبستگی مکانی مؤثری دیده شد که این ارتباط می‌تواند برای برنامه‌ریزی شهری و حفاظت از پوشش گیاهی شهر بیجینگ درآیند مؤثر باشد. ژو و همکاران (۴۶) به ارزیابی و پایش اثرات روش‌های دینامیکی جزایر حرارتی شهری پرداختند. نتایج این مطالعه نشان داد که می‌توان به ارزیابی اثرات جزیره گرمایی شهری با استفاده از داده‌های مادون قرمز حرارتی پرداخت. جئو و همکاران (۲۴) به بررسی اثرات بیوفیزیکی شهری بر دمای سطح زمین در خوشه‌های جزایر حرارتی پرداختند. نتایج نشان داد که بین شاخص‌های نرمال شده تفاضل پوشش گیاهی (NDVI) و شاخص نرمال شده تفاضل ساخت‌وساز (NDBI) با تغییرات دمای سطح زمین (LST) همبستگی قوی وجود دارد در حالی که شاخص نرمال شده تفاضل بایر (NDBal) همبستگی ضعیفی با LST دارد. شی و همکاران (۳۸) به مدل‌سازی تأثیرات الگوی مکانی-زمانی جزایر حرارتی شهری با استفاده از رویکرد رگرسیون کاربری اراضی پرداختند. نتایج این مطالعه نشان داد که الگوی فضایی جزایر حرارتی شهری (UHI) به طور وسیع به وسیله نقشه‌های پوشش زمین و کاربری اراضی (LU/LC) و ژئومورفومتری شهری در نواحی مسکونی با تراکم بالا، به ویژه در شب، بستگی دارد. مدل‌های حاصل می‌توانند به منظور غنی‌سازی دستورالعمل‌های طراحی شهری فعلی و کمک به مقابله با UHI مورد استفاده قرار گیرند. چن و ژانگ (۲۰) به ارزیابی تأثیر خصوصیات سطح شهر کانمینگ در چین بر الگوهای زمانی-مکانی دمای سطح زمین پرداختند. نتایج ضریب همبستگی و رگرسیون خطی نشان می‌دهد که شاخص NDBI بالاترین همبستگی را با دمای سطح زمین دارد و همچنین نتایج دمای سطح زمین نشان می‌دهد که بالاترین

سال ۱۳۹۵ حدود ۵۲ میلیون نفر رشد داشته است (۱۲ و ۳۴). طبق سرشماری سال ۱۳۹۵، ۷۴ درصد از این جمعیت در نقاط شهری زندگی می‌کنند. در سالیان اخیر استان کردستان با متوسط رشد سالانه ۱/۴۲ درصد (۱۳۹۰ تا ۱۳۹۵) در مقایسه با متوسط رشد سالانه کشور (۱/۲۴ درصد) حدود ۰/۱۸ درصد بیشتر بوده است. شهرستان سنندج به‌عنوان مرکز استان در سالیان اخیر رشد قابل‌توجهی داشته است و جمعیت این شهرستان از ۲۰۴۵۷۳ نفر در سال ۱۳۶۵ به ۵۰۱۴۰۲ نفر در سال ۱۳۹۵ رسیده است (۱۲). از بین رفتن پوشش گیاهی و زمین‌های کشاورزی و تبدیل آن به نواحی شهری موجب افزایش دما و شکل‌گیری جزایر حرارتی در یک ناحیه می‌شود. در این تحقیق ابتدا وضعیت پوشش گیاهی شهرستان سنندج در سه کلاس پوشش گیاهی متراکم، متوسط و ضعیف بررسی و سپس تغییرات دمای سطح زمین در هر کلاس بررسی شد و با توجه به تأثیر مناطق شهری در افزایش دمای سطح زمین ابتدا سطح اراضی شهر سنندج با استفاده از شاخص‌های طیفی از تصاویر ماهواره‌ای لندست استخراج و سپس میزان صحت کلی این شاخص‌ها با استفاده از نقاط کنترل زمینی و تصاویر گوگل ارث محاسبه شد و ضرایب همبستگی این شاخص‌ها با دمای سطح زمین در بازه زمانی ۲۷ ساله (۱۳۶۶ تا ۱۳۹۶) محاسبه شد.

مواد و روش‌ها

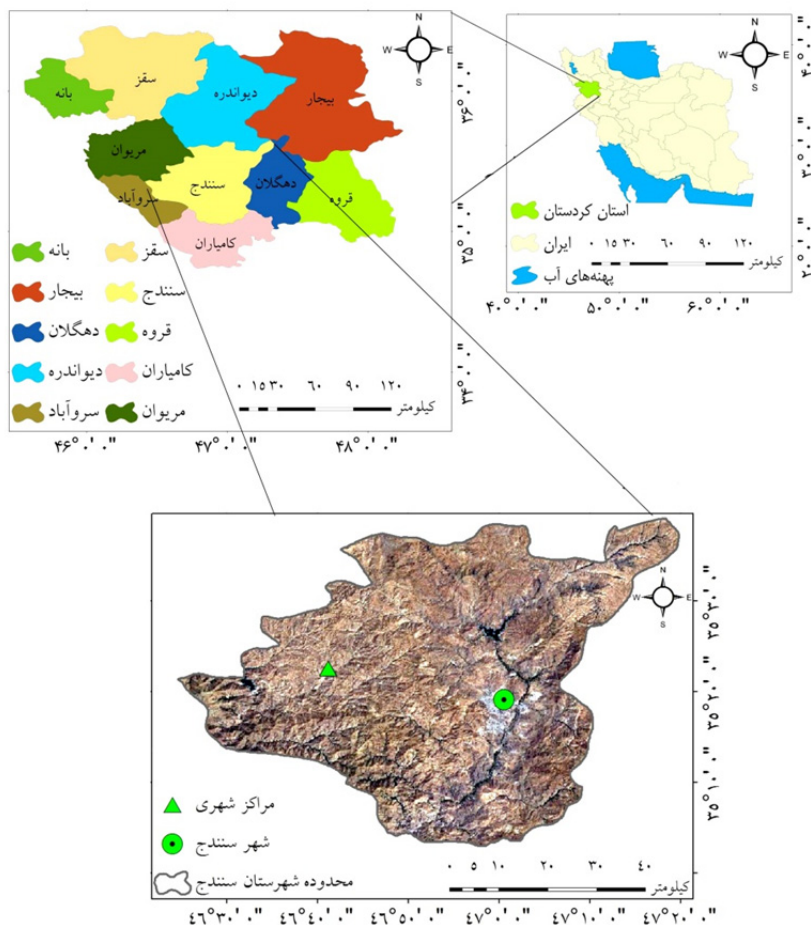
منطقه مورد مطالعه

شهرستان سنندج از لحاظ جغرافیایی در ۱۸° ۱۹' ۳۵" عرض شمالی و ۱۰° ۵۹' ۴۶" طول شرقی قرار دارد. این شهرستان در ارتفاع ۱۴۵۰ تا ۱۵۳۸ متری از سطح دریا و در منطقه کوهستانی زاگرس واقع شده است (شکل ۱). طی چند دهه اخیر شهر سنندج به‌عنوان مرکز استان کردستان در اثر رشد زیاد جمعیت و مهاجرت بی‌رویه روستایی-شهری، رشد و گسترش کالبدی زیادی را پذیرفته است. همچنین آمارهای سرشماری عمومی نفوس و مسکن سال‌های ۱۳۶۵ و ۱۳۹۵

شدت جزایر حرارتی در ماه آوریل و پایین‌ترین شدت در ماه ژوئن بوده است. یو و همکاران (۴۹) در تحقیقی به ارزیابی اثرات ارتفاع پوشش شهری بر دمای سطح زمین در شهر تامپا در فلوریدا پرداختند. نتایج این مطالعه نشان داد ارتفاع پوشش گیاهی نقش مؤثری در تنظیم جزایر حرارتی این ناحیه دارد. رنگزن و همکاران (۶) شکل‌گیری جزایر حرارتی در شهر اهواز را با استفاده از تکنولوژی سنسور از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی مطالعه کردند. نتایج این مطالعه نشان داد که ارتباط دما با پوشش گیاهی در شکل‌گیری جزایر حرارتی در مناطق مختلف چشم‌گیر است. بختیاری و همکاران (۴) با استفاده از الگوریتم تک پنجره‌ای سنجنده ETM^+ ماهواره لندست در سال ۲۰۰۳، با پیاده‌سازی این الگوریتم که بر اساس پارامترهایی چون عبور اتمسفری، دمای میانگین مؤثر اتمسفر و گسیلمندی اعمال می‌شود. احمدی و همکاران (۱) به بررسی تغییرات زمانی-مکانی الگوهای حرارتی و کاربری شهر شیراز با استفاده از داده‌های سنجنده TM و ETM^+ پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد که سطوح بایر خاکی فاقد پوشش گیاهی حاشیه شهر بیشترین میزان دما را دارد و در کاربری‌های شهری نیز دمای بافت‌های فرسوده شهری بیش از دیگر مناطق مسکونی است. بدین ترتیب حلقه‌های دمایی با مناطق آلوده شهری انطباق دارد و سردترین مناطق نیز با کاربری پوشش گیاهی منطبق‌اند. مزیدی و حسینی (۱۳) تأثیر تغییر کاربری و پوشش زمین بر جزیره گرمایی در منطقه شهری یزد را مورد بررسی قرار دادند. نتایج پژوهش رابطه میان شاخص نرمال شده پوشش گیاهی (NDVI) و دمای سطح زمین با استفاده از تحلیل همبستگی و رگرسیون دومتغیره بیان‌کننده تأثیر پوشش گیاهی در کاهش دما است. درویشی و همکاران (۵) به بررسی تأثیر تغییرات کاربری اراضی بر دمای سطح زمین در شهرستان مریوان پرداختند نتایج این مطالعه نشان داد که با افزایش مساحت زمین‌های مسکونی و بایر و همچنین با کاهش پوشش گیاهی و زمین‌های کشاورزی در دوره ۳۳ ساله (۲۰۱۷-۱۹۸۴) دما روند افزایشی را در این کاربری‌ها داشته است. در طول چند دهه گذشته جمعیت ایران از سال ۱۳۳۴ تا

طی سالیان اخیر توسعه فیزیکی شهر در برخی از موارد بدون در نظر گرفتن ویژگی‌های طبیعی منطقه و اصول پایداری شهری به سمتی بوده است که موجب پدید آمدن برخی از مشکلات شهری مانند افزایش دمای سطح زمین شده است (۱۲ و ۱۵).

نشان می‌دهد که جمعیت این شهرستان طی دوره ۳۰ ساله رشد داشته است که این رشد شهر بیشتر در جهت افقی و گسترش مداوم ساخت‌وسازهای شهری، منجر به از بین رفتن مزارع کشاورزی، پوشش طبیعی و باغات اطراف شهر به‌عنوان یکی از عوامل اصلی در تعدیل دمای سطح زمین شده است به‌طوری‌که



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه

این ایام از سال آسمان منطقه دارای کمترین پوشش ابر و در بیشتر موارد خالی از ابر است در جدول ۱ مشخصات داده‌های مورد استفاده در این مطالعه ذکر شده است.

داده‌های مورد استفاده

با توجه به وضعیت کوهستانی منطقه مورد مطالعه و ابری بودن آسمان منطقه در بیشتر ایام سال، تصاویر مربوط به ماه‌های خرداد و اوایل تیرماه مورد توجه قرار گرفت زیرا در

جدول ۱. مشخصات داده‌های مورد استفاده در این مطالعه

منبع	موارد استفاده	مقیاس زمانی	ردیف/ گذر	سنجنده	داده‌ها
		۱۳۸۶/۳/۳	۱۳۶۶/۳/۲۰		
		۱۳۸۷/۳/۲۱	۱۳۶۷/۳/۲۲		
		۱۳۸۸/۳/۸	۱۳۶۸/۳/۹		
سایت سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده	استخراج دمای سطح زمین و شاخص‌های طیفی	۱۳۸۹/۴/۴	۱۳۶۹/۳/۱۲	TM ETM ⁺ OLI/TIRS	تصاویر لندست
		۱۳۹۱/۳/۱	۱۳۷۰/۳/۱۰		
		۱۳۹۲/۳/۲۰	۱۳۷۱/۴/۲		
		۱۳۹۳/۳/۳۰	۱۳۷۲/۳/۲۰		
		۱۳۹۴/۳/۱۷	۱۳۷۳/۳/۲۳		
		۱۳۹۵/۳/۲۶	۱۳۷۵/۳/۱۲		
گوگل ارث	ارزیابی صحت کلی شاخص‌های	۱۳۶۶ تا ۱۳۹۶ به استثنای سال‌های ۱۳۷۴، ۱۳۷۶ و ۱۳۹۰	-	-	تصاویر گوگل ارث
(۷)	ارزیابی نتایج دمای سطح زمین	۱۳۶۶ تا ۱۳۹۶ به استثنای سال‌های ۱۳۷۴، ۱۳۷۶ و ۱۳۹۰	-	-	داده‌های هواشناسی
اداره منابع طبیعی استان کردستان	ژئورفرنس نمودن تصاویر ارزیابی صحت کلی شاخص‌های	-	-	-	نقشه توپوگرافی نقاط کنترل زمینی

پردازش تصاویر

ابتدا با استفاده از ابزار رادیومتریک در نرم‌افزار ENVI[®]5.3 تصاویر کالیبره و سپس به تابش، بازتابش و دمای درخشندگی تبدیل شدند. همچنین تصحیحات هندسی، و اتمسفری تصاویر در محیط نرم‌افزار مذکور انجام گرفت.

استخراج دمای سطح زمین (Land surface temperature)

دمای روشنایی (Brightness temperature) در ابتدا اعداد رقومی با استفاده از رابطه ۱ به رادیانس تبدیل شدند و سپس دمای روشنایی بر اساس رابطه ۲ محاسبه گردید (۲۰).

[۱]

$$L\lambda = \frac{LMAX-LMIN}{QCALMAX-QCALMIN} \times (DN - QCALMIN) + LMIN$$

در این رابطه؛ LMAX و LMIN به ترتیب مقادیر حداکثر و حداقل رادیانس باندهای حرارتی تصاویر است،

پردازش تصاویر

QCALMAX و QCALMIN به ترتیب مقادیر بزرگ و کوچک اعداد رقومی باندهای حرارتی و DN اعداد رقومی باند حرارتی است. این مقادیر از هدر فایل تصاویر استخراج گردید (جدول ۲).

$$TB = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L\lambda} + 1\right)} \quad [۲]$$

در این رابطه؛ TB دمای مؤثر در ماهواره بر حسب درجه کلونین (K) برای باندهای حرارتی (باندهای ۶ و ۱۰) در تصاویر سنجنده‌های TM، ETM⁺ و OLI/TIRS، K₁ ثابت کالیبراسیون اول، K₂ ثابت کالیبراسیون دوم و Lλ رادیانس طیفی پیکسل موردنظر (W m⁻² ster⁻¹ μm⁻¹) است. مقادیر K₁، K₂ برای سنجنده‌های TM، ETM⁺ و OLI/TIRS در جدول ۲ نشان داده شده است. همچنین این مقادیر از هدر فایل تصاویر استخراج شده است (۴۱ و ۴۴).

جدول ۲. مقادیر ثابت کالیبراسیون

سنجده	K ₁	K ₂	LMIN	LMAX	QCALMIN	QCALMAX
TM	۶۰۷/۷۶	۱۲۶۰/۵۶	۱/۲۳۸	۱۵/۳۰۳	۱	۲۵۵
ETM ⁺	۶۶۶/۰۹	۱۲۸۲/۷۱	۰/۰۰۰	۱۷/۰۴۰		۶۵۵۳۵
OLI/TIRS	۷۷۴/۸۸۵۳	۱۳۲۱/۰۷۸۹	۰/۱۰۰۳۳	۲۲/۰۰۱۸۰	۱	

شاخص NDVI و نسبت پوشش گیاهی

شاخص NDVI از ترکیب باند قرمز و باند مادون قرمز نزدیک و بر اساس رابطه ۳ محاسبه شد و همچنین نسبت پوشش گیاهی از رابطه ۴ استخراج گردید (۳۷ و ۴۲).

$$NDVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED} \quad [۳]$$

$$P_V = \left(\frac{NDVI-NDVI_{MIN}}{NDVI_{MAX}-NDVI_{MIN}} \right)^2 \quad [۴]$$

در رابطه ۳؛ مقادیر NDVI، RED و NIR به ترتیب شاخص نرمال شده تفاضل پوشش گیاهی، باند قرمز و باند مادون قرمز نزدیک است و در رابطه ۴؛ P_V نسبت پوشش گیاهی، $NDVI_{min}$ حداقل مقدار پوشش گیاهی و $NDVI_{max}$ حداکثر پوشش گیاهی در منطقه است (۳۷ و ۴۲).

تصحیح توان تشعشعی (Land surface Emissivity)

ضریب نشر ماهیت انتقال حرارت تشعشعی جذب و نشر تابش‌های الکترومغناطیسی است. یکی از پارامترهایی که در انتقال حرارت به وسیله تشعشع تأثیر فراوانی دارد، ضریب نشر (ε) جسم تابش کننده به جسم گیرنده است، به طوری که ضریب نشر بین صفر تا یک تغییر می‌کند. برای جسمی که هیچ تابشی ندارد این ضریب صفر بوده و برای جسمی که ماکزیم تابش را دارد (جسم سیاه)، یک است. یکی از گزینه‌های عملیاتی و کاربردی برای به دست آوردن توان تشعشعی، استفاده از روش آستانه NDVI (NDVI Threshold Method) است، که بر اساس مقادیر NDVI تقسیم‌بندی می‌شود.

$$\varepsilon = \varepsilon_{veg} P_V + \varepsilon_{soil} (1 - P_V) \quad [۵]$$

در این رابطه؛ ε ضریب نشر، P_V نسبت پوشش گیاهی، ε_{veg} و ε_{soil} توان تشعشعی پوشش گیاهی و خاک است (۱۶ و ۳۷).

دمای سطح زمین

به منظور بازیابی دمای سطح زمین، محاسبه تابش سطح زمین به منظور تصحیح درجه روشنایی به خواص واقعی شیء ضروری است (۲۳، ۲۹ و ۵۲). در این مطالعه دمای سطح زمین بر اساس رابطه ۶ استخراج شد (۲۰).

$$LST = \frac{T_B}{1 + (L\lambda \times T_B + P) \ln \varepsilon} \quad [۶]$$

در این رابطه؛ λ طول موج رادیانس ساطع شده و مقادیر p بر اساس رابطه ۷ محاسبه شد.

$$P = h \times c / \sigma (1 \cdot 438 \times 10^2 m \cdot k) \quad [۷]$$

در این رابطه؛ h ضریب ثابت پلانک (۶/۶۲۶ × ۱۰^{-۳۴} J.S)، σ ضریب ثابت استفان بولتزمن (۵/۶۷۴ × ۱۰^{-۲۳} J/K)، c سرعت نور (۳ × ۱۰^۸ m/s) و ε توان تشعشعی است (۴۱).

تبدیل درجه کلونین (K) به درجه سانتی‌گراد (C)

در این رابطه دمای به دست آمده بر حسب درجه کلونین است که بر اساس رابطه ۸ به درجه سلسیوس تبدیل شد.

$$TC = LST - 273 \cdot 15 \quad [۸]$$

استخراج سطح شهر سنندج از تصاویر لندست

نرمال شده تفاضل آب (NDWI) (۱۹) و شاخص نرمال شده بهبود یافته تفاضل آب (MNDWI) (۴۸) استفاده شد که مشخصات این شاخص ها در جدول ۳ ذکر شده است. در شاخص NBUI مقادیر I بین ۰ تا ۱ است، در نواحی با پوشش گیاهی بالا مقدار I صفر و در تراکم های کم پوشش گیاهی، یک است (۴۰). در رابطه های ارائه شده در این جدول، GREEN، MIR، SWIR و TIR به ترتیب باندهای سبز، مادون قرمز نزدیک با طول موج کوتاه و باند حرارتی است.

استخراج نواحی شهری از تصاویر ماهواره ای در بسیاری از مطالعات شهری مورد استفاده قرار می گیرد. در این مطالعه به منظور استخراج شهر سنندج از تصاویر ماهواره ای از شاخص توسعه یافته نواحی مسکونی و بایر (EBBI) (۱۸ و ۲۵)، شاخص اساس ساخت و ساز (IBI) (۲۸)، شاخص نرمال شده تفاضل ساخت و ساز (NDBI) (۵۴)، شاخص شهر (UI) (۱۸)، ۲۶ و ۲۸، شاخص نرمال شده تفاضل نواحی بایر (NDBal) (۲۸ و ۵۳)، شاخص جدید ساخت و ساز (NBUI) (۴۰)، شاخص

جدول ۳. مشخصات شاخص های سطح اراضی شهری

شاخص	نام کامل	رابطه	منابع
EBBI	Enhanced buildup and bareness index	$EBBI = \frac{MIR - NIR}{10\sqrt{MIR + TIR}}$	(۱۸ و ۲۵)
IBI	Index based built-up index	$IBI = \frac{2MIR/(MIR + NIR) - [NIR/(NIR + RED) + GREEN/(GREEN + MIR)]}{2MIR/(MIR + NIR) + [NIR/(NIR + RED) + GREEN/(GREEN + MIR)]}$	(۲۸)
UI	Urban index	$UI = \frac{SWIR - NIR}{SWIR + NIR}$	(۱۸، ۲۶ و ۲۸)
NDBI	Normalized difference built-up Index	$NDBI = \frac{MIR - NIR}{MIR + NIR}$	(۵۴)
NDBal	Normalized difference Bareness index	$NDBal = \frac{MIR - TIR}{MIR + TIR}$	(۲۸ و ۵۳)
NBUI	New built-up index	$NBUI = \frac{MIR - NIR}{10 \times \sqrt{MIR + TIR}} - \left[\frac{(NIR - RED) \times (1 + I)}{(NIR - RED) + 1} + \frac{GREEN - MIR}{GREEN + MIR} \right]$	(۴۰)
NDWI	Normalized difference water index	$NDWI = \frac{GREEN - NIR}{GREEN + NIR}$	(۱۹)
MNDWI	Modified normalized difference water index	$MNDWI = \frac{GREEN - SWIR}{GREEN + SWIR}$	(۴۸)

طریق ایجاد رگرسیون خطی بین مقادیر میانگین دمای سطح زمین با میانگین دمای ایستگاه هواشناسی نسبت به ارزیابی دقت نتایج اقدام شد. همچنین اعتبارسنجی شاخص های طیفی با استفاده از تصاویر گوگل ارث و نقاط کنترل زمینی بر اساس روابط ۹ و ۱۰ انجام گرفت (۳۱، ۴۳ و ۴۵).

$$OA = \frac{1}{N(\sum P_{ij})} \quad [9]$$

اعتبارسنجی نتایج دمای سطح زمین و شاخص های استخراج سطح اراضی شهری

یکی از روش های دقیقی که به منظور اعتبارسنجی طبقه بندی مورد استفاده قرار می گیرد مطالعات میدانی است. در این مطالعه به منظور اعتبارسنجی شاخص های سطح شهر و نتایج دمای سطح زمین از تصاویر گوگل ارث، نقاط کنترل زمینی و داده های ایستگاه هواشناسی استفاده شد (۲۰) و از

۱۰، تعداد سطرها و ستون‌ها در ماتریس ابهام، X_{ij} ماتریس ابهام، X_{i+} و X_{+i} به ترتیب مجموع کل سطر i و ستون j و N تعداد کل پیکسل‌ها است (۳۲ و ۳۹).

$$k = \frac{N \sum_{i=1}^r X_{ji} - \sum_{i=1}^r (X_{i+} X_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (X_{i+} X_{+i})} \quad [10]$$

در رابطه ۹، OA صحت کلی، N تعداد کل پیکسل‌ها و $\sum P_{ij}$ مجموع پیکسل‌های درست طبقه‌بندی شده و در رابطه



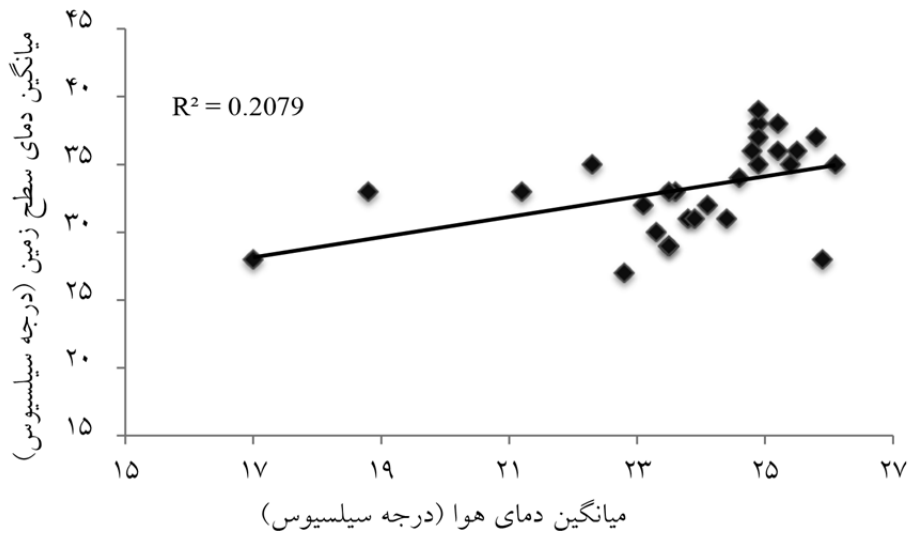
شکل ۲. فلوچارت روش تحقیق

هوا در ایستگاه هواشناسی شهرستان سنندج یک ارتباط مثبت را نشان می‌دهد. مقادیر R^2 و ضریب همبستگی بین دمای سطح زمین با داده‌های هواشناسی به ترتیب ۰/۴۵ و ۰/۲۰ بوده است که نشان‌دهنده انطباق نتایج به‌دست‌آمده از دمای سطح زمین با داده‌های هواشناسی بوده است (شکل ۳). ارزیابی نتایج با داده‌های زمینی به صحت نتایج کمک می‌کند و باعث می‌شود درصد خطا در نتایج کمتر شود.

نتایج و بحث

ارزیابی نتایج دمای سطح زمین

اعتبار سنجی نتایج دمای سطح زمین به‌منظور ارائه اطلاعات دقیق از یک منطقه در کاربردهای مختلف ضروری به نظر می‌رسد (۱۱). نتایج به‌دست‌آمده از تحلیل رگرسیون و ضریب همبستگی میانگین دمای سطح زمین با میانگین دمای



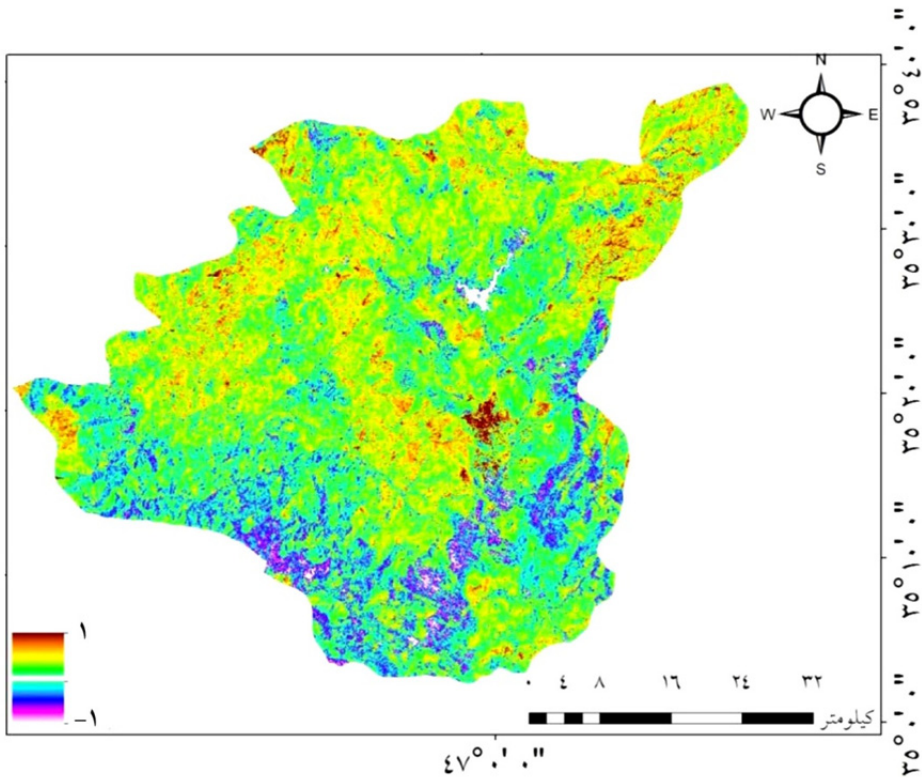
شکل ۳. رگرسیون خطی بین دمای سطح زمین و داده های ایستگاه هواشناسی

اساس ساخت و ساز (IBI)، شاخص نرمال شده تفاضل ساخت و ساز (NDBI) و شاخص شهر (UI) به ترتیب با ضریب کاپای ۹۴، ۸۸، ۸۸ و ۸۲ درصد دقیق ترین و شاخص نرمال شده تفاضل نواحی بایر (NDBal)، شاخص جدید ساخت و ساز (NBUI)، شاخص نرمال شده تفاضل آب (NDWI) و شاخص نرمال شده بهبود یافته تفاضل آب (MNDWI) به ترتیب با ضریب کاپای ۷۷، ۷۱، ۶۵ و ۷۷ درصد دارای پایین ترین دقت در استخراج نواحی مسکونی هستند (جدول ۴). نتایج ضرایب کاپا و همچنین بررسی نقشه های سطح شهر سنج در شاخص های طیفی نشان می دهد که شاخص EBBI در مقایسه با شاخص های طیفی دیگر سطح شهر را به طور دقیق تر از تصاویر ماهواره ای استخراج می کند و در این شاخص جزئیات سطح شهری بهتر از دیگر شاخص های طیفی نشان داده می شود. در این شاخص مقادیر ۱ و نزدیک به آن نشان دهنده نواحی مسکونی و مقادیر -۱ و نزدیک به آن نشان دهنده نواحی غیر مسکونی است (شکل های ۴ و ۵).

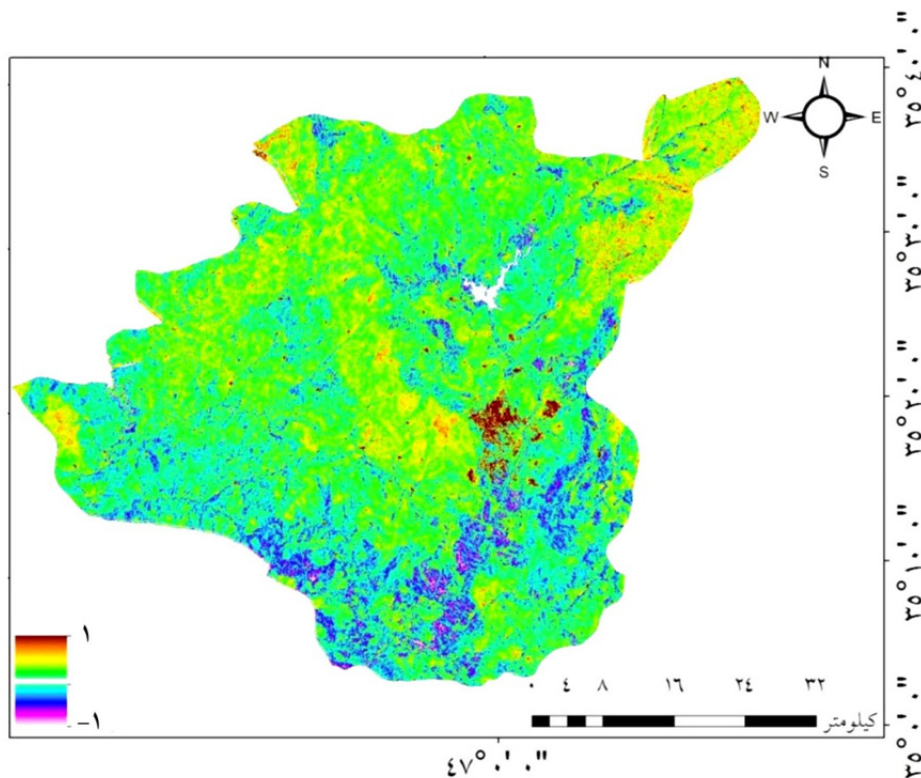
شاخص های طیفی سطح شهر شاخص هایی هستند که به منظور استخراج نواحی مسکونی از تصاویر ماهواره ای محاسبه می شوند و این شاخص های بیشتر در مطالعات مربوط به نواحی شهری مانند مطالعه نواحی مسکونی طی دوره های زمانی خاص و مطالعات ارزیابی رشد شهری مورد استفاده قرار می گیرند. با توجه به اهمیت استخراج دقیق نواحی شهری با استفاده از این شاخص ها لذا توجه به ارزیابی صحت کلی و محاسبه ضریب کاپا لازم و ضروری است. استخراج صحت کلی و ضریب کاپا مستلزم داشتن نقاط کنترل زمینی (GCP) هستند. جمع آوری نقاط کنترل زمینی معمولاً با استفاده از GPS و مطالعات میدانی صورت می گیرد. در این مطالعه ضمن استفاده از این نقاط از تصاویر گوگل ارث نیز استفاده شد چراکه استفاده از تصاویر گوگل ارث به دلیل دقت مکانی بالا و ارائه تصاویر در بازه های زمانی مختلف در اکثر مطالعات به منظور محاسبه صحت کلی و ضریب کاپا مورد استفاده قرار می گیرند (۲۲، ۳۱، ۴۳ و ۴۵). مطابق نتایج به دست آمده شاخص توسعه یافته نواحی مسکونی و بایر (EBBI)، شاخص

جدول ۴. وضعیت صحت کلی و ضریب کاپا در شاخص‌های ساختمانی (درصد)

ضریب کاپا	صحت تولیدشده		صحت کاربر		صحت کلی	شاخص
	غیرمسکونی	مسکونی	غیرمسکونی	مسکونی		
۹۴	۹۴	۱۰۰	۱۰۰	۹۴	۹۷	EBBI
۸۸	۸۸	۱۰۰	۱۰۰	۸۹	۹۴	IBI
۸۸	۱۰۰	۹۰	۸۷	۱۰۰	۹۴	NDBI
۸۲	۹۳	۹۰	۸۷	۹۴	۹۱	UI
۷۷	۸۷	۱۰۰	۹۳	۷۸	۸۸	NDBal
۷۱	۷۸	۹۳	۹۳	۷۸	۸۵	NBUI
۶۵	۷۷	۸۸	۸۷	۷۸	۸۲	NDWI
۷۱	۸۲	۸۸	۸۷	۸۴	۸۵	MNDWI



شکل ۴. سطح اراضی شهر سنندج با شاخص EBBI (سال ۱۳۶۶)

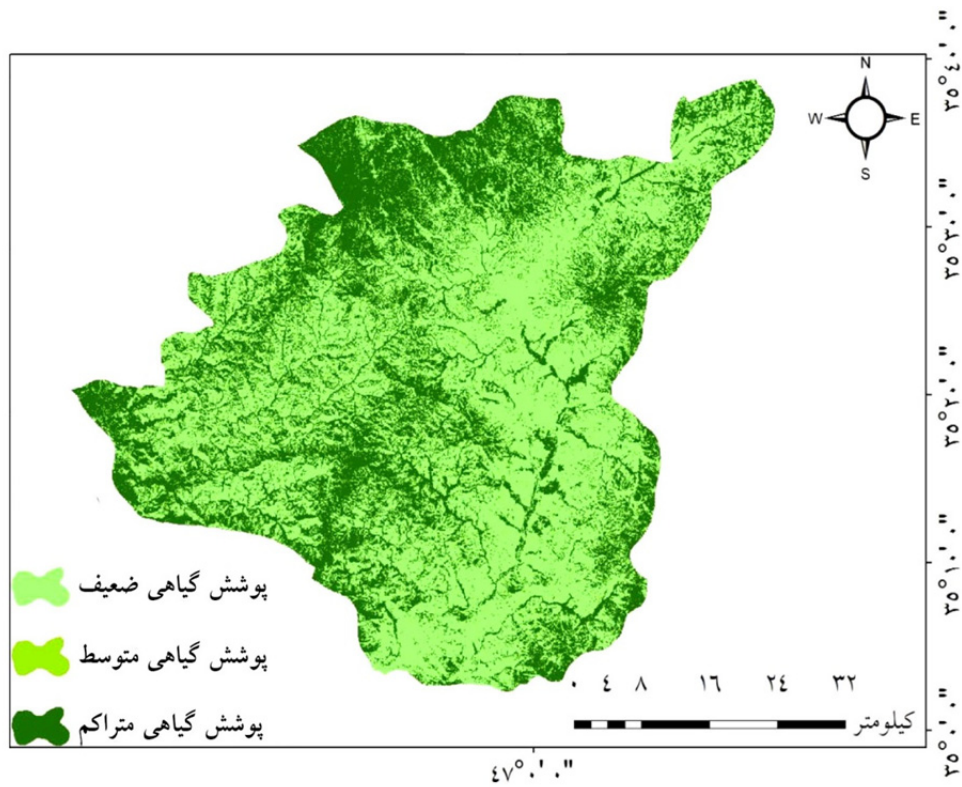


شکل ۵. سطح اراضی شهر سنندج با شاخص EBBI (سال ۱۳۹۶)

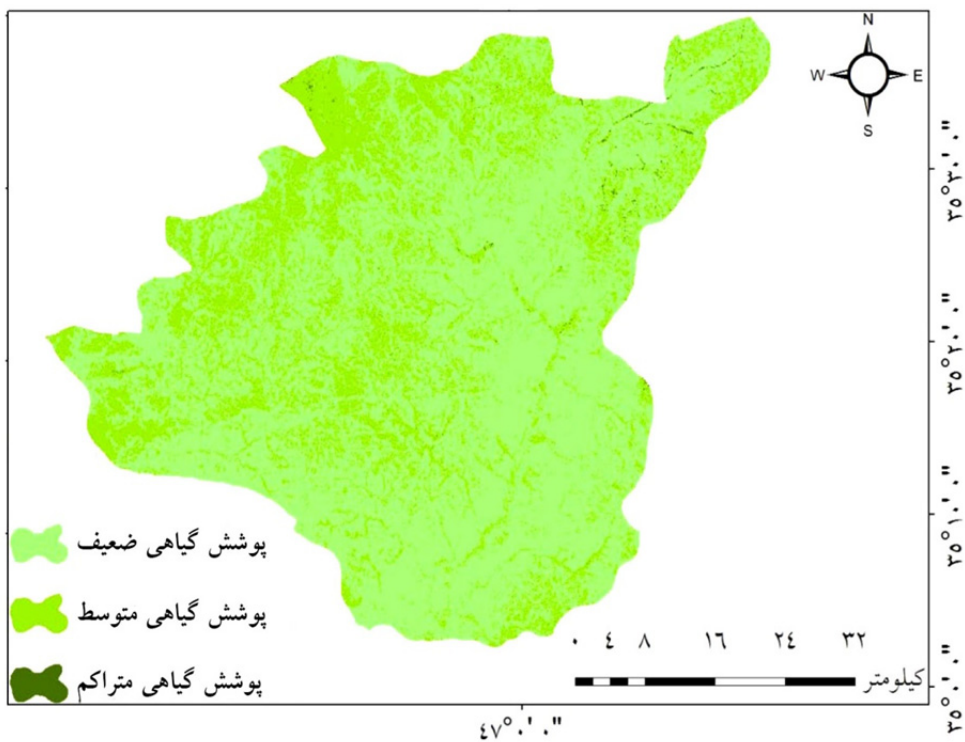
وضعیت پوشش گیاهی و دمای سطح زمین

پوشش گیاهی به دلیل نقش تعدیل کننده در دمای سطح زمین در اکثر مطالعات مورد بررسی و ارزیابی قرار می گیرد. در این مطالعه ابتدا با استفاده از شاخص NDVI مناطق با پوشش گیاهی متراکم (High NDVI)، متوسط (Medium NDVI) و ضعیف (Low NDVI) شهرستان سنندج استخراج شد و همچنین با استفاده از الگوریتم پنجره مجزا دمای سطح زمین در طی دوره مورد مطالعه محاسبه و بررسی شد و در ادامه به منظور ارزیابی نقش پوشش گیاهی در تعدیل دمای سطح زمین، وضعیت دما در طبقات مختلف پوشش گیاهی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج شاخص NDVI نشان می دهد اکثر نواحی دارای پوشش گیاهی ضعیف است و نواحی با پوشش گیاهی متوسط و متراکم در طی دوره مورد مطالعه تنها در سال های ۱۳۶۶، ۱۳۸۲، ۱۳۸۶، ۱۳۸۹ و ۱۳۹۶ مشاهده شده است (شکل های ۶ و ۷). همچنین مقادیر

استخراج شده از دمای سطح زمین نشان می دهد که سال های ۱۳۸۱، ۱۳۸۹ و ۱۳۹۵ بیشترین و سال های ۱۳۶۸، ۱۳۷۰، ۱۳۷۱ و ۱۳۷۵ کمترین دما در منطقه مشاهده شده است همچنین دمای طبقات مختلف پوشش گیاهی حاکی از این امر است که بیشترین دمای سطح زمین در طی دوره مورد مطالعه در طبقات با پوشش گیاهی ضعیف رخ داده است و نواحی با پوشش گیاهی متوسط از لحاظ وضعیت دما بعد از نواحی با پوشش گیاهی ضعیف قرار دارد و طبقات با پوشش گیاهی متراکم کمترین دما را نسبت به دو طبقه دیگر در طی مورد مطالعه نشان می دهد که این مطالب تأثیر پوشش گیاهی را بر دمای سطح زمین به نشان می دهد (شکل ۸). فقر پوشش گیاهی یکی از دلایل دمای بالا در این منطقه است چراکه عدم وجود پوشش گیاهی موجب می شود فرایند تعدیل دما صورت نگیرد و اکثر انرژی رسیده از خورشید جذب شده و همین مسئله افزایش دما را موجب می شود.



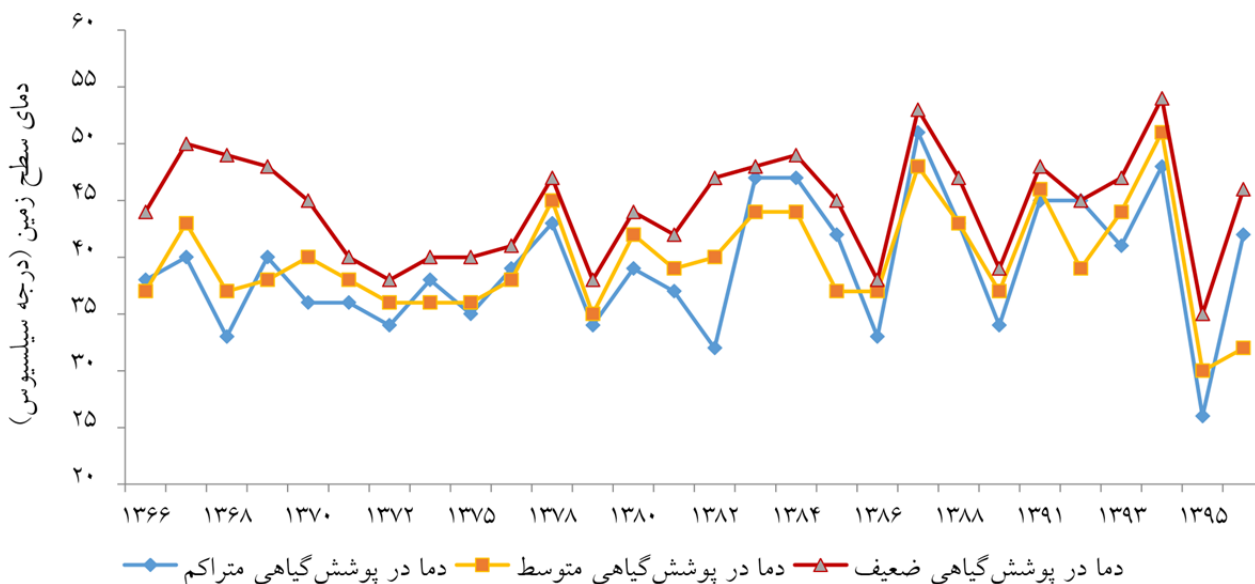
شکل ۶. وضعیت پوشش گیاهی اراضی شهر سنندج (سال ۱۳۶۶)



شکل ۷. وضعیت پوشش گیاهی اراضی شهر سنندج (سال ۱۳۹۶)

بالاترین مقادیر همبستگی در سال های ۱۳۶۸، ۱۳۸۰، ۱۳۸۱، ۱۳۸۶ و ۱۳۹۲ پایین ترین آن در سال های ۱۳۸۲ و ۱۳۸۹ بوده است (شکل ۸).

همچنین ضریب همبستگی بین شاخص پوشش گیاهی و دمای سطح زمین نشان دهنده یک ارتباط عکس بوده که کاهش پوشش گیاهی افزایش دمای سطح زمین را به دنبال دارد.



شکل ۸. وضعیت دمای سطح زمین در طبقات مختلف پوشش گیاهی

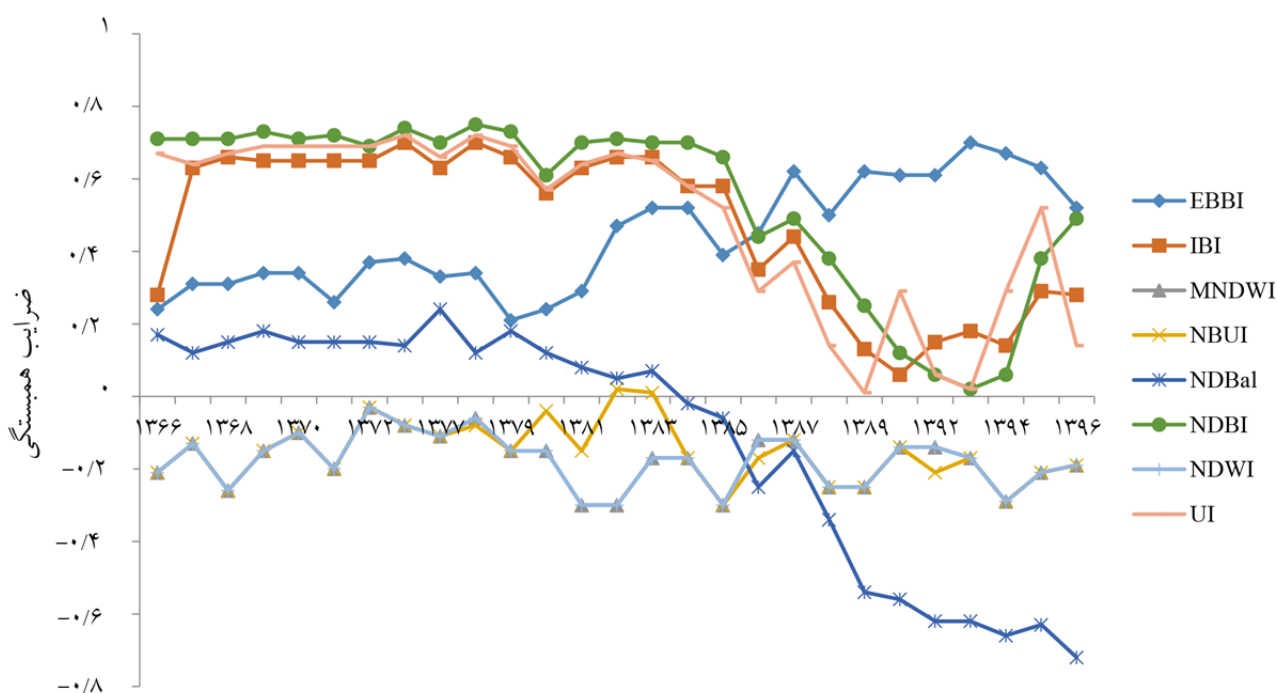
سطح معنی داری ضرایب همبستگی شاخص های EBBI، JBI، NDBI و UI با دمای سطح زمین به این صورت بوده است که شاخص EBBI در سال های ۱۳۹۱، ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ در سطح معنی داری ۰/۰۵ درصد و در سال ۱۳۹۳ در سطح معنی داری ۰/۰۱ درصد و شاخص NDBI در سال های ۱۳۶۶، ۱۳۶۷، ۱۳۶۸، ۱۳۶۹، ۱۳۷۰، ۱۳۷۱، ۱۳۷۵، ۱۳۷۷، ۱۳۷۸، ۱۳۷۹، ۱۳۸۱، ۱۳۸۲، ۱۳۸۳ و ۱۳۸۴ در سطح معنی داری ۰/۰۱ درصد و در سال های ۳۷۲ و ۱۳۸۰ در سطح معنی داری ۰/۰۵ درصد بوده است. همچنین سطح معنی داری روابط در شاخص های IBI و UI در سال های ۱۳۶۸، ۱۳۶۹، ۱۳۷۰، ۱۳۷۲، ۱۳۷۷، ۱۳۷۹، ۱۳۸۲ و ۱۳۸۳ در سطح معنی داری ۰/۰۵ درصد و در سال های ۱۳۷۵ و ۱۳۷۸ این روابط در سطح معنی داری ۰/۰۱ درصد بوده است. در این شاخص ها برخی از نواحی مسکونی به عنوان نواحی غیرمسکونی معرفی شده که این عامل دقت پایین شاخص و ارتباط عکس را با دمای سطح زمین موجب شده است.

روابط دمای سطح زمین با شاخص های سطح اراضی

نتایج ضریب همبستگی شاخص های سطح شهر با دمای سطح زمین بیان کننده ارتباط مثبت و منفی بین دو متغیر است به طوری که شاخص های که از نظر صحت کلی و ضریب کاپا از دقت بالایی در استخراج نواحی مسکونی برخوردار بوده اند با دمای سطح زمین رابطه مثبت و شاخص هایی که از این نظر دقت پایینی داشته اند رابطه عکس را با دمای سطح زمین نشان می دهند. به عبارت دیگر شاخص توسعه یافته نواحی مسکونی و بایر (EBBI)، شاخص اساس ساخت و ساز (IBI)، شاخص نرمال شده تفاضل ساخت و ساز (NDBI)، و شاخص شهر (UI) با دمای سطح زمین (LST) رابطه مثبت و شاخص نرمال شده تفاضل نواحی بایر (NDBal)، شاخص جدید ساخت و ساز (NBUI)، شاخص نرمال شده تفاضل آب (NDWI) و شاخص نرمال شده بهبود یافته تفاضل آب (MNDWI) با مقادیر LST رابطه عکس را در طی دوره مورد مطالعه نشان می دهند (شکل ۹).

تأثیر می‌گذارد (۲۷، ۳۳ و ۳۵). نتایج ضریب همبستگی دمای سطح زمین با شاخص‌های سطح شهر در این مطالعه نشان‌دهنده رابطه مثبت بین دو متغیر است که رشد نواحی مسکونی موجب افزایش دمای سطح زمین می‌شود البته این روابط مستقیم در شاخص‌های با دقت بالا دیده می‌شود که این نتایج با نتایج مطالعات جئو و همکاران (۲۴) و چن و ژانگ (۲۰) مطابقت داشته است. در مطالعات این محققین همانند مطالعه حاضر مشخص شده است که دمای سطح زمین با شاخص NDBI همبستگی قوی و با شاخص NDBal همبستگی ضعیفی دارد. همچنین نتایج وضعیت دمای سطح زمین در طبقات پوشش گیاهی در این مطالعه با نتایج مزیدی و حسینی (۱۳) و درویشی و همکاران (۵) همسو بوده است به طوری که در این مطالعات تأثیر کاهش پوشش گیاهی برافزایش دمای سطح زمین مشخص شده است.

افزایش دمای سطح زمین علاوه بر اینکه موجب آلودگی هوا می‌شود به تدریج زمینه وقوع خشک‌سالی را در یک ناحیه فراهم می‌کند چراکه گرم شدن سطح زمین موجب تبخیر منابع آب می‌شود. از مهم‌ترین دلایل روند افزایشی دما، رشد نواحی شهری و توسعه ناهنجار این نواحی است که موجب از بین رفتن زمین‌های کشاورزی و پوشش گیاهی یک ناحیه می‌شود. گسترش سریع شهرها به دلیل تغییرات گسترده در کاربری و پوشش زمین اثرات منفی بر کیفیت زیست‌محیطی جهانی دارد که از جمله این اثرات، تغییرات چشم‌انداز محیط طبیعی و همچنین تبدیل زمین‌های کشاورزی که منجر به از بین رفتن تنوع زیستی می‌شود (۱۷ و ۵۱). دمای سطح زمین یکی از پارامترهای کلیدی در فرایندهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی در پروسه‌های زمین و عامل مهمی برای مطالعه آب‌وهوای شهری محسوب می‌شود که بر تعادل تابش، شار گرما، تبخیر و تعرق و سایر عوامل کلیدی در محیط‌های شهری



شکل ۹. ضرایب همبستگی شاخص‌های سطح اراضی شهری با دمای سطح زمین

نتیجه گیری

در این مطالعه ابتدا تصاویر لندست مربوط به بازه زمانی ۱۳۶۶ تا ۱۳۹۶ از سایت سازمان زمین شناسی ایالات متحده دریافت شد و سپس تصحیحات هندسی، رادیومتریک و اتمسفری تصاویر در محیط نرم افزار ENVI[®] 5.3 انجام گرفت و نسبت به استخراج شاخص های گیاهی و سطح شهر در محیط نرم افزار مذکور اقدام شد. سپس دمای سطح زمین با استفاده از الگوریتم پنجره مجزا در محیط نرم افزار ArcGIS[®] 10.4 در طی دوره مورد مطالعه محاسبه شد. به منظور ارزیابی صحت نتایج از نقاط کنترل زمینی، تصاویر گوگل ارث و داده های ایستگاه هواشناسی استفاده شد به طوری که با کمک نقاط کنترل زمینی و تصاویر گوگل ارث صحت کلی و ضریب کاپای شاخص های سطح شهر محاسبه و با استفاده از داده های ایستگاه هواشناسی به تحلیل نتایج به دست آمده از دمای سطح زمین پرداخته شد. با توجه به نتایج صحت کلی و ضرایب کاپای شاخص های سطح شهر مشخص شد که شاخص توسعه یافته نواحی مسکونی و بایر (EBBI)، شاخص اساس ساخت و ساز (IBI)، شاخص نرمال شده تفاضل ساخت و ساز (NDBI) و شاخص شهر (UI) دارای دقت بالا و شاخص نرمال شده تفاضل نواحی بایر (NDBal)، شاخص جدید ساخت و ساز (NBUI)، شاخص نرمال شده تفاضل آب (NDWI) و شاخص اصلاح شده تفاضل آب (MNDWI) دارای دقت پایین در استخراج نواحی شهری هستند. همچنین تحلیل نتایج دمای سطح زمین با داده های ایستگاه هواشناسی یک ارتباط مثبت را بین دو پدیده نشان می دهد. در این مطالعه مشخص شد که مقادیر ضرایب همبستگی بین شاخص های EBBI، IBI، NDBI، UI با دمای سطح زمین یک ارتباط مثبت دارد و همچنین ضرایب همبستگی بین شاخص های NDBal، NBUI، NDWI و MNDWI با دمای سطح زمین در طی دوره مورد مطالعه یک ارتباط عکس را نشان می دهد. نتایج به دست آمده در این مطالعه تأثیر رشد شهر و کاهش پوشش گیاهی در افزایش دمای سطح زمین به وضوح دیده می شود چرا در مطالعه انجام شده مشخص

شد که طبقات پوشش گیاهی متراکم دارای کمترین دمای سطح و طبقات با پوشش گیاهی ضعیف بیشترین دمای سطح را در طی دوره مورد مطالعه نشان می دهد همچنین ارتباط ضرایب همبستگی با شاخص های مسکونی با دقت بالا نشان دهنده ارتباط مثبت بین دو متغیر است که این مسئله تأثیر رشد نواحی شهری را در افزایش دمای سطح زمین نشان می دهد. نتایج مطالعه حاضر می تواند در بسیاری از برنامه های رشد و توسعه مناطق شهری در جهت برنامه ریزی صحیح برای رشد این نواحی مورد استفاده قرار گیرد و همچنین با توجه به نتایج ضرایب کاپای شاخص های طیفی استفاده از این شاخص ها بخصوص شاخص EBBI در مطالعات مرتبط پیشنهاد می شود.

منابع مورد استفاده

۱. احمدی، م.، د. عاشورلو و م. نارنگی فرد. ۱۳۹۱. تغییرات زمانی-مکانی الگوهای حرارتی و کاربری شهر شیراز با استفاده از داده های سنجنده TM & ETM+. نشریه سنجش از دور و GIS ایران، ۴(۴): ۵۵-۶۸.
۲. احمدی، ب.، ا. قربانی، ط. صفرراد و ب. سبحانی. ۱۳۹۴. بررسی دمای سطح زمین در رابطه با کاربری و پوشش ارضی با استفاده از داده های سنجنش از دور. نشریه سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۶(۱): ۶۱-۷۷.
۳. ابراهیمی هروی، ب.، ک. رنگزن، ح. ر. ریاحی بختیاری و ا. تقی زاده. ۱۳۹۴. تعیین درجه حرارت اراضی سطح شهری با استفاده از تصاویر ماهواره لندست (مطالعه موردی: کرج). نشریه سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۶(۲): ۱۹-۳۲.
۴. بختیاری، م.، ک. رنگزن، ع. صابری و م. فتاحی. ۱۳۹۰. کاربرد سنجنش از دور حرارتی در مطالعه دمای سطحی زمین شهر اهواز با استفاده از الگوریتم تک پنجره. همایش ملی ژئوماتیک. تهران، سازمان نقشه برداری کشور، ۲۵ الی ۲۹ اردیبهشت ماه. ۱۵۵۹ صفحه.
۵. درویشی، ش.، م. رشیدپور و ک. سلیمانی. ۱۳۹۸. بررسی ارتباط تغییرات کاربری اراضی با دمای سطح زمین با استفاده از تصاویر ماهواره ای (مطالعه موردی: شهرستان مریوان).

۱۵. نظم فر، ح. ا. امان الله پور و ع. عشقی چهاربرج. ۱۳۹۴. تحلیل کالبدی - فضایی شهر سنندج جهت مکان‌یابی بهینه توسعه فیزیکی شهر. نشریه جغرافیا و پایداری محیط، ۵(۴): ۱-۱۶.
۱۶. هاشمی، م.، ک. علوی پناه و م. دیناروندی. ۱۳۹۱. ارزیابی توزیع مکانی دمای سطح زمین در محیط‌زیست شهری با کاربرد سنجش‌ازدور حرارتی. مجله محیط‌شناسی، ۳۹(۱): ۸۱-۹۱.
17. Abutaleb K, Ngie A, Darwish A, Ahmed M, Arafat S, Ahmed F. 2015. Assessment of urban heat island using remotely sensed imagery over Greater Cairo, Egypt. *Advances in Remote Sensing*, 4(1): 35-47.
18. As-syakur A, Adnyana I, Arthana IW, Nuarsa IW. 2012. Enhanced built-up and bareness index (EBBI) for mapping built-up and bare land in an urban area. *Remote Sensing*, 4(10): 2957-2970.
19. Ceccato P, Flasse S, Tarantola S, Jacquemoud S, Grégoire J-M. 2001. Detecting vegetation leaf water content using reflectance in the optical domain. *Remote sensing of Environment*, 77(1): 22-33.
20. Chen X, Zhang Y. 2017. Impacts of urban surface characteristics on spatiotemporal pattern of land surface temperature in Kunming of China. *Sustainable Cities and Society*, 32: 87-99.
21. Quanliang C, Changjian N, Zhan L, Jingxuan R. 2009. Urban heat island effect research in Chengdu city based on MODIS data. In: 2009 3rd International Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering. IEEE, pp 1-5.
22. Feng H, Zhao X, Chen F, Wu L. 2014. Using land use change trajectories to quantify the effects of urbanization on urban heat island. *Advances in Space Research*, 53(3): 463-473.
23. Ghosh A, Joshi P. 2014. Hyperspectral imagery for disaggregation of land surface temperature with selected regression algorithms over different land use land cover scenes. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 96(10): 76-93.
24. Guo G, Wu Z, Xiao R, Chen Y, Liu X, Zhang X. 2015. Impacts of urban biophysical composition on land surface temperature in urban heat island clusters. *Landscape and Urban Planning*, 135(3): 1-10.
25. Herold M, Gardner ME, Roberts DA. 2003. Spectral resolution requirements for mapping urban areas. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 41(9): 1907-1919.
26. Kawamura M, Jayamana S, Tsujiko Y. 1996. Relation between social and environmental conditions in Colombo Sri Lanka and the urban index estimated by satellite remote sensing data. *Nشریه جغرافیا و توسعه*، ۱۷(۵۴): ۱۴۳-۱۶۲.
۶. رنگزن، ک.، م. ع. فیروزی و ا. تقی‌زاده. ۱۳۹۰. بررسی و تحلیل نقش کاربری اراضی در شکل‌گیری جزایر حرارتی با استفاده از RS و GIS (مطالعه موردی: شهر اهواز). سمینار ملی کاربرد GIS در برنامه‌ریزی اقتصادی، اجتماعی و شهری. تهران- شرکت بین‌المللی پردازش اطلاعات نقش کلیک، ۲۱ اردیبهشت‌ماه. ۷۸۶ صفحه.
۷. سایت سازمان هواشناسی کشور (<http://www.irimo.ir>). داده‌های اقلیمی و تاریخیچه‌ای.
۸. عسگرزاده، پ.، ع. درویشی بلورانی، ح. بهرامی و س. حمزه. ۱۳۹۵. مقایسه برآورد دمای سطح زمین در روش‌های تک باندی و چند باندی با استفاده از تصاویر لندست ۸. نشریه سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۷(۳): ۱۸-۲۹.
۹. علوی‌پناه، س.، ک. س. گودرزی مهر و ب. خاکباز. ۱۳۹۰. فناوری سنجش از راه دور حرارتی و کاربرد آن در شناسایی پدیده‌ها. نشریه نشاء علم، ۲(۱): ۲۵-۲۹.
۱۰. فیضی‌زاده، ب. و خ. دیده‌بان. ۱۳۹۴. برآورد دمای سطح زمین با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۸ و الگوریتم پنجره مجزا (مطالعه موردی: حوزه آبریز مهاباد). فصلنامه اطلاعات جغرافیایی سپهر، ۲۵(۹۸): ۱۷۱-۱۸۱.
۱۱. کفایش، م. ۱۳۹۲. اعتبارسنجی محصولات دمای سطح زمین سنجنده MODIS با استفاده از اندازه‌گیری‌های زمینی در استان خراسان رضوی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۲۰ صفحه.
۱۲. مرکز آمار ایران (<https://www.amar.org.ir>). ۱۳۹۵. سرشماری عمومی نفوس و مسکن.
۱۳. مزیدی، ا. و ف. حسینی. ۱۳۹۴. تأثیر تغییر کاربری و پوشش زمین‌بر جزیره گرمایی در منطقه شهری یزد با استفاده از داده‌های سنجش‌ازدور. نشریه جغرافیا و توسعه، ۱۳(۳۸): ۱-۱۲.
۱۴. نارنگی فرد، م.، ا. مزیدی و ا. عبدلی. ۱۳۹۵. واکاوی الگوهای دمایی در ارتباط با کاربری‌های شهری با به‌کارگیری داده‌های سنجش‌ازدور (مطالعه موردی: شهر کرمانشاه). مجله مطالعات برنامه‌ریزی سکونتگاه‌های انسانی (چشم‌انداز جغرافیایی در مطالعات انسانی)، ۱۱(۳۵): ۱۷-۳۱.

- Int Arch Photogramm Remote Sens, 31: 321-326.
27. Khandelwal S, Goyal R, Kaul N, Mathew A. 2018. Assessment of land surface temperature variation due to change in elevation of area surrounding Jaipur, India. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 21(1): 87-94.
 28. Khorshid K. 2016. Uzaktan Algılama Teknikleri İle Geçirimsiz Yüzey Tahmini Ve Haritalanması. Fen Bilimleri Enstitüsü, Department of Geomatics Engineering, Geomatics Engineering Programed, Istanbul Technical University, 99 pp.
 29. Li J-j, Wang X-r, Wang X-j, Ma W-c, Zhang H. 2009. Remote sensing evaluation of urban heat island and its spatial pattern of the Shanghai metropolitan area, China. *Ecological Complexity*, 6(4): 413-420.
 30. Liu L, Zhang Y. 2011. Urban heat island analysis using the Landsat TM data and ASTER data: A case study in Hong Kong. *Remote Sensing*, 3(7): 1535-1552.
 31. Malarvizhi K, Kumar SV, Porchelvan P. 2016. Use of high resolution google earth satellite imagery in landuse map preparation for urban related applications. *Procedia Technology*, 24: 1835-1842.
 32. Mather P, Tso B. 2016. Classification methods for remotely sensed data. CRC press. 2nd Edition, 376 pp. doi:10.1201/9781420090741.
 33. Mitra Z, Chrysoulakis N, Doxani G, Del Frate F, Berger M. 2015. Urban surface temperature time series estimation at the local scale by spatial-spectral unmixing of satellite observations. *Remote Sensing*, 7(4): 4139-4156.
 34. Rajaei SA, Mansourian H. 2017. Urban growth and housing quality in Iran. *Social Indicators Research*, 131(2): 587-605.
 35. Rozenstein O, Qin Z, Derimian Y, Karnieli A. 2014. Derivation of land surface temperature for Landsat-8 TIRS using a split window algorithm. *Sensors*, 14(4): 5768-5780.
 36. Roth M, Oke T, Emery W. 1989. Satellite-derived urban heat islands from three coastal cities and the utilization of such data in urban climatology. *International Journal of Remote Sensing*, 10(11): 1699-1720.
 37. Sobrino JA, Jiménez-Muñoz JC, Paolini L. 2004. Land surface temperature retrieval from LANDSAT TM 5. *Remote Sensing of Environment*, 90(4): 434-440.
 38. Shi Y, Katzschner L, Ng E. 2018. Modelling the fine-scale spatiotemporal pattern of urban heat island effect using land use regression approach in a megacity. *Science of The Total Environment*, 618(15): 891-904.
 39. Smits P, Dellepiane S, Schowengerdt R. 1999. Quality assessment of image classification algorithms for land-cover mapping: a review and a proposal for a cost-based approach. *International Journal of Remote Sensing*, 20(8): 1461-1486.
 40. Sinha P, Verma NK, Ayele E. 2016. Urban built-up area extraction and change detection of Adama municipal area using time-series Landsat images. *International Journal of Advanced Remote Sensing and GIS*, 5(8): 1886-1895.
 41. Surface Energy Balance Algorithms for Land (SEBAL). 2002. Advanced Training and User's Manual Version 1.0, August, 98 pp.
 42. Teillet P, Staenz K, William D. 1997. Effects of spectral, spatial, and radiometric characteristics on remote sensing vegetation indices of forested regions. *Remote Sensing of Environment*, 61(1): 139-149.
 43. Tilahun A, Teferie B. 2015. Accuracy assessment of land use land cover classification using google earth. *American Journal of Environmental Protection*, 4(4): 193-198.
 44. Vlassova L, Perez-Cabello F, Nieto H, Martín P, Riaño D, de la Riva J. 2014. Assessment of methods for land surface temperature retrieval from Landsat-5 TM images applicable to multiscale tree-grass ecosystem modeling. *Remote Sensing*, 6(5): 4345-4368.
 45. Wibowo A, Osman Salleh K, Sitanala Frans FTR, Mulyo Semedi J. 2016. Spatial temporal land use change detection using Google earth data. In: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, vol 1. p 012031.
 46. Xu H, Chen Y, Dan S, Qiu W. 2011. Dynamical monitoring and evaluation methods to urban heat island effects based on RS & GIS. *Procedia Environmental Sciences*, 10: 1228-1237.
 47. Xu L, Xie X, Li S. 2013. Correlation analysis of the urban heat island effect and the spatial and temporal distribution of atmospheric particulates using TM images in Beijing. *Environmental Pollution*, 178(7): 102-114.
 48. Xu H. 2006. Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 27(14): 3025-3033.
 49. Yu Q, Acheampong M, Pu R, Landry SM, Ji W, Dahigamuwa T. 2018. Assessing effects of urban vegetation height on land surface temperature in the City of Tampa, Florida, USA. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 73(12): 712-720.
 50. Zhang X, Wu P, Chen B. 2010. Relationship between vegetation greenness and urban heat island effect in Beijing City of China. *Procedia Environmental Sciences*, 2: 1438-1450.
 51. Zhang Y, Chen L, Wang Y, Chen L, Yao F, Wu P, Wang B, Li Y, Zhou T, Zhang T. 2015. Research on the contribution of urban land surface moisture to the alleviation effect of urban land surface heat based on Landsat 8 data. *Remote Sensing*, 7(8):

- 10737-10762.
52. Zhou X, Wang YC. 2011. Dynamics of land surface temperature in response to land use/cover change. *Geographical Research*, 49(1): 23-36.
53. Zhao H, Chen X. 2005. Use of normalized difference bareness index in quickly mapping bare areas from TM/ETM⁺. In: *International Geoscience and Remote Sensing Symposium*. Seoul, South Korea. 3: 1666 pp.
54. Zha Y, Ni S-x, Yang S. 2003. An effective approach to automatically extract urban land-use from TM imagery. *Journal of Remote Sensing*, 7(1): 37-40.



Impact of vegetation indices and urban surface characteristics on land surface temperature changes (Case study: Sanandaj city)

Sh. Darvishi^{1*}, K. Solaimani², M. Rashidpour³

1. MSc. Graduated of Remote Sensing and Geographic Information Systems, Faculty of Environmental Sciences, Haraz Institute of Higher Education, Amol

2. Prof. Department of Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University

3. PhD Student of Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University

ARTICLE INFO

Article history:

Received 27 November 2018

Accepted 21 April 2019

Available online 20 May 2019

Keywords:

Urban surface characteristics

Vegetation index

Land surface temperature (LST)

Sanandaj

ABSTRACT

Land surface temperature (LST) is an important factor in global warming studies. Therefore, considering its negative effects on human life, it is very important to study this phenomenon. The aim of this study was to investigate the effects of vegetation indices and surface characteristics of Sanandaj city on land surface temperature changes. For this purpose, the land surface temperature was calculated in ArcGIS and vegetation indices and the surface Sanandaj city were derived from Landsat images in ENVI software. The results of regression analysis and correlation of LST with synoptic station data were 0.45 and 0.20 respectively, which shows a positive relationship. The results of the overall accuracy and the indices shows that the correlation analysis the precise indices (enhanced buildup and bareness index, index-based built up the index, normalized difference built up the index, urban index), positive relationship and low precision indices (normalized difference bareness index, new built up the index, normalized difference water index, modified normalized difference water index) have the opposite correlation with land surface temperature. The results of the temperature situation in the vegetation classes indicate that the high temperature was observed in the low vegetation classes in the early summer of 1988, 1999, 2008, 2012, 2014 and 2015, and the lowest temperature in dense vegetation classes at the end of spring, 1989, 1993, 2000, 2007, 2010 and 2016. Therefore, the reduction of vegetation and growth of built-up areas has an important role in increasing the land surface temperature, and spectral indices to extract buildup areas from satellite images can provide acceptable results.

* Corresponding author e-mail address: sh_darvishi@yahoo.com