

نشریه پژوهش و برنامه‌ریزی شهری، سال هشتم، شماره سی‌ام، پاییز ۱۳۹۶

شاپا چاپی: ۵۲۲۹-۲۲۲۸، شاپا الکترونیکی: ۳۸۴۵-۲۴۷۶

دریافت: ۱۳۹۵/۱۱/۱۹ - پذیرش: ۱۳۹۶/۶/۵

<http://jupm.miau.ac.ir/>

صص ۳۵-۵۰

برآورد دمای سطح زمین و استخراج جزایر حرارتی با استفاده از الگوریتم پنجره مجزا و تحلیل رگرسیون چند متغیره (مطالعه موردی شهر زنجان)

خلیل ولیزاده کامران: استادیار گروه سنجش از دور و GIS دانشگاه تبریز، تبریز، ایران*

خلیل غلام نیا: دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور و GIS گرایش مدیریت مخاطرات محیطی دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

گلزار عینالی: دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور و GIS گرایش مدیریت مخاطرات محیطی دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

سید محمد موسوی: دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور و GIS گرایش مدیریت مخاطرات محیطی دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

چکیده

به دلیل افزایش میانگین دمای سطح زمین از اواخر قرن نوزدهم، گرم شدن کره زمین توجه بیشتری را به خود مبذول کرده است. افزایش دمای سطح زمین به ویژه در شهرهای بزرگ و کلانشهر یکی از مشکلات اساسی زیست محیطی است. یکی از عوامل اصلی بالا رفتن دمای سطح زمین در شهرها وجود جزایر حرارتی در این مناطق است. عوامل زیادی در ایجاد جزایر حرارتی نقش دارند مانند سرعت باد، مصالح ساختمانی، فضای سبز شهری، کارخانه‌ها و صنایع بزرگ و سایر فعالیت‌های انسانی، شکل تابش خورشید و ... تأثیر چشمگیری دارند. در این پژوهش با استفاده از دو تصویر ماهواره لندست ۸ مربوط در تاریخ ۸ اسفند ۱۳۹۳ و ۱۲ مرداد ۱۳۹۴، لایه‌های تولید شده از مدل رقومی ارتفاع شامل (شیب و جهت) تهیه شده از سنجنده Aster و کاربری اراضی تولید شده توسط شهرداری زنجان برای نیل به هدف مورد استفاده قرار گرفت. در مرحله اول با استفاده از تصاویر لندست ۸ دمای سطح زمین با روش الگوریتم پنجره مجزا محاسبه گردید و در ادامه مقادیر دمایی به دست آمده سطح زمین، به همراه لایه‌های شیب، جهت، (Normalized Difference Vegetation) و کاربری اراضی وارد محیط نرم‌افزار Saga/GIS شدند و تحلیل مدل رگرسیون خطی چند متغیره با روش گام به گام یا Stepwise انجام گرفت. نتایج به دست آمده حاصل از این مدل نشان داد که موثرترین عامل در ایجاد جزایر حرارتی در محدوده شهر زنجان به ترتیب لایه شیب با ۰.۸۷۰۶۴۳ دارای بیشترین اهمیت و لایه‌های جهت، پوشش گیاهی، کاربری اراضی و ارتفاع در اولویت‌های بعدی قرار دارند.

واژه‌های کلیدی: جزایر حرارتی، کاربری اراضی، لندست ۸، الگوریتم پنجره مجزا، رگرسیون خطی

۱- مقدمه

۱-۱- طرح مسأله

گسترش سریع شهرها به دلیل تغییرات گسترده در کاربری و پوشش زمین (Zhang et al, 2015, 10738)، تاثیرات منفی بر کیفیت زیست محیطی جهانی داشته، از جمله کیفیت هوا، افزایش دما و تغییرات چشم انداز و همچنین تبدیل زمین‌های کشاورزی که منجر به از بین رفتن تنوع زیستی می‌شود (Abutaleb et al, 2015, 36). در این راستا دمای سطح زمین پارامتر مهمی است که می‌تواند نشان دهنده تغییرات در سطح زمین باشد، که اخیراً در بسیاری از مطالعات منطقه‌ای، از قبیل تغییر جهانی آب و هوا، فرآیندهای هیدرولوژیکی و کشاورزی، و کاربری و پوشش زمین شهری و بررسی رطوبت خاک به عنوان یک عامل مهم مطرح شده است (Rozenstein et al, 2014, 5769). شهرها در اغلب موارد شرایط اقلیمی خاصی را تجربه می‌کنند که به آن اقلیم شهری گفته می‌شود، اقلیم شهری به واسطه تفاوتی که در متغیرهای اقلیمی شهر (دمای هوا، رطوبت، سرعت و جهت باد، مقدار بارش) با نواحی کم تراکم‌تر اطرافش وجود دارد، مشخص می‌شود. دمای سطح زمین یکی از پارامترهای کلیدی در کنترل فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی در پروسه‌های زمین و عامل مهمی برای مطالعه آب و هوای شهری محسوب می‌شود (Khandelwal, 2017, 2)، که بر تعادل تابش، شار گرما، تبخیر و تعرق و سایر عوامل کلیدی در محیط‌های شهری تأثیر می‌گذارد (Mitraka et al, 2015, 4140). تحقیقات نشان می‌دهد که مکان‌های شهری گرم‌تر از نواحی روستایی اطرافش

هستند و به طور کلی به این پدیده جزیره حرارتی شهری گفته می‌شود (صادقی نیا و همکاران، ۱۳۹۱، ۲). هر چند علل جزیره حرارتی می‌تواند متنوع باشد، از جمله عوامل طبیعی و عوامل انسانی که علت اصلی آن تغییر در استفاده از زمین است؛ علاوه بر این، عواملی مانند پیکربندی شهری، انتشار گرما از منبع گرمای انسانی، آلودگی هوا، موقعیت جغرافیایی و آب و هوا نیز بر روی آن تأثیر می‌گذارد (Tsou et al, 2017, 21).

واژه جزیره حرارتی اولین بار حدود یک قرن قبل و در سال ۱۸۳۳ توسط هاوارد مطرح شد. پس از آن پژوهش‌های متعددی در شهرهای بزرگ و صنعتی جهان انجام گرفت که بیانگر این است که شهرنشینی موجب ایجاد تغییرات قابل ملاحظه بر روی پارامترهای هواشناسی و ویژگی‌های سطح زمین شده و به تبع تغییرات زیادی در وضع هوا و اقلیم محلی به وجود آورده است (موسوی بایگی و همکاران، ۱۳۹۱، ۳۶). افزایش دمای سطح زمین و شکل‌گیری جزایر حرارتی در مناطقی که بدون برنامه‌ریزی قبلی به شهر یا کلانشهر تبدیل شده‌اند، یکی از مشکلات زیست محیطی اساسی است (Alavipanah et al, 2015, 2). جزیره حرارتی شهری به پدیده دمای اتمسفر و دمای سطح در مناطق شهری نسبت به مناطق روستایی اطراف با توجه به وقوع شهرنشینی اشاره دارد (Yuan and Bauer, 2007, 375). دو دسته مجزا از جزیره حرارتی شهر اغلب تعریف می‌شود: جزیره حرارت شهری اتمسفری که از طریق اندازه‌گیری دما در لایه تاج پوشش شهر از طریق زمینی، هوا برد و حسگرهای نصب شده در برج‌های بلند برای لایه مرزی در

دقیق و همچنین کارآمدی روش برای تمامی سنسورها با حداقل دو باند حرارتی اشاره کرد. وابستگی این روش به اطلاع از ضریب گسیل و وابستگی ضرایب هر مدل به نوع منطقه را می توان از محدودیت های این روش دانست. این روش اولین بار در سال ۱۹۷۰ توسط Anding و Kauth ارائه شد (جویباری مقدم و همکاران، ۱۳۹۴، ۲۱۶).

تلاش های بسیاری برای برآورد دمای سطح زمین با استفاده از داده های سنجش از دور در دهه های اخیر صورت گرفته است؛ چن و همکاران^۱ در سال ۲۰۰۶، در پژوهشی در دلتای رودخانه پیرل (PRD) در جنوب چین، اقدام به بازیابی دمای کاربری زمین با استفاده از تصاویر سنجنده TM و ETM+ از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۰ اقدام کردند. تجزیه و تحلیل هایی که انجام دادند نشانگر این است که الگوی پراکندگی جزیره حرارتی شهر با انواع خاصی از پوشش زمین مرتبط است. فیضی زاده و بلاشکه^۲ در سال ۲۰۱۳ یک اتحاد از تحلیل ترکیب طیفی و شاخص سنجش از دور عضو نهایی برای استخراج دمای سطح زمین را برای شناسایی جزایر حرارتی شهری و به منظور بررسی رابطه کاربری زمین پوشش زمین و آلودگی هوا در شهرستان تبریز، ارائه کردند، نتایج نشان داد که دمای سطح زمین به شدت توسط کاربری و پوشش زمین تحت تأثیر قرار می گیرد و اینکه جزایر حرارتی شهر به دمای سطح زمین با کاربری و پوشش زمین مرتبط است. ولیزاده کامران و همکاران^۳ (۲۰۱۵)، در مطالعه ای تحت عنوان "بازیابی دمای

مناطق شهری تعیین می شود، دسته دوم سطح جزایر حرارتی شهری است و مبنی بر داده های حرارتی سنجش از دور است (Hu and Brunsell, 2015, 393).

برای مواجهه با مسأله حرارت شهری بسیاری از دانشمندان راهکارهایی از قبیل افزایش بازتاب شهری (Bretz et al, 1998, 100-101) و افزایش پوشش گیاهی شهری (Givoni, 1991, 297) ارائه داده اند. با افزایش بازتاب از سطوح شهری، استراتژی سابق به حذف تابش خورشیدی که در غیر این صورت به گرما تبدیل می شود، کمک می کند. در استراتژی دوم، افزایش پوشش گیاهی، تبخیر و تعرق افزایش یافته که امکان تبدیل تابش خورشیدی جذب شده به گرمای نهان به جای حرارت محسوس را فراهم می کند است (Mackey et al, 2012, 348).

امروزه سنجش از دور ماهواره ای روش هایی را برای برآورد حرارتی سطح زمین در فواصل نمونه برداری و در مقیاس جهانی فراهم ساخته است (Cao et al, 2016, 17; Kau et al, 2008, 1379). داده های لندست TM یکی از تصاویر ماهواره ای است که به دلیل قدرت تفکیک بالای آن (۱۲۰ متر) و دسترسی رایگان برای دانلود در وب سایت سازمان زمین شناسی ایالات متحده (USGS)، از باند مادون قرمز حرارتی آن به طور گسترده برای بازیابی دمای سطح زمین مورد استفاده قرار می گیرد (Liu and Zhang, 2011, 1536). روش پنجره مجزا بر مبنای تلفیق دو باند حرارتی استوار هست در واقع این روش با استفاده از تلفیق باندهای حرارتی مجاور سعی در کاهش تأثیرات اتمسفری دارد. از مزایا این روش می توان به عدم نیاز این روش به پروفیل اتمسفری

1 - Chen et al.

2 - Feizizadeh and Blaschke.

3 - Valizadeh Kamran et al.

پارمترهای محیطی در حوزه شهری است و از سویی دیگر میزان اثرگذاری کاربری‌های شهری را در ظهور شرایط حرارتی کنونی شهر اهواز، را مشخص می‌کند. عقیلی‌نسب و همکاران در سال ۱۳۹۲، در پژوهشی تحت عنوان "تحلیل جزایر حرارتی شهری با استفاده از سنجش از دور و رابطه آن با توسعه دوست‌دار محیط زیست" و با استفاده از تصاویر ماهواره لندست جهت استخراج دمای سطح زمین، NDVI و کسر گیاهی و همچنین محاسبه نهایی دمای سطح زمین، به دو روش دمای اصلاح شده سطح زمین و الگوریتم تک پنجره اقدام کردند. همچنین، به تخمین فراوانی گیاهی با استفاده از آنالیز خطی ترکیب طیفی (LSMA)^{۱۰} پرداختند. نتایج حاصل نشان داد که تحلیل خطی ترکیب طیفی، در تفکیک و طبقه بندی کاربری‌های اراضی شهری و مقایسه بین کاربری‌ها و همچنین تصویر کسر گیاهی نیز جهت بررسی ارتباط دمای سطح زمین و فراوانی پوشش گیاهی کاربرد دارد. متکان (۱۳۹۳)، در مقاله‌ای تحت عنوان "تحلیل نقش کاربری اراضی در شکل‌گیری جزایر حرارتی با- استفاده از داده‌های چندزمانه در شهر بندرعباس"، اثرات کاربری اراضی در ایجاد دمای سطح زمین در شهر ساحلی بندرعباس به منظور بررسی رابطه میان ویژگی‌های پوشش زمین در ایجاد جزایر حرارتی با- استفاده از داده‌های ماهواره‌های چند زمانه سنجنده ASTER را ارزیابی کردند و نشان دادند مناطق صنعتی و زمین‌های بایر دارای حرارت زیاد و مناطق دارای دمای کمتری نسبت به سایر کاربری‌ها بود. رضایی مقدم و همکاران (۱۳۹۴)، در مقاله‌ای تحت عنوان

سطح زمین با استفاده از سنجنده‌ی TIRS^۴ لندست ۸: مقایسه‌ای بین الگوریتم پنجره مجزا و روش سبال^۵ و ارونگی دمای سطح زمین را در شهر تهران مقایسه کردند. نتایج نشان داد که ورونگی دمای سطح زمین در روش پنجره مجزا دارای دقت با RMSE کمتر از ۰/۱۷ درجه سانتیگراد بود، در حالی که روش سبال دقتی برابر با ۳/۲۷ درجه سانتیگراد داشت، به طوری که الگوریتم پنجره مجزا روش مناسبی برای مورد مطالعه منطقه است. زانا و همکاران^۶ در سال ۲۰۱۵، در مطالعه‌ای با هدف بررسی و مقایسه روابط بین دمای سطح زمین شهری (LST)^۷، نسبت پوشش زمین (GCR)^۸ و تراکم حجم ساخت و ساز (BVD)^۹؛ از داده ۲۰۱۱ و ۲۰۱۳ سنجنده‌ی ETM+ لندست ۷ برای برآورد دمای سطح زمین در منطقه شهری ووهان چین و نقشه‌های GCR و BVD را با استفاده از داده‌های آمار ساختمان سال ۲۰۱۱ و ۲۰۱۳ تولید کردند. تحلیل‌ها نشان داد که یک رابطه خطی قوی بین دمای سطح زمین و GCR وجود دارد، در حالی که رابطه بین LST و BVD مستقیم نیست. رنگزن و همکاران در سال ۱۳۹۰، در پژوهشی تحت عنوان بررسی و تحلیل نقش کاربری اراضی در شکل‌گیری جزایر حرارتی با استفاده از RS و GIS در شهر اهواز، ضمن تاکید بر مباحث برنامه‌ریزی کاربری اراضی، از داده‌های سنجنده ETM متعلق به ماه مرداد (۱۳۸۸/۶/۱۵) استفاده کردند. نتایج از یک سو نشان دهنده توانایی بالای داده‌های سنجش از دور در مطالعه

4 - Thermal Infrared Sensor.

5 - Sebal

6 - Zhan et al.

7 - Land Surface Temperature.

8 - Ground Coverage Ratio.

9 - Building Volume Density

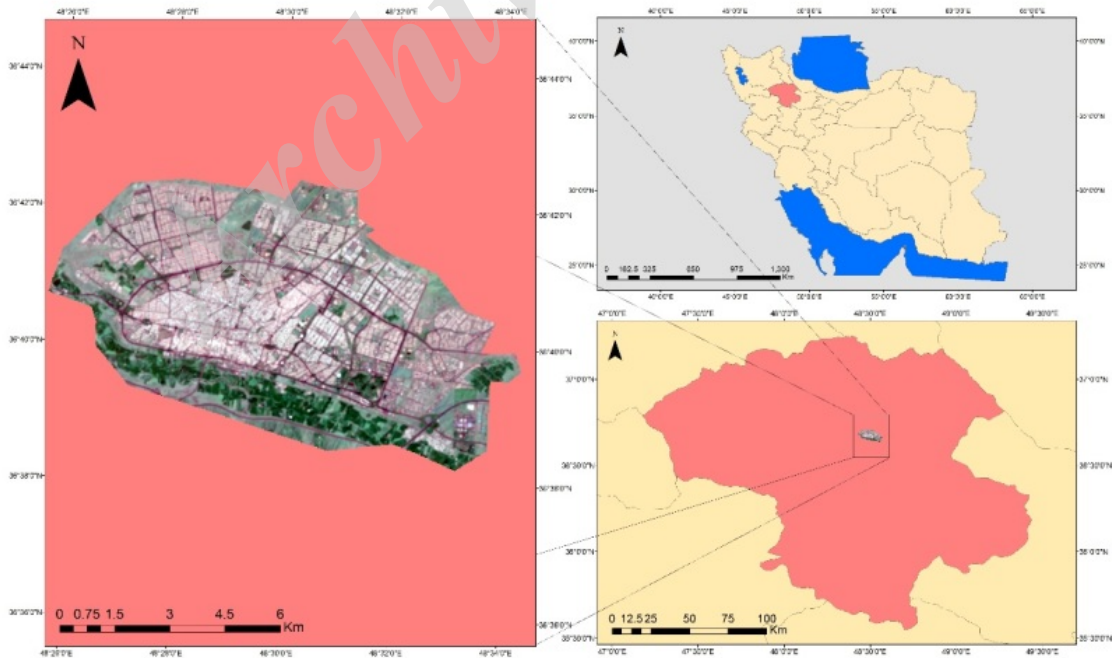
10 - Linear Spectral Mixture Analysis

پژوهش‌های مختلف در خصوص برآورد دمای سطح زمین در سطوح شهری و مورد نظر قرار گیرد.

- معرفی منطقه مورد مطالعه

شهر زنجان بین دو رشته کوه موازی از شمال و جنوب شهر می‌گذرند، استقرار یافته است. در بخش شمالی از ارتفاعات قره داغ، سوسن داغ، آقبلاغ از رشته کوه‌های البرز غربی قرار دارند که بتدریج و با شیب نسبتاً کم به رودخانه منتهی می‌شوند. و تپه‌ها و کوه‌های جنوبی نیز از حاشیه جنوبی رودخانه شروع می‌شوند. شیب زمین‌های شهر از ۱/۵ تا ۰/۲ از سمت شمال شرقی به جنوب غربی و از شمال به جنوب است. عامل توپوگرافیک به نوبه خود نوعی جدایی‌گزینی مکانی بوجود آورده بود. متوسط دمای ماهانه آن در گرمترین فصول سال ۲۳/۷۷ درجه سانتی‌گراد، در فصول سرد سال متوسط دما ۷/۵- درجه سانتی‌گراد است.

"بررسی روش پنجره تکی در برآورد دمای سطح زمین با استفاده از سنسجش از دور حرارتی" دمای سطح زمین را با استفاده از تصاویر مادون قرمز حرارتی دو سنسجده ETM+ و ASTER محاسبه کردند و در نهایت مقایسه نتایج به دست آمده نشان داد که تصویر حرارتی سنسجده ETM+ مربوط به فصل تابستان به عنوان گزینه قابل کاربرد در محاسبه دمای سطح منطقه است. در جمع‌بندی نتایج حاصل از پژوهش‌های صورت گرفته مشخص شد که اولاً تصاویر ماهواره‌ای در برآورد دمای سطح زمین نتایج قابل قبول و قابل استنادی را ارائه می‌دهند، ثانیاً روش‌های مختلف برآورد دمای سطح زمین نتایج تقریباً یکسانی را به دست می‌دهند و ثالثاً کاربری‌های مختلف ارتباط مستقیمی در کاهش یا افزایش دمای سطح زمین در شهرها دارند که تمامی این‌ها باید در

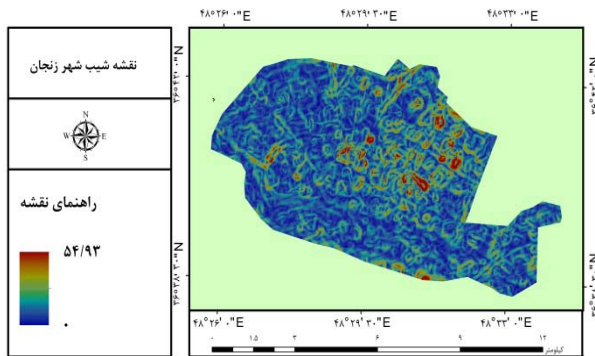


شکل ۱: منطقه مورد مطالعه

– داده‌های مورد استفاده

داده‌های مورد استفاده در این پژوهش شامل تصویر ماهواره لندست ۸ مربوط به تاریخ ۸ اسفند و ۱۲ مرداد ۱۳۹۴ (نقشه ۲)، لایه‌های تولید شده از مدل

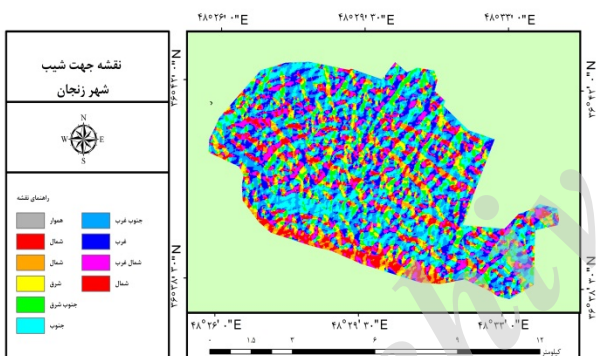
رقومی ارتفاع شامل شیب (نقشه ۳) و جهت (نقشه ۴) تهیه شده از سنجنده استر، کاربری اراضی ایجاد شده شهرداری زنجان (نقشه ۶) و داده‌های درجه حرارت از سازمان هواشناسی است.



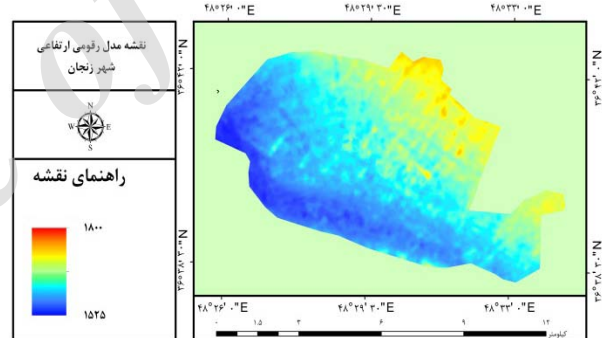
شکل ۳: نقشه شیب درجه محدوده شهر زنجان



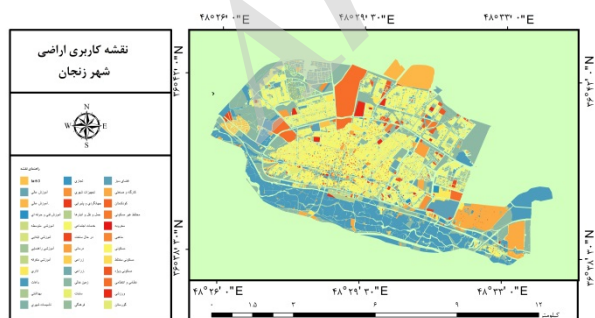
شکل ۲: تصویر ماهواره‌ای لندست ۸



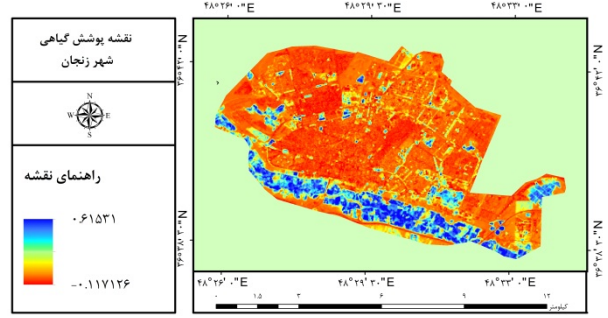
شکل ۵: نقشه جهت شیب محدوده شهر زنجان



شکل ۴: نقشه ارتفاع محدوده شهر زنجان



شکل ۷: نقشه کاربری اراضی محدوده شهر زنجان
سطح زمین اقدام شد و با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی، ارتفاع، شیب و جهت استخراج و با کاربری



شکل ۶: نقشه شاخص پوشش گیاهی محدوده شهر زنجان
در این پژوهش با استفاده از تصویر ماهواره‌ای لندست ۸ به تولید NDVI (نقشه شماره ۶) و حرارت

با استفاده از نسبت تفاوت بین بازتاب باندهای قرمز و مادون قرمز (Kong, 2015; 78., Birtwistle,)، شاخص مرکبی به نام شاخص پوشش گیاهی ایجاد نمود. این شاخص فرآیند محاسباتی ساده‌ای دارد و در مقایسه با دیگر شاخص‌ها دارای بهترین توان دینامیک است، به گونه‌ای که بیشترین حساسیت را به تغییرات پوشش گیاهی داشته و در مقابل اثرات جوی و زمینه‌ی خاک، به جز در مواردی که پوشش گیاهی کم باشد، حساسیت کمتری دارد (Kogan, 1993, 197-198).

برای برآورد شاخص پوشش گیاهی از باندهای قرمز (۴) و مادون قرمز (۵) تصاویر لندست ۸ استفاده می‌شود. فرمول محاسبه شاخص پوشش گیاهی مطابق رابطه ۱ است:

رابطه (۱):

$$NDVI = \frac{Band5 - Band4}{Band5 + Band4}$$

حد بالایی و پایینی ارزش عددی شاخص NDVI بین ۱- تا ۱+ است. که پوشش گیاهی در محدوده‌ی ۰/۲ تا ۱ قرار می‌گیرد.

- برآورد کسری پوشش گیاهی (FVC) ^{۱۱}

پوشش گیاهی سبز جزء به جزء (FVC) یکی از پارامترهایی است که در بسیاری از برنامه‌های کاربردی محیط زیست و تغییرات آب و هوایی کاربرد دارد. یک رویکرد مشترک برای برآورد FVC شامل ترکیبی غیرخطی از دو عنصر طیفی در یک تصویر سنجش از راه دور شامل خاک لخت و

اراضی ایجاد شده شهرداری، در نهایت با روش رگرسیون چند متغیره با هم مقایسه شد تا عواملی که بیشترین تأثیر را در ایجاد جزایر حرارتی در منطقه مورد مطالعه دارند شناسایی شوند.

- روش تحقیق

- برآورد دما سطح زمین

برای انجام این پژوهش از تصاویر سنجنده‌ی OLI ماهواره لندست ۸، با شماره گذر ۱۶۷ و ردیف ۳۴ استفاده شد و در ادامه با استفاده از نرم‌افزار ENVI5.1 باندهای مورد نظر یکپارچه شدند و سپس انواع تصحیحات رادیومتریکی و تصحیح اتمسفری با روش FLAASH انجام شد. در ادامه به منظور اجرای عملیات برآورد دمای سطح زمین با استفاده از روش پنجره‌ی مجزا به ترتیب زیر و بصورت گام به گام، در ۶ مرحله انجام گرفت.

- برآورد شاخص پوشش گیاهی (NDVI)

با توجه به اینکه شاخص پوشش گیاهی نقش عمده‌ای در نقل و انتقال انرژی بین زمین و اتمسفر دارد و آثار متفاوتی بر روی عناصر اقلیمی از جمله دمای پیرامون خود می‌گذارد، در نتیجه می‌توان آن را بعنوان یکی از فاکتورهای تأثیر گذار در محاسبه دمای سطح زمین به حساب آورد. سنجش از راه دور ماهواره‌ای می‌تواند برآورد معقول از پارامترهای پوشش گیاهی مانند حضور، پوشش، و زیست توده در طیف گسترده‌ای از نوع پوشش زمین را فراهم کند (Sankey, 2013;37). به منظور آشکارسازی اطلاعات پوشش گیاهی و افزایش دقت آن‌ها، می‌توان

11 - Fraction of Vegetation Cover.

طول موج‌های مختلف ناحیه مادون قرمز حرارتی با یکدیگر تفاوت می‌کند. به همین دلیل پدیده‌های مختلف را با وجود دمای یکسان می‌توان با استفاده از این پارامتر تشخیص داد (ویسی و همکاران، ۱۳۹۵، ۳۲). که این قابلیت انتشار اجسام وابسته به طول موج است. یعنی هنگامی که قابلیت انتشار انرژی از اجسام واقعی در طول موج‌های مختلف اندازه‌گیری شود، مقادیر متفاوتی حاصل خواهد شد. قابلیت انتشار برخی از مواد طبیعی در محدوده طول موج ۸-۱۲ میکرومتر که در سنجش از دور کاربرد زیادی دارند دیده می‌شود. وند گریند و اوو در سال ۱۹۹۳ رابطه بین شار تابشی و شاخص پوشش گیاهی را به دست آوردند. مقدار قابلیت انتشار اجسام با استفاده از شاخص پوشش گیاهی از طریق رابطه ۳ محاسبه می‌شود.

رابطه (۳):

$$E = 0.004 FVC + 0.986$$

E = قابلیت انتشار اجسام

- برآورد قابلیت انتشار سطح زمین (Land Surface Emissivity)

معیار دیگری که برای محاسبه دمای سطح زمین لازم و ضروری است، برآورد قابلیت انتشار در سطح زمین است که این معیار بصورت جدا گانه در هر دو باند حرارتی ماهواره لندست ۸ محاسبه شد. مطابق رابطه ۴، LSE بصورت زیر محاسبه می‌شود:

رابطه (۴):

$$LSE = E^s (1 - FVC) + E^v * FVC$$

پوشش گیاهی سبز است. خواص طیفی از این دو عنصر معمولاً به صورت‌های مختلف برآورد می‌شود که شامل اندازه‌گیری‌های میدانی، برآورد از منابع داده‌های اضافی (به عنوان مثال، پایگاه داده خاک و یا نقشه‌های پوشش اراضی) و یا به طور مستقیم از تصاویر استخراج شده است (Johnson, 2012, 2620-2621). الگوریتم وابسته به یک تجزیه و تحلیل روش بهینه‌سازی مخلوط طیفی (SMA) (۱۲) براساس قضیه پوشش گیاهی، همراه با استفاده از استاندارد SMA، برای بهبود درک از تأثیرپذیری دو عنصر در اشتقاق از بخش پوشش گیاهی زیرپیکسل‌ها در مقیاس جهانی است (Yuan and Bauer, 2007, 381-382).

برآورد کسری پوشش گیاهی از طریق رابطه ۲ محاسبه شد:

رابطه (۲):

$$FVC = ((NDVI - NDVI^{Min}) / (NDVI^{Max} - NDVI^{Min}))$$

NDVI: ارزش پیکسل‌ها در شاخص

NDVImax: حداقل ارزش پیکسل‌ها در شاخص

NDVimin حداکثر ارزش پیکسل‌ها در شاخص:

- برآورد قابلیت انتشار (Emissivity)

مقدار قابلیت انتشار (Emissivity) بر روی مقدار دمای سطح به شدت تأثیرگذار است. قابلیت انتشار یک ماده واقعی در مقایسه با جسم سیاه، بسته به نوع ماده تشکیل دهنده پدیده‌ها مختلف، متفاوت و در

برآورد دمای روشنایی ماهواره (Brightness

(Temperature

داده‌های باند حرارتی را می‌توان با استفاده از ثابت حرارتی موجود در فایل متادیتا از طیف درخشندگی به دمای روشنایی تبدیل کرد که این امر مطابق رابطه ۹ و به شکل زیر محاسبه می‌شود:

رابطه (۹)

$$T = K^2 / \ln(K^1 / L^\lambda + 1) - 272.15$$

T=دمای روشنایی ماهواره بر حسب کلوین

K¹ - K² ثابت حرارتی برای هر دو باند حرارتی موجود در متادیتا

L^λ درخشندگی جو بالا

برآورد ستون بخار آب (CWV)

ستون بخار آب در بهبود دقت و بازیابی دمای سطح زمین نقش مهمی را ایفا می‌کند که با استفاده از رابطه ۱۰ قابل محاسبه است که در این رابطه C²...

C⁰ ضرایب ثابت به دست آمده از داده‌های شبیه‌سازی شده است.

رابطه (۱۰)

$$CWV = C^0 + C^1 * (T^j / T^i) + C^2 * (T^j / T^i)^2$$

T^j / Tⁱ میانگین دمای روشنایی

$$C^0 = -9.674$$

$$C^1 = 0.653$$

$$C^2 = 9.087$$

LSE = قابلیت انتشار سطح زمین

E^{s-v} = انتشار گیاه و خاک برای باندهای حرارتی

طبق جدول شماره ۱

FVC = نسبت پوشش گیاهی

جدول ۱: قابلیت انتشار برای خاک و گیاه

| Emissivity | B10 | B11 |
|----------------|-------|-------|
| E ^s | ۰/۹۷۱ | ۰/۹۷۷ |
| E ^v | ۰/۹۸۷ | ۰/۹۸۹ |

بعد از محاسبه کردن قابلیت انتشار سطح زمین برای هر یک از باندهای حرارتی، اختلاف و میانگین این دو باند نیز بر اساس رابطه ۵ محاسبه شد:

$$\text{Mean } E = (E^{10} - E^{11}) / 2$$

$$E = (E^{10} - E^{11}) \Delta$$

Mean E = قابلیت انتشار سطح زمین میانگین

E = Δ برای باندهای ۱۰ و ۱۱ قابلیت انتشار سطح

زمین اختلاف

اما کاربرد باندهای حرارتی بیشتر در این مراحل نمود پیدا می‌کند که ابتدا نیاز به انجام رادیانس باندهای حرارتی تصویر لندست ۸ است که برای این امر می‌توان از فرمول زیر استفاده کرد.

رابطه (۶):

$$= M^l * Q^{cal} + A^l L_\lambda$$

Q^{cal} باند ۱۰ و ۱۱

رابطه (۷):

$$M^l = \text{radiance_mult_band_10/11}$$

رابطه (۸):

$$A^l = \text{radiance_add_band_10/11}$$

Split-Window الگوریتم

سنسور استفاده می‌کند. سنجده‌های مورد استفاده

در این الگوریتم شامل موارد زیر است:

۱- سنجده چند طیفی Multi Spectral

۲- سنجده حرارتی TIRS

با توجه به در دسترس نبودن یک پایگاه داده برای اندازه‌گیری قابلیت انتشار سطح زمین با تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸، ضرایب C را از طریق شبیه‌سازی با اعداد مختلف از شرایط اتمسفر و سطح زمین مطابق جدول (۲) به دست آمد.

جدول ۲: ضرایب الگوریتم Split-Window

| ضرایب ثابت | C ₀ | C ₁ | C ₂ | C ₃ | C ₄ | C ₅ | C ₆ |
|------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| ارزشها | -۰/۳۶۸ | ۱/۳۷۸ | ۰/۱۸۳ | ۵۴/۳ | -۲/۲۳۸ | -۱۲۹/۲ | ۱۶/۴ |

– مدل رگرسیون چند متغیره (گام به گام)

مدل رگرسیون چند متغیره، بسط منطقی رگرسیون ساده است. در رگرسیون چند متغیره به جای اینکه متغیر وابسته تنها با یک متغیر مستقل تشریح شود، با دو یا سه یا چند متغیر سروکار دارد. در رگرسیون ساده، گرایش نقاط با استفاده از یک خط تخمین زده می‌شود ولی در رگرسیون چند متغیره چون پراکندگی نقاط بر روی یک حجم صورت می‌گیرد، برای تلخیص موقعیت‌های نقاط از یک سطح هموار استفاده می‌شود. در این صورت انتظار می‌رود بعضی از نقاط بالای سطح و برخی دیگر زیر آن قرار گیرند؛ ولی موقعیت سطح، موقعی بهترین حالت ممکن را خواهد داشت که مجموع مربع فواصل نقاط تا آن سطح، کمترین مقدار را داشته باشد (فرج‌زاده، ۱۳۸۶:

این الگوریتم از جمله روش‌های مهم در برآورد دمای سطح زمین به حساب می‌آید که نسبت به سایر روش‌ها از دقت بهتری برای محاسبه دمای سطح زمین برخوردار است. از ویژگی مهم این الگوریتم حذف اثرات جوی است. با توجه به اینکه این الگوریتم به اطلاعات دقیق در مورد پروفیل جوی در طول کسب ماهواره ای نیاز ندارد، بنابراین به طور گسترده در بازیابی قابلیت انتشار سطح زمین از چند

با به دست آمدن ضرایب بالا تمام مجهولات موجود در فرمول محاسبه دمای سطح زمین به دست آمد و با جایگزین کردن مقادیر دمای سطح زمین در محدوده مورد مطالعاتی به دست با استفاده از رابطه ۱۱ به دست می‌آید.

رابطه (۱۱)

$$LST = TB^{10} + C_1(TB^{10} - TB^{11}) + C_2(TB^{10} - TB^{11})^2 + C_0 + (C^3 + C^4 W)(1 - \epsilon) + (C^5 + C^6 W) \Delta \epsilon$$

$$TB^{10} - TB^{11} = \text{دمای روشنایی}$$

$$C^0 \dots C^6 = \text{ضرایب الگوریتم}$$

$$W = \text{ستون بخار آب}$$

$$\Delta \epsilon = \text{اختلاف قابلیت انتشار سطح زمین}$$

$$\epsilon = \text{میانگین قابلت انتشار سطح زمین و قابلیت انتشار}$$

- نتیجه گیری

همانطور که ذکر گردید، روش الگوریتم (SW)^{۱۳}

یکی از روش‌های مناسب برای تعیین دمای سطح ابطه‌ی (۱۲) زمین است و برای محاسبه آن از معیارها و روابط ریاضی مختلف استفاده می‌شود و با جایگذاری هر کدام از روابط و مقادیر در فرمول محاسبه دمای سطح زمین دمای سطح شهر زنجان به دست آمد. مقادیر محاسبه شده در تصویر مربوط به فصل تابستان بین کمینه ۲۸/۷۶ درجه و بیشینه ۵۴/۸۸ درجه سانتیگراد در نوسان بوده است. مناطق با پوشش گیاهی نظیر پارک‌ها، فضای سبز، باغات و پهله‌های آبی، کمترین مقادیر دما را بین ۲۸/۷۶ تا ۳۳/۵۸ سانتیگراد در نوسان بوده‌اند و بیشترین مقادیر دما نیز مربوط به نواحی عاری از پوشش گیاهی است که بین ۴۸/۰۶۴ تا ۵۴/۸۸ درجه سانتیگراد در نوسان بوده‌اند. همچنین مقادیر دمای محاسبه شده مربوط به تصویر فصل زمستان دمای بین ۰/۳ تا ۲۴/۸۵ درجه سانتیگراد نوسان را نشان می‌دهد. محاسبات دمای سطح زمین در فصل زمستان نشان داد که نواسانات کمینه دما به میزان ۰/۳ تا ۱۳/۸ درجه مربوط به اراضی ساخته شده‌ی شهری و نواسانات بیشینه دما معادل ۱۹/۹۴ تا ۲۴/۸۵ درجه سانتیگراد بوده است که مربوط به کاربری‌های باغی و فضاهای سبز است.

در این پژوهش لایه‌های ارتفاع، شیب، کاربری اراضی، جهت و شاخص پوشش گیاهی (NDVI) به عنوان متغیر مستقل و لایه دمای سطح زمین (LST)

۸۵ و ۸۶). روابط ۱۲ تا ۱۵، معادله‌ی رگرسیون چند

متغیره را به صورت زیر نشان می‌دهند:

$$bnxn+Y= a + b1x1 + b2x2 + \dots$$

Y=متغیر وابسته، X1=متغیر مستقل اول، X2=متغیر

مستقل دوم، Xn =متغیر مستقل m

در رابطه‌ی (۱۳)

a = عرض از مبدأ

رابطه‌ی (۱۳)

$$a = y - b1x1 - b2x2$$

رابطه‌ی (۱۴)

$$b_1 = \frac{\sum x_1^2 \sum x_2 y - \sum x_1 x_2 \sum x_2 y}{\sum x_1^2 \sum x_2^2 - (\sum x_1 x_2)^2}$$

رابطه‌ی (۱۵)

$$b_2 = \frac{\sum x_2^2 \sum x_1 y - \sum x_1 x_2 \sum x_1 y}{\sum x_1^2 \sum x_2^2 - (\sum x_1 x_2)^2}$$

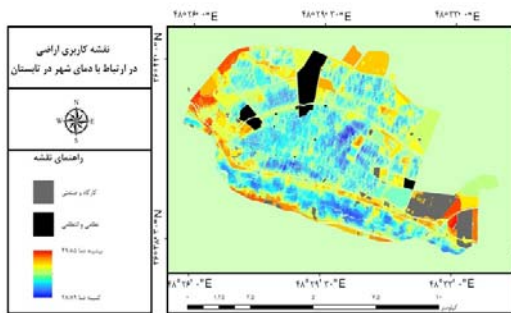
b1 = شیب خط رگرسیون برای متغیر مستقل اول و

b2 = شیب خط رگرسیون برای متغیر مستقل دوم.

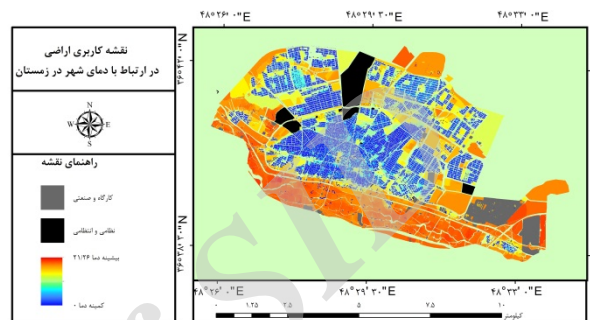
رگرسیون گام به گام مستلزم بکارگیری و آزمون سیستماتیک متغیرهای متفاوت رگرسیون و نگهداری یا حذف این متغیرها در معادله است. با نگهداری یا حذف برخی از متغیرها می‌توان، تأثیر آن‌ها را در بهبود قدرت معادله برای پیش‌بینی تغییرات حاصله در متغیر وابسته برآورد کرد (خورشیددوست و بیورانی، ۱۳۹۰: ۲۰۳). از آن‌جا که در این پژوهش بیش از یک متغیر مستقل مدنظر بوده است، بنابراین از تحلیل رگرسیون چند متغیره استفاده شده است.

به عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته شد. اطلاعات برای انجام مدل رگرسیون خطی چند متغیره وارد نرم افزار SagaGIS شد. با استفاده از روش گام به گام، موثرترین عامل در ایجاد جزایر برمبنای جدول ۳ جهت شیب برابر است با ۰/۸۷۱۹۴۲ و بعد آن

پوشش گیاهی برابر با ۰/۸۷۱۳۲۶، شیب برابر با ۰/۸۶۷۶۷۶، کاربری اراضی برابر است با ۰/۸۶۱۷۱۱ مشخص گردید.



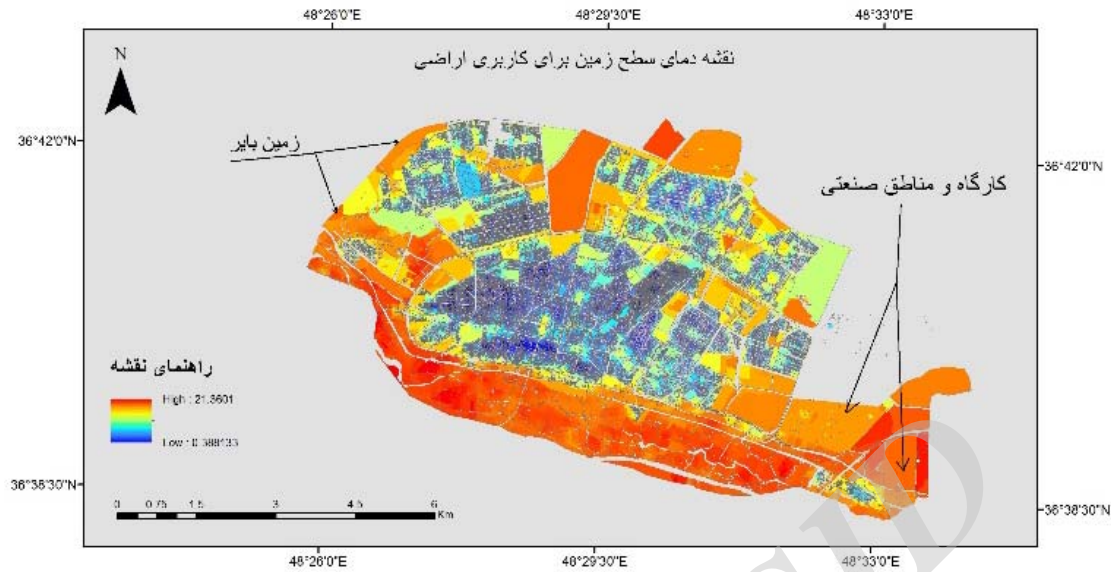
شکل ۱۰: نقشه دمای سطح زمین در تابستان



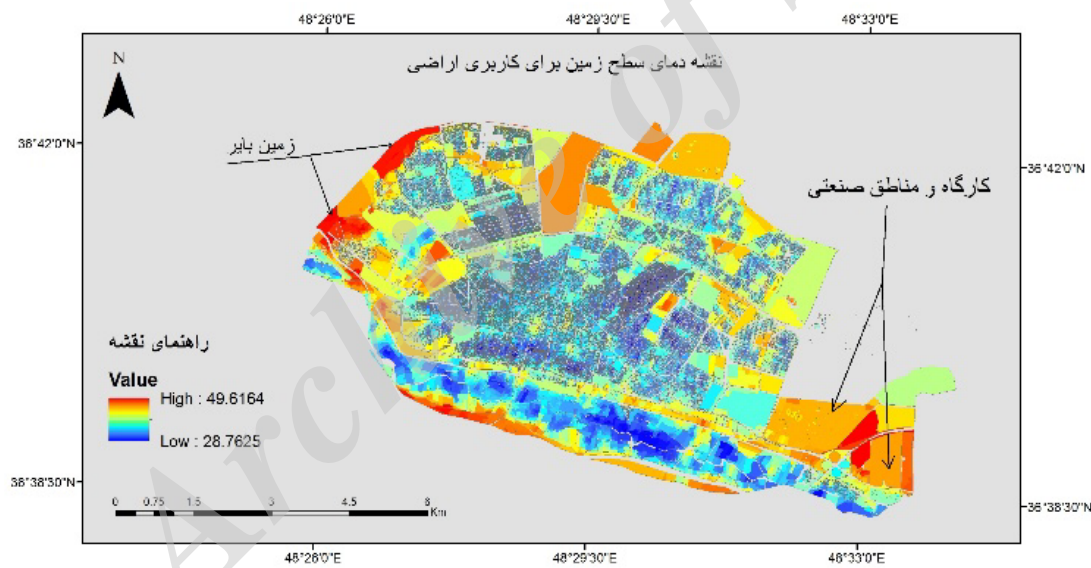
شکل ۹: نقشه دمای سطح زمین زمستان

جدول ۳: نتایج رگرسیون چند متغیره خطی

| متغیرهای آماری متغیر | R | R2 | R2 ADJ | STD_ERROR | SSR | SSE | MSR | MSE | DF | F | VAR_F |
|-------------------------|----------|----------|------------|-----------|----------|----------|-----------|-------------|-------|-----------|-----------|
| ارتفاع | ۰/۸۱۱۷/۰ | ۰/۶۳۸/۰ | ۱/۳۵۱۳۸/۰ | ۶۱۱۶/۸ | ۸۵۷۸۱۷۱ | ۱۰۵۷۸۱ | ۸۵۷۸۱۷۱ | ۳۰۱۰۵۷۳/۷ | ۸۸۰۳۸ | ۸/۱۰۵۸۱۱۸ | ۸/۱۰۵۸۱۱۸ |
| کاربری زمین | ۰/۸۸۸۷/۰ | ۰/۷۸۵۸/۰ | ۰/۵۷۸۵۸/۰ | ۰/۶۵۸۵۷/۸ | ۸۳۰۷۸۷۱ | ۸۰۵۸۸۰۶ | ۷۱۰۸۰۶۱۶ | ۰/۱۰۵۸۳۱۷/۷ | ۷۸۰۳۸ | ۳/۶۸۱۷۱۱۱ | ۷۸۰۸۰۶۰۸ |
| شیب | ۰/۶۰۸۷/۰ | ۰/۷۵۸۸/۰ | ۰/۶۰۰۷۵۸/۰ | ۸۳۰۳۸۷/۸ | ۳۸۸۰۵۷۱ | ۷۸۸۸۰۶۵ | ۷۸۸۱۱۶ | ۸۳۵۸۵/۸ | ۵۸۰۳۸ | ۱/۷۳۳۸۸ | ۸۳۷۷۸۰۱ |
| NDVI | ۰/۸۱۸۷/۰ | ۰/۸۶۵۸/۰ | ۰/۷۸۱۶۵۸/۰ | ۸۰۸۱۸۷/۸ | ۳۳۵۸۵۷۱ | ۸/۳۱۸۷۸۵ | ۶/۵۷۸۸۸۱۳ | ۵۸۱۱۶۸/۸ | ۳۸۰۳۸ | ۷/۰/۶۸۸۵ | ۵۸۱۱۶۸۸ |
| جهت شیب | ۰/۶۱۸۷/۰ | ۰/۶۸۸۰/۰ | ۰/۸۸۸۰۶۸/۰ | ۳۳۷۰۱۸/۸ | ۱۱۱۱۶۵۷۱ | ۱/۸۳۱۵۷۵ | ۸/۳۱۸۸۸۸ | ۱۵۸۰۰۶/۸ | ۸۸۰۳۸ | ۷/۰/۵۷۸۶۳ | ۷۸۸۸۱۱۸۸ |



شکل ۹: نقشه دمای سطح زمین برای کاربری اراضی با در نظر گرفتن جهت شیب برای زمستان



شکل ۱۰: نقشه دمای سطح زمین برای کاربری اراضیبا در نظر گرفتن جهت شیب برای تابستان

هریک از کاربری‌ها وجود دارد، بطوریکه، در مناطق نظامی و صنعتی شهر، به دلیل وجود کاربری‌ها و عواملی مانند سطوح غیر قابل نفوذ مانند آسفالت، بتن، پوشش گیاهی کم، گرمای ناشی از سوخت‌های فسیلی و افزایش آلودگی در این نواحی باعث ایجاد جزایر حرارتی شده است. از یک طرف عامل جهت شیب

– بحث و ارائه پیشنهادها

این پژوهش با هدف برآورد دمای سطح زمین شهر زنجان با استفاده از الگوریتم پنجره مجزا انجام گرفته است. بر مبنای داده‌های به دست آمده از دمای هر یک از کاربری‌های شهری و براساس تحلیل‌های آماری، مشخص گردید که تفاوت‌های معناداری بین دمای

- احداث باغات و پارک‌های جنگلی در اطراف حریم‌های شهری؛
- جابه‌جایی مراکز صنعتی و سایر مناطقی که ایجاد جزایر حرارتی میکنند به خارج از محدوده‌ی شهری؛
- مناطق جدید شهری و شهرک‌ها به گونه‌ای احداث شوند که در مسیر طبیعی جریان باد اختلال ایجاد نکنند؛
- ترویج و احداث بام سبز با هدف جذب حداکثری انرژی تابش خورشیدی؛
- استفاده از خودروهای الکتریکی و همچنین برقی نمودن دستگاه‌های تولیدی صنعتی کارخانجات.

منابع

- تاوان‌اند، جان، ۱۳۹۰. آمار کاربردی برای پژوهشگران محیط زیست و زیست‌شناسی. (ترجمه: علی محمد خورشید دوست و حسین بیورانی)، تبریز، انتشارات دانشگاه تبریز، صص ۳۶۲.
- جویباری مقدم، یاسر، آخوند زاده، مهدی، سراجیان، محمد رضا، ۱۳۹۴. ارائه یک الگوریتم پنجره مجزا نوین به منظور تخمین دمای سطح زمین از داده‌های ماهواره لندست-۸. نشریه علمی-پژوهشی علوم و فنون نقشه برداری، دوره پنجم، شماره ۱، ۲۰۱۵-۲۲۶.
- رضایی مقدم، محمد حسن، ولیزاده کامران، خلیل، موسوی کجاباد، ندا، ۱۳۹۴. بررسی روش پنجره تکی در برآورد دمای سطح زمین با استفاده از سنجش از دور حرارتی. اولین کنگره بین‌المللی زمین، فضا و انرژی پاک.

که شدیداً با میزان دریافت تابش خورشیدی متناسب است به وضوح تأثیر خود را در تشکیل جزیره حرارتی شهر نشان می‌دهد بگونه‌ای که بنای شهر بر روی شیب‌های جنوبی و رو به تابش مستقیم و بلند مدت خورشید نهاده شده است که خود عامل مهمی در بالا رفتن دمای سطح زمین شهر زنجان در دو فصل تابستان و زمستان دارد. از طرف دیگر تراکم و وجود پوشش گیاهی تأثیر کاملاً متفاوتی بر دمای سطحی دارند چنان‌که، محدوده‌های کم تراکم دمای بسیار بالا در تابستان و برعکس دمای بسیار پایین را در زمستان دارا بودند، اما مناطق با کاربری باغی و جنگلی حاشیه جنوبی شهر زنجان در فصل زمستان دمای بالاتری را به خود اختصاص می‌دهد در حالی که در فصل تابستان با توجه به نتایج به دست آمده یکی از مناطق خنک محسوب می‌شوند. مناطق بایر حاشیه شهر به دلیل عدم وجود پوشش گیاهی، ظرفیت بالای جذب گرما توسط خاک لخت و ظرفیت هدایتی پایین خاک دمای سطحی زمین در هر دو فصل، آستانه‌های دمایی بالایی را نشان می‌دهند. بطور عمده بالا بودن دمای سطح زمین شهر زنجان ناشی از دریافت شدید تابش خورشیدی از طریق قرارگیری در جهت شیب جنوبی بوده و تشکیل جزایر حرارتی ناشی از اراضی بایر، سطوح آسفالته و بتنی صنعتی، نظامی و همچنین کمبود فضاها‌ی سبز و پوشش گیاهی است.

به طور اجمالی برای کاهش و افزایش آستانه‌های دمای سطح زمین به ترتیب برای فصول تابستان و زمستان پیشنهادهای به شرح زیر ارائه می‌گردد:

- گسترش فضاها‌ی سبز در محیط شهری و صنعتی و بالا بردن تراکم فضاها‌ی سبز فعلی؛

ای و نظریه فرکتال. مجله جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره اول، صص ۳۵-۴۹.

ویسی، شادمان، ناصری، عبدعلی، حمزه، سعید، مرادی، پوریا، ۱۳۹۵. برآورد دمای مزارع نیشکر با استفاده از الگوریتم پنجره مجزا و تصاویر سنجنده OLI ماهواره لندست ۸. سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، سال هفتم، شماره اول، بهار ۱۳۹۵، ۴۰-۲۷.

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(01), 35.

Alavipanah, S. K., Darrehbadami, S. H., & Kazemzadeh, A. Spatial-Temporal Analysis of Urban Heat-Island of Mashhad City due to Land Use/Cover Change and Expansion.

Birtwistle, A. N., Laituri, M., Bledsoe, B., & Friedman, J. M. (2016). Using NDVI to measure precipitation in semi-arid landscapes. *Journal of Arid Environments*, 131, 15-24.

Bretz, S., Akbari, H., & Rosenfeld, A. (1998). Practical issues for using solar-reflective materials to mitigate urban heat islands. *Atmospheric environment*, 32(1), 95-101.

Cao, L., Li, P., Zhang, L., & Chen, T. (2008). Remote sensing image-based analysis of the relationship between urban heat island and vegetation fraction. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 37, 1379-1384.

Chen, X. L., Zhao, H. M., Li, P. X., & Yin, Z. Y. (2006). Remote sensing image-based analysis of the relationship between urban heat island and land use/cover changes. *Remote sensing of environment*, 104(2), 133-146.

Feizizadeh, B., & Blaschke, T. (2013). Examining urban heat island relations to land use and air pollution: multiple endmember spectral mixture analysis for thermal remote sensing. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 6(3), 1749-1756.

رنگزن، کاظم، فیروزی، محمدعلی، تقی زاده، ایوب، مهدی زاده، رامین، ۱۳۹۰. بررسی و تحلیل نقش کاربری اراضی در شکل گیری جزایر حرارتی با استفاده از RS و GIS "نمونه موردی شهر اهواز". اولین سمینار کاربرد GIS در برنامه ریزی اقتصادی، اجتماعی و شهری.

صادقی نیا، علیرضا، علیجانی، بهلول، ضیائیان، پرویز، ۱۳۹۱. تحلیل فضایی-زمانی جزیره حرارتی کلان شهر تهران با استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی. جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره ۴، صص ۱-۱۷.

عقیلی نسب، سیده زهرا، محمدزاد، مرجان، سلمان ماهینی، عبدالرسول، زارعی، حسین، ۱۳۹۳. تحلیل جزایر حرارتی شهری با استفاده از سنجش از دور و رابطه آن با توسعه دوست دار محیط زیست. محیط زیست و توسعه، سال ۴، شماره ۸، صص ۷۹-۸۸.

فرج زاده، منوچهر (۱۳۸۶)، تکنیک های اقلیم شناسی، انتشارات سمت.

متکان، علی اکبر، نوحه گر، احمد، میرباقری، بابک، ترک چین، ناهید، ۱۳۹۳. تحلیل نقش کاربری اراضی در شکل گیری جزایر حرارتی با استفاده از داده های چند زمانه (مطالعه موردی: شهر بندرعباس)، سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، سال ۵، شماره ۴، صص ۱-۱۴.

موسوی بایگی، محمد، اشرف، بتول، فرید حسینی، علیرضا، میان آبادی، آمنه، ۱۳۹۱. بررسی جزیره حرارتی شهر مشهد با استفاده از تصاویر ماهواره

- scale efforts to reduce urban heat island. *Building and Environment*, 49, 348-358.
- Mitraka, 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.
- 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.
- Sankey, J. B., Wallace, C. S., & Ravi, S. (2013). Phenology-based, remote sensing of post-burn disturbance windows in rangelands. *Ecological indicators*, 30, 35-44.
- Tsou, J., Zhuang, J., Li, Y., & Zhang, Y. (2017). Urban Heat Island Assessment Using the Landsat 8 Data: A Case Study in Shenzhen and Hong Kong. *Urban Science*, 1(1), 10.
- Yuan, F., & Bauer, M. E. (2007). Comparison of impervious surface area and normalized difference vegetation index as indicators of surface urban heat island effects in Landsat imagery. *Remote sensing of Environment*, 106(3), 375-386.
- Zhan, Q., Meng, F., & Xiao, Y. (2015). Exploring the relationships of between land surface temperature, ground coverage ratio and building volume density in an urbanized environment. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 40(7), 255.
- Zhang, Y., Chen, L., Wang, Y., Chen, L., Yao, F., Wu, P., .. & 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.
- Givoni, B. (1991). Impact of planted areas on urban environmental quality: a review. *Atmospheric Environment. Part B. Urban Atmosphere*, 25(3), 289-299.
- Hu, L., & Brunsell, N. A. (2015). A new perspective to assess the urban heat island through remotely sensed atmospheric profiles. *Remote Sensing of Environment*, 158, 393-406.
- Johnson, B., Tateishi, R., & Kobayashi, T. (2012). Remote sensing of fractional green vegetation cover using spatially-interpolated endmembers. *Remote Sensing*, 4(9), 2619-2634.
- Kamran, K. V., Pirnazar, M., & Bansouleh, V. F. (2015, June). Land surface temperature retrieval from Landsat 8 TIRS: comparison between split window algorithm and SEBAL method. In *Third International Conference on Remote Sensing and Geoinformation of the Environment* (pp. 953503-953503). International Society for Optics and Photonics.
- Khandelwal, S., Goyal, R., Kaul, N., & Mathew, A. (2017). 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*.
- Kogan, F. (1993, August). United States droughts of late 1980's as seen by NOAA polar orbiting satellites. In *Geoscience and Remote Sensing Symposium, 1993. IGARSS'93. Better Understanding of Earth Environment., International* (pp. 197-199). IEEE.
- Kong, T. M., Marsh, S. E., van Rooyen, A. F., Kellner, K., & Orr, B. J. (2015). Assessing rangeland condition in the Kalahari Duneveld through local ecological knowledge of livestock farmers and remotely sensed data. *Journal of Arid Environments*, 113, 77-86.
- Kou, X., Jiang, L., Bo, Y., Yan, S., & Chai, L. (2016). Estimation of Land Surface Temperature through Blending MODIS and AMSR-E Data with the Bayesian Maximum Entropy Method. *Remote Sensing*, 8(2), 105.
- 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.
- Mackey, C. W., Lee, X., & Smith, R. B. (2012). Remotely sensing the cooling effects of city