

## آشکار سازی ارتباط تغییرات مکانی - زمانی جزایر سرد و حرارتی با گرادیان تغییرات کاربری اراضی/پوشش اراضی در دشت یزد - اردکان

ابوالقاسم فیروزی؛ کارشناس ارشد علوم و مهندسی محیط زیست، گروه علوم و مهندسی محیط زیست، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، اردکان، ایران.

اکرم بمانی؛<sup>۱</sup> استادیار محیط زیست، گروه علوم و مهندسی محیط زیست، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، اردکان، ایران.

ملیحه عرفانی؛ استادیار محیط زیست، گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه زابل، زابل، ایران.

دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۱۲/۰۲ پذیرش نهایی: ۱۴۰۲/۰۲/۳۰

### چکیده

تغییرات کاربری اراضی با تغییر ویژگی‌های پوشش سطحی مانند شکل مناطق ساخت و ساز شده، میزان جذب گرما، مصالح ساختمانی، آلودگی سطحی و میزان پوشش گیاهی منجر به تغییرات دمای سطح زمین می‌شود. الگوی تغییرات دمای زمین در کاربری ساخت و ساز شده در مناطق گرم و خشک بر خلاف مناطق مرطوب باعث کاهش دمای سطح زمین و به عبارتی پدیده جزایر سطحی سرد شهری می‌شود. با توجه به توسعه شتابان مناطق شهری و صنعتی در دشت اردکان - یزد در دهه‌های اخیر، این مطالعه با هدف بررسی تغییرات الگوی دمایی سطح زمین با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۷ و ۸ برای دو فصل زمستان و تابستان سال‌های ۲۰۰۲ و ۲۰۱۹ انجام شد. علاوه بر آن ارتباط کاربری اراضی/پوشش اراضی با دمای سطح زمین نیز بررسی شد. الگوریتم‌های مورد استفاده جهت به دست آوردن دمای سطح زمین برای تصاویر لندست ۷ روش تک پنجره و برای تصاویر لندست ۸ مدل دفتر علوم لندست بود. نتایج این مطالعه نشان داد که جزایر سرد در مناطق ساخت و ساز شده شهری در فصول زمستان و تابستان تشکیل شده‌اند و از سال ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۹ وسعت جزایر سرد در زمستان کاهش و در تابستان روندی افزایشی داشته و در همین مدت وسعت جزایر حرارتی در زمستان و تابستان کمتر شده است. بر اساس نتایج حاصل از این پژوهش می‌توان نتیجه‌گیری کرد که افزایش ۷/۶ درصدی مناطق ساخت و ساز شده در دوره ۱۷ ساله موجب افزایش جزایر سرد سطحی شده و با کاهش بیش از ۳۲ درصدی مناطق دارای پوشش گیاهی و باغات در دشت اردکان جزایر حرارتی در فصل تابستان گسترش بیشتری داشته است.

واژه‌های کلیدی: اقلیم شهری، کاربری اراضی، دمای سطح زمین، جزایر سرد سطحی شهری (SUCI)، جزایر گرم سطحی شهری (SUHI)

## مقدمه

طی دهه‌های اخیر نرخ رشد شهرنشینی در کلانشهرها تأثیرات مخرب زیادی بر محیط زیست شهری داشته که از جمله آن‌ها می‌توان به تغییر حرارت سطوح و اقلیم‌های محلی اشاره نمود. افزایش جمعیت شهری، رشد سریع صنعتی شدن و افزایش غلظت آلاینده‌ها در پایین‌ترین سطح اتمسفر، شدت جزیره‌های حرارتی شهر را تحت تأثیر قرار داده است. از طرفی آزاد شدن انرژی گرمایی، افزایش گازهای گلخانه‌ای (Rezaei Rad and Rafieian, ۲۰۱۶)، همچنین تغییر کاربری زمین از عوامل اصلی تغییر اقلیم محلی در شهرها است (رضایی‌راد و رفیعیان، ۱۳۹۳). دمای سطح زمین ( $LST^2$ ) متغیری کلیدی برای کنترل ارتباط بین شار حرارت تابشی، نهفته و محسوس است (Guillevic et al., ۲۰۱۲). تغییرات در دمای سطحی شهرها بر روی تقاضای انرژی، سلامت ساکنین شهرها، ذخایر آب، تاسیسات شهری، آسایش اجتماعی، کیفیت زندگی (یوسفی، ۱۳۹۷)، ساختار و بافت شهری (ابراهیم هروی و همکاران، ۱۳۹۵) اثرگذار است. از این رو تجزیه و تحلیل و درک پویایی  $LST$  و شناسایی ارتباط بین آن با تغییرات منشاء انسانی برای مدل‌سازی و پیش‌بینی تغییرات محیطی الزامی است (Kerr et al., ۲۰۰۹).

حرارت سطوح شهری از ویژگی‌های مختلف سطوح شهری مانند رنگ، زبری سطوح، میزان رطوبت، احتمال ترکیب‌های شیمیایی و غیره تأثیر می‌گیرد (Tran et al., ۲۰۰۹). علاوه بر آن تغییرات بین  $LST$  در یک شهر و محدوده اطراف آن در نتیجه تغییرات سطح، ظرفیت حرارتی و توپوگرافی قرار می‌گیرد (Rasul et al., ۲۰۱۷). از آنجایی که حرارت سطح، حرارت لایه‌های زیرین اتمسفر را تنظیم می‌کند، می‌توان آن را به عنوان شاخص آب و هوایی و یک عامل مهم در محیط زیست شهری در نظر گرفت (Kotroni et al., ۲۰۰۹).

در نواحی شهری با آب و هوای معتدل، همواره دمای پیرامون شهر کمتر از دمای شهر است که منجر به پدیده جزایر حرارتی شهری می‌شود (Lazarini et al., ۲۰۱۳). جزیره حرارتی شهری یک منطقه شهری است که به‌طور معنی‌داری گرم‌تر از مناطق روستایی مجاورش می‌باشد (Lie and Zhang, ۲۰۱۱). هنگامی که سطح زمین از انبوه رستنی‌ها و گیاهان سبز پوشیده شده و یا خاک آن مرطوب باشد، گرمای جذب شده با تبخیر آب گیاهان به سرعت جایگزین می‌گردد و گیاهان از طریق برگ‌ها، آب خود را از دست می‌دهند که این موضوع منجر به خنک شدن هوا می‌گردد. شهرها برخلاف مناطق غیر شهری، خاک و گیاه کمتری دارند، در نتیجه مقدار زیادی از انرژی ورودی خورشید، مستقیم موجب گرمای خیابان‌ها و ساختمان‌ها گردیده، این روند موجب افزایش سریع‌تر دمای هوای شهرها می‌شود. در حال حاضر یکی از مهم‌ترین مسائل در مناطق شهری، افزایش درجه حرارت سطح زمین به دلیل دگرگونی‌های به وجود آمده در سطوح طبیعی است که در اثر آن پوشش گیاهی طبیعی حذف شده و با سطوح غیرقابل نفوذ، از جمله سنگ، آسفالت، سیمان و غیره جایگزین شده است (ملک‌پور و طالعی، ۱۳۹۰). تقریباً مراکز شهرها در جهان بین ۱ تا ۴ درجه سانتی‌گراد گرم‌تر از مناطق اطراف آن است (Heidt and Neef, ۲۰۰۵) و با وجود این جزایر حرارتی، تعداد روزهای گرم سال نیز افزایش می‌یابد (Manlun, ۲۰۰۳). جزایر حرارتی

شهری نه تنها منجر به کاهش کیفیت هوا شده، بلکه اثرات سوء بر میزان بارندگی و افزایش آلودگی هوا دارند، همچنین تهدیدی برای سلامت ساکنین و کیفیت حیات آن‌ها محسوب می‌شوند (Zhang et al., ۲۰۱۲).

قوی بین LST و سطوح غیرقابل نفوذ وجود دارد درحالیکه رابطه بین LST و NDVI بسیار ضعیف و منفی است. احمدی و داداشی‌رودباری (۱۳۹۶) طی انجام تحقیقی در کلانشهر اصفهان به شناسایی جزایر حرارتی شهری مبتنی بر رویکرد محیط زیستی پرداختند. آنها با به‌کارگیری تصاویر ماهواره‌ای لندست و محاسبه‌ی NDVI، مناطق حساس شهری را شناسایی کردند. نتایج تحقیق ایشان نشان داد به دلیل وجود UCI بین مرکز شهر و حومه، شیب حرارتی تندی وجود دارد. پژوهش کریمی و همکاران (۱۳۹۸) تأثیر جزایر حرارتی اراضی ساخته‌شده و غیرساخته‌شده بر یکدیگر را با استفاده از داده‌های سنجش از دور حرارتی و انعکاسی بررسی کرده و به این نتیجه رسیدند که دمای سطح اراضی فضای سبز و زراعی با کاهش فاصله از اراضی ساخته‌شده افزایش می‌یابد. اژدری و تقوایی (۱۳۹۷) در مطالعه پدیده UCI در شیراز به این نتیجه رسیدند که دمای نواحی ساخته شده به مراتب پایین‌تر از سایر مناطق است. همچنین این پدیده خود را در تابستان بیشتر از زمستان نشان می‌دهد. همچنین در این مطالعه پوشش گیاهی در کاهش دمای سطحی اثر مشخصی نداشت. در منطقه مورد مطالعه آنها هرچه پیچیدگی شکل نواحی ساخته شده (منظور خارج شدن مناطق مسکونی از اشکال هندسی منظم و همسایگی بیشتر با دیگر پوشش‌ها مانند اراضی خاکی) کمتر باشد و همچنین تراکم ساختمانی و ریزدانگی نواحی شهر افزایش یابد، پدیده UCI تشدید می‌شود، همچنین هر چه تراکم ساختمانی بیشتر و زمین‌های تفکیکی برای ساختمان‌سازی کوچک‌تر شود شدت جزایر سطحی سرد شهری تشدید می‌شود. نتایج مطالعه کافی سه قلعه (۱۳۹۹) نشان داد که دما در طی نوزده سال گذشته در شهر بیرجند روندی کاهشی داشته و بالاترین دما مربوط زمین‌های بایر، مناطق صنعتی و تجاری بوده است. همچنین پایین‌ترین دما مربوط به مناطق دارای فضای سبز و همین‌طور مناطق مسکونی بوده است. هدف از مطالعه Ramesh و Goyenda (۲۰۱۹)، تجزیه و تحلیل الگوهای مکانی و زمانی کاربری اراضی/پوشش اراضی و LST و روابط متقابل آن در منطقه شهری بنگلور هند، در بازه زمانی ۱۹۸۹ تا ۲۰۱۷ با استفاده از داده‌های سنجش از دور بود. آنها نشان دادند که با گسترش شهر، نقاط سرد افزایش یافته است و این نقاط عمدتاً در مناطق شهری جمع شده است. Dewantoro و همکاران (۲۰۲۰) نشان دادند که پدیده آب و هوای خرد شهری به شکل SUHI در وسط شهر سالاتیگا اندونزی به دلیل سطح بالای تراکم ساختمانی در منطقه رخ داده است، در حالی که SUCI نسبی در حاشیه شهر که همراه با پوشش گیاهی رخ می‌دهد. مطالعه مسعودی و منتظری (۲۰۲۱) نشان داد که به دلیل عبور رودخانه زاینده رود از وسط شهر اصفهان و گسترش پوشش گیاهی در محیط شهری، کلانشهر اصفهان ۳/۵ درجه سردتر از زمین‌های بایر حومه در طول روز است. همچنین شاخص شدت UCI در چند سال گذشته تشدید شده و به کمتر از ۴/۵- درجه سانتی‌گراد رسیده است. مطالعات آنها نشان داد که شاخص شدت UCI در ماه‌های سرد ضعیف شده و در ماه‌های گرم سال تشدید می‌شود. تغییرات فصلی در شدت UCI در کلانشهر اصفهان می‌تواند مربوط به تنوع بالای پوشش گیاهی در طول سال باشد.

از آنجائیکه مطالعه پدیده UCI کمتر مورد مطالعه قرار گرفته است (Rasul et al., ۲۰۱۷) و همین‌طور مطالعات انجام شده در خصوص بررسی اثر تغییر کاربری اراضی/پوشش اراضی کمتر در نواحی گرم و خشک بر روی تغییرات LST مورد بررسی قرار گرفته است، در این پژوهش، دشت اردکان - یزد مورد توجه قرار گرفت. این منطقه با افزایش روند شهری‌شدن

و گسترش صنایع در دهه‌های اخیر مواجه شده است. نوآوری تحقیق در وسعت بالای منطقه مورد بررسی بوده که شامل هشت منطقه شهری است تا الگوی تغییرات دمایی را در سطح وسیع تری بررسی نماید.

### داده‌ها و روش کار

#### الف) قلمرو جغرافیایی مورد مطالعه

دشت یزد-اردکان یکی از وسیع‌ترین دشت‌های استان یزد است که با مساحت ۳۲۹۱۰۸ هکتار در طول جغرافیایی ۵۳ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۵۴ درجه و ۵۰ دقیقه شرقی و در عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۳۲ درجه و ۱۵ دقیقه شمالی قرار دارد. (شکل ۱). از جهت غرب و جنوب غرب به کوه‌های شیرکوه و از سمت شرق به کوه‌های خرائق منتهی می‌شود. این منطقه به علت واقع بودن در زیر مرکز فشار زیاد جنب استوایی دارای بارندگی کم و نوسانات درجه حرارت زیاد است. اولین روز یخبندان در دشت مورد مطالعه از اواسط آبان تا دهه اول آذر شروع و تا اواسط اسفند الی اوایل فروردین ماه ادامه می‌یابد. میانگین ساعات آفتابی ماهانه از ۱۲۴ ساعت در دی تا ۳۶۸ ساعت در تیرماه متغیر است. جهت وزش باد غالب شمال غربی است (برزگری و ملکی نژاد، ۱۳۹۵).

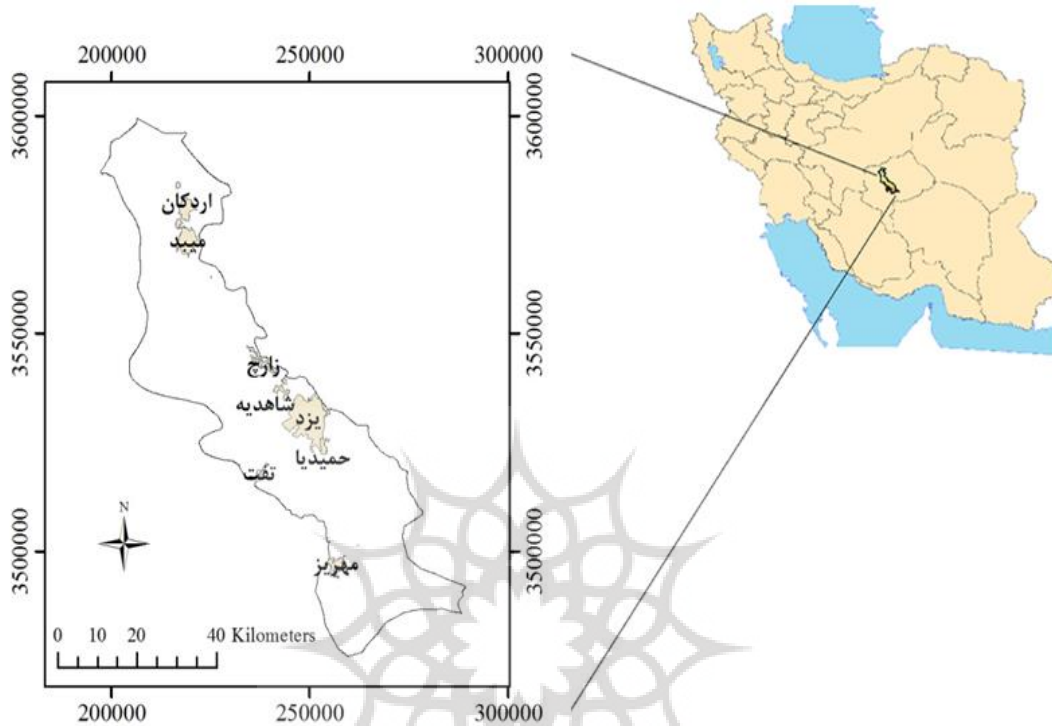
دشت یزد- اردکان به عنوان بزرگ‌ترین تولید کننده محصولات کشاورزی استان بیش از ۷۰٪ جمعیت استان یزد را تشکیل داده است. این دشت شامل شهرستان‌های اردکان (غیر از چاه‌افضل و رباطات)، میبد، یزد، صدوق، مهریز (غیر از ارنان و بهادران) و تفت (غیر از پشت‌کوه) است (فتاحی، ۱۳۹۰). عمده این منطقه دشتی است و در دامنه ارتفاعی ۹۸۱ تا ۲۸۲۰ قرار دارد. مناطق شمالی دارای ارتفاع کمتر و مناطق جنوبی بیشترین ارتفاع را دارند و تنها بخش کوچکی از جنوب غرب منطقه کوهستانی است. بلندترین نقطه حوزه، قله شیرکوه با ارتفاع ۴۰۷۵ متر و پست‌ترین محل، کویر سیاه کوه با ارتفاع ۹۷۰ متر است (زارع ارنانی، ۱۳۸۱).

این منطقه جزء کمربند خشک فلات مرکزی ایران با نوسان رطوبتی پایین بین ۳۰ تا ۵۰ درصد و تبخیر شدید بین ۲۲۰ تا ۳۲۰۰ میلی‌متر همراه با بارش‌های اندک نامنظم است و اقلیم آن از نوع اقلیم بیابانی و نیمه بیابانی است (رفیع شریف‌آباد و همکاران، ۱۳۹۵).

#### ب) روش تحقیق

بررسی تغییرات دمای سطح زمین در منطقه مورد مطالعه در فصل‌های تابستان و زمستان سال‌های ۲۰۰۲ و ۲۰۱۹ میلادی انجام شد. برای سال ۲۰۰۲ از تصاویر ماهواره لندست ۷ و برای سال ۲۰۱۹ از تصاویر ماهواره لندست ۸ استفاده شد (جدول ۱). شماره ردیف و مسیر تصاویر به کار رفته به ترتیب ۳۸ و ۱۶۲ است. قابل ذکر است تا جای ممکن سعی شد تصاویر هر فصل از سال از لحاظ زمانی به هم نزدیک باشند و پوشش ابر در کمترین مقدار خود باشد. تصحیح هندسی تصاویر ماهواره‌ای با استفاده از نقشه توپوگرافی ۱/۲۵۰۰۰ سازمان نقشه برداری و تصحیح اتمسفری با استفاده از روش فلش<sup>۳</sup>

Qin et al.,) در نرم افزار ENVI انجام شد. برای استخراج دمای سطح زمین تصاویر لندست ۷ روش تک پنجره<sup>۴</sup> (Qin et al., ۲۰۰۱) و برای تصاویر لندست ۸ مدل دفتر علوم لندست<sup>۵</sup> (۲۰۰۲) استفاده شد.



شکل ۱. نقشه موقعیت جغرافیایی دشت یزد-اردکان و مناطق شهری واقع در آن  
جدول ۱. مشخصات تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده (منبع: فایل مرجع تصاویر)

سنجنده	تاریخ دریافت تصاویر		ساعت تصویربرداری به وقت گرینویچ	زاویه آزیموت خورشیدی (درجه)	زاویه ارتفاع خورشیدی (درجه)	زاویه میل (درجه)
	شمسی	میلادی				
ETM <sup>۶</sup>	۲۰۰۲/۰۳/۰۴	۱۳۸۰/۱۲/۱۳	۰۶:۴۵:۵۲	۱۴۰/۵۳	۴۳/۵۸	۹۹/۱۵
ETM	۲۰۰۲/۰۷/۱۰	۱۳۸۱/۰۴/۱۹	۰۶:۴۵:۲۰	۱۰۵/۷۸	۶۴/۹۳	۱۰۱/۶۶
OLI-TIRS <sup>۷</sup>	۲۰۱۹/۰۲/۰۷	۱۳۹۷/۱۱/۱۱	۰۶:۵۶:۴۲	۱۴۸/۸۵	۳۶/۹۶	۹۸/۶۲
OLI-TIRS	۲۰۱۹/۰۷/۰۱	۱۳۹۸/۰۴/۱۰	۰۶:۵۶:۵۰	۱۰۷/۴۹	۶۸/۰۷	۱۰۱/۶۷

۴. Mono-window algorithm

۵. The Landsat project science office model

۶. Enhanced Thematic Mapper Plus

۷. The Operational Land Imager (OLI) and Thermal Infrared Sensor (TIRS)

## - روش تک پنجره

در روش تک پنجره جهت استخراج LST از معادله زیر استفاده می شود (Deng and Wu, ۲۰۱۳):

معادله (۱)

در این معادله  $a = -۶۷/۳۵۵۳۵۱$ ،  $b = ۰/۴۵۸۶۰۶$ ،  $C = \epsilon\tau$  و  $D = (1-\tau) [1 + (1-\epsilon)\tau]$ ،  $\epsilon$  گسیل مندی سطح زمین،  $T_{\text{sensor}}$  درجه حرارت روشنایی در سطح سنجنده،  $\tau$  قابلیت عبور جو<sup>۸</sup>،  $T_a$  میانگین موثر دمای هوا<sup>۹</sup> و  $T_s$  درجه حرارت سطح زمین (درجه کلون) می باشد. روش تک پنجره تنها نیاز به دو پارامتر قابلیت عبور دهندگی جو و میانگین موثر دمای هوا دارد. برای میانگین موثر دمای هوا ( $T_a$ ) روابط متعددی بیان شده، از بین آنها دو معادله که برای تابستان و زمستان عرض‌های میانی (منطقه مورد مطالعه در عرض‌های میانی قرار دارد) ارائه شده در زیر نمایش داده می شود:

$$T_a = ۱۶,۰۱۱ + ۰,۹۲۶۲۱ T_o \quad \text{معادله (۲) تابستان}$$

$$T_a = ۱۹,۲۷۰۴ + ۰,۹۱۱۱۸ T_o \quad \text{معادله (۳) زمستان}$$

در این رابطه  $T_o$  درجه حرارت هوای نزدیک سطح زمین است.

قابلیت عبور جو نیز به وسیله محتوای بخار آب هوا ( $W$ ) محاسبه می شود که از طریق معادله زیر به دست می آید (Liu and Zhang, ۲۰۱۱):

$$W = ۰.۰۹۸۱ \times \{1.0 \times ۰.۶۱۰۸ \times \exp \left[ \frac{۱۷.۲۷ \times (T_o - ۲۷۳.۱۵)}{۲۳۷.۲ + (T_o - ۲۷۳.۱۵)} \right] \times RH\} + ۰.۱۶۹۷ \quad \text{معادله (۴)}$$

در این رابطه  $RH$  رطوبت نسبی است. پس از محاسبه محتوای بخار آب هوا، قابلیت عبور اتمسفری از روی روابط جدول ۲ محاسبه می شود.

جدول ۲. روابط تخمین قابلیت عبور اتمسفری

درجه حرارت هوا	بخار آب (گرم بر سانتیمتر مربع)	معادله تخمین قابلیت عبور اتمسفری
بالا	۰/۴ - ۱/۶	$۰/۹۷۴۲۹ - ۰/۰۸۰۰۷W$
	۱/۶ - ۳	$۱/۰۳۱۴۱۲ - ۰/۱۱۵۳۶W$
پایین	۰/۴ - ۱/۶	$۰/۹۸۲۰۰۷ - ۰/۰۹۶۱۱W$
	۱/۶ - ۳	$۱/۰۵۳۷۱ - ۰/۱۴۱۴۲W$

۸. Atmospheric transmittance

۹. Effective mean atmospheric temperature

به دلیل اینکه در منطقه مورد مطالعه بیش از یک ایستگاه هواشناسی وجود دارد برای دست آوردن W و To، مقادیر میانگین نقشه درونیابی دمای هوا و رطوبت نسبی داده‌های ایستگاه‌های زمینی را در روابط بالا وارد شد. تمام اجسامی که دمای آنها بالای صفر مطلق (°K) باشد از خود حرارت گسیل می‌کنند. بر اساس این اصل، علائم رسیده به سنجنده حرارتی ETM+ می‌تواند با استفاده از معادله زیر به تابش در سطح سنجنده (رادینانس طیفی) تبدیل شود.

$$L\lambda = \text{gain} \times \text{DN} + \text{offset} \quad (5)$$

در این معادله  $L\lambda$  رادینانس طیفی حسگر ( $W/M^2 \text{srad } \mu\text{m}$ )، gain عامل تغییر مقاس خاص باند حرارتی سنجنده که از متادیتای تصاویر ماهواره‌ای به دست می‌آید، DN شماره دیجیتالی هر سلول و offset عامل تغییر مقیاس اضافه شده به باند حرارتی سنجنده از متادیتای تصاویر ماهواره‌ای است. مرحله بعد تبدیل رادینانس طیفی به درجه حرارت روشنایی در سطح سنجنده<sup>۱۰</sup> است:

$$T_{\text{sensor}} = \frac{K2}{\ln\left(\frac{K1}{L\lambda} + 1\right)} \quad (6)$$

که در آن  $T_{\text{sensor}}$  دمای تابشی،  $L\lambda$  رادینانس طیفی باند حرارتی،  $K^1$  و  $K^2$  ثابت‌های کالیبراسیون برای لندست هستند که در متادیتای تصاویر ماهواره‌ای ذکر شده‌اند.

لازم به ذکر است که انرژی حرارتی شی از راه دمای جنبشی (که به وسیله دماسنج اندازه‌گیری می‌شود) و دمای تابشی (که به وسیله رادیومتر اندازه‌گیری می‌شود) مشخص می‌شود. دمای تابشی همیشه کمتر از دمای واقعی (جنبشی) است. مهم‌ترین بخش در استخراج دمای سطح زمین تخمین گسیل‌مندی است. مقدار گسیل‌مندی برای تبدیل دمای روشنایی<sup>۱۱</sup> به دمای جنبشی سطح مورد نیاز است، چرا که دمای روشنایی، دمایی است که جسم سیاه به منظور تولید رادینانس معلوم در طول موج معلوم (۱۱/۵ میکرومتر) دارد. برای محاسبه گسیل‌مندی در حالت کلی دو روش وجود دارد که عبارت‌اند از: ۱) استخراج گسیل‌مندی با استفاده از طبقه‌بندی تصویر (۲) استخراج گسیل‌مندی با استفاده از NDVI. مقادیر بالای ۰/۲ در NDVI نشان دهنده پوشش گیاهی است در حالی که مقادیر کمتر از ۰/۲ نشان دهنده خاک، سنگ و اشیای انسان‌ساخت می‌باشد. آب اساساً دارای مقادیر NDVI منفی می‌باشد. بعد از محاسبه NDVI گسیل‌مندی سطح زمین با استفاده روابط موجود در جدول ۳- به دست آمد (Zhang et al., ۲۰۰۶).

جدول ۳. روابط گسیل‌مندی و شاخص NDVI

NDVI	گسیل‌مندی سطح زمین (E)
$NDVI < -0.185$	۰.۹۹۵
$-0.185 \leq NDVI < 0.157$	۰.۹۷
$0.157 \leq NDVI < 0.227$	$1.0094 + 0.047 \ln(NDVI)$

۱۰. At-sensor brightness temperature

۱۱. Brightness temperature

NDVI $\geq 0,727$	۰.۹۹
-------------------	------

### - مدل دفتر علوم لندست

مراحل به دست آوردن LST در این مدل عبارتند از:

الف) محاسبه‌ی دمای سطح: در ابتدا ارزش پیکسلی تصاویر باندهای ۱۰ و ۱۱ که مربوط به طول موج مادون قرمز حرارتی (TIR) است، توسط معادله ۵ به رادیانس طیفی تبدیل شدند (USGS, ۲۰۱۳).

ب) تبدیل مقادیر رادیانس طیفی به دمای روشنایی: سپس مقادیر به دست آمده با بهره‌گیری از معادله ۷ به دمای روشنایی تبدیل گردیدند.

$$BT = \frac{K2}{\ln\left(\frac{K1}{L\lambda} + 1\right)} \quad \text{معادله (۷)}$$

در این معادله BT دمای روشنایی بر حسب کلون و  $K^1$  (۷۷۴/۸۹) و  $K^2$  (۱۳۲۱/۰۸) مقادیر ثابت کالیبراسیون هستند (USGS, ۲۰۱۳). مقدار گسیلمندی برای تبدیل دمای روشنایی به دمای جنبشی سطح ضروری است؛ زیرا دقت LST استخراج شده به این امر بستگی دارد. جهت محاسبه گسیلمندی بیشترین درجه حرارت هر پیکسل به دست می‌آید (Li et al., ۲۰۱۳) و سپس برای اصلاح گسیلمندی به کار گرفته می‌شود (Zhang et al., ۲۰۱۳). یکی از گزینه‌های عملیاتی و کاربردی برای بدست آوردن گسیلمندی بهره‌گیری از شاخص نسبت گیاهی (۱۲PV) است. این شاخص نیز با استفاده از حد کمینه و بیشینه شاخص NDVI طبق معادله ۸ بدست می‌آید (USGS, ۲۰۱۳).

$$PV = (NDVI - NDVImin / NDVImax - NDVImin)^2 \quad \text{معادله (۸)}$$

در ادامه طبق معادله ۹ مقدار گسیلمندی به دست آمد:

$$e = 0,004 \times PV + 0,986 \quad \text{معادله (۹)}$$

ج) تصحیح گسیلمندی دمای سطح زمین: تصحیح بر اساس رابطه ۱۰ انجام شد (Farina, ۲۰۱۲).

$$TS = \frac{BT}{\left(1 + \left(\frac{BT}{\rho}\right) \ln \varepsilon\right)} \quad \text{معادله (۱۰)}$$

در معادله (۱۰) TS دمای سطح زمین به کلون، BT دمای روشنایی،  $\lambda$  طول موج رادیانس ساطع شده ( $\mu$  ۱۱/۵) و  $\rho$  معادل است با (mk)  $1,438 \times 10^{-2} = h \times c / \sigma$  که در آن  $h$  ثابت پلانک با مقدار (j.sec)  $6,626 \times 10^{-34}$ ،  $c$  معادل سرعت نور یعنی (m/s)  $2,998 \times 10^8$ ،  $\sigma$  ثابت بولتزمن با مقدار (j/k)  $1,38 \times 10^{-23}$  و  $\varepsilon$  گسیلمندی است.



## - طبقه‌بندی لایه LST

پس از استخراج لایه‌های پیوسته LST برای تابستان و زمستان سال‌های ۲۰۰۲ و ۲۰۱۹، طبقه‌بندی آن‌ها به پنج طبقه بر اساس جدول ۴ به انجام رسید (Xu et al., ۲۰۱۱).

جدول ۴. طبقه‌بندی نقشه‌ی پیوسته LST به پنج کلاسه دمایی

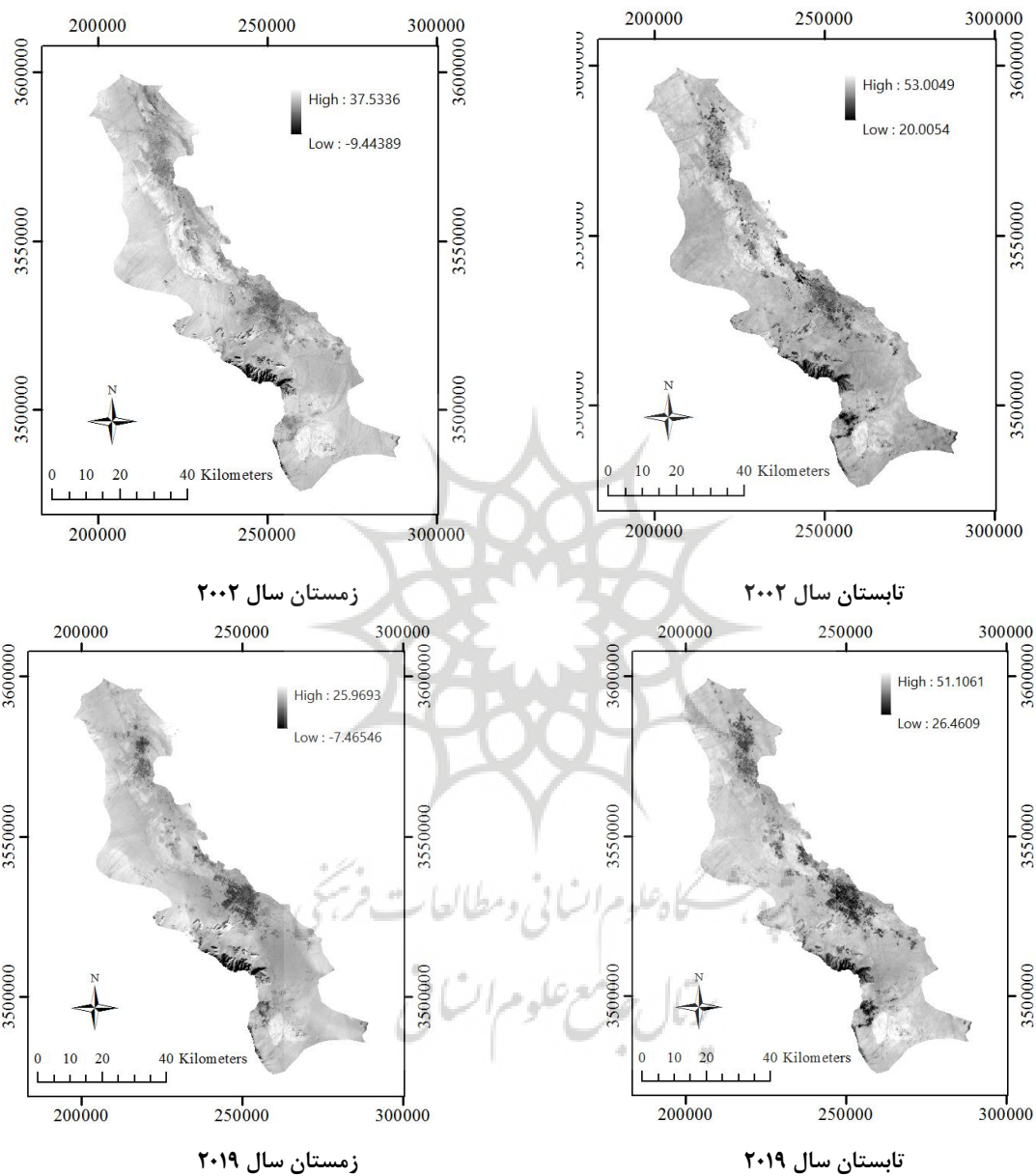
دامنه مربوط به هر کلاسه دمایی	کلاسه دما
$T \leq T_{\text{mean}} - \text{std}$	دمای بسیار پایین (طبقه ۱)
$T_{\text{mean}} - \text{std} < T < T_{\text{mean}} - 0,5 \text{ std}$	دمای پایین (طبقه ۲)
$T_{\text{mean}} - 0,5 \text{ std} < T \leq T_{\text{mean}} + 0,5 \text{ std}$	دمای متوسط (طبقه ۳)
$T_{\text{mean}} + 0,5 \text{ std} < T \leq T_{\text{mean}} + \text{std}$	دمای بالا (طبقه ۴)
$T > T_{\text{mean}} + \text{std}$	دمای بسیار بالا (طبقه ۵)

## - اثر کاربری اراضی بر تغییرات LST

به این منظور از لایه‌های کاربری اراضی / پوشش اراضی مربوط به سال‌های ۲۰۰۲ و ۲۰۱۹ (پوشش‌گران فروغ فرداد، ۱۳۹۹) (شکل ۲) استفاده شد و برای طبقات مرتع، اراضی کشاورزی، شن‌های روان، مناطق صنعتی، رخنمون سنگی و شهر، نمایه‌های آماری مرکزی و پراکندگی LST استخراج شد تا علاوه بر بررسی تغییرات دما در کاربری‌های مختلف امکان مقایسه در طول زمان نیز فراهم شود. تغییرات کاربری/پوشش اراضی در دوره ۱۷ ساله نشان دهنده تغییر وسعت اراضی شهری از ۲۲۰۶۰ به ۲۳۷۳۰ هکتار (افزایش ۶.۷ درصد)، مناطق صنعتی از ۴۶۱۷ به ۸۱۹۰ هکتار (افزایش ۷۷/۳۰ درصد)، شن‌های روان از ۱۴۰۳۱ به ۱۲۰۱۱ هکتار (کاهش ۱۴/۴ درصد)، اراضی کشاورزی از ۱۱۶۲ به ۷۹۴ هکتار (کاهش ۳۱/۷ درصد) و مراتع از ۲۷۸۰۲۶ به ۲۷۵۱۷۳ هکتار (کاهش حدود یک درصد) است.



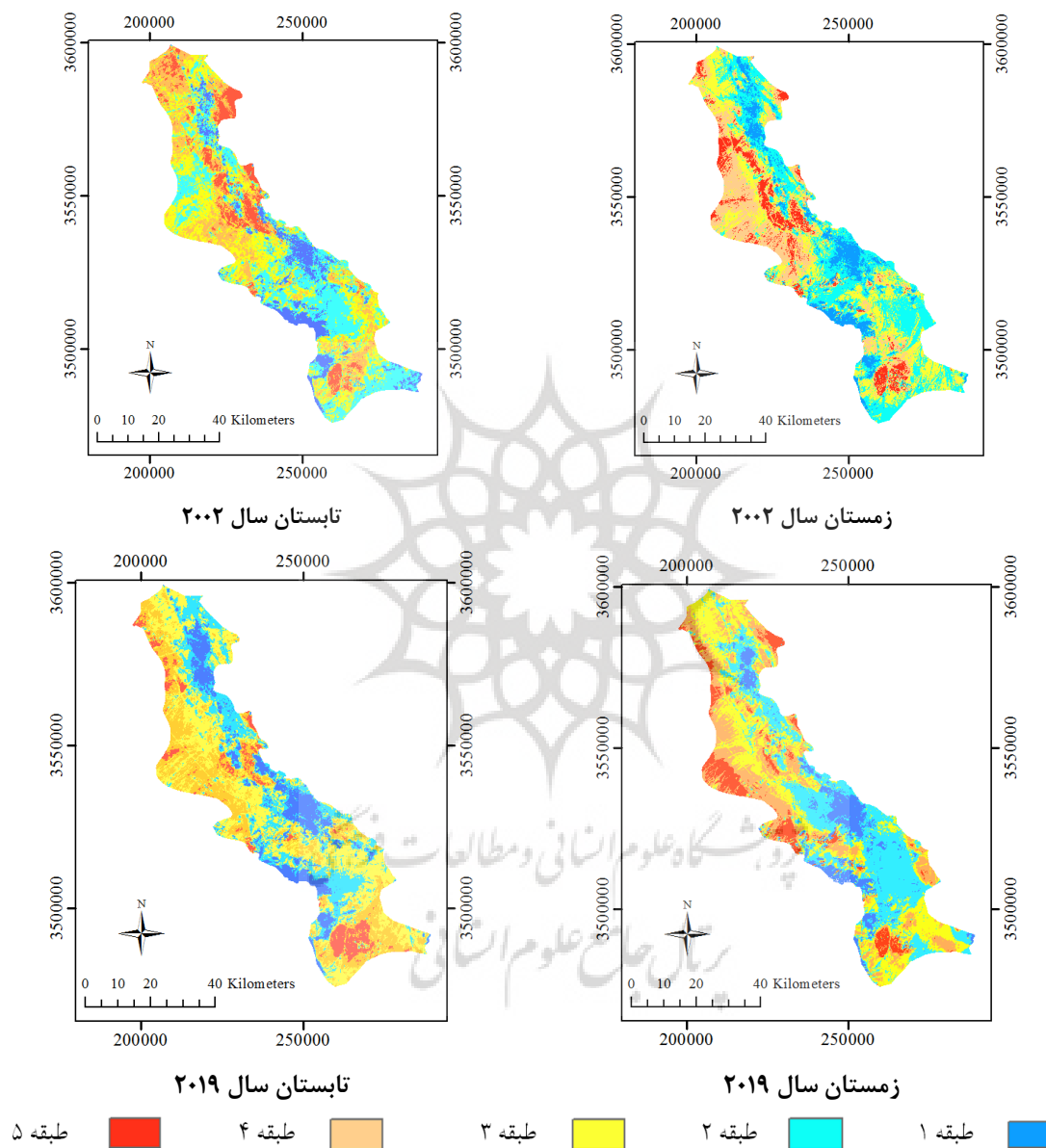
دما در زمستان بیشتر از تابستان بوده به طوری که در زمستان ۲۰۰۲ و ۲۰۱۹ به ترتیب این اختلاف ۴۶/۹ و ۳۳/۳ و در تابستان این سال‌ها به ترتیب ۳۳ و ۲۴/۷ درجه سانتیگراد است همچنین به وضوح دامنه تغییرات دما از سال ۲۰۱۹ تا ۲۰۰۲ کاهش یافته است که معادل ۱۳/۶ درجه سانتیگراد در زمستان و ۸/۳ درجه سانتیگراد در تابستان است.



شکل ۳: تغییرات LST (درجه سانتیگراد) در تابستان و زمستان ۲۰۰۲ و ۲۰۱۹

طبقه‌بندی لایه‌های دمای سطح زمین به دست آمده بر اساس جدول (۴) در شکل (۴) نشان داده شده است. بر این اساس جزایر گرم عمدتاً در حاشیه شمال شرقی، حاشیه غربی و جنوب دشت و جزایر سرد در بخش‌های میانی و جنوب غربی تشکیل شده‌اند. وسعت و درصد هر یک از طبقات دمای سطح زمین در محدوده مورد مطالعه در جدول (۶) نشان داده شده است. بر اساس

این جدول مساحت جزایر سرد و جزایر حرارتی در زمستان و تابستان سال ۲۰۰۲ اختلاف چندانی ندارد به طوری که در زمستان ۱۰/۸ و در تابستان ۱۰/۴ درصد منطقه را جزایر سرد تشکیل می‌دهد و جزایر حرارتی نیز در زمستان ۹/۰۲ و در تابستان ۸/۵ درصد منطقه بوده است، حال آنکه این تفاوت در سال ۲۰۱۹ فاحش است. به طوری که در زمستان ۹/۴ و در تابستان ۱۲/۱ درصد منطقه تحت پوشش جزایر سرد بوده و جزایر حرارتی در زمستان ۸/۳ و در تابستان ۶/۱ درصد از منطقه را تشکیل داده‌اند.



شکل ۴: طبقات LST تابستان و زمستان سال های ۲۰۱۹ و ۲۰۰۲

جدول ۶: درصد مساحت طبقات دمای سطح زمین

تابستان ۲۰۱۹	زمستان ۲۰۱۹	تابستان ۲۰۰۲	زمستان ۲۰۰۲	طبقات
--------------	-------------	--------------	-------------	-------

درصد	مساحت	درصد	مساحت	درصد	مساحت	درصد	مساحت	
۱۲۰۵۸۰۷	۳۹۶۸۴۰۶	۹۳۶۰۳۶۱	۳۰۸۰۵۰۷	۱۰۳۷۴۳۹	۳۴۱۴۲۰۹۴	۱۰۸۰۸۵۵	۳۵۵۷۱۰۷۹	دمای بسیار پایین (طبقه ۱)
۲۱۶۴۰۵۷	۷۱۲۲۰۸۴	۳۰۴۳۶۱۷	۱۰۰۱۶۷۰۹	۲۹۰۱۵۱۴۱	۹۵۹۳۹۰۶۲	۳۰۷۲۸۱۷	۱۰۱۱۲۸۰۹	دمای پایین (طبقه ۲)
۳۵۰۷۲۷۷۲	۱۱۷۵۸۲۰۸	۳۰۴۸۴۰۵	۱۰۰۳۲۵۰۴	۳۲۰۳۳۴۷	۱۰۸۰۵۷۶	۲۷۰۲۹۳۴۳	۸۹۸۲۴۰۸۷	دمای متوسط (طبقه ۳)
۲۴۰۵۰۰۳۸	۸۰۶۳۲۰۷	۲۱۰۴۰۷۷۵	۷۰۴۵۴۰۶۱	۱۹۰۱۴۰۶	۶۲۹۹۳۰۲۵	۲۲۰۱۴۳۹۱	۷۲۸۷۷۰۳۸	دمای بالا (طبقه ۴)
۶۰۷۳۳۶۷	۱۹۹۸۷۶۱	۸۳۱۱۶۷۳	۲۳۵۴۰۳۸	۸۵۰۰۱۳۴	۲۷۹۷۴۰۶۲	۹۰۳۵۹۴۳	۲۹۷۰۵۰۱	دمای بسیار بالا (طبقه ۵)

در ادامه به اثر تغییرات کاربری اراضی بر تغییرات LST در دشت یزد-اردکان پرداخته شد. بر اساس شکل‌های (۳) و (۴) و مقایسه آنها با شکل (۲) جزایر سرد عمدتاً در نواحی شهری، صنعتی و در رخنمون‌های سنگی رخ داده است و بر وسعت آن طی ۱۷ سال مورد مطالعه افزوده شده است. همچنین دمای سطح زمین در مناطق شهری در همه تصاویر نسبت به سایر مناطق به جز رخنمون‌های سنگی پایین‌تر است. تغییر کاربری اراضی و افزایش وسعت مناطق شهری و صنعتی و کاهش اراضی کشاورزی یکی از دلایل عمده افزایش جزایر سرد است. تغییرات کاربری اراضی/پوشش اراضی بین این سال‌ها نشان داد که وسعت مناطق شهری از ۲۲۰۴۵ به ۲۳۷۱۴ هکتار رسیده و مناطق صنعتی نیز رشدی در حدود دو برابر داشته و از ۴۶۱۵ در سال ۲۰۰۲ به ۸۱۸۷ هکتار در سال ۲۰۱۹ رسیده است. حال آنکه در این مدت از وسعت اراضی کشاورزی کاسته شده و از ۱۱۶۱ در سال ۲۰۰۲ به ۷۹۳ هکتار در سال ۲۰۱۹ رسیده است. همچنین جدول (۶) نشان می‌دهد که درصد جزایر حرارتی در فصل زمستان بیشتر از تابستان است. دلیل عمده آن می‌تواند پوشش گیاهی بسیار کمتر فصل زمستان نسبت به تابستان باشد، چرا که پوشش گیاهی به عنوان تعدیل‌کننده‌ی دمای سطح زمین عمل می‌نماید (داوطلب و همکاران، ۱۳۹۸). نتایج این بخش با نتایج تحقیق ولی‌زاده کامران و همکاران (۱۳۹۶)، مرتضوی اصل و همکاران (۱۴۰۱) و جاسم محمد و همکاران (۱۴۰۱) نیز همسو است.

تغییرات LST در انواع مختلف کاربری اراضی/پوشش اراضی در جدول (۶) نشان داده شده است. مقایسه دامنه تغییرات LST بین سال‌های ۲۰۰۲ و ۲۰۱۹ نشان دهنده کاهش این دامنه است. این امر جریان هوای (باد) کمتری نسبت به گذشته

ایجاد می کند که مانع تلطیف هوا نسبت به گذشته شده است، به طوری که در مناطق شهری و صنعتی اختلاف دمای کم موجب مشکلاتی برای سلامت انسان ها و افزایش بیماری های تنفسی شده است. همچنین تغییر بافت شهری، گسترش جاده ها، تغییر نوع مصالح (مانند استفاده بیشتر از مصالح بتنی و استفاده از قیر در پشت بام ها) از دیگر عوامل موثر بر تغییر جذب حرارت توسط زمین و تغییرات ایجاد شده در دامنه LST طی ۱۷ سال مورد مطالعه است. به طوری که معماری سنتی که شامل گذرگاه های سرپوشیده (ساباط)، استفاده از معابر پر پیچ و خم و باریک با دیوارهای مرتفع، بادگیرها با دهانه رو به باد، استفاده از مصالح خستی و گلی و سقف های گنبدی است که منجر به کاهش جذب حرارت خورشید و همین طور افزایش سطح تماس با باد و نسیم می شود، در دو دهه اخیر به شدت منسوخ شده است.

کاهش پوشش گیاهی در مراتع و اراضی کشاورزی در اثر کمبود آب و خشکسالی های پی در پی نیز منجر به کاهش تنوع در LST شده است. مقایسه انواع پوشش اراضی نشان می دهد که مناطق کشاورزی خنک ترین نوع پوشش اراضی در تابستان ها هستند. این نتایج همراستا با نتایج Paramasivam و Anbazhagan (۲۰۱۶) است. در زمستان ها نیز رخنمون سنگی خنک ترین پوشش اراضی را تشکیل می دهد. در مرتبه بعدی اراضی کشاورزی و پس از آن شهرها خنک ترین پوشش اراضی در سال ۲۰۰۲ بوده، حال آنکه شهرها در سال ۲۰۱۹ در مرتبه دوم قرار دارند. که این امر نیز بر تغییر پوشش گیاهی در اراضی کشاورزی دلالت دارد.

بر اساس جدول (۷) پوشش اراضی شن های روان گرم ترین نوع پوشش اراضی در فصول تابستان و زمستان در سال های ۲۰۰۲ و ۲۰۱۹ است. این نتایج با یافته های رسول و همکاران (۲۰۱۷) همراستا است. آنها در مطالعه خود نشان دادند که اراضی بایر باعث افزایش دمای سطحی زمین می شود. پس از شن های روان، مراتع گرم ترین نوع پوشش اراضی را در منطقه مورد مطالعه تشکیل می دهند. از آنجائیکه نقش پوشش گیاهی در اراضی کشاورزی در تخفیف LST در این مطالعه نشان داده شده است می توان نتیجه گرفت که پوشش گیاهی مراتع منطقه مورد مطالعه بسیار فقیر بوده و از نظر خصوصیات انعکاس و جذب انرژی شباهت بالایی به شن های روان دارند. علاوه بر این، تفاوت LST بین شن های روان و مراتع در سال ۲۰۰۲ نشان می دهد که این اختلاف در تابستان بیشتر از زمستان است که با توجه به سبز بودن پوشش گیاهی اندک مرتعی قابل توجیه است. مقایسه اختلاف LST بین این دو پوشش اراضی (مرتع و شن های روان) در سال ۲۰۰۲ با سال ۲۰۱۹ نشان دهنده کاهش این اختلاف در سال ۲۰۱۹ است که روند نابودی پوشش گیاهی مراتعی را بین این سال ها نشان می دهد.

جدول ۷: آماره های LST (درجه سانتی گراد) برای فصول تابستان و زمستان سال های ۲۰۰۲ و ۲۰۱۹

فصل	تابستان					زمستان				
	سال	طبقه	میانگین	کمینه	بیشینه	انحراف معیار	میانگین	کمینه	بیشینه	انحراف معیار
۲۰۰۲	مرتع		۴۳.۹۸	۲۰.۵۲	۵۳	۲.۱۸	۲۸.۱۲	۲.۱۱	۳۶.۹۵	۲.۲۷
	اراضی کشاورزی		۳۴.۵۴	۲۳.۷۲	۴۵.۱۸	۵.۱۳	۲۲.۹۱۲	۱۷.۵۱	۲۹.۹۵	۲.۱۳
	شن های روان		۴۴.۹۲	۳۳.۰۴	۵۰.۱۶	۲.۲۲	۲۸.۳۶۲	۱۵.۸۹	۳۶.۸۳	۲.۳۸

	مناطق صنعتی	۴۳.۴۲	۲۰.۱۵	۴۹.۸۹	۲.۱۶	۲۶.۳۱۲	۹.۴۴-	۳۵.۰۱	۲.۶۶
	رخمون سنگی	۳۶.۳۱	۲۰.۰۱	۴۹.۳۴	۵.۵	۱۹.۱۶	۲.۰۶-	۳۷.۵۳	۸.۰۶
	شهر	۳۹.۸۸	۲۵.۱۴	۴۸.۷۸	۳.۰۷	۲۳.۰۸	۶.۹۷	۳۳.۸۴	۲.۳۲
۲۰۱۹	مرتع	۴۶	۳۲.۰۹	۵۱.۱	۱.۶۱	۱۷.۹۱	۰.۷۱	۲۵.۹۶	۱.۶۴
	اراضی کشاورزی	۳۸.۷	۳۲.۹۹	۴۶.۳۷	۲.۷۱	۱۴.۹۸	۱۰.۹۵	۱۸.۵۹	۱.۵۱
	شن های روان	۴۶.۷۹	۳۸.۷۲	۴۹.۶۲	۱.۰۸	۱۸.۰۷	۱۴.۰۵	۲۰.۸۵	۱.۰۶
	مناطق صنعتی	۴۴.۶۵	۳۰.۸۵	۵۰.۸۳	۱.۵۷	۱۶.۳۲	۳.۹۷	۲۴.۶۶	۱.۷۵
	رخمون سنگی	۴۰.۶۷	۲۸.۹۳	۴۹.۳۸	۴.۰۳	۱۱.۷۱	۲.۷۴-	۲۵.۱۱	۶.۲۲
	شهر	۴۰.۷۸	۳۲.۲۹	۴۶.۸	۲.۵۱	۱۲.۶۴	۵.۵	۱۹.۳۲	۲.۴۴

در ادامه به صحت سنجی نتایج پرداخته شد. داده‌های دمای هوا مربوط به ایستگاه‌های میبد و یزد مربوط به ساعت و تاریخ برداشت تصاویر ماهواره‌ای (جدول ۵) و عدد به دست آمده LST در همان مختصات جغرافیایی ایستگاه‌های هواشناسی (جدول ۸) نشان داد که مقدار عددی LST همواره بالاتر از داده‌های ایستگاه هواشناسی است که البته این افزایش قابل انتظار است چرا که دمای هوا در ایستگاه‌های هواشناسی در سایه و در اتاقک چوبی و در ارتفاع ۱/۵ متر از سطح زمین اندازه‌گیری می‌گردد و این موضوعات باعث این اختلاف شده است. همچنین نتایج بخش صحت‌سنجی روش تک پنجره و مدل دفتر علوم لندست در محاسبه‌ی LST نشان داد برای هر دو فصل تابستان و زمستان، ماهواره لندست ۸ از دقت بالاتری نسبت به ماهواره لندست ۷ برخوردار بوده است و مدل برآورد LST بر اساس روش اختصاصی این سری از ماهواره لندست (مدل دفتر علوم لندست) کارایی بالاتری نسبت به روش تک پنجره دارد. Nugraha و همکاران (۲۰۱۹) در طی انجام پژوهشی که به مقایسه‌ی LST مستخرج از تصاویر لندست ۷ و ۸ پرداختند، عنوان کردند که LST تهیه شده از داده‌های ماهواره لندست ۸ نسبت به لندست ۷ از دقت بالاتری برخوردارند که همراستا با نتایج مطالعه حاضر است.

جدول ۸: دمای سطح زمین (درجه سانتی‌گراد) به دست آمده در ایستگاه‌های هواشناسی محدوده مورد مطالعه

یزد	میبد	زمان
۲۴/۲۴	۲۹/۰۵	زمستان ۲۰۰۲
۴۲/۹۴	۴۳/۴۱	تابستان ۲۰۰۲
۱۵/۳۰	۱۹/۳۵	زمستان ۲۰۱۹
۴۴/۴۶	۴۶/۴۴	تابستان ۲۰۱۹

به طور کلی مقایسه LST در مطالعه حاضر و سایر مطالعات انجام شده در مناطق خشک، تفاوت آشکاری را با مناطق مرطوب نشان می‌دهد. به طوریکه در مناطق مرطوب شهرها همواره گرمتر از حومه هستند و در فصل تابستان تفاوت‌های

دمایی کمتری بین شهر و حومه وجود دارد اما در زمستان این تفاوت بسیار آشکار است (یوسفی، ۱۳۹۷؛ رسول و همکاران، ۲۰۱۷). اما مقایسه شهر و حومه شهر در مناطق گرم و خشک در مطالعه حاضر و سایر مطالعات (اژدری و تقوایی، ۱۳۹۷ و رسول و همکاران، ۲۰۱۶) دلالت بر سردتر بودن شهرها نسبت به حومه در هر دو فصل داشته و با مقایسه LST شهر و مراتع که عمدتاً در اطراف شهر واقع شده اند، همانند مناطق مرطوب تفاوت دمایی در زمستان (۵/۰۴ و ۵/۲۷ به ترتیب برای سال‌های ۲۰۰۲ و ۲۰۱۹) کمی بیشتر از تابستان (۴/۱ و ۵/۲۲ به ترتیب برای سال‌های ۲۰۰۲ و ۲۰۱۹) است.

### نتیجه‌گیری

از آنجائی که تغییرات کاربری اراضی در دشت اردکان طی دهه اخیر با شتاب بالاتری رخ داده است، بررسی تغییرات الگوی دمایی سطحی در دشت اردکان به عنوان یک منطقه گرم و خشک در این تحقیق مورد توجه قرار گرفت. سنجش از دور حرارتی دارای قابلیت‌های تشخیص انرژی حرارتی سطحی است که می‌تواند به دمای سطح تبدیل شود و برای تجزیه و تحلیل پدیده‌های کوچک آب و هوایی شهری در مناطق وسیع، دوره‌های زمانی کوتاه و با هزینه کم استفاده شود. نتایج مطالعه حاضر نشان داد شهرها نقش مهمی در تغییرات الگوی دمای سطح زمین دارند و پدیده جزایر سرد شهری منحصر به شهرهای بزرگ در مناطق گرم خشک و نیمه خشک نیست بلکه در شهرهای متوسط نیز رخ می‌دهد. تغییرپذیری دمایی هشت شهر واقع در محدوده دشت اردکان- یزد با سایر کاربری‌ها/پوشش اراضی نیز نشان داد در تابستان بیشترین تفاوت با سایر کاربری‌ها/پوشش اراضی وجود دارد. این مطالعه نقش پوشش گیاهی را در مناطق گرم و خشک در کاهش LST نشان داد و همچنین بر این اساس شواهدی برای تغییر در وضعیت روبه تخریب مراتع این منطقه نیز فراهم آورد. بر اساس نتایج این مطالعه پیشنهادات اجرایی قابل طرح شامل تقویت پوشش گیاهی خصوصاً در مراتع، روی آوردن به معماری سنتی و اتخاذ تدابیر مدیریتی جهت حفظ اراضی کشاورزی با توجه به کمبود آب بوده و جهت انجام مطالعات آینده انجام مدل‌سازی‌های آماری جهت به دست آوردن ترکیب مناسب کاربری اراضی/ پوشش اراضی برای افزایش اختلاف دما بین و درون کاربری اراضی/ پوشش اراضی مختلف پیشنهاد می‌شود.



## منابع

- ابراهیمی هروی، بهروز؛ کاظم رنگزن، حمید رضا ریاحی بختیاری و ایوب تقی زاده. ۱۳۹۵. تعیین مناسب ترین روش استخراج دمای سطح زمین با استفاده از تصاویر ماهواره ای لندست ۸ در کلان شهر کرج. سنجش از دور و GIS ایران، ۸: ۷۶-۵۹.
- اژدری، ابوالقاسم و علی اکبر تقوایی. ۱۳۹۷. تحلیل اثر پیکربندی فضایی پوشش شهری و ویژگی های کالبدی ساختمان ها بر پدیده جزایر سطحی سرد شهری. محیط شناسی، ۴۴: ۱۸۹-۲۰۳.
- برزگری، فاطمه و حسین ملکی نژاد. ۱۳۹۵. بررسی اثرات تغییر اقلیم بر نیاز آبی و پایداری مصرف آب در بخش کشاورزی دشت یزد- اردکان. بوم شناسی کشاورزی، ۱۰: ۱۱۶۱-۱۱۷۶.
- جاسم محمد، توفیق؛ محمد رحمانی و کمیل عبدی. ۱۴۰۱. تغییرات دمای سطح زمین در شهر حله و ارتباط آن با تغییرات شاخص NDVI. تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، ۹: ۹۰-۷۵.
- داوطلب، جمشید؛ شهرام پوردیهیمی، محمدرضا حافظی و مرتضی ادیب. ۱۳۹۸. اثر پوشش گیاهی بر تعدیل احساس گرمایی فضای باز منطقه‌ی سیستان. دو فصلنامه معماری ایران، ۱۵: ۱۷۱-۱۵۵.
- رفیع شریف آباد، جواد؛ احمد نوحه گر، غلامرضا زهتابیان، حسن خسروی و حمید غلامی. ۱۳۹۵. بررسی روند تغییرات کاربری اراضی بر روی کیفیت آب زیرزمینی دشت یزد-اردکان. فصلنامه علمی پژوهشی جغرافیا، ۱: ۱۹۹-۱۸۹.
- کافی سه قلعه، فاطمه. ۱۳۹۹. اثرات ترکیب و توزیع سیمای سرزمین بر جزایر حرارتی شهری (مطالعه موردی شهر بیرجند). پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه بیرجند، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست.
- کریمی فیروزجایی، محمد؛ نعیم میجانی، مجید کیاورز و سید کاظم علوی پناه. ۱۳۹۸. بررسی تاثیر حرارتی اراضی ساخته شده و غیرساخته شده بر یکدیگر با استفاده از داده های سنجش از دور حرارتی و انعکاسی. محیط شناسی، ۴۵: ۱۵۳-۱۳۳.
- مرتضوی اصل، سید کامیار؛ نوید سعیدی و محمود رضایی. ۱۴۰۱. ارزیابی میزان تاثیر ذرات معلق و پوشش گیاهی بر تشکیل جزایر گرمایی و خنک در شهر تهران. تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، ۹: ۱۱۴-۹۷.
- ولیزاده کامران، خلیل؛ خلیل غلام نیا، گلزار عینالی و سید محمد موسوی. ۱۳۹۶. برآورد دمای سطح زمین و استخراج جزایر حرارتی با استفاده از الگوریتم پنجره مجزا و تحلیل رگرسیون چند متغیره (مطالعه موردی: شهر زنجان). نشریه پژوهش و برنامه ریزی شهری، ۳۰: ۳۵-۵۰.
- یوسفی، یدالله. ۱۳۹۷. شکل گیری جزیره حرارتی و اثر آن بر تغییرپذیری دما در شهر بابل. محیط شناسی، ۴۴: ۳۵۴-۳۴۵.

- Anbazhagan, S., and C. R. Paramasivam. ۲۰۱۶. Statistical correlation between land surface temperature (LST) and vegetation index (NDVI) using multi-temporal landsat TM data. *International Journal of Advanced Earth Science and Engineering*, ۱: ۳۳۳-۳۴۶. <http://scientific.cloud-journals.com/index.php/IJAESE/article/view/Sci-۴۰۹> DOI: <https://doi.org/۱۰.۲۳۹۵۳/cloud.ijaese.۲۰۴>
- Cao, X., Onishi, A., Chen, J. and Imura, H., ۲۰۱۰. Quantifying the cool island intensity of urban parks using ASTER and IKONOS data. *Landscape and urban planning*, 96(۴), pp.۲۲۴-۲۳۱. DOI: <https://doi.org/۱۰.۱۰۱۶/j.landurbplan.۲۰۱۰.۰۳.۰۰۸>
- Clinton, N. and Gong, P., ۲۰۱۳. MODIS detected surface urban heat islands and sinks: Global locations and controls. *Remote Sensing of Environment*, ۱۳۴: ۲۹۴-۳۰۴. DOI: <https://doi.org/۱۰.۱۰۱۶/j.rse.۲۰۱۳.۰۳.۰۰۸>
- Dewantoro, B.E.B., Mahyatar, P. and Hayani, W.N., ۲۰۲۰. Detection and Analysis of Surface Urban Cool Island Using Thermal Infrared Imagery of Salatiga City, Indonesia. *International Journal of Remote Sensing and Earth Sciences*, 17(۲):۱۱۵-۱۲۶. DOI: <https://doi.org/۱۰.۳۰۵۳۶/j.ijreses.۲۰۲۰.۰۷۱۷.a۳۳۸۷>
- Deng, C. and Wu, C., ۲۰۱۳. Examining the impacts of urban biophysical compositions on surface urban heat island: A spectral unmixing and thermal mixing approach. *Remote Sensing of Environment*, ۱۳۱:۲۶۲-۲۷۴. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.12.020>
- Farina, A. ۲۰۱۲. Exploring the relationship between land surface temperature and vegetation abundance for urban heat island mitigation in Seville, Spain. LUMA-GIS Thesis.
- Frey, C.M., Rigo, G. and Parlow, E., ۲۰۰۹. Investigation of the daily Urban Cooling Island (UCI) in two coastal cities in an arid environment: Dubai and Abu Dhabi (UAE). *City*, 81(۲,۰۶).
- Govind, N.R. and Ramesh, H., ۲۰۱۹. The impact of spatiotemporal patterns of land use land cover and land surface temperature on an urban cool island: a case study of Bengaluru. *Environmental monitoring and assessment*, ۱۹۱:۱-۲۰. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10661-019-0744-1>
- Hafner, J. and Kidder, S.Q., ۱۹۹۹. Urban heat island modeling in conjunction with satellite-derived surface/soil parameters. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 38(۴):۴۴۸-۴۶۵. DOI: [https://doi.org/10.1175/1520-0469\(1999\)038<0448:UHIMIC>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0469(1999)038<0448:UHIMIC>2.0.CO;2)
- Keramitsoglou, I., Kiranoudis, C.T., Ceriola, G., Weng, Q. and Rajasekar, U., ۲۰۱۱. Identification and analysis of urban surface temperature patterns in Greater Athens, Greece, using MODIS imagery. *Remote Sensing of Environment*, ۱۱۵(۱۲):۳۰۸۰-۳۰۹۰. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.06.014>
- Kong, F., Yin, H., Wang, C., Cavan, G. and James, P., ۲۰۱۴. A satellite image-based analysis of factors contributing to the green-space cool island intensity on a city scale. *Urban forestry & urban greening*, ۱۳(۴): ۸۴۶-۸۵۳. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2014.09.009>
- Landsat project science office ۲۰۰۲; Landsat ۷ science data user's handbook. URL: [http://itpwww.gsfs.nasa.gov/IAS/handbook/handbook\\_toc](http://itpwww.gsfs.nasa.gov/IAS/handbook/handbook_toc).
- Lazzarini, M., Marpu, P.R. and Ghedira, H., ۲۰۱۳. Temperature-land cover interactions: The inversion of urban heat island phenomenon in desert city areas. *Remote Sensing of Environment*, ۱۳۰:۱۳۶-۱۵۲. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.11.007>
- Li, Z.L., Wu, H., Wang, N., Qiu, S., Sobrino, J.A., Wan, Z., Tang, B.H. and Yan, G., ۲۰۱۳. Land surface emissivity retrieval from satellite data. *International Journal of Remote Sensing*, ۳۴(۹-۱۰):۳۰۸۴-۳۱۲۷. <http://dx.doi.org/10.1080/01431161.2012.716654>
- Liu, L. and Zhang, Y., ۲۰۱۱. Urban heat island analysis using the Landsat TM data and ASTER data: A case study in Hong Kong. *Remote sensing*, ۳(۷):۱۵۳۵-۱۵۵۲. <http://dx.doi.org/10.3390/rs3071535>
- Masoodian, S.A. and Montazeri, M., ۲۰۲۱. Quantifying of surface urban cool island in arid environments case study: Isfahan metropolis. *Landscape and Ecological Engineering*, ۱۷(۲): ۱۴۷-۱۵۶. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11355-020-00443-6>
- Qin, Z., Karnieli, A. and Berliner, P., ۲۰۰۱. A mono-window algorithm for retrieving land surface temperature from Landsat TM data and its application to the Israel-Egypt border region. *International journal of remote sensing*, ۲۲(۱۸):۳۷۱۹-۳۷۴۶. DOI: <https://doi.org/10.1080/014311601000069971>
- Rasul, A., Balzter, H. and Smith, C., ۲۰۱۵. Spatial variation of the daytime Surface Urban Cool Island during the dry season in Erbil, Iraqi Kurdistan, from Landsat ۸. *Urban climate*, ۱۴:۱۷۶-۱۸۶. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2015.09.001>
- Rasul, A., Balzter, H. and Smith, C., ۲۰۱۶. Diurnal and seasonal variation of surface urban cool and heat islands in the semi-arid city of Erbil, Iraq. *Climate*, ۴(۳):۴۲. DOI: <https://doi.org/10.3390/cli4030042>

Rasul, A., Balzter, H., Smith, C., Remedios, J., Adamu, B., Sobrino, J.A., Srivanit, M. and Weng, Q., ۲۰۱۷. A review on remote sensing of urban heat and cool islands. *Land*, ۶(۲):۳۸. DOI: <https://doi.org/10.3390/land602038>

Ukwattage, N.L. and Dayawansa, N.D.K., ۲۰۱۲. Urban heat islands and the energy demand: an analysis for Colombo City of Sri Lanka using thermal remote sensing data. *International Journal of Remote Sensing and GIS*, 1(۲): ۱۲۴-۱۳۱. DOI: <https://doi.org/10.1109/GeoInformatics.2011.5981043>

USGS: Mineral Commodity Summaries, US Geological Survey, Washington DC, ۲۰۱۳.

Xu, H., Chen, Y., Dan, S. and Qiu, W., ۲۰۱۱, June. Spatial and temporal analysis of urban heat Island effects in Chengdu City by remote sensing. In *2011 19th International Conference on Geoinformatics* (pp. ۱-۵). IEEE. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/GeoInformatics.2011.5981043>

Zhang, H., Qi, Z.F., Ye, X.Y., Cai, Y.B., Ma, W.C. and Chen, M.N., ۲۰۱۳. Analysis of land use/land cover change, population shift, and their effects on spatiotemporal patterns of urban heat islands in metropolitan Shanghai, China. *Applied Geography*, ۴۴:۱۲۱-۱۳۳. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2013.07.02>





پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی  
پرتال جامع علوم انسانی