

پایش دمای سطح زمین و بررسی رابطه کاربری اراضی با دمای سطح با استفاده از تصاویر سنجنده OLI و ETM+ مطالعه موردی: (شهرستان اردبیل)

دریافت مقاله: ۹۷/۱/۱۲ پذیرش نهایی: ۹۷/۵/۲۶

صفحات: ۱۹۵-۲۱۵

صیاد اصغری سراسکانرود: دانشیار گروه ژئومورفولوژی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران^۱.

Email: s.asghari@uma.ac.ir

هادی امامی: دانشجوی کارشناسی ارشد اقلیم شناسی سینوپتیک دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

Email: hadiemami0221@gmail.com

چکیده

هدف اصلی از این تحقیق پایش دمای سطح زمین و رابطه‌ی آن با کاربری اراضی می‌باشد که با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای پایش شده است. به همین منظور ابتدا تصاویر مربوطه اخذ شد و پیش پردازش‌های لازم بر روی هر کدام اعمال شد. سپس نسبت به مدل‌سازی و طبقه‌بندی تصاویر اقدام شد. ابتدا به منظور بررسی تغییرات کاربری اراضی، نقشه طبقه‌بندی شده کاربری اراضی برای هر دو سال با استفاده از روش شیء‌گرا استخراج شد و سپس به منظور بررسی تغییرات کاربری اراضی نقشه تغییرات کاربری اراضی در یک بازه زمانی ۱۸ ساله (۲۰۱۷-۲۰۰۰) استخراج شد. در نهایت به منظور پایش دمای سطح زمین نقشه دمای سطحی شهرستان اردبیل استخراج شد. نتایج نشان داد که رابطه قوی بین کاربری اراضی و دمای سطحی وجود دارد. به این صورت که کاربری همچون کاربری شهری، دارای دمائی حدود ۴۱ درجه سانتیگراد (۲۰۱۷) می‌باشد که به دلیل جاذب حرارت بودن عوارض شهری دارای دمای بیشتری نیز می‌باشد. این در حالی است که کاربری مناطق آبی به دلیل جذب کمتر حرارت دارای دمای ۳۴ درجه سانتیگراد (۲۰۱۷) می‌باشد. این موضوع نقش کاربری‌های مختلف را در تعیین دمای سطحی نشان می‌دهد. همچنین در این پژوهش رابطه دمای سطحی با پوشش گیاهی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که نواحی همچون خاک و شهری که دارای پوشش گیاهی کمتری نسبت به نواحی همچون کشاورزی و مرتع می‌باشند، دارای دمای بیشتری نیز می‌باشند. زیرا پوشش گیاهی همواره به صورت مانع برای ورود حرارت بوده است و رابطه معکوس با حرارت سطحی دارد.

کلید واژگان: دمای سطح زمین، کاربری اراضی، طبقه‌بندی، تصاویر لندست، تغییرات کار.

۱. نویسنده مسئول: اردبیل، بلوار دانشگاه، دانشگاه محقق اردبیلی، دانشکده علوم انسانی، گروه جغرافیا ۰۹۱۴۷۸۲۰۲۲۱

مقدمه

انتظار می‌رود که رشد شهرنشینی و گسترش سریع وابسته به آن در مناطق توسعه یافته تا قرن بیست‌ویکم با سرعت بیشتری در کشورهای در حال توسعه ادامه یابد، این عامل پتانسیل ایجاد جزایر حرارتی و پریشانی‌های ناشی از گرما را در مناطق شهری افزایش می‌دهد (موسی و همکاران، ۲۰۱۸؛ ۱۱۲). گسترش سریع شهرها به دلیل تغییرات گسترده در کاربری و پوشش زمین تأثیرات منفی بر کیفیت زیست محیطی جهانی داشته، از جمله کیفیت هوا، افزایش دما و تغییرات چشم‌انداز و همچنین تبدیل زمین‌های کشاورزی که منجر به از بین رفتن تنوع زیستی می‌شود (ابوطالب و همکاران، ۲۰۱۵؛ ۳۶). حرارت سطح زمین^۱ شاخص مهمی در مطالعه مدل‌های تعادل انرژی در سطح زمین و فعل و انفعالات بین زمین و جو در مقیاس منطقه‌ای و جهانی است (مرادی و همکاران، ۱۳۹۵؛ ۵۲۰). دمای سطح زمین یکی از مهمترین پارامترهای مؤثر در مطالعات جهانی به حساب می‌آید که فاکتوری مهم در کنترل فرآیندهای بیولوژیکی، شیمی و فیزیکی زمین می‌باشد (علوی‌پناه، ۱۳۸۸؛ ۲۸۸). به طور کلی اندازه‌گیری دما در سطح زمین، توسط ایستگاه‌های هواشناسی، اعم از سینوپتیک و کیلماتولوژی انجام می‌شود. این نکته را نیز باید مدنظر قرار داد که ایستگاه‌های هواشناسی فقط قادر به اندازه‌گیری دما در نقاط خاصی می‌باشند که قبلاً در آنجا نصب شده‌اند. آنچه به‌عنوان یک نقص اساسی در پایش دمای سطح زمین به شمار می‌آید، نبود ایستگاه‌های هواشناسی کافی جهت آگاهی از مقادیر دمایی در نقاط فاقد ایستگاه است که امروزه توسط تکنولوژی سنجش از دور تا حدی این کمبودها برطرف شده است (خسروی و همکاران، ۱۳۹۶؛ ۱۱۴). دمای سطح زمین یک متغیر کلیدی در آنالیز و مدل‌سازی بیلان انرژی سطح، رطوبت سطحی و تبخیر و تعرق و مطالعات تغییر اقلیم در مقیاس های گوناگون است (ونگ و همکاران، ۲۰۰۲؛ ۱۶۳).

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؛ ۳۵). 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 (علوی‌پناه و همکاران، ۱۳۹۳). از روش‌های مطالعه دمای سطح زمین، روش‌های نوین سنجش از دوری می‌باشند. مطالعات نشان می‌دهد که نقش سنجش از دور حرارتی در مطالعه و برآورد دمای سطح زمین بسیار حائز اهمیت می‌باشد. داده‌های سنجش از دور حرارتی امکان بررسی و تخمین دمای سطح زمین و همچنین جزایر حرارتی را فراهم می‌کند. از بین داده‌های حرارتی سنجش از دور، تصاویر ماهواره‌ای جایگاه خاصی دارند و تصاویری همچون تصاویر لندست، استر، مودیس و... در برآورد دمای سطح زمین به دلیل داشتن باندهای حرارتی می‌توانند مفید واقع شوند (حجازی زاده و همکاران، ۱۳۹۲؛ ۳۳).

در این تحقیق به منظور بررسی دمای سطح شهرستان اردبیل در یک بازه زمانی ۱۸ ساله، از تصاویر لندست ۸ برای سال ۲۰۱۷ و تصاویر لندست ۷ برای سال ۲۰۰۰ استفاده شد. همچنین پیشینه تحقیق نشان می‌دهد که

¹. Land Surface Temperature

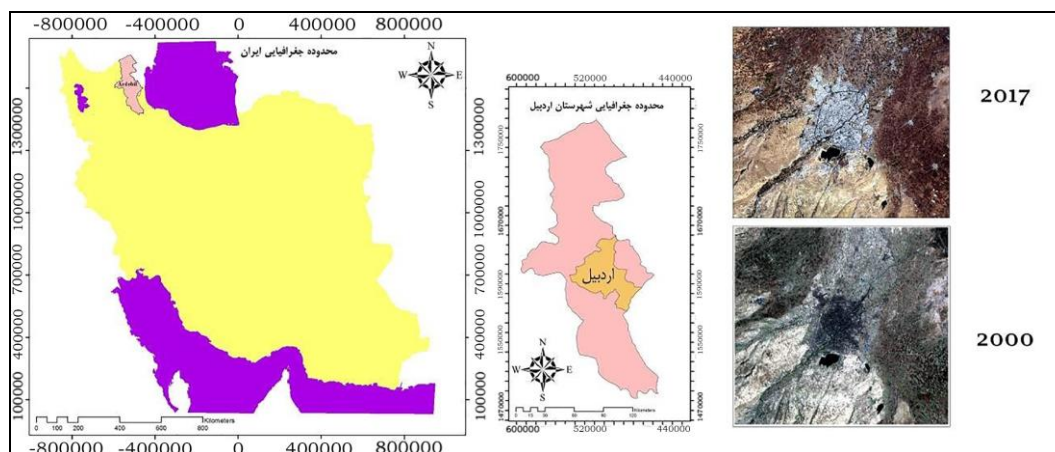
تصاویر ماهواره‌ای در برآورد دمای سطح زمین بسیار موثر بوده و به دلیل در برداشتن هزینه‌های کمتر، صرفه‌جویی در وقت و بسیاری موارد دیگر مورد توجه قرار دارد و در عین حال تغییرات کاربری اراضی نیز در این امر و تغییرات دمایی بسیار موثر و قابل توجه بوده است. احمدی و همکاران (۱۳۹۴) در مقاله‌ای با عنوان بررسی دمای سطح زمین در رابطه با کاربری و پوشش اراضی با استفاده از داده‌های سنجنش از دور در شهرستان اردبیل پرداختند و نتایج نشان داد که دمای سطحی در هر محدوده‌ای از زمین متاثر از عوامل سطحی و خصوصیات آن می‌باشد و بیشترین دمای سطحی در محدوده مورد نظر مربوط به مکان‌هایی است که کمترین پوشش گیاهی را دارا می‌باشند. ولیزاده و همکاران (۱۳۹۶) در مقاله‌ای با هدف بررسی دمای سطح زمین در شهرستان زنجان با استفاده از الگوریتم پنجره مجزا پرداختند نتایج این پژوهش نشان داد که بر مبنای داده‌های آماری به دست آمده ارتباط مناسب بین کاربری سطح زمین و حرارت سطح زمین 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. احمدی و همکاران (۱۳۹۱)، در مقاله‌ای با عنوان تغییرات زمانی-مکانی الگوهای حرارتی و کاربری شهر شیراز با استفاده از داده‌های سنجنده^۱ TM^۱ و^۲ ETM^۲ پرداختند نتایج این پژوهش نشان داد که سطوح با پراکندگی فاقد پوشش گیاهی حاشیه شهر بیشترین دما را دارند و در کاربری شهری نیز دمای بافت‌های فشرده بیشترین دما را دارا می‌باشند. ولیزاده و همکاران (۱۳۹۳) در مطالعه‌ای به بازبانی دمای سطح زمین با استفاده از سنجنده^۳ TIRS^۳ ماهواره لندست ۸ پرداختند. آن‌ها در این تحقیق به مقایسه بین روش سبال و پنجره مجزا پرداختند و نتایج نشان داد که وارونگی دمای سطح زمین در روش پنجره مجزا، با RMSE کمتر از ۰/۱۷ سانتیگراد می‌باشد و این روش مناسب‌تر از روش سبال برای مطالعه دمای سطح زمین می‌باشد. عقیلی‌نسب و همکاران (۱۳۹۲)، در پژوهشی تحت عنوان "تحلیل جزایر حرارتی شهری با استفاده از سنجنش از دور و رابطه آن با توسعه دوست‌دار محیط‌زیست" و با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست جهت استخراج دمای سطح زمین،^۴ 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) پرداختند نتایج حاصل نشان داد که تحلیل خطی ترکیب طیفی، در تفکیک و طبقه‌بندی 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. زانا و همکاران (۲۰۱۵) در مطالعه‌ای با عنوان بررسی روابط بین دمای سطح شهر، نسبت پوشش زمین و تراکم حجم ساخت و ساز، از داده‌های ۲۰۱۱ و ۲۰۱۳ سنجنده ETM+ استفاده کردند و نتایج نشان داد که یک ارتباط قوی بین دمای سطح زمین و پوشش زمین وجود دارد اما رابطه بین ساخت‌وساز و دمای سطح

1. Thematic mapper
2. Enhanced Thematic Mapper Plus
3. Thermal Infrared Sensor
4. Normalized difference vegetation index

زمین مستقیم نیست. راجشواری و همکاران (۲۰۱۴) در مطالعه‌ای به برآورد دمای سطح زمین با استفاده از الگوریتم پنجره مجزا و تصاویر لندست-۸ پرداختند و صحت این روش را مورد ارزیابی قرار دادند. بنابراین با توجه به اهمیت موضوع و تحقیقاتی که سایر محققین انجام داده‌اند در این تحقیق نیز هدف، بررسی تغییرات دمای سطح شهرستان اردبیل در یک بازه زمانی ۱۸ ساله و مقایسه نتایج به دست آمده با تغییرات کاربری اراضی می‌باشد تا مشخص شود که کاربری اراضی تا چه اندازه در دمای سطح موثر می‌باشد. به منظور رسیدن به این هدف ابتدا طبقه بندی تصاویر مربوطه به روش شی‌گرا انجام شد و سپس به منظور استخراج دمای سطحی به برآورد دمای روشنایی و قابلیت انتشار و کسر پوشش گیاهی اقدام شد و بعد از به دست آوردن دمای سطحی به بررسی رابطه دمای سطحی با هریک از کاربری‌ها پرداخته شد و در نهایت به ارزیابی نتایج با داده‌های زمینی پرداخته شد.

روش تحقیق

محدوده مورد مطالعه، شهر اردبیل و حاشیه آن به شعاع ۱۵ کیلومتری (دشت اردبیل) می‌باشد که در محدوده $38^{\circ}6'32''$ تا $38^{\circ}26'3''$ شرقی و $48^{\circ}3'27''$ تا $48^{\circ}29'26''$ قرار گرفته است. استان اردبیل به دلیل تنوع ناهمواری‌ها و همچنین تنوع عوامل مؤثر در اقلیم منطقه، آب‌وهوای متنوعی دارد. از یک سو کوهستانی بودن منطقه، جهت رشته کوه‌ها، اختلاف ارتفاع و عرض جغرافیایی و وجود دریای خزر عوامل محلی آب‌وهوای استان محسوب می‌شوند و از سوی دیگر جریانات هوایی مدیترانه‌ای، اروپای شمالی و آسیای مرکزی عوامل فرامحلی مؤثر در آب‌وهوای استان به شمار می‌آیند (احمدی و همکاران، ۱۳۹۴). شکل (۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه رو نمایش می‌دهد.



شکل (۱). محدوده منطقه مورد مطالعه

داده های مورد استفاده در این تحقیق شامل، تصویر ماهواره لندست ۸ که از سنجنده OLI^۱ آن به منظور استخراج نقشه کاربری اراضی و از سنجنده TIRS آن به منظور استخراج دمای سطح زمین برای سال ۲۰۱۷ استفاده شد و همچنین از تصویر سنجنده ETM+ لندست به منظور تهیه نقشه کاربری اراضی با استفاده از باندهای مرئی و مادون قرمز و دمای سطح با استفاده از باندهای حرارتی برای سال ۲۰۰۰ استفاده شد. همچنین به منظور بررسی دمای ثبت شده توسط ایستگاه‌ها، از داده‌های هواشناسی شهرستان استفاده شد. تصاویر در فصل تابستان به منظور نبود پوشش‌های ابری و برفی بالا و همچنین بالا بودن شدت تابش نور خورشید اخذ شد و همچنین به منظور به دست آوردن دقت بهتر از نرم افزار Google Earth استفاده شد. به منظور تصحیحات جوی و رادیومتریکی از نرم افزار ENVI 5.3 و به منظور استخراج نقشه‌های مربوطه از نرم افزار ARC GIS 10.5 استفاده شد. اطلاعات تصاویر اخذ شده از سایت زمین شناسی آمریکا در جدول (۱) اخذ شد. بعد از اخذ تصاویر و انجام تصحیحات مربوطه بر روی تصاویر مورد نظر، به منظور به دست یافتن به نتایج مدنظر، مراحل زیر طی شد.

جدول (۱). اطلاعات تصاویر سنجنده لندست ۷ و ۸. منبع: متادیتا تصاویر

اطلاعات تصاویر مربوط به سال ۲۰۰۰، ۲۰۱۷ ماهواره لندست (محدوده شهرستان اردبیل)						
نوع سنجنده	ستون	سطر	درصد پوشش ابر	زاویه خورشید	زمان (گرینویچ)	تاریخ
لندست-۸	۱۶۷	۰۳۳	۰,۰۰۰۰	۱۵۰,۳۶۶۹۵	۷:۲۵:۵۸	۲۰۱۷/۰۹/۱۶
لندست-۷	۱۶۷	۰۳۳	۰,۰۰۰۰	۱۲۹,۵۴۰۵۵۱	۰۷:۱۴:۳۴	۲۰۰۰/۰۵/۱۳

قطعه‌بندی^۲

قطعه‌بندی یک تصویر بر تفکیک و جداسازی تصویر به نواحی مختلف بطوری که پیکسل‌های هر ناحیه دارای یک ویژگی خاص که می‌تواند متعلق به یک شیء^۳ مشترک باشد دلالت دارد. در روش طبقه‌بندی شیء‌گرا، اطلاعات طیفی با اطلاعات مکانی ادغام گردیده و پیکسل‌ها بر اساس شکل، بافت و تن خاکستری در سطح تصویر با مقیاس مشخص، قطعه‌بندی شده و طبقه‌بندی تصویر بر اساس این قطعه‌ها انجام می‌شود. قبل از انجام طبقه‌بندی به روش شیء‌گرا لازم است که فرآیند تقسیم‌بندی تصویر صورت پذیرد. این تقسیم‌بندی بر اساس شکل پدیده، بافت و تن‌هایی که هر یک از مقادیرها دارا می‌باشند انجام می‌پذیرد (فیضی‌زاده و حاجی میررحیمی، ۱۳۸۷).

شاخص NDVI^۴

این شاخص طیفی برای مطالعه پوشش گیاهی از جهت میزان کلروفیل موجود در آن طراحی شده است. هرچه میزان کلروفیل موجود در گیاه بیشتر باشد به همان میزان شاخص NDVI افزایش پیدا می‌کند بازه مقادیر در

۱. Operational Land Imager
۲. Segmentation
۳. Object
۴. Normalized Difference Vegetation Index

شاخص NDVI بین منفی یک تا مثبت یک متغیر است. عموماً مقادیر کمتر از صفر به عنوان نواحی مرطوب و آب در نظر گرفته می‌شوند. مقادیر بین ۰ تا ۰/۳ نیز پوشش‌های خاک و مراتع را شامل می‌شوند. مقادیر بیشتر از ۰/۳ نیز نشان دهنده پوشش گیاهی در منطقه مورد مطالعه است. در این پژوهش به منظور به دست آوردن دقت بالاتر در طبقه‌بندی از این شاخص به عنوان یکی از پارامترها استفاده شد این شاخص با استفاده از رابطه (۱) به دست می‌آید.

$$\text{NDVI} = (\text{BNIR} - \text{BRED}) / (\text{BNIR} + \text{BRED}) \quad \text{رابطه (۱)}$$

در رابطه (۱) BNIR باند مادون قرمز نزدیک و BRED باند قرمز میبانشد (ناسا، ۲۰۰۰). پس از آزمون خطاها در سگمنت‌بندی تصویر، سگمنت‌بندی بر اساس شکل و بافت مناسب انتخاب شد و پارامترهای مناسب نظیر بافت، هندسه، شکل، الگو و میانگین و انحراف معیار باندها همراه با شاخص NDVI به عنوان پارامترهای طبقه‌بندی لحاظ شدند. در نهایت طبقه‌بندی در ۶ کلاس (کشاورزی ۱ و ۲، آب، مرتع، خاک و شهری) برای سال ۲۰۰۰ و ۷ کلاس (کشاورزی ۱ و ۲، آب، مرتع، خاک، شهری و خطوط ارتباطی) برای سال ۲۰۱۷ انتخاب شدند. دلیل تفاوت کلاس‌ها در سال ۲۰۰۰ و ۲۰۱۷ در نوع سنجنده مورد استفاده و قدرت تفکیک رادیومتریکی هر کدام از سنجنده‌ها می‌باشد. به این مفهوم که سنجنده ETM+ ماهواره لندست دارای توان تفکیک رادیومتریکی ۸ بیت بوده و در مقابل سنجنده OLI ماهواره لندست دارای توان تفکیک ۱۲ بیتی می‌باشد (Jensen, 2015). سنجنده OLI به دلیل بالا بودن توان تفکیک رادیومتریکی بهتر و گویاتر خطوط ارتباطی را آشکار کرده و این باعث شد تا نگارندگان این کلاس را نیز در طبقه‌بندی لحاظ کنند در حالی که در تصویر سال ۲۰۰۰ خطوط ارتباطی به صورت گویا مشخص نبوده و امکان در نظر گرفتن به عنوان یک کلاس وجود نداشت.

استخراج دمای سطح زمین

درجه حرارت سطح زمین می‌تواند اطلاعات مفیدی در رابطه با خصوصیات فیزیکی زمین و اقلیم که نقش بسزایی در فرایندهای محیط زیستی بازی می‌کنند فراهم نماید (لو و ونگ، ۲۰۰۴). دمای سطح زمین به عنوان نمایه‌ای از شدت گرما، از عناصر اساسی شناخت آب و هواست (میریعقوب زاده و قنبرپور، ۲۰۰۹). در سنجش از دور دمای سطح زمین را که بالای جو به وسیله سنجنده‌ها به دست می‌آید دمای روشنایی می‌نامند این دما به علت پدیده‌های جذب و پخش جوی به نظر کمتر از دمای واقعی در سطح زمین است (راجشوری و همکاران، ۲۰۱۴). برای تعیین دمای واقعی سطح زمین از الگوریتم‌های گوناگونی همچون الگوریتم پنجره مجزا استفاده می‌شود و در این تحقیق نیز به منظور به دست آوردن دمای سطح زمین از این الگوریتم استفاده شد. از ویژگی مهم این الگوریتم حذف اثرات جوی است. با توجه به اینکه این الگوریتم به اطلاعات دقیق در مورد نمایه جوی در طول کسب ماهواره‌ای نیاز ندارد، بنابراین به طور گسترده در بازبانی قابلیت انتشار سطح زمین از چند سنسور استفاده می‌کند. بعد از انجام طبقه‌بندی مربوطه و استخراج نقشه کاربری اراضی و تغییرات کاربری اراضی، به منظور محاسبه دمای سطح زمین در محدوده مورد مطالعه اقدام شد. در همین راستا از باند ۱۰ حرارتی سنجنده

لندست ۸ و باند ۸ سنجنده لندست ۷ استفاده شد. در اولین مرحله شاخص NDVI مورد استفاده می‌باشد و بقیه مراحل به ترتیب زیر به منظور استخراج دمای سطح زمین طی شد.

برآورد دمای روشنایی

داده‌های باند حرارتی را می‌توان با استفاده از ثابت حرارتی موجود در فایل متادیتا از طیف درخشندگی به دمای روشنایی تبدیل کرد که با استفاده از رابطه (۲) محاسبه می‌شود (ریبیک و همکاران، ۲۰۰۴).

$$T = K2 / \ln(K1 / L\lambda + 1) - 272.15$$

رابطه (۲)

T = دمای روشنایی ماهواره بر حسب کلونین

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

Lλ = درخشندگی جو بالا

برآورد قابلیت انتشار سطح زمین^۱

یکی دیگر از معیارهایی که برای محاسبه دمای سطح زمین لازم و ضروری می‌باشد برآورد قابلیت انتشار در سطح زمین است. این معیار بصورت جداگانه در هر دو باند حرارتی ماهواره لندست ۸ و باند حرارتی لندست ۷ برای گیاه و خاک با استفاده از رابطه (۳) محاسبه شد. (جنسن، ۲۰۱۵)

$$LSE = E_s (1 - FVC) + E_v * FVC$$

رابطه (۳)

LSE = قابلیت انتشار سطح زمین

E_s - v = انتشار گیاه و خاک برای باندهای حرارتی طبق

FVC = نسبت پوشش گیاهی

برآورد کسر پوشش گیاهی

به منظور کسر تاثیر پوشش گیاهی از تصویر از این شاخص استفاده می‌شود. پوشش گیاهی همواره از عواملی بوده است که باعث کاهش دمای سطحی می‌شود. پوشش گیاهی سبز جزء به جز یکی از پارامترهایی است که در بسیاری از برنامه‌های محیط‌زیست و آب‌وهوایی 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 پوشش گیاهی سبز است. خواص طیفی از این دو عنصر معمولاً به صورت‌های مختلفی برآورد می‌شود که شامل اندازه‌گیری‌های میدانی، برآورد از منابع داده‌های اضافی و یا به صورت مستقیم از تصاویر استخراج می‌شود. الگوریتم وابسته به یک تجزیه و تحلیل روش بهینه سازی مخلوط طیفی (SMA) بر اساس قضیه پوشش گیاهی، همراه با استفاده از استاندارد SMA، برای بهبود درک از تاثیرپذیری دو عنصر در اشتقاق از بخش پوشش گیاهی زیر پیکسل‌ها در مقیاس جهانی است (گارسیا و همکاران، ۲۰۰۵). برای برآورد این شاخص از رابطه (۴) استفاده می‌شود (سابرینو و رایشونی، ۲۰۰۰).

¹ - Land Surface Emissivity

$$F_{vc} = (NDVI - NDVI_s) / (NDVI_v - NDVI_s)$$

رابطه (۴)

NDVI = شاخص پوشش گیاهی

NDVI_s = مناطق بدون پوشش گیاهی شاخصNDVI_v = مناطق پوشیده از گیاه شاخص**محاسبه نهایی دمای سطح زمین با روش (LST) Single Channel**

این الگوریتم از جمله روش‌های دقیق و موثر در برآورد دمای سطح زمین می‌باشد. ویژگی مهم این روش، حذف اثرات جوی می‌باشد. باتوجه به این که این الگوریتم اطلاعات دقیق در مورد نمایه جوی کسب ماهواره‌ای نیاز ندارد، برای بازیابی LST از دو سنسور چند طیفی و حرارتی استفاده می‌کند که از رابطه (۵) محاسبه میشود (وان و همکاران، ۱۹۹۶).

$$(SW)LST = TB_{10} + C_1 (TB_{10} - TB_{11}) C_2 (TB_{10} - TB_{11})^2 + C_0 + (C_3 + C_4 W) (C_5 + C_6 W) \Delta \epsilon (1 + \epsilon)$$

$$\text{mean LSE} = \epsilon$$

$$\text{LSE difference} = \Delta \epsilon$$

$$TB = \text{باندهای حرارتی}$$

$$C = \text{کانال های حرارتی}$$

$$W = \text{مقدار بخار آب موجود در جو}$$

صحت سنجی نتایج

لازمه استفاده از هر نوع اطلاعات موضوعی، آگاهی از میزان صحت و درستی آن است (فیضی زاده و هلالی، ۱۳۸۹: ۷۶). به همین منظور برای ارزیابی دقت طبقه‌بندی، به محاسبه دقت کاربر، دقت کلی و ضریب کاپا در جدول (۲) پرداخته شد.

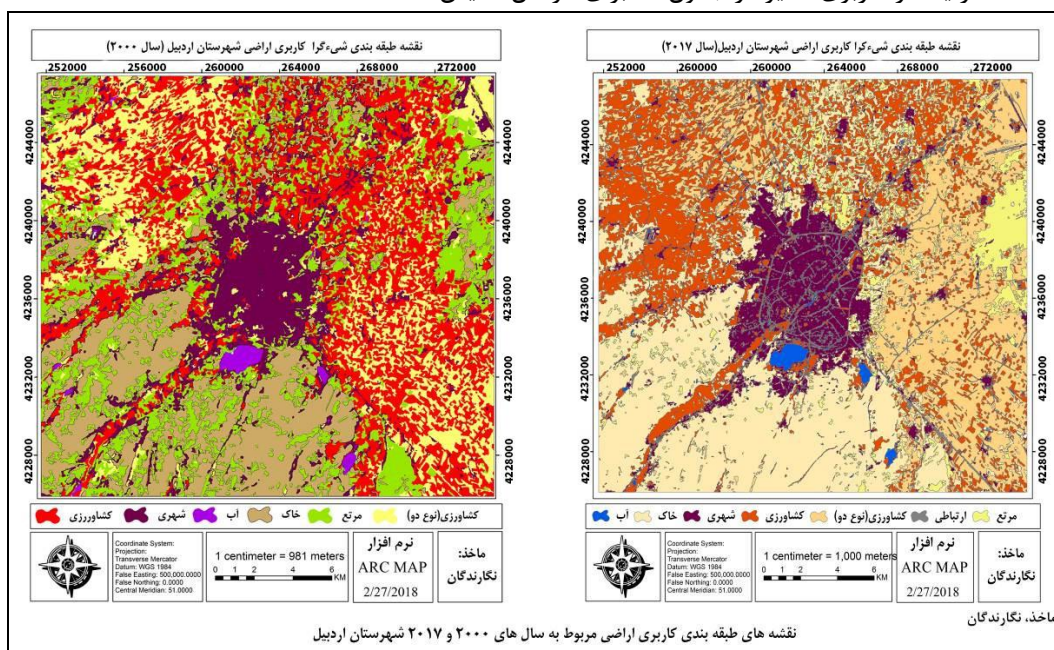
جدول (۲). اطلاعات طبقه بندی کاربری اراضی (صحت سنجی)

۲۰۰۰			۲۰۱۷		
کلاس	دقت کاربر٪	دقت تولید کننده٪	دقت تولید کننده٪	دقت کاربر٪	کلاس
خاک	۹۹	۹۸	۱۰۰	۱۰۰	خاک
کشاورزی (۱)	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	کشاورزی (۱)
کشاورزی (۲)	۹۷	۹۹	۱۰۰	۱۰۰	کشاورزی (۲)
شهری	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	شهری
مرتع	۹۹	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	مرتع
آب	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	آب
ارتباطی	-	-	۱۰۰	۱۰۰	ارتباطی
٪۹۸ دقت کلی		۱۰۰ دقت کلی			
٪۹۹ ضریب کاپا		۱۰۰ ضریب کاپا			

همانطور که از جدول فوق بر می آید دقت طبقه بندی در سال ۲۰۱۷ در دقیق ترین نوع خود یعنی ۱۰۰% دقت کلی و ۱۰۰% ضریب کاپا استخراج شده است در حالی که طبقه بندی در سال ۲۰۰۰ به نسب دقت پایین تری را ارائه داده است. نگارندگان این پایین بودن دقت را به توان تفکیک رادیومتریکی تصویر سال ۲۰۰۰ مربوط می دانند. چراکه تصاویر ETM+ از توان تفکیک پایین تری (۸ بیت) نسبت به تصاویر OLI (۱۲ بیت) برخوردار می باشند. بعد از انجام طبقه بندی و دستیابی به نتایج مدنظر، جهت آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی در سطح منطقه اقدام شد و نقشه تغییرات کاربری اراضی در یک بازه ۱۷ ساله از سطح منطقه استخراج شد. شکل (۳). بعد از استخراج نقشه تغییرات کاربری اراضی، به منظور بررسی تغییرات حادث شده در منطقه، مساحت کاربری های تغییر یافته نیز استخراج شد و در جدول (۴) ذکر گردید.

نتایج

در این پژوهش به منظور پایش دمای سطح زمین و بررسی رابطه کاربری اراضی با دمای سطح با استفاده از تصاویر سنجنده OLI و ETM+ لندست اقدام شد. در ابتدا به منظور بررسی تغییرات کاربری اراضی، نقشه کاربری اراضی شهرستان اردبیل برای سال های ۲۰۰۰ و ۲۰۱۷ تهیه شد و سپس بعد از به دست آوردن نقشه کاربری اراضی هر سال، نقشه تغییرات کاربری اراضی نیز برای منطقه استخراج شد. لازم به ذکر می باشد که تهیه نقشه کاربری اراضی در نرم افزار eCognition و به روش شیء گرا صورت پذیرفت و خروجی های مورد نظر نیز در نرم افزار ArcGIS 10.5 دریافت شد. شکل (۲) نقشه کاربری اراضی مربوط به بازه های زمانی مشخص را نمایش می دهد. همچنین مساحت هر یک از کاربری ها نیز در جدول (۲) برای هر سال نمایش داده شد.

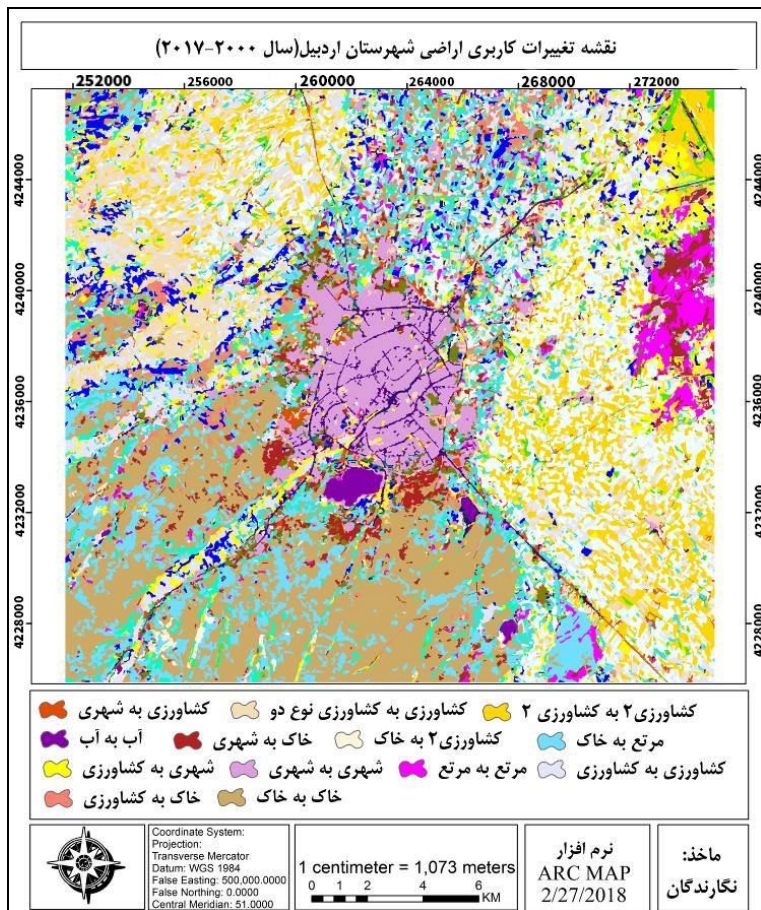


شکل (۲). نقشه های طبقه بندی شده کاربری اراضی، مربوط به سال های ۲۰۰۰ و ۲۰۱۷

جدول (۳). مساحت کاربری های اراضی، در سال ۲۰۱۷ و ۲۰۰۰

نوع کلاس	۲۰۰۰ (کیلومتر مربع)	۲۰۱۷ (کیلومتر مربع)
خاک	۱۴۷/۸۲	۱۶۱/۳۲
مرتع	۹۸/۷۸	۶۳/۲۴
شهری	۵۸/۳۱	۷۴/۶۸
کشاورزی (۱)	۱۴۸/۲۹	۱۱۱/۰۲
کشاورزی (۲)	۱۰۹/۸۳	۱۲۴/۰۸
خطوط ارتباطی	-	۱۱/۲۴
آب	۳/۵۳	۳/۸۳

همانطور که از جدول (۲) مشخص می‌باشد بیشترین مساحت در سال ۲۰۰۰ متعلق به کلاس کشاورزی نوع یک با ۱۴۸/۲۹ کیلومتر مربع مساحت می‌باشد که منظور کشاورزی‌هایی می‌باشند که اکثراً محصولات این کاربری سیب‌زمینی و گندم را شامل می‌شوند. دومین مساحت مربوط به خاک می‌باشد که با ۱۴۷/۸۲ کیلومتر مربع بیشترین مساحت را دارا می‌باشد. کمترین مساحت نیز متعلق به کاربری آب با ۳/۵۳ کیلومتر مربع است. با نگاهی به کاربری‌های سال ۲۰۱۷ نتایج به دست آمده تفاوت‌های چشمگیری را نشان داد به صورتی که بیشترین مساحت را کاربری خاک با ۱۶۱/۳۲ کیلومتر مربع دارا می‌باشد که نسبت به سال ۲۰۰۰ افزایش چشمگیری را داشته است و همچنین مناطق شهری که با مساحت ۷۴/۶۸ کیلومتر مربع دارای افزایش بوده است از عوامل مهمی که در افزایش مساحت کاربری شهری شهرستان اردبیل می‌توان ذکر نمود انتخاب این شهرستان به عنوان مرکز استان اردبیل و جدا شدن آن از استان آذربایجان شرقی می‌باشد. این عامل باعث ایجاد پیامدهای قابل توجه از جمله گسترش فیزیکی شهر و نابودی اراضی پیرامون از جمله کشاورزی و مرتع بوده است. همچنین افزایش مساحت کاربری شهری همزمان با کاهش کاربری کشاورزی (۱) و همچنین مرتع بوده است که نشان از جایگزینی کاربری‌ها و تغییرات آن‌ها می‌باشد.

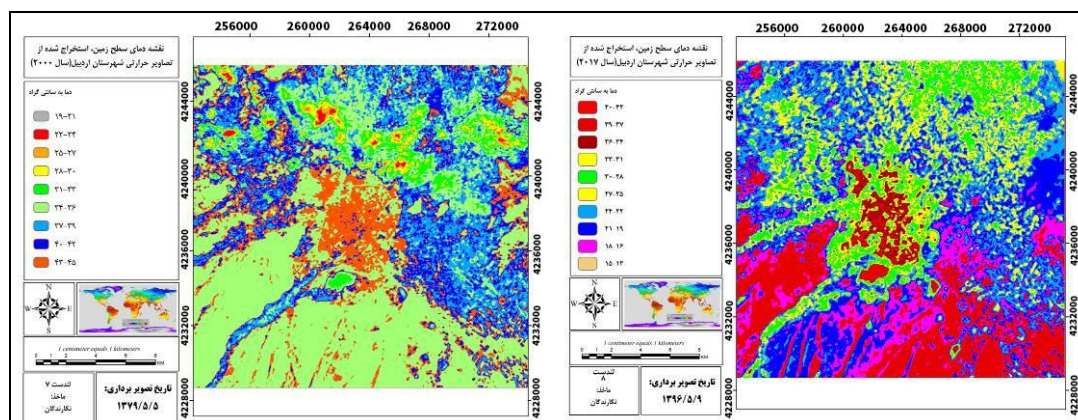


شکل (۳) نقشه تغییرات کاربری اراضی شهرستان اردبیل

جدول (۴). مساحت هر یک از طبقات تغییر یافته

مساحت (هکتار)	کاربری‌های تغییر یافته
۴۶۶/۰۴	شهری به کشاورزی
۴۸۵۹/۴۳	کشاورزی به کشاورزی ۲
۳۵۰/۱۸	آب به آب
۶۵۶/۴۵	خاک به شهری
۴۹۲/۱۶	کشاورزی ۲ به خاک
۴۱۰۵/۰۱	مرتع به خاک
۱۳۱۲/۳۶	کشاورزی به شهری
۳۳۱۲/۸۵	شهری به شهری
۱۲۲۱/۵۳	مرتع به مرتع
۵۰۷۸/۳۴	کشاورزی به کشاورزی
۱۰۳۵/۱۳	خاک به کشاورزی
۸۱۸۲/۵۹	خاک به خاک
۳۸۲۵/۰۹	کشاورزی ۲ به کشاورزی ۲

همانطور که از جدول (۴) بر می آید بیشترین میزان تغییر کاربری مربوط به کلاس کشاورزی به کشاورزی نوع ۲ می باشد که نشان دهنده تغییر کاربری در کشاورزی می باشد. سپس تغییر کاربری اراضی مرتع به خاک می باشد که نشان دهنده تخریب مراتع می باشد. در همین راستا در جهت گسترش اراضی شهری شهرستان اردبیل بیشترین پیشروی بر روی کلاس خاک بوده است که نشان دهنده نوع گسترش شهر می باشد. بعد از استخراج نقشه تغییرات کاربری اراضی به منظور استخراج دمای سطح زمین در بازه زمانی مورد نظر (۲۰۱۷-۲۰۰۰) اقدام شد و نقشه حاصل از آن نیز استخراج گردید. شکل (۴).

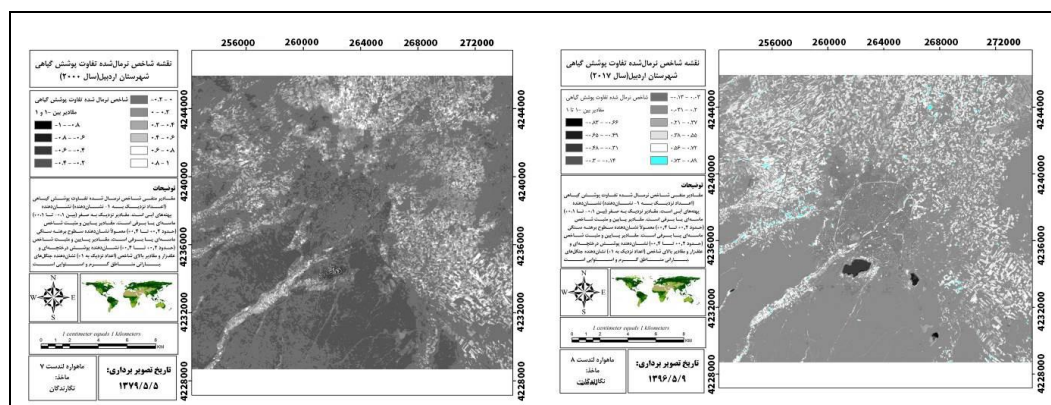


شکل (۴). نقشه دمای سطح زمین در دو سال ۲۰۱۷ و ۲۰۰۰

رابطه دمای سطح زمین با پوشش گیاهی (NDVI)

پوشش گیاهی عامل عمده نقل و انتقال انرژی بین زیست کره و جو محسوب می شود که آثار متفاوتی بر عناصر هواشناختی مناطق پیرامون خود دارد (ادب و همکاران، ۱۳۹۳). بخشی از برهمکنش های سطح زمین و جو تحت تأثیر پوشش گیاهی است. از اینرو، پوشش گیاهی بر اثر بخشی در فرایندهای اقلیمی، نظیر انتقال انرژی از طریق دمای هوا، رطوبت نسبی، بارش، تابش و پوشش ابر یکی از عوامل مهم در تغییرپذیری اقلیم کره زمین محسوب می شود. پوشش گیاهی یکی از عوامل مهم در تغییرپذیری اقلیم منطقه مورد مطالعه محسوب می شود، که نقش اساسی در تعاملات بین فرایندهای سطح زمین، (آلبدوی سطحی) و (جو) دمای سطح زمین ایفا می کند. مطالعات متعددی در زمینه بررسی ارتباط بین پوشش گیاهی با دمای سطح زمین و آلبدوی سطحی انجام گرفته است. کارنیلی و همکاران (۲۰۰۶) در مطالعه ای در ناحیه پوشش گیاهی تندرا نشان دادند که با کاهش مقادیر شاخص گیاهی تفاضلی نرمال شده، مقادیر آلبدوی سطحی گیاهان افزایش می یابد. همچنین، تغییرات نسبی اندک در ویژگی پوشش گیاهی موجب تغییراتی در آلبدوی سطحی، بیلان انرژی و در نهایت بازخوردهایی در اقلیم منطقه می شود. فصل گرم سال به عنوان دوره مطالعاتی نشان داد که فعالیت های فتوسنتز، همچنین فرایند تعرق موجب می شود تا دمای میکروکلیمای این مناطق کمتر از مناطق بدون پوشش گیاهی باشد، زیرا دفع آب در گیاه عمده تاً از طریق پدیده تعرق صورت می پذیرد. در این شرایط آب به صورت بخار آب و از محل روزنه ها به خارج از گیاه منتقل می شود. نتایج وان و همکاران (۲۰۰۴) نشان داده است که شب تغییرات دمای سطح زمین وابسته به مقدار سبزیگی است. همچنین، عامل سایه و رطوبت خاک و

هوموس در مناطق با پوشش گیاهی نیز موجب کاهش دمای سطحی و آلودگی سطحی می‌شود. از طرفی، مقادیر آلودگی سطحی در نواحی دارای پوشش گیاهی کمتر از نواحی فاقد پوشش گیاهی است، به طوری که مقادیر انرژی بازتاب شده در حدود ۱۱ درصد و مناطق بدون پوشش گیاهی حدود ۳۱ درصد است. در این پژوهش نیز با بررسی رابطه بین دمای سطحی و پوشش گیاهی با استناد بر داده‌های آماری مشخص شد که ارتباط قوی بین دمای سطح زمین و پوشش گیاهی برقرار است. به این صورت که نواحی عاری از پوشش گیاهی دارای دمای سطحی بالاتری نسبت به نواحی است که دارای پوشش گیاهی می‌باشند. نواحی دارای پوشش گیاهی همچون کشاورزی و مرتع برای سال ۲۰۰۰ دارای دمای ۳۸ و ۴۰ درجه می‌باشند در حالی که در این سال نواحی بدون پوشش گیاهی همچون مناطق شهری دارای دمائی حدود ۴۴ درجه سانتیگراد است که نشان از تاثیر پوشش گیاهی بر دمای سطحی می‌باشد. همچنین در سال ۲۰۱۷ نیز همین فرآیند مشاهده می‌شود به طوری که کاربری‌های کشاورزی و مرتع به ترتیب دارای دمای ۳۲ و ۳۸ درجه بوده‌اند در حالی که کاربری شهری عاری از پوشش گیاهی دارای دمای ۴۱ درجه سانتیگراد بوده است. به دلیل اهمیت نقش پوشش گیاهی در دمای سطح زمین، نگارندگان نقشه پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعه را نیز استخراج کردند تا به این طریق درک بهتری از رابطه پوشش گیاهی با دمای سطح زمین به دست آید. شکل (۵).



شکل (۵) نقشه های شاخص نرمال شده پوشش گیاهی در دو سال ۲۰۱۷ و ۲۰۰۰

تحلیل رابطه کاربری اراضی و دمای سطحی

نقشه دمای سطح زمین در شکل (۴)، نمایش داده شده است. همانطور که از نقشه فوق مشخص می‌باشد بیشترین دما در سال ۲۰۰۰ برای کاربری شهری ثبت شده است و کمترین دما نیز برای محدوده آبی ثبت شده است. از دمای حاصل شده از تصاویر مربوطه، این چنین برداشت می‌شود که شهرستان اردبیل در سال ۲۰۰۰ دچار پدیده جزیره حرارتی بوده است که ساخت و سازهای انسانی که اکثرا جاذب حرارت می‌باشد بیشترین سهم را در این پدیده داشته‌اند و همچنین سوخت حاصل از ماشین‌آلات و کارخانه‌جات نیز در این پدیده موثر می‌باشند. با مشاهده نقشه کاربری اراضی و نقشه دمای سطحی سال ۲۰۱۷ نیز، تحلیل فوق ثابت می‌شود و همان‌طور که مشخص می‌باشد بیشترین دما در این سال نیز متعلق به کاربری شهری به همراه کاربری مرتع به ترتیب با ۳۸ و ۴۱ درجه سانتیگراد می‌باشد. کمترین دمای ثبت شده نیز مربوط به کاربری آب با ۳۰ درجه سانتیگراد

می‌باشد. بدنه‌های آبی در این محدوده به دو شکل مناطق رودخانه با عمق و آب کم (اکثراً رودخانه داخل شهری) و به صورت دریاچه‌ای (دریاچه شورابیل) می‌باشد. با توجه به اینکه آب دارای ظرفیت گرمایی بالایی می‌باشد، نواحی عمیق دارای دمای سطحی کمتری نسبت به نواحی کم عمق می‌باشند. بنابراین، انحراف معیار به دست آمده از دمای سطحی این کاربری با توجه به دمای استخراج شده در نواحی کم عمق و عمیق است. کاربری مربوط به کشاورزی در این ناحیه، بعد از مناطق آبی دارای کمترین دمای سطحی می‌باشد. با توجه به اینکه محصولات زراعی کشت شده در این محدوده گیاهانی از جمله سیب‌زمینی می‌باشند و این گیاهان دارای نیاز آبی بیشتری نسبت به گیاهان دیگر از جمله گندم دارند و اغلب نیاز آبی آن‌ها به صورت هفتگی می‌باشد. بنابراین، این گیاهان در این ماه دارای سبزیگی بالایی بوده و همین امر باعث شده که در محدوده تحت کشت آن‌ها تبخیر و تعرق بیشتری نسبت به سایر نواحی صورت گیرد و بالطبع در خنک نگه‌داشتن دمای سطحی بسیار تأثیرگذار بوده است (احمدی و همکاران، ۱۳۹۴؛ ۶۱). انحراف معیار دمایی این کاربری نسبت به سایر کاربری‌ها بالاتر است که دلیل این امر نیز ناشی از اختلاف زمانی نیاز آبی این نوع محصولات در طول هفته می‌باشد. جدول (۵) دمای سطحی هر یک از کاربری‌ها را برای سال‌های ۲۰۱۷ و ۲۰۰۰ نمایش می‌دهد.

جدول (۵). دمای سطحی کاربری‌های مختلف شهرستان اردبیل (میانگین دما)

سال ۲۰۱۷		سال ۲۰۰۰	
دمای میانگین C	کاربری	دمای میانگین C	کاربری
۳۲	کشاورزی	۳۸	کشاورزی
۳۸-۲۰ (متغییر برای نوع خاک)	خاک	۳۵	خاک
۴۱	شهری	۴۴	شهری
۳۰	آب	۲۸	آب
۳۴	کشاورزی (۲)	۴۱	کشاورزی (۲)
۳۸	مرتع	۴۰	مرتع

همانطور که از جدول (۵) مشخص می‌باشد در صورت مقایسه دمای سطحی هر دو سال مربوط به شهرستان اردبیل چنین برداشت می‌شود که کاربری آب نسبت به سال ۲۰۰۰ دارای افزایش دما بوده است و این چنین برداشت می‌شود این افزایش دما باعث کاهش سطح آب دریاچه بوده است و همچنین افزایش دمای شهری نیز در رودخانه‌های داخل شهری باعث کاهش حجم آب رودخانه‌ها بوده و حتی باعث خشک شدن چندین مورد از این رودخانه‌ها گردیده است. به دلیل اینکه با افزایش دما تبادلات هوایی بین دریاچه و خشکی کاهش می‌یابد و از سوئی لجن‌های کف دریاچه به سمت بالا و ساحل جهت می‌یابند، ماهی در تغذیه از لجن‌ها به میکروب طبیعی موجود در آن گرفتار می‌شود و از پیامدهای افزایش دما مرگ این جانوران دریایی در دریاچه‌ها می‌باشد (احمدی و همکاران، ۱۳۹۴؛ ۶۱). بعد از کاربری آب از جمله کاربری‌های جالب توجه که لازم به تحلیل و علت جویی آن می‌باشد کاربری کشاورزی (۲) می‌باشد. این کاربری که بیشتر مناطق دیم را شامل می‌شود دارای کاهش دما نسبت به سال ۲۰۰۰ می‌باشد. این کاربری در سال ۲۰۰۰ بیشترین دما را بعد از کاربری شهری دارا بوده است اما در سال ۲۰۱۷ کمترین دمای ثبت شده را به خود اختصاص داده است. علت آن را می‌توان در عامل برداشت محصول دانست. با توجه به اینکه محصولات دیمی محدوده مورد مطالعه اغلب گندم بوده و در این زمان از فصل

بیشتر گندم‌ها رسیده و یا برداشت می‌شوند، بنابراین تبخیر و تعرق این محصولات ناچیز می‌باشد (همان منبع). به همین جهت این نواحی مقدار بیشتری انرژی تابشی را نسبت به سایر کاربری‌ها دریافت و نگه می‌دارند که بر اساس آن دمای سطحی آن نیز بیشتر است. انحراف معیار دمای سطحی این کاربری نسبت به سایر کاربری‌ها کمتر است. با این توجیه میتوان استنباط کرد که محصولات این کاربری در سال ۲۰۰۰ برداشت شده‌اند و همین امر باعث شده که انرژی تابشی گسیل شده بیشتری دریافت شود اما در سال ۲۰۱۷ به دلیل برداشت نشدن محصولات و یا برداشت کم آن‌ها، توان تبخیر و تعرق در گیاهان بیشتر بوده و همین امر باعث خنک نگه داشتن دمای سطح شده است. کاربری مرتع در هر دو سال مورد مطالعه، دمای بالایی را داشته است و اختلاف ناچیزی بین هردو سال مشاهده می‌شود. دلیل بالا بودن دمای این کاربری، باتوجه به فصل مورد مطالعه که مرداد ماه می‌باشد، ازدیاد نواحی عاری از پوشش گیاهی یا پوشش گیاهی ناچیز و پراکنده می‌باشد. به دلیل اینکه در ماه مرداد اغلب شاخ و برگ گیاهان موجود خشک بوده و تبخیر و تعرق پایین است دمای بالایی نیز ثبت می‌شود. این مورد قابل ذکر است که تبخیر و تعرق رابطه معکوس با دمای سطحی دارد به این معنی که با افزایش تبخیر و تعرق دمای سطحی کاهش می‌یابد و همین امر باعث شده است که کمبود تبخیر و تعرق در کاربری مرتع باعث افزایش دمای آن شود و همچنین انرژی تابشی بیشتری را دریافت و در خود ذخیره کند. در نواحی که دامنه مرتعی رو به آفتاب هستند و پوشش گیاهی غیرمترکم است، دمای سطحی بیشینه حاکم می‌باشد.

ارزیابی دمای به دست آمده با داده‌های زمینی

مقادیر دمای اندازه‌گیری شده توسط ایستگاه هواشناسی شهرستان اردبیل برای هردو سال ۲۰۰۰ و ۲۰۱۷ در جدول (۵) نمایش داده شده است. مقادیر اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های زمینی تا حدودی در تمام ماه‌های سال نزدیک به هم می‌باشند اما به دلیل اینکه تصاویر اخذ شده مربوط به ماه مرداد می‌باشد ماه مدنظر ما نیز مرداد می‌باشد. همانطور که گفته شد مقادیر اندازه‌گیری شده در ایستگاه زمینی نزدیک به هم بوده اما این مقادیر در اندازه‌گیری توسط تصاویر اخذ شده متفاوت‌تر از هم می‌باشند. دلیل این تفاوت چندین عامل می‌تواند باشد. از عوامل مهم در تغییرات دمایی نمایش داده شده در تصاویر، میزان توان تفکیک رادیومتریکی هریک از تصاویر می‌باشد. هر سنجنده‌ای که وظیفه تصویربرداری از سطح زمین را بر عهده دارد، دارای ویژگی‌های خاص و متناسب به خود می‌باشد. یکی از این ویژگی‌ها کیفیت تصاویری است که برداشت می‌کند. این کیفیت تصاویر در سنجش از دور با عنوان توان تفکیک و یا قدرت تفکیک یا رزولوشن شناخته می‌شود. تعداد بیت‌های اختصاص داده شده در دیتاها تعریف می‌شود. یعنی تا چه حد یک تصویر می‌تواند انرژی‌های الکترومغناطیس را شناسایی کند. هر چه قدر یک تصویر از توان تفکیک رادیومتریکی بالاتری برخوردار باشد، از توان شناسایی انرژی‌های بالاتر و بیشتری را برخوردار است. با این تفسیر و توضیح میتوان به تفاوت بین تصاویر سنجنده لندست ۷ (۸بیتی) با تصاویر اخذ شده سنجنده لندست ۸ (۱۲بیتی) پی برد و رابطه این عوامل با محاسبه دمای سطح را نیز آشکار ساخت. عامل بعدی در این تفاوت دمایی، به خود سنجنده و سیستم فیزیکی آن مرتبط می‌باشد. به این معنا که سنجنده‌ها بعد مدت زمان معینی خود نیز از خود انرژی و حرارت تولید می‌کنند و سنسور نیز همین انرژی‌ها را نیز ثبت و لحاظ می‌کند. هرچند این عوامل تا حدودی تصحیح می‌شوند ولی همیشه تصحیح به معنای کامل

اتفاق نمی‌افتد و این عوامل (هرچند کم) تاثیراتی بر روی تصویر نهائی می‌گذارند (جنسن، ۲۰۰۵). در نهایت دمای اخذ شده توسط ایستگاه‌های زمینی و تصاویر در جدول (۶) نمایش داده شده است.

جدول (۶). داده‌های زمینی و مقادیر ثبت شده در تصاویر ماهواره

سال مورد بررسی	داده های زمینی	تصاویر ماهواره ای	ایستگاه هواشناسی
۲۰۰۰	۲۵/۵	۳۴.۶۶	اردبیل
۲۰۱۷	۲۴/۵	۳۰.۶۳	اردبیل

نتیجه‌گیری

اطلاع از نسبت کاربری‌ها و نحوه تغییرات آن در گذر زمان یکی از مهم‌ترین موارد در برنامه‌ریزی و سیاست گذاری می‌باشد. به همین دلیل در این پژوهش در اولین قدم به منظور طبقه بندی و سپس بررسی تغییرات حادث شده در یک بازه زمانی مشخص در سطح شهر اردبیل و اطراف آن اقدام شد. به منظور طبقه بندی تصاویر مربوطه از شهرستان اردبیل از روش شیء‌گرا در نرم افزار eCognition استفاده شد و خروجی های مربوطه در نرم افزار ARCGIS10.5 استخراج شد. نتایج طبقه بندی نشان می‌دهد که طبقه بندی برای سال ۲۰۱۷ از دقت بسیار بالایی برخوردار می‌باشد به طوری که دقت کلی و ضریب کاپای استخراج شده در بالاترین سطح ممکن یعنی ۱۰۰ درصد برای هر دو دقت می‌باشد. در به دست آوردن این دقت عواملی همچون وضوح بالای تصویر و همچنین به کارگیری الگوریتم هایی اعم از شکل، بافت، خاک و پوشش گیاهی دخیل می‌باشند. نتایج طبقه بندی با همین روش برای سال ۲۰۰۰ نیز با دقت کمتر استخراج شد و دقت کلی برای سال ۲۰۰۰، ۹۸ درصد و ضریب کاپای ۹۹ درصد انجام شد. بعد از طبقه بندی به منظور بررسی تغییرات حادث شده در سطح منطقه در یک بازه زمانی ۱۸ ساله اقدام شد و نقشه تغییرات کاربری اراضی برای سطح شهرستان اردبیل ایجاد شد (شکل ۳) و همچنین تغییرات حادث شده در هر کاربری نیز در جدول (۴) بر حسب هکتار استخراج شد. بیشترین کاربری تغییر یافته در این شهرستان، کاربری کشاورزی به شهری بوده است. این تغییر نشان می‌دهد که افزایش کاربری شهری در این شهرستان با کاهش کاربری کشاورزی همراه بوده است که نشان دهنده تخریب مکان‌های کشاورزی و جایگزینی مناطق شهری به جای آن است. تولید نقشه‌های دمای سطح زمین نیاز به باندهای حرارتی دارد که توان تفکیک زمینی پایین داشته و در فواصل طولانی در اختیار محققان قرار گیرد (کاوایانی و همکاران، ۱۳۹۲؛ ۲۲). به همین دلیل پویایی فضایی و زمانی دمای سطح زمین از جمله کاربری اراضی از طریق پایش داده‌های تصاویر لندست مورد مطالعه قرار گرفت. دمای سطح زمین از جمله پارامترهای اصلی در مطالعه شهرهاست. چرا که تقریباً با دمای هوای لایه‌های پایینی جو شهری که مرکز موازنه انرژی سطح است و تعیین کننده اقلیم میان ساختمان‌ها و موثر بر زندگی و آسایش ساکنان شهری است، برابری می‌کند. نتایج به دست آمده در محدوده مورد مطالعه نشان می‌دهد که دمای سطحی در هر محدوده‌ای از زمین متأثر از عوامل سطحی و خصوصیات آن می‌باشد. نتایج این تحقیق هم نشان می‌دهد که دمای به دست آمده با توجه به کاربری‌های مختلف، متفاوت می‌باشد. همانطور که از شکل (۴) و داده های آماری جدول (۵) مشخص می‌باشد بیشترین دمای ثبت شده برای شهرستان اردبیل برای سال ۲۰۰۰ و ۲۰۱۷ مربوط

به کاربری شهری به ترتیب با ۴۴ و ۴۱ درجه سانتی‌گراد می‌باشد که نشان از تمرکز حرارت در مناطق شهری می‌باشد. این کاربری به دلیل وجود عوامل انسان ساخت و جاذب حرارت همانند آسفالت، بتن، وجود ماشین‌آلات بیشترین دما را دارا می‌باشد. همچنین وجود ساختمان‌های بلند همانند مانعی از خروج گرما به اطراف بوده و به نوعی گرما را در داخل شهر محبوس می‌کند که خود عاملی در گرم شدن کاربری شهری می‌باشد. با توسعه شهرنشینی شهرستان اردبیل، بخش قابل توجهی از مساحت مناطق طبیعی و جنگلی، جای خود را به مناطق صنعتی، ساختمان‌ها و سایر زیرساخت‌ها داده‌اند. محدوده‌های شهری دارای بیلان انرژی متفاوتی در قیاس با نواحی غیرشهری هستند. این تفاوت و تغییر در مفهوم بیلان انرژی، باعث از دست رفتن توازن انرژی در محیط شهری می‌گردد که مشکلات زیست محیطی جدی همانند آلودگی حرارتی را برای ساکنین این شهر به دنبال می‌آورد. همچنین برای پوشش سبز نیز مقدار زیادی از انرژی دریافتی در فرآیند تبخیر و تعرق مصرف شده و مقدار کمی از انرژی برای گرم کردن هوا باقی می‌ماند. از طرفی افزایش تراکم جمعیت موجب افزایش انرژی وارده شده به محیط توسط بشر می‌شود که نتیجه آن ایجاد خرداقلیم‌های متفاوت و بالابودن گرمایش شهری نسبت به اطراف آن در سطح شهر خواهد بود. کمترین دمای ثبت شده در شهرستان اردبیل نیز مربوط به کاربری آب می‌باشد. بدنه‌های آبی در این محدوده به دو شکل مناطق رودخانه با عمق و آب کم (اکثراً رودخانه داخل شهری) و به صورت دریاچه‌ای (دریاچه شورابیل) می‌باشد. با توجه به اینکه آب دارای ظرفیت گرمایی بالایی می‌باشد، نواحی عمیق دارای دمای سطحی کمتری نسبت به نواحی کم عمق می‌باشند. بنابراین، انحراف معیار به دست‌آمده از دمای سطحی این کاربری با توجه به دمای استخراج شده در نواحی کم‌عمق و عمیق است. همچنین در جدول (۶) به بررسی همبستگی بین دمای سطحی و پوشش‌های کاربری در بازه زمانی مورد نظر (سال ۲۰۱۷ و ۲۰۲۰) پرداخته شد و مشخص شد که بجز پهنه‌های آبی که دارای همبستگی مثبت با دمای سطحی می‌باشند بقیه کاربری‌ها دارای همبستگی منفی می‌باشند. همچنین بیشترین همبستگی منفی با پوشش گیاهی می‌باشد که عموماً دلیل آن پوشش گیاهی متراکم در محدوده می‌باشد.

جدول (۶). همبستگی بین دمای سطحی و پوشش کاربری‌ها

نوع کلاس	تعداد پیکسل‌های نمونه برداری شده	ضریب همبستگی با دمای سطحی
خاک	۱۶۷۲۳	-۰/۱۶
مرتع	۱۲۶۷۵	-۰/۰۸
شهری	۱۹۳۸	-۰/۰۶
کشاورزی (۱)	۱۴۰۷۵	-۰/۳۴
کشاورزی (۲)	۱۰۰۷۸	-۰/۳۵
خطوط ارتباطی	۱۲۹	-۰/۰۹
آب	۹۸	۰/۲۲

در تحقیقی مشابه فیضی‌زاده و همکاران (۱۳۹۵) به بررسی دمای سطح زمین با استفاده از تصاویر ماهواره لندست و الگوریتم پنجره مجزا پرداختند. نتایج نشان می‌دهد که بین پوشش گیاهی و دمای سطح زمین رابطه قوی وجود دارد چنان که مناطق دارای پوشش گیاهی دارای حداقل دما و مناطق عاری از پوشش گیاهی دارای حداکثر

دما می‌باشند که نشان از نقش و اهمیت پوشش گیاهی در منطقه می‌باشد. امیری (۱۳۸۴)، با بهره‌گیری از سنجش از دور به مطالعه و بررسی توزیع حرارت و تغییرات آن در ارتباط با کاربری و پوشش زمین و ویژگی‌های آن در منطقه شهری تبریز پرداخته و از تصاویر لندست ۵ و ۷ که به ترتیب متعلق به سال‌های ۱۹۸۹، ۱۹۹۸ و ۲۰۰۱ بودند، استفاده کرد. وی برای مدلسازی توزیع حرارت، ارتباط میان شاخص NDVI و ارتفاع با حرارت سطح از تحلیل همبستگی و رگرسیون چندگانه استفاده کرد. نتایج نشان می‌دهد که تبدیل کاربری‌های فضای سبز و کشاورزی به مناطق مسکونی با تغییرات حرارتی همراه بوده و به مهاجرت پیکسل‌ها از شرایط مطلوب (دمای پایین و پوشش گیاهی بالا) به شرایط نامطلوب (دمای بالا و پوشش گیاهی پایین) منجر شده است که عامل مهمی در حرارت‌های بالا در شهر شناخته می‌شود. در نهایت از مزایا و کاربردهای این تحقیق می‌توان به کاربرد آن در زمینه مختلف همچون کشاورزی، عمران، آب و هواشناسی، زمین‌شناسی، نقشه برداری، آبخیزداری و سایر رشته‌هایی اشاره کرد که به نحوی با داده‌های دمایی و همچنین با کاربری‌های زمین و علوم زمین در ارتباط می‌باشد. شایان تذکر می‌باشد که دمای ثبت شده توسط ایستگاه‌های هواشناسی تنها مربوط به یک محدوده خاص می‌باشد و نمی‌توان آن را برای تمامی مناطق سطح یک منطقه به کار برد و همچنین مناطقی نیز وجود دارند که به علت صعب‌العبور بودن امکان به دست آوردن دمای آن غیرممکن یا بسیار هزینه‌بر است. در حالی که با استفاده از تکنولوژی سنجش از دور و تصاویر ماهواره‌ای می‌توان دمای تمامی مناطق سطح زمین را بدون هزینه‌های اضافی برآورد نمود. نتایج این تحقیق می‌تواند در اختیار محققان و کارشناسان مربوطه در سطح منطقه به منظور کسب اطلاعات از دمای سطح زمین، کاربری زمین و همچنین تغییرات حادث شده در سطح منطقه قرار گیرد و با اتخاذ سیاست‌های مطلوب و درست به پیش‌بینی وضع آینده نیز اقدام کنند.

منابع

- احمدی، محمود؛ عاشورلو، داوود؛ نارنگی فرد، مهدی. (۱۳۹۱). تغییرات زمانی - مکانی الگوهای حرارتی و کاربری شهر شیراز با استفاده از داده‌های سنجنده *TM&ETM*، سنجش از دور و *GIS* ایران، ۴(۴)، ۵۵-۶۸.
- اکبری، هادی. (۱۳۷۹). بررسی الگوی توزیع درجه حرارت شهر تهران با استفاده از اطلاعات حرارتی لندست *TM*، پایان نامه ارشد سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.
- امیری، رضا. (۱۳۸۴). مطالعه تغییرپذیری داده‌های حرارتی *TM* لندست در ارتباط با کاربری و پوشش زمین و ویژگی‌های آن در منطقه شهری تبریز، پایان نامه ارشد رشته سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.
- امینی، سمیرا؛ زارع ابیانه، حمید؛ اکبری، مهدی. (۱۳۹۳). برآورد دما و شاخص پوشش گیاهی سطح زمین با استفاده از داده‌های سنجش از دور (مطالعه موردی: شهرستان همدان)، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۳، ۳۴۸-۳۳۳.

خسروی، محمود؛ قبادی، اسدالله. (۱۳۹۲). بررسی مقایسه تاثیر جمعیت بر سازمان یابی فضایی نقاط شهری با تاکید بر عملکرد جزیره گرمایی (نمونه موردی: استان تهران والبرز)، نخستین کنفرانس آب و هواشناسی، کرمان، دانشگاه تحصیلات تکمیلی و صنعتی و فناوری پیشرفته.

رمضان، بهمن؛ مریم دخت؛ محمد. (۱۳۸۰). شناخت محدوده تشکیل جزایر گرمایی در شهر رشت، جغرافیای طبیعی، ۳، ۱۱۱-۱۲۵.

رنگزن، کاظم؛ فیروزی؛ محمدعلی، تقی‌زاده، امین. (۱۳۹۰). تهیه نقشه *LST* با استفاده از تصاویر ماهواره ای، نمونه موردی شهر اهواز، همایش ملی ژئوماتیک

زبیری، محمود؛ مجد، علیرضا. (۱۳۸۵). آشنایی با فن سنجش از دور و کاربرد در منابع طبیعی، چاپ ششم، انتشارات دانشگاه تهران.

شکیبا، علیرضا؛ فیروزآبادی، پرویز؛ عاشورلو، داوود؛ نامداری، سودابه. (۱۳۸۸). تحلیل رابطه کاربری اراضی و پوشش گیاهی با جزایر حرارتی شهر تهران با استفاده از داده های *ETM+* سنجش از دور و *GIS* ایران، (۱)، ۳۹-۵۶.

صادقی‌نیا، علیرضا؛ علیجانی، بهلول؛ ضیائیان، پرویز. (۱۳۹۱). تحلیل زمانی-مکانی جزیره حرارتی کلان شهر تهران با استفاده از داده های سنجش از دور و *GIS*، جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره ۴، ۱-۱۷.

عقیلی نسب، زهرا؛ محمدزاده، مرجان؛ سلمان ماهینی، عبدالرسول؛ زارعی، حسین. (۱۳۹۰). تحلیل روش محاسبه جزیره حرارتی شهری با استفاده از سنجش از دور، دومین کنفرانس برنامه ریزی و مدیریت محیط زیست، ۳-۸.

علوی پناه، کاظم. (۱۳۸۶). سنجش از دور حرارتی و کاربرد آن در علوم زمین، چاپ دوم، تهران، انتشارات دانشگاه تهران.

علوی پناه، کاظم. (۱۳۹۳). اصول سنجش از دور نوین و تفسیر عکس های هوایی و تصاویر ماهواره ای، چاپ دوم، تهران، انتشارات دانشگاه تهران.

فیضی زاده، بختیار؛ دیده بان، خلیل؛ غلام نیا، خلیل. (۱۳۹۵). برآورد دمای سطح زمین با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۸ و الگوریتم پنجره مجزا (مطالعه موردی: حوضه ابریز مهاباد)، فصلنامه اطلاعات جغرافیایی، ۲۵(۸۱): ۹۸-۱۷۱.

کاویانی، عباس؛ سهرابی، تیمور؛ دانش کارآسته، پیمان. (۱۳۹۲). تخمین دمای سطح زمین با استفاده از شاخص *NDVI* در تصاویر سنجنده های لندست *ETM+* و مودیس، مجله هواشناسی کشاورزی، ۱(۱): ۱۴-۲۵.

مباشری، محمد. (۱۳۸۹). مبانی فیزیک سنجش از دور و فناوری ماهواره، چاپ اول، تهران، انتشارات دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی.

مرادی، مسعود؛ صلاحی، برومند؛ مسعودیان، سیدابولفضل. (۱۳۹۵). بررسی شیب دمای سطح زمین در ایران با داده های روز هنگام مودیس، مجله پژوهش های جغرافیای طبیعی، ۴(۴)، ۵۱۷-۵۳۳.

ملکیور، پیمان؛ طالعی، محمدیوسف؛ خوشگفتار، مهدی. (۱۳۸۹). بررسی درجه حرارت سطح زمین و ارتباط آن با کلاس های پوشش کاربری زمین شهری با استفاده از داده های سنجنده ETM+ مطالعه موردی: شهر تهران، همایش ژئوماتیک.

موسوی بایگی، محمد؛ اشرف، بتول؛ فریدحسینی، علیرضا، میان آبادی، آمنه. (۱۳۹۱). بررسی جزیره حرارتی شهر مشهد با استفاده از تصاویر ماهواره ای و نظریه فرکتال، مجله جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۱، ۳۵-۴۹. نامداری، سودابه. (۱۳۸۸). استخراج جزایر حرارتی د مناطق شهری با استفاده از داده های سنجنش از دور (مطالعه موردی : شهر تهران)، پایان نامه ارشد رشته سیستم اطلاعات جغرافیایی، منابع آب و خاک، دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده علوم و زمین، گروه آموزشی سنجنش از دور و GIS.

نوری، سمیرا؛ ثنائی نژاد، حسین؛ هاشمی، مجید. (۱۳۸۹). برآورد دمای سطح زمین با استفاده از تصاویر مودیس در زیر حوضه ابریز مشهد، اولین کنفرانس بین المللی مدلسازی گیاه، آب و خاک و هوا.

هاشمی، محمود؛ علویپناه، کاظم؛ دیناروندی، مرتضی. (۱۳۹۲). ارزیابی توزیع مکانی دمای سطح زمین در محیط زیست شهری، با کاربرد سنجنش از دور حرارتی، محیط شناسی، ۳۱(۱)، ۸۱-۹۲.

Du, Z., Li, W., Zhou, D., Tian, L., Ling, F., and Wang, H., (2014), **Analysis of Landsat-8 OLI imagery for land surface water mapping**, Remote Sensing Letters, 5(7): PP. 672-681.

Artis, D. A., Carnahan. W. H., (1982), **Survey of Emissivity Variability in Thermography of Urban Areas**. Remote Sensing of Environment, 12. 313- 329.

Benali, A., Carvalho, A. C., Nunes, J. P., Carvalhais, N., & Santos, A., (2012), **Estimating air surface temperature in Portugal using MODIS LST data**. Remote Sensing of Environment, 124, 108-121.

Cresswell, M. P., Morse, A. P., Thomson, M. C., & Connor, S. J., (1999), **estimating surface air temperatures, from Meteosat land surface temperatures, using an empirical solar zenith angle model**. International Journal of Remote Sensing, 20(6), 1125-1132.

Czajkowski, K. P., Goward, S. N., Stadler, S. J., & Walz, A., (2000), **Thermal remote sensing of near surface environmental variables: application over the Oklahoma Mesonet**. The Professional Geographer, 52(2), 345-357.

Deng Sheng, Lu. Qihao, Weng. (2006), **Spectral Mixture Analysis of ASTER Images for Examining the Relationship between Urban Thermal Features and Biophysical Descriptors in Indianapolis, Indiana, USA**. Remote Sensing of Environment, 104, Pp 157-167.

Granger, R.J., (1999), **Satellite-derived Estimation of Evapotranspiration in Gediz Basin**, Journal of Hydrology, 229, 70-76.

Jacobson, M. Z., (2005), **Fundamentals of atmospheric modeling**, Cambridge University Press.

Jiang, Jing, and Tian, Guangjin. (2010), **Analysis of The Impact of Land Use/ Land Cover Change on Land Surface Temperature with Remote Sensing**, Procedia Environmental Sciences, 2, 571-575.

Jin, M., & Dickinson, R. E., (2010), **Land surface skin temperature climatology: benefitting from the strengths of satellite observations**. Environmental Research Letters, 5(4), 440-457.

- Li, Z.L., and Becker, F., (1993), **Feasibility of Land Surface Temperature and Emissivity Determination from AVHRR Data**, Remote Sens. Envir, 43: pp. 67-85.
- Lo CP, Quattro chi DA and Luvall JC., (1997), **Application of high-resolution thermal infrared remote sensing and GIS to assess the urban island effect**. Int. J. Remote sensing. 18(2), 287-304.
- Vázquez D.P., F.J.O., Reyes and L.A., Arboledas. (1997), **A Comparative Study of Algorithms for Estimating Land Surface Temperature from AVHRR Data**, Remote Sensing of Environment, 62(3): pp.215-222.
- Vooget J.A and T.R, Oke. (2003), **Thermal Remote Sensing of Urban Climates**, Remote Sensing of Environment, No 86, Pp 370-282.
- Wan, Z., & Dozier, J., (1996), **A generalized split-window algorithm for retrieving land-surface temperature from space**, Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions, 34(4), 892-905.
- Wan, Z., Zhang, Y., Zhang, Q., & Li, Z. L., (2002), **Validation of the land-surface temperature products retrieved from Terra Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer data**. Remote Sensing of Environment, 83(1), 163-180.
- Willmott, C. J., & Robeson, S. M., (1995), **climatologically aided interpolation (CAI) of terrestrial air temperature**. International Journal of Climatology, 15(2), 221-229.
- Zebiri, Mahmoud, Majid, Alireza., (2006), **Introduction to remote sensing and application in natural resources**, 6th edition, Tehran University Press