



جغرافیا و روابط انسانی، تابستان ۱۴۰۳، دوره ۷، شماره ۱، صص ۲۰۴-۱۸۶

پایش دمای سطح زمین با به‌کارگیری روش پنجره مجزا در شهرستان تبریز و اثر آن بر

تغییرات کاربری اراضی

خدیدجه جوان^{۱*}، سحر مهران^۲

۱- نویسنده مسئول، دانشیار آب و هواشناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

kh.javan@urmia.ac.ir

۲- کارشناسی ارشد برنامه‌ریزی آمایش سرزمین، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۹/۲۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۲۵

چکیده

دمای سطح زمین LST^1 عاملی مهم در مباحث گرمایش جهانی و تغییر اقلیم است. فعالیت‌های طبیعت و انسان-ساخت به ویژه تغییرات در پوشش زمین، تأثیر چشمگیری بر دمای سطح می‌گذارد. هدف از این پژوهش، تخمین دمای سطح زمین با به‌کارگیری روش پنجره مجزا در شهرستان تبریز و تعیین رابطه آن با تغییرات کاربری اراضی می‌باشد. بدین سبب تصاویر OLI و $TIRS$ لندست ۸ در سال‌های ۲۰۱۳ و ۲۰۱۹ استفاده شده و پس از انجام مراحل مختلف پیش‌پردازش، شاخص پوشش گیاهی $NDVI^2$ ، شاخص توسعه شهری $NDBI^3$ ، شاخص استخراج آب $MNDWI^4$ و دمای سطح زمین با استفاده از باندهای چندطیفی و حرارتی برآورد شد. نقشه‌های کاربری زمین نیز با بهره‌گیری از روش طبقه‌بندی شی‌گرا تهیه گردید و سپس ضرایب ارزیابی صحت به دست آمد. نتایج این پژوهش آشکار کرد که بیشترین تغییرات کاربری اراضی در بخش مرتع به چشم می‌خورد که در دوره ۷ ساله بخش عمده‌ای از آن به کاربری ارتباطی و شهری تغییر یافته است. همچنین نتایج حاصل نشان‌دهنده همبستگی معکوس بین دمای سطح زمین و شاخص $NDVI$ است و حداکثر دما در مناطقی رخ می‌دهد که با فقر پوشش گیاهی مواجه بوده‌اند. بنابراین با توجه به جایگاه پوشش گیاهی در متعادل کردن شرایط دمایی، ضرورت و لزوم حفاظت از پوشش گیاهی آشکار می‌شود. با توجه به اهمیت بالای منطقه، نتایج حاصله می‌تواند در برنامه‌ریزی توسعه و لزوم توجه به پیامدهای به‌دست آمده از تغییرات کاربری اراضی و نیز ضرورت به‌کارگیری داده‌های سنجش از دور در برنامه‌ریزی محیطی حائز اهمیت باشد.

واژگان کلیدی: دمای سطح زمین، کاربری اراضی، روش پنجره مجزا، لندست ۸، شهرستان تبریز.

¹ - Land Surface Temperature

² - Normalized Difference Vegetation Index

³ - Normalized Difference Built-up Index

⁴ - Modified Normalized Difference Water Index



مقدمه

LST از انرژی خالص در سطح زمین می‌باشد تبعیت می‌کند و به میزان انرژی رسیده به سطح، رطوبت، گسیلمندی و جریان هوای جو زمین وابسته است (فیضی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۵: ۱۷۲). با توجه به این‌که دمای سطح زمین لایه‌های زیرین اتمسفر را تنظیم می‌کند، می‌توان از آن به عنوان شاخص آب و هوایی و عاملی مهم در محیط زیست شهری نام برد (پترووا و همکاران^۱، ۲۰۰۹: ۴۵۳). بنابراین تحلیل LST و شناسایی ارتباط آن با تغییرات منشا انسانی برای مدل‌سازی و پیش‌بینی تغییرات محیطی ضرورت دارد (موران و همکاران^۲، ۲۰۰۹: ۶۰). LST فاکتور مهمی در بسیاری از مطالعات تغییر اقلیم، هیدرولوژیکی، کاربری و پوشش زمین و ارزیابی رطوبت خاک می‌باشد (جهانبخش و همکاران، ۱۳۹۰: ۲۰).

در دهه‌های گذشته تلاش‌های زیادی برای دستیابی به روشی برای سنجش LST از راه سنجش از دور انجام شده است (لی^۳، ۲۰۱۵: ۲۵). تصویرهای سنجش از دور به خاطر پوشش گسترده، به‌روز بودن و توانایی دریافت اطلاعات در باند حرارتی طیف الکترومغناطیسی، منبع اطلاعاتی قابل قبولی در برآورد انرژی تابشی سطح زمین و تهیه نقشه حرارتی به شمار می‌آیند (نادی‌زاده و حمزه، ۱۳۹۸: ۲۶۴). روش‌های مختلفی جهت تعیین LST و گسیلمندی بر اساس تصاویر ماهواره‌ای توسعه یافته است، مثل روش دوباندی^۴ (سابرینو و همکاران^۵، ۱۹۹۶)، روش تک‌باندی (کین و همکاران^۶، ۲۰۰۰) و روش کانال واحد^۷ (سابرینو و همکاران، ۲۰۰۴).

تاکنون تحقیقات متعددی در زمینه ارزیابی LST و جزیره حرارتی از طریق سنجش از دور صورت گرفته است. جزیره حرارتی شهری و پارامترهای مرتبط با آن در شهر کایرو مصر مورد بررسی قرار گرفت و به این نتیجه رسیدند که در مناطق غربی که ساختمان‌ها متراکم‌تر هستند، جزیره حرارتی نسبت به مناطق شرقی افزایش پیدا کرده است (عفت و حسن^۸، ۲۰۱۴). ارتباط دمای سطحی و فراوانی و الگوی فضایی سطوح نفوذ ناپذیر و فضای سبز در کلان‌شهرهای جنوب شرق آسیا بررسی شد. نتایج تحقیق آنها ارتباط معنی‌دار بین میانگین LST و تراکم سطوح غیرقابل نفوذ و فضای سبز را نشان داد (استوک و همکاران^۹، ۲۰۱۷). پایش تغییرات دمای سطح در میانمار حاکی از آن است که تغییرات پوشش زمین تأثیرات مستقیم و پیچیده‌ای بر تغییرات LST دارد؛ به‌طوری‌که مناطق شهری، بالاترین دما را نشان می‌دهند (وانگ و همکاران^{۱۰}، ۲۰۱۸). ارزیابی تغییر کاربری اراضی و LST در دلتای

¹ - Petrova et al

² - Moran et al

³ - Li

⁴ - Split-Window

⁵ - Sobrino et al

⁶ - Qin et al

⁷ - Single-Channel

⁸ - Effat and Hassan

⁹ - Estoque et al

¹⁰ - Wang et al

رودخانه پیرل در چین به صورت چندزمانه ارزیابی شد و مشاهده شد که رشد شهر و الگوهای LST در این ناحیه با تخریب اراضی افزایش یافته است (وانگ و همکاران، ۲۰۱۹).

در ایران نیز نگرانی در رابطه با اثرات تغییر کاربری اراضی و تغییر اقلیم و افزایش مخاطرات زیست محیطی در سال‌های اخیر، موجب شده تا مطالعات زیادی در زمینه ارتباط LST و تغییرات کاربری اراضی انجام شود. با مطالعه جزیره حرارتی و ارتباط آن با کاربری‌های اراضی در شهر تهران مشاهده شد که سطوح غیرقابل نفوذ به دلیل جذب کردن و ذخیره انرژی خورشید، اثر گرمایشی دارند، ولی گیاهان به دلیل برقراری بیلان گرمایی از طریق تبخیر و تعرق، دارای اثر خنک‌کنندگی هستند (شکیبا و همکاران، ۱۳۸۸). تخمین LST با به‌کارگیری روش سبال^۱ SEBAL در حوضه آبخیز پریشان و تعیین روابط آن با کاربری اراضی نشان می‌دهد که بیشترین تغییر در کاربری دریاچه مشاهده می‌شود که در دوره ۱۳ ساله تخریب گشته و به اراضی بایر و زمین کشاورزی تبدیل شده است (انتظاری و همکاران، ۱۳۹۵). بررسی زمانی و فضایی الگوهای حرارتی زمین در رابطه با زیاد شدن شهرنشینی در تهران نشان داد که متوسط NDVI، متوسط ارتفاع و متوسط اقلیمی در کم شدن مقدار LST در قسمت‌های داخلی شهر نسبت به خارج از آن موثر بوده است (طیبی و همکاران، ۲۰۱۶). نتایج مطالعه جزایر حرارتی در تهران و رابطه آن با کاربری‌های اراضی نشان داد که عوامل گوناگونی در بوجود آمدن جزیره حرارتی در تهران نقش دارند؛ که بیشترین عامل به خاطر کاربری اراضی متفاوت در این ناحیه است (بکایی و همکاران، ۲۰۱۶). بررسی‌های ارتباط کاربری اراضی با LST در اردبیل نشان‌دهنده این است که مناطقی چون خاک و مناطق شهری که پوشش گیاهی کمی نسبت به مناطق کشاورزی و مراتع دارند، دمای بالاتری هم دارند؛ چون گیاهان پیوسته به عنوان مانعی برای وارد شدن حرارت عمل می‌کنند و ارتباط معکوس با دمای سطحی دارند (اصغری و امامی، ۱۳۹۸). با مطالعه تغییر جزایر حرارتی و پیش‌نگری آن در شهر بابل نتیجه گرفته شد که کاربری‌های مختلف در این شهر تغییر یافته است و به‌ویژه کاربری انسان ساخت ۳۳ درصد رشد یافته است. همچنین تغییرهای دما در سطح با تغییر کاربری‌ها رابطه مستقیمی نشان می‌دهد (فیروزجایی و همکاران، ۲۰۱۸). مطالعه وضعیت جزیره حرارتی کلانشهر تهران با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای نشان داد که اثر جزیره حرارتی شهری، در مناطق شمالی این شهر بیشتر است که ناشی از وجود شهرک صنعتی و توپوگرافی کوهستانی این مناطق می‌باشد (مجنونی توتاخانه و رضانی، ۱۳۹۸). عوامل محیطی و جمعیتی و تاثیرات آنها بر پراکنش مکانی دما در تهران با به‌کارگیری الگوریتم تک پنجره مورد بررسی قرار گرفت و نتایج نشان داد که شاخص‌های NDVI و NDWI با LST رابطه مستقیم دارند ولی NDBI رابطه معکوسی با دما دارد. علاوه بر این بین تراکم جمعیت و متوسط دمای سطح هر ناحیه رابطه مستقیم و مثبت مشاهده شد (نادی‌زاده و حمزه، ۱۳۹۸). با در نظر گرفتن اهمیت مبحث، هدف اصلی مطالعه حاضر، ارزیابی تاثیرات تغییر کاربری‌های شهرستان تبریز بر روی LST در یک دوره ۷ ساله و با به‌کارگیری تصاویر لندست است. با توجه به

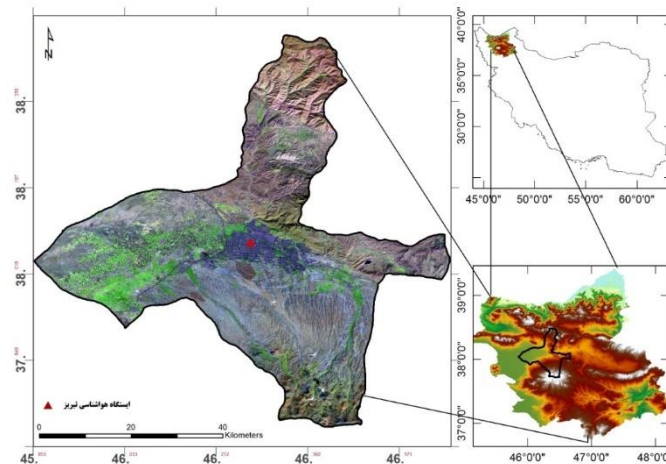
^۱ - Surface Energy Balance Algorithm for Land

اهمیت بالای منطقه، نتایج حاصله می‌تواند در برنامه‌ریزی توسعه و لزوم توجه به پیامدهای حاصل‌شده از تغییر کاربری اراضی و نیز لزوم به‌کارگیری دیتاهای سنجش از دور در برنامه‌ریزی محیطی حائز اهمیت باشد.

مواد و روش

منطقه مورد مطالعه و داده‌ها

تبریز در استان آذربایجان شرقی و پرجمعیت‌ترین شهر شمال‌غرب ایران می‌باشد. مساحت این شهرستان ۲۱۶۷/۱۹ km² و ارتفاع آن ۱۳۴۰ m می‌باشد. جمعیت این شهرستان بر حسب گزارش مرکز آمار ایران در سال ۱۳۹۵ برابر با ۱۷۷۳۰۳۳ نفر است (شکل ۱).



شکل ۱. محدوده جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و ایستگاه‌های همید مطالعاتی

داده‌های استفاده شده در پژوهش حاضر شامل: تصاویر لندست ۸ است که سنجنده OLI برای تهیه نقشه کاربری اراضی و سنجنده TIRS برای استخراج LST در سال‌های ۲۰۱۳ و ۲۰۱۹ مورد استفاده قرار گرفت. بعلاوه برای ارزیابی درجه حرارت ثبت شده سنجنده، از داده‌های هواشناسی ایستگاه تبریز استفاده شد. تصاویر فصل تابستان به علت فقدان پوشش ابری و برفی زیاد و نیز زیاد بودن شدت تابش خورشید استفاده شد و برای رسیدن به دقت بالاتر از Google Earth نیز بهره گرفته شد. تصحیح اتمسفری و رادیومتریک با استفاده از ENVI 5.3 و استخراج نقشه‌های مرتبط با استفاده از ARCGIS10.8 انجام گرفت. اطلاعات تصاویر استفاده شده که از سایت سازمان زمین‌شناسی آمریکا USGS به دست آمده، در جدول (۱) آورده شده است. با توجه به قرار گرفتن تبریز در دو فریم با گذر و ردیف متفاوت، برای یکپارچه کردن تصاویر از تکنیک موزاییک‌سازی بهره گرفته شد.

جدول ۱. اطلاعات تصاویر ماهواره لندست

سنجنده	گذر	ردیف	درصد پوشش برف	زمان گرینویچ	تاریخ
لندست ۸	۱۶۸	۳۳	کمتر از ۵٪	۰۷:۳۴:۰۴	۲۰۱۳/۰۸/۲۷
لندست ۸	۱۶۸	۳۴	کمتر از ۵٪	۰۷:۳۴:۲۸	۲۰۱۳/۰۸/۲۷
لندست ۸	۱۶۸	۳۳	کمتر از ۵٪	۰۷:۳۲:۲۵	۲۰۱۹/۰۹/۲۹
لندست ۸	۱۶۸	۳۴	کمتر از ۵٪	۰۷:۳۲:۴۶	۲۰۱۹/۰۹/۲۹

روش‌های مورد استفاده

پیش‌پردازش تصاویر ماهواره‌ای

پیش از طبقه‌بندی و استخراج پارامترهای فیزیکی سطح، اجرای تصحیحات رادیومتریکی الزامی است. از آنجا که تصاویر ماهواره لندست به صورت خودکار زمین مرجع می‌شوند؛ لذا از انجام تصحیح هندسی صرف نظر گردید. جهت بهبود سازی تصاویر ماهواره‌ای چند طیفی به تصحیح تصاویر و رفع خطاهای رادیومتریکی و خطاهای اتمسفری آنها پرداخته شد. با توجه به اهمیت تاثیر جو بر نتایج پایانی تغییر کاربری‌ها و برآورد LST، همه تصاویر با استفاده از روس تصحیح اتمسفری فلش اصلاح شدند. این روش از مدل اتمسفری MODTRA^۱ بهره می‌گیرد که اطلاعاتی مثل زمان گذر ماهواره، ارتفاع سنجنده، موقعیت جغرافیایی ناحیه، زاویه تابش خورشید و مدل اتمسفری ناحیه را استفاده می‌کند. همچنین این الگوریتم اولین روش تصحیح اتمسفری است که طول موج مرئی و طول موج‌های مادون قرمز نزدیک تا ۳ میکرون را تصحیح می‌کند (محمودزاده و همکاران، ۱۳۹۹: ۳۳۲).

طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای

در تحقیق حاضر، روش طبقه‌بندی شی‌گرا برای ترسیم نقشه کاربری اراضی به کار گرفته شده است. یکی از تکنیک‌های پیشرفته در زمینه طبقه‌بندی تصویرهای ماهواره‌ای، تحلیل بر اساس بر اشیا است (محمودزاده، ۱۳۹۶: ۲۲۶). طبقه‌بندی شی‌گرا از یک فرایند تقسیم‌بندی و الگوریتم‌های یادگیری برای تحلیل ویژگی‌های طیفی، مکانی و بافت پیکسلی استفاده می‌کند (وی و ریگان^۲، ۲۰۱۰: ۷). طبقه‌بندی شی‌گرا در سه مرحله انجام می‌شود که شامل سگمنت‌سازی^۳، طبقه‌بندی و ارزیابی صحت طبقه‌بندی می‌باشد (زوستر و همکاران^۴، ۲۰۱۱: ۵۲۷). سگمنت‌سازی بر جداسازی تصاویر به مناطق مختلف اشاره می‌کند، به نحوی که پیکسل‌های هر منطقه یک ویژگی خاص دارا هستند که می‌تواند به یک شیء مشترک تعلق داشته باشد (اصغری و همکاران، ۱۳۹۸: ۱۶۸). برای انجام مرحله سگمنت‌سازی از الگوریتم چندمقیاسه در نرم‌افزار eCognition استفاده شد. ابتدا با استفاده از اسناد مکتوب و نیز

^۱ - MOderate resolution atmospheric Transmission

^۲ - Wei and Riggan

^۳ - Segmentation

^۴ - Szuster et al

تصویر گوگل ارث، تعداد ۶ طبقه کاربری پوشش زمین شامل کشت آبی، دیمی، ارتباطی، آب، شهری و مراتع شناسایی شد. سپس برای هر کاربری، تعدادی از سگمنت‌ها به عنوان نمونه انتخاب شد. در نهایت، با استفاده از سگمنت‌های معلوم، در مورد مابقی سگمنت‌های تصویر تصمیم‌گیری می‌شود.

طبقه‌بندی تصاویر با استفاده از روش نزدیک‌ترین همسایه انجام شد. در این الگوریتم، نسبت‌دهی پیکسل‌ها به کلاس‌های متفاوت بر اساس وزن آنها بوده و بر اساس منطق فازی با بیشترین درجه عضویت در یک کلاس خاص طبقه‌بندی می‌شوند (مینت و همکاران^۱، ۲۰۱۱: ۱۱۵۲). در این فرایند جهت دستیابی به نتایج بهتر و دقیق‌تر، علاوه بر اطلاعات طیفی از شاخص‌هایی نظیر شاخص پوشش گیاهی NDVI، شاخص توسعه شهری NDBI و شاخص استخراج آب MNDWI جهت استخراج کاربری‌های مختلف بهره گرفته شد. شاخص NDVI بر اساس رابطه جذب انرژی در حیطه طیف قرمز و افزایش انعکاس در محدوده طیفی مادون قرمز نزدیک برای گیاه سالم قرار دارد (لنی و همکاران^۲، ۱۹۹۶: ۱۲). مقادیر عددی شاخص NDVI بین -۱ تا +۱ است که مقادیر بالای آن نشان‌دهنده تراکم پوشش گیاهی و مقادیر پایین آن مربوط به خاک، آب و ابر می‌باشد. نحوه محاسبه شاخص به صورت زیر است:

$$NDVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED} \quad (1)$$

شاخص توسعه شهری NDBI منطقه‌هایی را که بازتابش زیادی در طیف مادون قرمز موج کوتاه SWIR نسبت به طیف مادون قرمز نزدیک NIR دارند به صورت بارز نشان می‌دهد. این الگوریتم، در ابتدا با باند ۴ و ۵ سنجنده TM محاسبه می‌شود؛ ولی علاوه بر این، می‌تواند برای سنجنده‌های چندطیفی که یک باند SWIR در محدوده ۱/۵۵ تا ۱/۷۵ میکرومتر و یک باند NIR در محدوده ۰/۷۶ تا ۰/۹۰ میکرومتر دارند نیز مورد استفاده قرار گیرد. این شاخص از رابطه زیر به دست می‌آید (ژا و همکاران^۳، ۲۰۰۳: ۵۸۹):

$$NDBI = \frac{SWIR-NIR}{SWIR+NIR} \quad (2)$$

شاخص تفاضل نرمال شده آب اصلاح شده MNDWI به منظور بارز کردن ویژگی‌های آب در تصاویر ماهواره-ای طراحی شده است که می‌تواند مناطق آبی مختلط با پوشش گیاهی و مناطق شهری را بارزسازی کند. در این شاخص از باند مادون قرمز میانی MIR و سبز استفاده می‌شود. با توجه به اینکه آب در باند سبز دارای بازتاب زیاد و در باند MIR دارای بازتاب پایین است، شاخص MNDWI به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$MNDWI = \frac{Green-MIR}{Green+MIR} \quad (3)$$

مقادیر مثبت در این شاخص نشان‌دهنده آب و مقادیر منفی نشان‌دهنده عناصر و پدیده‌های انسان‌ساخت می‌باشند (زو^۴، ۲۰۰۶: ۳۰۲۶). پس از طبقه‌بندی تصاویر، دقت طبقه‌بندی با استفاده از ضریب کاپا^۵ به دست آمد. این ضریب،

¹ - Myint et al

² - Lenney et al

³ - Zha et al

⁴ - Xu

⁵ - Kappa Coefficient

درستی طبقه‌بندی را با یک طبقه‌بندی تصادفی می‌سنجد. دامنه کاپا بین صفر و یک می‌باشد که عدد یک نشان‌دهنده همسویی صد درصد نقشه با واقعیت زمینی است. ضریب کاپای بالای ۰/۸ نشان‌دهنده قوی بودن و همسو بودن طبقه‌بندی با واقعیت زمینی است و اگر این مقدار بین ۰/۴ تا ۰/۸ باشد طبقه بندی متوسط و اگر کمتر از ۰/۴ باشد طبقه‌بندی ضعیف را نشان می‌دهد (جنسن^۱، ۲۰۰۴: ۵۷۰؛ لطفعلی‌زاده لاهرودی، ۱۴۰۲: ۶۰). پس از ارزیابی دقت و تأیید کردن معنی داری خطاها، مساحت هر کدام از کاربری‌ها به دست آمد.

محاسبه LST

LST متغیری اصلی در تحلیل و مدل‌سازی تراز انرژی سطح، تبخیر و تعرق، رطوبت و مطالعات تغییر اقلیم است (وان و همکاران^۲، ۲۰۰۲: ۱۶۳). روش‌های محاسبه LST با استفاده از سنجش از دور به سه دسته تقسیم می‌شود: دسته اول الگوریتم‌های تک‌کاناله که بر اساس بکارگیری یک باند حرارتی استوار هستند. دسته دوم الگوریتم‌های چندکاناله که از دو باند حرارتی برای محاسبه LST استفاده می‌کنند و گروه سوم الگوریتم‌های چندزمانه می‌باشند (لی و همکاران^۳، ۲۰۱۳: ۱۸). الگوریتم پنجره مجزا از رایج‌ترین الگوریتم‌های چندزمانه می‌باشد که برای استخراج LST، دمای درخشندگی دو باند مجاور هم مورد استفاده قرار می‌گیرد (وان و دوزیر^۳، ۱۹۹۶: ۸۹۵). ماهواره لندست ۸ دارای دو باند حرارتی در محدوده طیفی ۱۰ تا ۱۲ میکرون می‌باشد و روش پنجره مجزا با استفاده از این داده‌ها محاسبه می‌شود. الگوریتم پنجره مجزا بر اساس اطلاعات دمای درخشندگی باندهای حرارتی، ضریب گسیل باند پدیده‌های زمینی و کسر پوشش گیاهی (FVC^۴) LST را محاسبه می‌کند (لی و همکاران^۳، ۲۰۱۳: ۱۹). برای برآورد LST با به کارگیری مدل پنجره مجزا، مراحل زیر به ترتیب صورت گرفت:

برآورد شاخص پوشش گیاهی NDVI

با توجه به اینکه گیاهان نقشی اساسی در نقل و انتقالات انرژی بین اتمسفر و زمین دارند و اثرات متفاوتی بر روی پارامترهای اقلیمی از جمله دمای اطراف خود می‌گذارد؛ در نتیجه می‌توان آن را به‌عنوان یکی از فاکتورهای تاثیرگذار در محاسبه LST به حساب آورد. NDVI از ساده‌ترین شاخص‌ها در زمینه مطالعات پوشش گیاهی است و در مقایسه با دیگر شاخص‌ها دارای بهترین توان دینامیکی است (فیضی‌زاده و همکاران^۴، ۱۳۹۵: ۱۷۵). شاخص مذکور با استفاده از باندهای قرمز (۴) و مادون قرمز (۵) ماهواره لندست ۸ برآورد می‌شود.

برآورد کسر پوشش گیاهی FVC

این شاخص، نسبتی از منطقه که پوشش گیاهی دارند را بیان می‌کند. روش برآورد FCV، ترکیبی غیرخطی از عناصر طیفی خاک عریان و گیاهان سبز در یک تصویر ماهواره است (جانسون و همکاران^۵، ۲۰۱۲: ۲۶۲۰). در

¹ - Jensen

² - Wan et al

³ - Wan and Dozier

⁴ - Fraction of Vegetation Cover

⁵ - Johnson et al

الگوریتم پنجره مجزا برای برآورد گسیلمندی سطح LSE از شاخص FCV استفاده می‌شود. برای برآورد این شاخص فرمول زیر به کار می‌رود (روننگالی و همکاران، ۲۰۱۸: ۶).

$$FCV = \frac{NDVI - NDVI(soil)}{NDVI(vegetation) - NDVI(soil)} \quad (4)$$

$$FCV = \frac{NDVI - 0.15}{0.48 - 0.15} \quad (5)$$

برآورد قابلیت پخش زمین LSE

شاخص دیگری که برای برآورد LST لازم است محاسبه قابلیت پخش در سطح زمین است. این شاخص جداگانه برای باندهای حرارتی و برای خاک و گیاه با بهره‌گیری از فرمول زیر بدست می‌آید (هو و پینگ، ۲۰۱۸: ۱۰۵۳).

$$LSE = \epsilon_s \times (1 - FVC) + \epsilon_v \times FVC \quad (6)$$

که LSE: قابلیت‌های انتشار؛ ϵ_s و ϵ_v : میزان انتشار گیاه و خاک در باندهای حرارتی و FVC: نسبت پوشش گیاهی می‌باشد. مقدار ϵ_s و ϵ_v از جدول ۲ به دست می‌آید. بعد از حساب کردن قابلیت انتشار در هر کدام از باندهای حرارتی، اختلاف و متوسط باندهای نام برده نیز محاسبه می‌شود.

جدول ۲. قابلیت انتشار برای خاک و گیاه

ضریب گسیل	باند ۱۰	باند ۱۱
ϵ_s	۰/۹۷۱	۰/۹۷۷
ϵ_v	۰/۹۸۷	۰/۹۸۹

برآورد دمای درخشندگی Brightness Temperature

با به‌کارگیری ضرایب ثابت موجود در فایل متادیتا می‌توان رادیانس طیفی باندهای حرارتی را به دمای درخشندگی تبدیل کرد. بدین منظور از رابطه زیر استفاده می‌شود (بکایی و همکاران، ۲۰۱۹: ۶):

$$TB = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_\lambda} + 1\right)} \quad (7)$$

که TB: دمای درخشندگی؛ K_1 و K_2 : ضرایب ثابت و L_λ : رادیانس طیفی لایه بالای اتمسفر ($\mu m^{-1} Sr^{-1} WM^{-2}$). مقادیر K_1 و K_2 برای سنجنده لندست ۸ در جدول ۳ آورده شده است.

جدول ۳. ضرایب ثابت کالیبراسیون ماهواره لندست ۸

ضرایب	باند ۱۰	باند ۱۱
K_1	۷۷۴/۸۸	۴۸۰/۸۸
K_2	۱۳۲۱/۰۷	۱۲۰۱/۱۴

¹ - Rongali et al

² - Hua and Ping

محاسبه ستون بخار آب W

این فاکتور نقش قابل توجهی در بالا بردن دقت و بازیافتن دمای سطح بر عهده دارد و با استفاده از فرمول زیر بدست می‌آید (لیو و ژانگ^۱، ۲۰۱۱: ۱۵۴۲).

$$w = 0.0981 \times \left\{ 10 \times 0.6108 \times \exp \left[\frac{17.27 \times (T_0 - 273.15)}{237.3 + (T_0 - 273.15)} \right] \times RH \right\} + 0.1697 \quad (8)$$

در این رابطه، w: ستون بخار آب؛ T₀: دمای هوای نزدیک سطح زمین به کلون و RH: رطوبت نسبی می‌باشد. برآورد LST با روش پنجره مجزا (SW)

الگوریتم پنجره مجزا با توجه به سنجنده و باندهای حرارتی و نوع خطی و غیرخطی بودن، روش‌های متعددی دارد. در این تحقیق از روش پنجره مجزا غیرخطی (سابرینو و همکاران، ۲۰۰۴) استفاده گردید که از رابطه ۹ به دست می‌آید:

$$LST = TB_{10} + C_1(TB_{10} - TB_{11}) + C_2(TB_{10} - TB_{11})^2 + C_0 + (C_3 + C_4W)(1 - M) + (C_5 + C_6W)\Delta m \quad (9)$$

در این رابطه، TB₁₀ و TB₁₁: مقدار دمای درخشندگی باندهای ۱۰ و ۱۱، m: میانگین قابلیت انتشار دو باند ۱۰ و ۱۱؛ Δm : اختلاف قابلیت انتشار در دو باند ۱۰ و ۱۱؛ W: مقدار ستون بخار آب؛ C₀ تا C₆: ضرایب الگوریتم است. به دلیل نبود مرکزی برای اندازه گرفتن قابلیت انتشار سطح زمین با تصویرهای لندست ۸، ضرایب از طریق شبیه‌سازی کردن شرایط جو و سطح زمین بر طبق جدول ۴ حاصل شده است (رونگالی و همکاران، ۲۰۱۸: ۵).

جدول ۴. ضرایب الگوریتم پنجره مجزا

C ₆	C ₅	C ₄	C ₃	C ₂	C ₁	C ₀	ضرایب ثابت
۱۶/۴۰۰	-۱۲۹/۲۰۰	-۲/۲۳۸	۵۴/۳۰۰	۰/۱۸۳	۱/۳۷۸	-۰/۲۶۸	ارزش‌ها

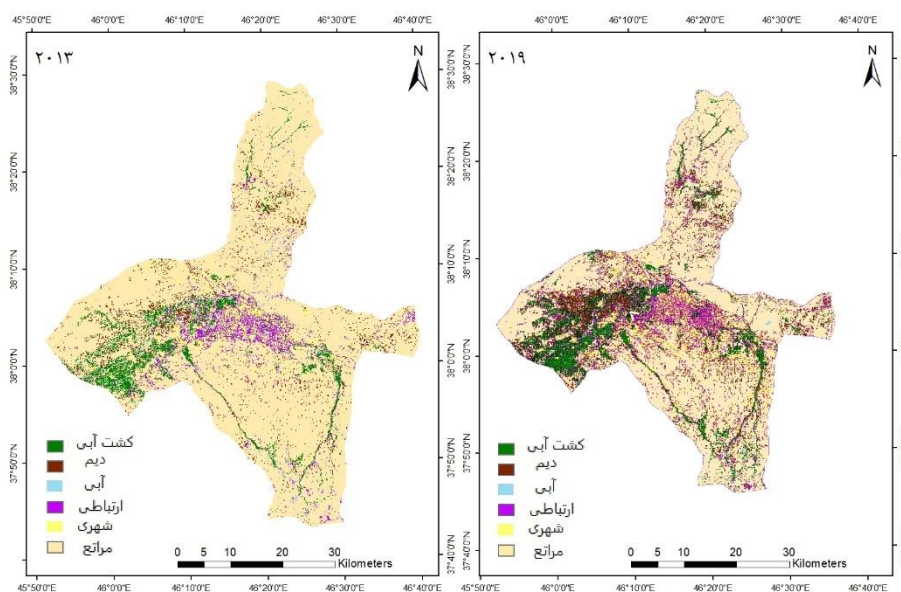
نتایج و بحث

تهیه نقشه‌های کاربری اراضی و LST

برای ارزیابی تغییرهای کاربری اراضی، نقشه کاربری اراضی شهرستان تبریز برای سال‌های ۲۰۱۳ و ۲۰۱۹ با روش طبقه‌بندی شی‌گرا تهیه شد (شکل ۲) و سپس بعد از تهیه نقشه کاربری‌های اراضی به تفکیک سال، برای منطقه هم نقشه تغییرات کاربری‌ها به دست آمد (شکل ۳). ابتدا با استفاده از محل نمونه‌های تعلیمی در تصویرهای گوگل ارث، شش کلاس کاربری اراضی از تصاویر مورد استفاده استخراج گردید. سپس با استفاده از دستور تغییرات تدریجی، میزان تغییرات هر کاربری مشخص گردید. در این مطالعه ضریب کاپا برای نقشه کاربری‌های سال ۲۰۱۳، برابر ۰/۹۳ و در سال ۲۰۱۹، برادر حدود ۰/۹۷ برآورد شده است که این مقادیر، دقت بالای طبقه‌بندی را نشان می‌دهند.

¹ - Liu and Zhang

بررسی نقشه کاربری اراضی (شکل ۲) و نیز مساحت کاربری‌های استخراج شده (جدول ۵)، نشان می‌دهد که در سال ۲۰۱۳ بیشترین مساحت به کاربری مرتع با حدود ۷۷/۱۰ درصد و کمترین مساحت به کاربری آبی به میزان ۱/۸۶ درصد اختصاص یافته است. همچنین کاربری‌های شهری ۶/۴۳٪، کشت آبی ۵/۲۳٪ و کشت دیم ۵/۱۳٪ در رده‌های بعدی قرار دارند. در سال ۲۰۱۹، کاربری مرتع همانند دوره قبل با ۷۰/۱۴ درصد بیشترین مساحت منطقه را به خود اختصاص داده است، اما میزان آن نسبت به دوره قبل، حدود ۷ درصد کاهش داشته است. کاربری آبی نیز در این سال با ۱/۷۵ درصد، کمترین مساحت منطقه را دارد که با کاهش جزئی همراه بوده است. مساحت سایر کاربری‌ها نسبت به دوره قبل افزایش یافته است.



شکل ۲. طبقه بندی کاربری‌های اراضی شهرستان تبریز در سال‌های ۲۰۱۳ و ۲۰۱۹

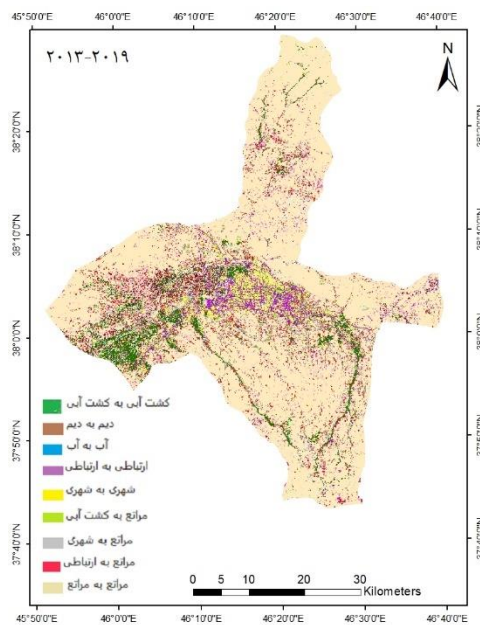
جدول ۵. مساحت و درصد کاربری‌های استخراج شده در سال‌های ۲۰۱۳ و ۲۰۱۹

نام کاربری	سال ۲۰۱۳		سال ۲۰۱۹	
	مساحت km ²	درصد مساحت	مساحت km ²	درصد مساحت
کشت آبی	۱۱۳/۲۵	۵/۲۳	۱۸۰/۶۷	۸/۳۴
کشت دیم	۱۱۱/۱۵	۵/۱۳	۱۴۰/۵۹	۶/۴۹
شهری	۱۳۹/۴	۶/۴۳	۱۸۹/۸۳	۸/۷۶
ارتباطی	۹۲/۱۸	۴/۲۵	۹۸/۲۲	۴/۵۲
آب	۴۰/۲۱	۱/۸۶	۳۷/۸۸	۱/۷۵
مرتع	۱۶۷۱	۷۷/۱۰	۱۵۲۰	۷۰/۱۴
مجموع	۲۱۶۷/۱۹	۱۰۰	۲۱۶۷/۱۹	۱۰۰

با استخراج نقشه تغییرهای کاربری (شکل ۳) و به دست آوردن میزان تغییرهای هر یک از کلاس‌ها، نتایج در جدول ۶ آورده شد. با توجه به نتایج جدول ۶، بیشترین تغییرات کاربری مربوط به کاربری مراتع و حدود ۱۳۵۰ کیلومتر می‌باشد؛ این امر نشانگر روند کلی تخریب در ناحیه به دلیل گسترش مراتع فقیر و اراضی بایر و کاهش مراتع متوسط و خوب می‌باشد. سپس تغییر کاربری اراضی مرتع به کاربری ارتباطی و شهری می‌باشد که تغییر کاربری زمین‌های مرتعی عموماً سبب کاهش میزان مواد آلی موجود در خاک، از طریق فرایندهای تسریع تجزیه بیولوژیک و از بین رفتن مواد آلی موجود در خاک می‌شود. در اراضی شهرستان تبریز بیشترین پیشروی بر روی کاربری مراتع بوده که نشان دهنده نوع گسترش شهر است.

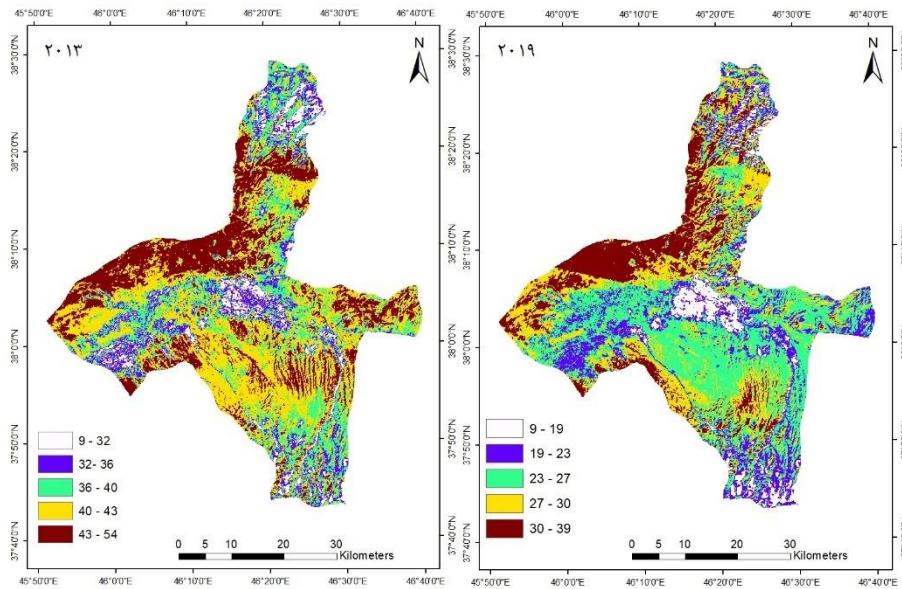
جدول ۶. مساحت تغییرات کاربری‌ها در سال‌های مورد مطالعه

مساحت km ²	کاربری‌های تغییر یافته
۲۳/۷۲	دیم به دیم
۱۳۴۹/۹	مراتع به مراتع
۸/۹۵	آب به آب
۴۷/۰۷	مراتع به دیم
۷۴/۸۶	مراتع به شهری
۸۰/۴۲	مراتع به ارتباطی
۴۷/۰۷	دیم به مراتع
۴۷/۶۴	مراتع به کشت آبی



شکل ۳. نقشه تغییرات کاربری اراضی شهرستان تبریز

پس از تهیه نقشه تغییر کاربری‌ها، نقشه‌های دمای سطح زمین در دوره مورد بررسی (۲۰۱۳ و ۲۰۱۹) رسم شد که نتایج در شکل ۴ آورده شده است. این نقشه‌ها LST را در سال ۲۰۱۳، مابین ۲۵ تا ۴۹ درجه و در سال ۲۰۱۹ بین ۹ تا ۳۹ درجه سانتی‌گراد برآورد نموده‌اند.



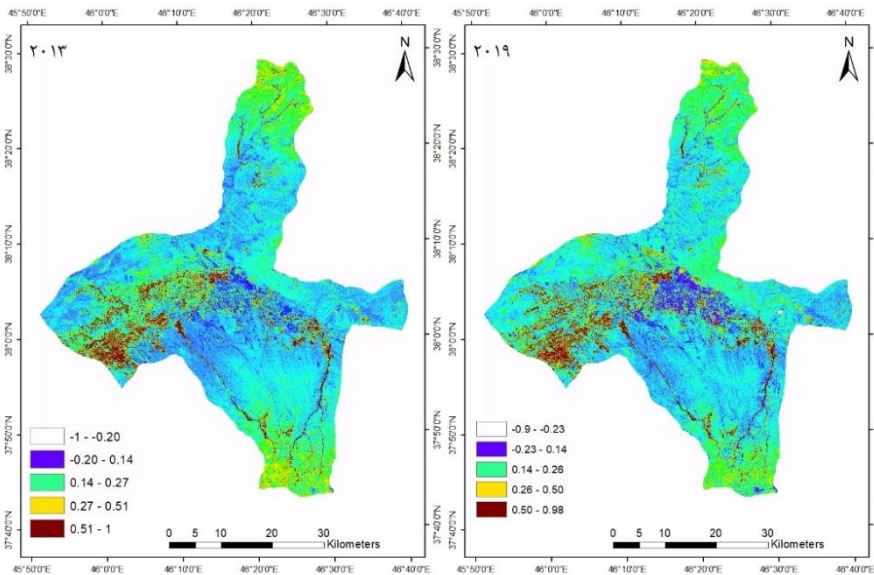
شکل ۴. نقشه دمای سطح زمین در سال‌های ۲۰۱۳ و ۲۰۱۹ بر حسب °C

ارتباط LST با پوشش گیاهی NDVI

می‌توان گفت پوشش گیاهی تأثیر قابل ملاحظه‌ای در پراکندگی دمای سطح زمین می‌گذارد. در مورد جزایر گرمایی شهری با استفاده از سنجش از دور، برای تخمین رابطه LST و NDVI از شاخص‌های پوشش گیاهی در مقیاس وسیعی استفاده می‌شود (کومار و شکهر^۱، ۲۰۱۵: ۴۲). مناطق دارای پوشش گیاهی، دمای هوای کمتری نشان می‌دهند؛ بنابراین انتظار می‌رود پیکسل‌های کاملاً گیاهی دارای دمای سطح سردتری باشند (علوی‌پناه و همکاران، ۲۰۱۵: ۶۹۶). نقشه پوشش گیاهی شهرستان تبریز در سال‌های ۲۰۱۳ و ۲۰۱۹ در شکل ۵ آورده شده است. بررسی رابطه بین دمای سطحی و پوشش گیاهی نشان می‌دهد که رابطه معنی‌داری بین LST و پوشش گیاهی وجود دارد. بدین ترتیب که مناطقی که فاقد پوشش گیاهی هستند دارای دمای بیشتری در مقایسه با مناطق دارای پوشش گیاهی هستند. مناطق پوشیده از گیاه همچون اراضی کشاورزی در سال ۲۰۱۳ دارای دمای ۳۸ درجه سانتی‌گراد می‌باشند؛ در حالی که در این سال مراتعی که در اثر تغییر کاربری، باعث کاهش مقادیر مواد آلی موجود در خاک به واسطه فعالیت‌های فرایندهای تسریع تجزیه بیولوژیک و هدررفت مواد آلی خاک شده و باعث بوجود آمدن مراتع فقیر و

¹ - Kumar and Shekhar

بایر شدند دارای دمای ۴۶ °C هستند. این امر نشانگر اثرگذاری گیاهان بر دمای سطحی است. مشابه چنین روندی در سال ۲۰۱۹ هم دیده می‌شود؛ بدین صورت که کاربری کشاورزی دمای ۲۶ درجه و مرتع دمای ۴۷ درجه را نشان می‌دهند. به طور کلی، مناطق عاری از گیاهان یا با پوشش گیاهی ضعیف، دمای بیشتری را نشان می‌دهند که علت آن عدم نفوذپذیری سطح، قدرت جذب بالای دما بوسیله خاک و فقدان تبخیر و تعرق می‌باشد. این امر، با نتایج پژوهش سایر پژوهشگران نیز همسو است. مزیدی و حسینی (۱۳۹۴) در بررسی رابطه بین NDVI و LST نتیجه گرفتند که پوشش گیاهی به خاطر وجود تبخیر و تعرق سطحی در کاهش دما موثر است. محمودزاده و همکاران (۱۳۹۷) نیز وجود رابطه بین NDVI و دمای سطحی در مشهد را تایید کردند.



شکل ۵. نقشه شاخص نرمال شده پوشش گیاهی NDVI در سال‌های ۲۰۱۳ و ۲۰۱۹

ارتباط کاربری اراضی و LST

میانگین دمای سطحی هر یک از کاربری‌های اراضی شهرستان تبریز در سال‌های ۲۰۱۳ و ۲۰۱۹ در جدول ۷ آورده شده است. در سال ۲۰۱۳ بالاترین دما برای کاربری مراتع بوده است و کمترین دما برای کاربری ارتباطی و شهری می‌باشد که علت آن هم نقش تعدیل‌کننده آبی‌چای هم در پوشش گیاهی و هم در تعدیل دمای حومه است. دمای سطح زمین در شبکه راه‌های ارتباطی تحت تاثیر مناطق اطراف خود است، به طوری که اگر یک جاده یا بزرگراه از فضای سبز عبور کند یا در حاشیه آن کمربندهای سبز ایجاد شده باشد دمای سطحی پایینی را نشان خواهد داد. در بررسی جزایر حرارتی تبریز نشان داده شده است که دما در مرکز شهر پایین است، ولی هرچه از مرکز به حواشی شهر پیش برویم دما با سرعت زیادی افزایش می‌یابد (آزادی مبارکی و احمدی، ۱۳۹۹). ملاحظه نقشه کاربری اراضی و نقشه دمای سطحی در سال ۲۰۱۹، استدلال فوق را تایید می‌کند؛ به طوری که معلوم است بالاترین دما در این سال به کاربری مراتع با دمای ۳۵ درجه تعلق دارد. پایین‌ترین دما هم مربوط به کاربری ارتباطی

و شهری است که به ترتیب ۱۰ و ۱۴ °C می‌باشد. در پژوهشی مشابه در شهر تبریز، تغییر پذیری فضایی-زمانی دما در ارتباط با کاربری اراضی مورد مطالعه قرار گرفت (امیری و همکاران، ۱۳۸۶). در مطالعه فوق بعد از برآورد دمای سطحی و تهیه نقشه کاربری اراضی در ۷ کلاس، به ارزیابی ارتباط بین آنها پرداخته شد و به این نتیجه رسید که کاربری اراضی بایر و مراتع بیشترین و کاربری آب کمترین دمای سطحی را به خود اختصاص دادند. بنابراین با توجه به جدول ۷ مشاهده می‌شود مراتع و به خصوص زمین‌های بایر به خاطر عدم وجود گیاهان، پتانسیل زیاد جذب گرما بوسیله خاک عریان و پایین بودن ظرفیت هدایتی خاک، آستانه‌های دمایی بالایی را نشان می‌دهند.

جدول ۷. دمای سطحی کاربری‌های مختلف شهرستان تبریز

۲۰۱۹		۲۰۱۳	
دمای میانگین °C	کاربری	دمای میانگین °C	کاربری
۲۵	کشت آبی	۳۸	کشت آبی
۲۹	دیم	۴۱	دیم
۱۴	شهری	۲۸	شهری
۱۰	ارتباطی	۲۰	ارتباطی
۲۱	آب	۳۴	آب
۳۵	مراتع	۴۶	مراتع

مقادیر دمای ثبت شده ایستگاه هواشناسی تبریز به همراه دمای برآورد شده توسط ماهواره لندست در سال‌های ۲۰۱۳ و ۲۰۱۹ در جدول ۸ نشان داده شده است. یکی از دلایل تفاوت مقادیر اندازه‌گیری شده در ایستگاه زمینی با مقادیر اخذ شده از تصاویر ماهواره‌ای می‌تواند مربوط به سنجنده و سیستم فیزیکی آن باشد. به این معنا که سنجنده‌ها بعد از مدت مشخصی، از خود انرژی و حرارت از خود ساطع می‌کنند و که توسط سنسور دریافت و لحاظ می‌شود. هرچند این فاکتورها تا اندازه‌ای اصلاح می‌شوند ولی معمولاً تصحیح به طور کامل اتفاق نمی‌افتد و این عوامل هرچند کم بر روی تصویر نهایی تاثیر می‌گذارند (جنسن، ۲۰۰۴؛ به نقل از اصغری و امامی، ۱۳۹۸: ۲۱۰).

جدول ۸. داده‌های دمای ایستگاه زمینی و مقادیر اخذ شده از تصاویر ماهواره‌ای

سال	داده های زمینی	تصاویر ماهواره ای
۲۰۱۳	۲۱	۳۲
۲۰۱۹	۱۸	۱۶

نتیجه گیری

این پژوهش به منظور آشکار کردن تغییر کاربری‌های اراضی و ارزیابی ارتباط LST با پوشش گیاهی با بهره‌گیری از تصاویر OLI و TIRS ماهواره لندست ۸ به روش طبقه‌بندی شی‌گرا انجام شد. ضریب کاپا برای طبقه‌بندی‌ها بالای

۹۰ درصد است که نشان‌دهنده دقت بالایی طبقه‌بندی است. عوامل مختلفی مانند وضوح زیاد تصویرها، و نیز استفاده از فاکتورهای مانند بافت، شکل، خاک و گیاهان مختلف باعث بالا رفتن دقت کار می‌شود. طبقه‌بندی انجام شده بیانگر این است که بالاترین تغییرات متعلق به کاربری مراتع بوده که حدود ۲۳/۵ درصد می‌باشد که تغییرات از کاربری مراتع به دیم، مراتع به شهری و مراتع به ارتباطی به ترتیب در حدود ۱/۴۶، ۱/۲۳ و ۱/۳۲٪ می‌باشد. نتایج بدست آمده از ارزیابی ارتباط میان LST و پوشش گیاهی نشان‌گر این مطلب می‌باشد که با در نظر گرفتن متاثر شدن دمای سطحی از پارامترهای موجود در زمین؛ در مناطق با پوشش گیاهی متراکم و دارای تبخیر و تعرق؛ در مقایسه با مناطق عاری از گیاهان و یا با پوشش گیاهی پراکنده دمای سطحی پایین‌تری ثبت می‌شود. با توجه به نتایج، بیشترین دما مربوط به مراتع بوده که به ترتیب در سال‌های ۲۰۱۳ و ۲۰۱۹ حدود ۴۶ و ۳۵ °C می‌باشند و این امر حاکی از روند عمومی تخریب اراضی در محدوده مورد مطالعه از راه افزایش مراتع فقیر و اراضی به جای مراتع متوسط و خوب است. همچنین پایین‌ترین دما در کاربری شهری و راه‌ها دیده می‌شود که آن هم بخاطر عبور تلخه‌رود از شهر تبریز و تعدیل آب و هوای شهر است. در تحقیقی مشابه LST با بهره‌گیری از سنجش از دور و به‌کارگیری روش پنجره مجزا ارزیابی شد و نشان داد که میان کاربری‌های زمین و دما ارتباط قوی دیده می‌شود؛ چنانچه نواحی پوشیده با گیاه پایین‌ترین دما و نواحی فاقد پوشش گیاهی بالاترین دما را دارا هستند که تاثیر و نقش پوشش گیاهی را در این محدوده نشان می‌دهد (عفت و حسن، ۲۰۱۴). همچنین همبستگی منفی شدیدی بین LST و درجه پوشش گیاهی و همچنین NDVI به دست آمد (علوی‌پناه و همکاران، ۲۰۱۵). نتایج این مطالعه می‌تواند کاربردهای مختلفی در زمینه کشاورزی، محیط زیست، اقلیم‌شناسی، برنامه‌ریزی شهری و روستایی، زمین‌شناسی و ... داشته باشد.

منابع

- احمدی محمود؛ آزادی مبارکی محمد. (۱۳۹۹). بررسی جزایر حرارتی تبریز با رویکرد زیست‌پذیری شهری، پژوهش‌های دانش زمین، ۱۱(۴۳)، ۲۶۲-۲۴۵.
- اصغری سراسکانرود صیاد؛ محمدنژاد وحید؛ امامی هادی. (۱۳۹۸). بررسی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از روش‌های پیک سل پایه و شی‌گرا و تحلیل اثرات تغییر کاربری‌ها بر فرسایش خاک (مطالعه موردی: شهر ستان مراغه)، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، ۸(۱)، ۱۷۸-۱۶۰.
- اصغری سراسکانرود صیاد؛ امامی هادی. (۱۳۹۷). پایش دمای سطح زمین و بررسی رابطه کاربری اراضی با دمای سطح با استفاده از تصاویر سنجنده OLI و ETM+ مطالعه موردی: (شهرستان اردبیل)، تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۱۹(۵۳)، ۲۱۶-۱۹۵.

- اکبری الهه؛ ابراهیمی مجید؛ فیضی زاده بختیار؛ نژاد سلیمانی حمید. (۱۳۹۴). ارزیابی دمای سطح زمین در ارتباط با روند تغییرات کاربری اراضی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای (مطالعه موردی: حوضه آبخیز طالقان)، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، ۲۶(۴)، ۱۷۰-۱۵۱.
- امیری رضا؛ علی‌محمدی عباس؛ علوی‌پناه سیدکاظم. (۱۳۸۶). مطالعه تغییر پذیری فضایی-زمانی حرارت در ارتباط با کاربری/ پوشش زمین در منطقه شهری تبریز با استفاده از داده‌های حرارتی و انعکاسی TM و ETM+ لندست، محیط‌شناسی، ۳۳(۴۳)، ۱۲۰-۱۰۷.
- انتظاری علیرضا؛ امیراحمدی ابوالقاسم؛ علی‌آبادی کاظم؛ خسروی‌ان مریم؛ ابراهیمی مجید. (۱۳۹۵). پایش دمای سطح زمین و ارزیابی روند تغییرات کاربری اراضی (مطالعه موردی: حوضه آبخیز دریاچه‌ی پریشان)، نشریه هیدروژئومورفولوژی، ۲(۸)، ۱۳۹-۱۱۳.
- جهانبخش سعید؛ زاهدی مجید؛ ولی‌زاده کامران خلیل. (۱۳۹۰). محاسبه دمای سطح زمین با استفاده از روش سبال و درخت تصمیم‌گیری در محیط RS, GIS در بخش مرکزی منطقه مراغه، جغرافیا و برنامه‌ریزی، ۱۶(۳۸)، ۴۲-۱۹.
- شکیبایان علیرضا؛ ضیاییان فیروزآبادی پرویز؛ عاشورلو داوود؛ نامداری سودابه. (۱۳۸۸). تحلیل رابطه کاربری و پوشش اراضی و جزایر حرارتی شهر تهران با استفاده از داده‌های ETM+، سنجش از دور و GIS ایران، ۱(۱)، ۵۶-۳۹.
- فیضی‌زاده بختیار؛ دیده‌بان خلیل؛ غلام‌نیا خلیل. (۱۳۹۵). برآورد دمای سطح زمین با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۸ و الگوریتم پنجره مجزا (مطالعه موردی: حوضه آبریز مهاباد)، اطلاعات جغرافیایی (سپهر)، ۲۵(۹۸)، ۱۷۱-۱۸۱.
- مجنوننی توتاخانه علی؛ رم‌ضانی محمدابراهیم. (۱۳۹۸). بررسی ارزیابی و وضعیت جزیره حرارتی کلان شهر تهران با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، محیط زیست طبیعی، ۷۲(۱)، ۴۳-۲۹.
- لطفعلی‌زاده لاهرودی علی. (۱۴۰۲). بررسی روند تغییرات کاربری اراضی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست، جغرافیا و روابط انسانی، ۶(۲)، ۵۲-۶۶.
- محمودزاده حسن. (۱۳۹۶). کاربرد شبکه عصبی مصنوعی در مدل‌سازی و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی شهر سردرود (۱۳۶۳-۱۴۱۰)، جغرافیا و برنامه‌ریزی، ۲۱(۶۰)، ۲۳۷-۲۲۱.
- محمودزاده حسن؛ پویان‌جم‌آذر؛ امان‌زاده فاطمه. (۱۳۹۹). محاسبه دمای سطح زمین و استخراج جزایر حرارتی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ و الگوریتم پنجره مجزا در شهر ارومیه، جغرافیا و برنامه‌ریزی، ۲۴(۷۳)، ۳۲۵-۳۴۸.
- محمودزاده حسن؛ نقدبیدی شی اف‌سانه؛ مومنی سحر. (۱۳۹۷). تاثیر کاربری‌های شهری در ایجاد جزایر حرارتی (مطالعه موردی: شهر مشهد)، جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۷(۲۷)، ۱۱۹-۱۰۵.

- مزیدی احمد؛ ح سینی فاطمه سادات. (۱۳۹۴). تاثیر تغییر کاربری و پوشش زمین بر جزیره گرمایی در منطقه شهری یزد با استفاده از داده‌های سنجنش از دور، جغرافیا و توسعه، ۱۳(۳۸)، ۱۲-۱.
- نادى زاده شورابه سامان؛ حمزه سعید. (۱۳۹۸). بررسی تاثیر پارامترهای محیطی و جمعیتی بر توزیع مکانی دمای سطح کلان‌شهر تهران با تلفیق مدل‌های آماری و مدل تک پنجره، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۵۱(۱۰۸)، ۲۶۳-۲۸۲.

- Alavipanah, S., Wegmann, M., Qureshi, S., Weng, Q., & Koellner, T. (2015). The role of vegetation in mitigating urban land surface temperatures: A case study of Munich, Germany during the warm season. *Sustainability*, 7(4), 4689-4706.
- Bokaie, M., Shamsipour, A., Khatibi, P., & Hosseini, A. (2019). Seasonal monitoring of urban heat island using multi-temporal Landsat and MODIS images in Tehran. *International Journal of Urban Sciences*, 23(2), 269-285.
- Bokaie, M., Zarkesh, M. K., Arasteh, P. D., & Hosseini, A. (2016). Assessment of urban heat island based on the relationship between land surface temperature and land use/land cover in Tehran. *Sustainable Cities and Society*, 23, 94-104.
- Effat, H. A., & Hassan, O. A. K. (2014). Change detection of urban heat islands and some related parameters using multi-temporal Landsat images; a case study for Cairo city, Egypt. *Urban Climate*, 10, 171-188.
- Estoque, R. C., Murayama, Y., & Myint, S. W. (2017). Effects of landscape composition and pattern on land surface temperature: An urban heat island study in the megacities of Southeast Asia. *Science of the Total Environment*, 577, 349-359.
- Firozjaei, M. K., Kiavarz, M., Alavipanah, S. K., Lakes, T., & Qureshi, S. (2018). Monitoring and forecasting heat island intensity through multi-temporal image analysis and cellular automata-Markov chain modelling: A case of Babol city, Iran. *Ecological indicators*, 91, 155-170.
- Hua, A. K., & Ping, O. W. (2018). The influence of land-use/land-cover changes on land surface temperature: a case study of Kuala Lumpur metropolitan city. *European Journal of Remote Sensing*, 51(1), 1049-1069.
- Kumar, D., & Shekhar, S. (2015). Statistical analysis of land surface temperature-vegetation indexes relationship through thermal remote sensing. *Ecotoxicology and environmental safety*, 121, 39-44.
- Jensen, J. R. (2004). *Introductory digital image processing: a remote sensing perspective*, 3th Edition, Prentice Hall.
- Johnson, B., Tateishi, R., & Kobayashi, T. (2012). Remote sensing of fractional green vegetation cover using spatially-interpolated endmembers. *Remote Sensing*, 4(9), 2619-2634.
- Lenney, M. P., Woodcock, C. E., Collins, J. B., & Hamdi, H. (1996). The status of agricultural lands in Egypt: the use of multitemporal NDVI features derived from Landsat TM. *Remote Sensing of Environment*, 56(1), 8-20.
- Li, H. (2015). *Pavement materials for heat island mitigation: design and management strategies*. Butterworth-Heinemann.

- Li, Z. L., Tang, B. H., Wu, H., Ren, H., Yan, G., Wan, Z., ... & Sobrino, J. A. (2013). Satellite-derived land surface temperature: Current status and perspectives. *Remote sensing of environment*, 131, 14-37.
- 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.
- Moran, M. S., Scott, R. L., Keefer, T. O., Emmerich, W. E., Hernandez, M., Nearing, G. S., ... & O'Neill, P. E. (2009). Partitioning evapotranspiration in semiarid grassland and shrubland ecosystems using time series of soil surface temperature. *Agricultural and forest meteorology*, 149(1), 59-72.
- Myint, S. W., Gober, P., Brazel, A., Grossman-Clarke, S., & Weng, Q. (2011). Per-pixel vs. object-based classification of urban land cover extraction using high spatial resolution imagery. *Remote sensing of environment*, 115(5), 1145-1161.
- Petrova, S., Mitzeva, R., Kotroni, V., Latham, J., & Peneva, E. (2009). Analyses of summer lightning activity and precipitation in the Central and Eastern Mediterranean. *Atmospheric research*, 91(2-4), 453-458.
- Qin, Z., Karnieli, A., & Berliner, P. (2001). 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*, 22(18), 3719-3746.
- Rajeshwari, A., & Mani, N. D. (2014). Estimation of land surface temperature of Dindigul district using Landsat 8 data. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 3(5), 122-126.
- Rongali, G., Keshari, A. K., Gosain, A. K., & Khosa, R. (2018). Split-window algorithm for retrieval of land surface temperature using Landsat 8 thermal infrared data. *Journal of Geovisualization and Spatial Analysis*, 2(2), 1-19.
- Sobrino, J. A., Jiménez-Muñoz, J. C., & Paolini, L. (2004). Land surface temperature retrieval from LANDSAT TM 5. *Remote Sensing of environment*, 90(4), 434-440.
- Sobrino, J. A., Li, Z. L., Stoll, M. P., & Becker, F. (1996). Multi-channel and multi-angle algorithms for estimating sea and land surface temperature with ATSR data. *International Journal of Remote Sensing*, 17(11), 2089-2114.
- Szuster, B. W., Chen, Q., & Borger, M. (2011). A comparison of classification techniques to support land cover and land use analysis in tropical coastal zones. *Applied Geography*, 31(2), 525-532.
- Tayyebi, A., & Jenerette, G. D. (2016). Increases in the climate change adaption effectiveness and availability of vegetation across a coastal to desert climate gradient in metropolitan Los Angeles, CA, USA. *Science of the Total Environment*, 548, 60-71.
- Wan, Z., & Dozier, J. (1996). A generalized split-window algorithm for retrieving land-surface temperature from space. *IEEE Transactions on geoscience and remote sensing*, 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(1-2), 163-180.

- Wang, R., Cai, M., Ren, C., Bechtel, B., Xu, Y., & Ng, E. (2019). Detecting multi-temporal land cover change and land surface temperature in Pearl River Delta by adopting local climate zone. *Urban Climate*, 28, 100455.
- Wang, Y. C., Hu, B. K., Myint, S. W., Feng, C. C., Chow, W. T., & Passy, P. F. (2018). Patterns of land change and their potential impacts on land surface temperature change in Yangon, Myanmar. *Science of the Total Environment*, 643, 738-750.
- Weih, R. C., & Riggan, N. D. (2010). Object-based classification vs. pixel-based classification: Comparative importance of multi-resolution imagery. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 38(4), C7.
- Xu, H. (2006). Modification of normalized difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. *International journal of remote sensing*, 27(14), 3025-3033.
- Zha, Y., Gao, J., & Ni, S. (2003). Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery. *International journal of remote sensing*, 24(3), 583-594.
- Zhou, Y., & Ren, G. (2011). Change in extreme temperature event frequency over mainland China, 1961–2008. *Climate Research*, 50(2-3), 125-139.