



## ایجاد رابط کاربر گرافیکی جهت محاسبه خودکار دمای سطح زمین و استفاده از نتایج در ارزیابی تغییرات دمایی کاربری‌های اراضی شهرستان اردبیل

مقاله پژوهشی

حسین فکرت<sup>۱</sup>، صیاد اصغری سراسکانرود<sup>۲</sup>، سید کاظم علوی پناه<sup>۳</sup>

دریافت: ۴ مرداد ۱۴۰۰ / بازنگری: ۳۰ شهریور ۱۴۰۰ / پذیرش: ۴ مهر ۱۴۰۰

دسترسی اینترنتی: ۴ مهر ۱۴۰۰ / دسترسی چاپی: ۱ مهر ۱۴۰۱

### چکیده

بودن تعداد تصاویر، زمان بر خواهد بود. استفاده از داده‌های معتبر جهت اعتبارسنجی که از لحاظ زمانی کمترین اختلاف را با زمان عبور ماهواره داشته باشد، اهمیت زیادی در برآورد دقت نتایج دارد. با بررسی تحقیقات داخلی مشابه با موضوع مورد مطالعه اکثر پژوهش‌های داخلی برای اعتبارسنجی نتایج تنها از داده‌های ایستگاه هواشناسی استفاده کردند که زمان ثبت داده در این ایستگاه‌ها با زمان عبور ماهواره متفاوت است. در این پژوهش به دلیل وسعت زیاد منطقه مورد مطالعه و کافی نبودن تعداد ایستگاه‌های هواشناسی، علاوه بر داده‌های دمای سطح اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های سینوپتیک، دمای سطح زمین در دو ایستگاه زمینی نیز همزمان با عبور ماهواره ثبت گردید. ایجاد رابط کاربر گرافیکی (GUI) جهت محاسبه خودکار دمای سطح شهرستان اردبیل با دو الگوریتم تک‌کانال و RTE و از نتایج در ارزیابی تغییرات دمایی کاربری‌های اراضی منطقه استفاده شد.

**مواد و روش‌ها** جهت محاسبه خودکار دمای سطح زمین شهرستان اردبیل از سه نوع داده تصاویر ماهواره‌های لندست ۵ و ۸، داده‌های دمای سطح ثبت شده در محل دو ایستگاه هواشناسی موجود در محدوده مورد مطالعه و همچنین به دلیل کافی نبودن تعداد ایستگاه‌های هواشناسی از داده‌های دمای سطح اندازه‌گیری شده با دماسنج‌های دیجیتالی همزمان با عبور ماهواره نیز استفاده شد. پس

پیشینه و هدف دمای سطح زمین (LST) یک شاخص حیاتی برای مطالعه تغییرات محیطی، شرایط هیدرولوژیکی و بیلان انرژی زمین محسوب می‌شود که با استفاده از آن می‌توان روی تغییرات حرارتی شهرها نیز نظارت کرد. کمبود ایستگاه‌های هواشناسی در اکثر مناطق کشور از جمله منطقه مورد مطالعه محدودیت‌های اطلاعاتی در زمینه داده‌های دمای سطح زمین ایجاد کرده است. همچنین طیف وسیعی از کاربران غیر سنجنش از دوری وجود دارند که به نقشه‌های دمای سطح زمین نیاز دارند و اغلب آن‌ها آشنایی کافی با نرم‌افزارهای محاسبه کننده LST ندارند و به ناچار مجبورند زمان زیادی را صرف کنند تا نقشه‌های مورد نظر خود را تهیه کنند. این فرآیند حتی برای متخصصان سنجنش از دور نیز در صورت بالا

حسین فکرت<sup>۱</sup>، صیاد اصغری سراسکانرود<sup>۲</sup>، سید کاظم علوی پناه<sup>۳</sup>

۱. کارشناسی ارشد سنجنش از دور و GIS، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه

محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

۲. دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه محقق

اردبیلی، اردبیل، ایران

۳. استاد گروه سنجنش از دور و GIS، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران،

ایران

پست الکترونیکی مسئول مکاتبات: [s.asghari@uma.ac.ir](mailto:s.asghari@uma.ac.ir)

<https://doi.org/10.30495/GIRS.2022.684503>

<http://dorl.net/dor/20.1001.1.26767082.1401.13.3.7.9>

نقشه‌های کاربری اراضی شهرستان اردبیل با استفاده از الگوریتم جنگل تصادفی در محیط GEE تهیه گردید. ارزیابی‌های آماری نتایج طبقه‌بندی نشان داد که برای سال ۲۰۰۰ بیشترین تداخل پیکسلی مربوط به کلاس مرتع متوسط و فقیر بوده است که با کلاس‌های مسکونی و کشاورزی دیم جابه‌جایی ۱۶ پیکسلی دارد. با توجه به بهبود توان تفکیک مکانی ماهواره لندست ۸ نسبت به لندست ۵ و به دنبال آن تفکیک بهتر کلاس‌ها، این جابه‌جایی پیکسلی در نقشه کاربری سال ۲۰۱۹ مقدار کمتری را نشان می‌دهد. به گونه‌ای که بیشترین خطا مربوط به کلاس کشاورزی آبی بوده که جابه‌جایی ۱۰ پیکسلی با کلاس‌های مرتع غنی و کشاورزی دیم داشته است. در نهایت با استفاده از نقشه دمای سطح و نقشه کاربری اراضی، تغییرات دمایی کاربری‌ها در بازه زمانی ۱۹ ساله مورد ارزیابی قرار گرفت. با واردسازی تصاویر ورودی و پارامترهای اتمسفری در اپلیکیشن دمای سطح زمین را با دو الگوریتم تک‌کانال و روش RTE محاسبه گردید. ارزیابی نقشه‌های خروجی با داده‌های هواشناسی و زمینی نشان داد که الگوریتم تک‌کانال با اختلاف  $+2/5$  و  $-2$  با ایستگاه‌های ۱ و ۲ برای سال ۲۰۰۰ و با اختلاف دمای  $+1/3$ ،  $+0/9$ ،  $-1$  و  $-0/9$  به ترتیب با ایستگاه‌های ۱، ۲، ۳ و ۴ در سال ۲۰۱۹ دقت بالاتر نسبت به روش RTE داشته است. همچنین نتایج اعتبارسنجی نقشه‌های کاربری اراضی نیز نشان از دقت کلی  $0/95$  و ضریب کاپای  $0/94$  براس سال ۲۰۰۰ و دقت کلی  $0/96$  و ضریب کاپای  $0/95$  برای سال ۲۰۱۹ داشته است. ارزیابی روابط بین دمای سطح و نقشه‌های کاربری اراضی نشان داد که برخلاف رشد فیزیکی قابل توجه بخش شهری در بازه زمانی ۱۹ ساله، بجز کاربری مناطق مسکونی، همه کاربری‌ها در سال ۲۰۱۹ نسبت به سال ۲۰۰۰ با افزایش دمای متوسط سطح روبه‌رو بوده‌اند.

**نتیجه‌گیری** نتایج تحقیق نشان داد که عواملی مانند گسترش زمین‌های کشاورزی با کشت آبی اطراف بخش شهری تا شعاع ۱۰ کیلومتری و درهم تنیدگی این مزارع با بخش شهری، تأثیر زیادی در تعدیل دمای بخش شهری محدود شده است. این اراضی در سال ۲۰۰۰ عمدتاً زیر کشت محصولات دیمی بودند و با حل مشکل آب (حفر چاه‌های عمیق و پروژه‌های انتقال آب) تبدیل به باغات و مزارع کشت آبی مثل سیب‌زمینی شدند. این محصولات به دلیل نیاز آبی بالا دارای سبزیگی بالایی نیز هستند و این عامل خود باعث بالا رفتن میزان تبخیر و تعرق و به دنبال آن خنکی محدوده کشت و بخش شهری شده است. از بین سایر کلاس‌ها نیز در هر دو سال کاربری آب

از آماده‌سازی تصاویر حرارتی و چند طیفی، ابتدا جهت مدل‌سازی میزان انتقال‌پذیری اتمسفر از از نرم‌افزار محاسبه‌گر تحت‌وب MODTRAN استفاده و ضرایب اتمسفری استخراج گردید. سپس برای ایجاد رابط‌های کاربر گرافیکی و محاسبه خودکار LST، دمای سطح زمین با دو الگوریتم تک‌کانال و روش RTE با تصاویر ماهواره لندست ۵ و لندست ۸ برای دو تاریخ  $2000/07/31$  و  $2019/08/21$  در محیط نرم‌افزار متلب کد نویسی شد و با استفاده از این کدها رابط‌های کاربر گرافیکی برای هر الگوریتم ایجاد و در نهایت اپلیکیشن محاسبه‌گر خودکار دمای سطح زمین تولید گردید. همچنین نقشه کاربری اراضی شهرستان اردبیل برای هر دو تاریخ مذکور با استفاده از الگوریتم جنگل تصادفی در محیط سامانه گوگل ارث انجین با ۷ کلاس طبقه‌بندی و استخراج گردید. این الگوریتم به دلیل ساختار سلسله مراتبی که در انتخاب هر پیکسل به طبقه مناسب دارد در مقایسه با روش‌های سنتی مثل حداکثر احتمال عملکرد بسیار بهتری دارد. جهت اعتبارسنجی نقشه‌های دمای سطح از دو نوع داده دمای سطح ثبت شده در دو ایستگاه هواشناسی و دمای سطح ثبت شده توسط دماسنج دیجیتال که همزمان با عبور ماهواره در دو نقطه از محیط همگن غیرشهری با کاربری کشاورزی و بایر که محصول آن برداشت شده بود، استفاده شد. برای ارزیابی دقت نقشه‌های کاربری اراضی نیز با استفاده از Google Earth که توان تفکیک مکانی بهتری نسبت به تصویر مورد استفاده دارد، ۲۴۸ نقطه کنترل زمینی از پیکسل‌های خالص کاربری‌های مختلف اخذ گردید و در فرآیند اعتبارسنجی بکار گرفته شد. همچنین پارامترهای آماری مانند ماتریس خطا، دقت کلی و ضریب کاپا روی خروجی هر دو نقشه کاربری اراضی اعمال شد.

**نتایج و بحث** با استفاده از کدهای نوشته شده در محیط نرم‌افزار متلب رابط‌های کاربر گرافیکی (GUI) ایجاد و سپس اپلیکیشن محاسبه‌گر خودکار دمای سطح زمین تولید گردید. خروجی اپلیکیشن نقشه‌های دمای سطح زمین با الگوریتم‌های تک‌کانال و معادله انتقال تابشی (RTE) بود که برای تاریخ  $2000/07/31$  با استفاده از تصویر حرارتی (باند ۶) سنجنده TM ماهواره لندست ۵ و تاریخ  $2019/08/21$  بوسیله باند ۱۰ سنجنده TIRS ماهواره لندست ۸ ایجاد گردید. پس از مقایسه نقشه‌های خروجی با داده‌های ایستگاه هواشناسی و ایستگاه زمینی، نتایج نشان داد که روش تک‌کانال در هر دو سال نسبت به ایستگاه‌ها کمترین اختلاف دما را داشته است. پس از تهیه نقشه‌های دمای سطح و انتخاب الگوریتم بهینه (تک‌کانال)

مختلف مانند سامانه‌های کشاورزی، اقلیمی و مدیریت منابع آب را نیز دارد.

**واژه‌های کلیدی:** دمای سطح زمین، رابط کاربرگرافیکی (GUI)، تک‌کانال، جنگل تصادفی، اردبیل

کمترین و کاربری اراضی بایر بیشترین مقدار متوسط دمای سطح را داشته است. اپلیکیشن تولید شده امکان اجرا روی هر سیستم عاملی که از فرمت exe پشتیبانی می‌کند را دارد و کاربر می‌تواند با تعیین پارامترهای اتمسفری دمای سطح زمین را به صورت خودکار برآورد کند. همچنین این برنامه کاربردی قابلیت به‌کارگیری در بخش‌های

لطفاً به این مقاله استناد کنید: فکرت، ح.، اصغری سراسکانرود، ص.، علوی‌پناه، س. ک. ۱۴۰۱. ایجاد رابط کاربرگرافیکی جهت محاسبه خودکار دمای سطح زمین و استفاده از نتایج در ارزیابی تغییرات دمایی کاربری‌های اراضی شهرستان اردبیل، نشریه سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۱۳(۳): ۱۱۱-۱۳۱.

<https://doi.org/10.30495/GIRS.2022.684503>

## مقدمه

دمای سطح زمین یک شاخص حیاتی برای مطالعه تغییرات محیطی و بیلان انرژی زمین محسوب می‌شود که با استفاده از آن می‌توان روی تغییرات حرارتی شهرها نیز نظارت کرد (۲۲). انسان به عنوان اصلی‌ترین عامل برهم‌زننده تعادل دمایی با فعالیت‌های خود باعث کاهش پوشش گیاهی و ایجاد تغییرات محیطی اکوسیستم در مقیاس محلی، منطقه ای و جهانی شده است (۱۹). این فعالیت‌ها به دلیل تبدیل سطوح دارای پوشش گیاهی به سطوح غیرقابل نفوذ و فاقد پوشش گیاهی باعث تغییرات در میزان جذب تابش خورشید، افزایش دمای سطح، بالا رفتن سرعت تبخیر، ذخیره گرما و تغییر در جو نزدیک سطح زمین می‌شود (۲۴). فناوری سنجش از دور با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای می‌تواند کمک شایانی برای مدیران و برنامه‌ریزان شهری در جهت مطالعه شرایط دمایی و تغییرات کاربری در گذشته، ارزیابی روند حال و در نهایت پیش‌بینی و مدیریت وضعیت آینده داشته باشد. در میان ماهواره‌های متعدد سنجش از دوری، داده‌های ماهواره سری لندست به دلیل دسترسی راحت، پوشش وسیع، آرشو غنی بیش از ۵۰ ساله داده‌های حرارتی و چندطیفی همواره مورد توجه پژوهشگران علوم زمین بوده است (۸). تاکنون مطالعات متعددی در سطح ایران و جهان مشابه این پژوهش صورت گرفته است که به موضوعاتی مانند مقایسه الگوریتم‌های برآورد LST، ارزیابی رابطه بین دمای سطح زمین و تغییرات کاربری اراضی و عوامل ایجاد جزایر حرارتی شهرها پرداخته شده است. در اغلب این مطالعات برای محاسبه دمای سطح زمین از نرم-افزارهای مختلف استفاده شده و به ندرت زبان برنامه نویسی در آنها بکار گرفته شده است (۱۳).

آیک و همکاران (۲) در پژوهشی به ارزیابی رابطه‌ی دمای سطح زمین و تغییرات کاربری اراضی منطقه کوهستانی کامرون در مالزی پرداختند. آنها علاوه بر تصاویر ماهواره‌های لندست ۷ و ۸ با استفاده از سنجنده مادیس دمای سطح زمین را با الگوریتم پنجره مجزا استخراج کردند. نتایج کار آنها نشان داد که روند رشد شهرنشینی با مقدار ۰/۱۶ درصد برای هر

سال باعث افزایش ۲ درجه سانتی‌گرادی دمای سطح زمین و ایجاد شرایط بحرانی ناشی از تغییرات گسترده‌ی کاربری‌ها از سال ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۹ شده است. هو و همکاران (۱۰) با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۷ و سنجنده مادیس روابط بین تغییرات کاربری اراضی و تغییرات دمایی را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج پژوهش آنها نشان داد که تغییرات گسترده کاربری‌ها از سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۱ باعث افزایش دما شده است. طی این تغییرات وسعت مناطق جنگلی و چمنزار کاهش و وسعت مناطق انسان‌ساز افزایش پیدا است. ناگتون و مک دونالد (۱۶) با استفاده از تصاویر حرارتی هوایی اقدام به شناسایی و ارزیابی عوامل تاثیرگذار بر دمای سطح زمین در مناطق شهری کردند. نتایج پژوهش آنها نشان داد که کاربری‌های بسیار متنوعی در داخل محیط شهری با تنوع دمایی وجود دارند که متاثر از مواد تشکیل دهنده سطح، آب و هوا و هندسه شهری، دمای سطح شهر را جهت دهی می‌کنند. متکان و همکاران (۱۵) اثرات تغییرات کاربری و پوشش زمین را در ایجاد جزایر حرارتی شهر بندرعباس بررسی کردند. نتایج پژوهش نشان داد که مناطق صنعتی و زمین‌های بایر دارای بیشترین دما و مناطق ساحلی بدلیل مجاورت با آب دریا و همچنین مناطق دارای پوشش گیاهی از کمترین دما برخوردار بوده‌اند. فکرت و همکاران (۸) دمای سطح زمین شهرستان اردبیل را با چهار روش تک‌کانال، تک‌پنجره بهبودیافته، تابع معکوس پلانک و معادله انتقال تابشی برآورد کردند. نتایج ارزیابی دقت الگوریتم‌ها در پژوهش آنها نشان داد که روش تک‌کانال از بیشترین دقت نسبت به سایر روش‌ها برخوردار است.

از معدود مطالعات در این زمینه که از زبان برنامه نویسی استفاده کردند، اودان و جوانوفسکا (۴) الگوریتمی داخل نرم-افزار ERDAS ایجاد کردند که به‌وسیله آن نقشه‌های دمای سطح زمین با ماهواره لندست ۸ به‌صورت خودکار برآورد می‌شود. برای اعتبار سنجی نتایج الگوریتم نیز از داده‌های دمای هوای نزدیک سطح استفاده کردند.

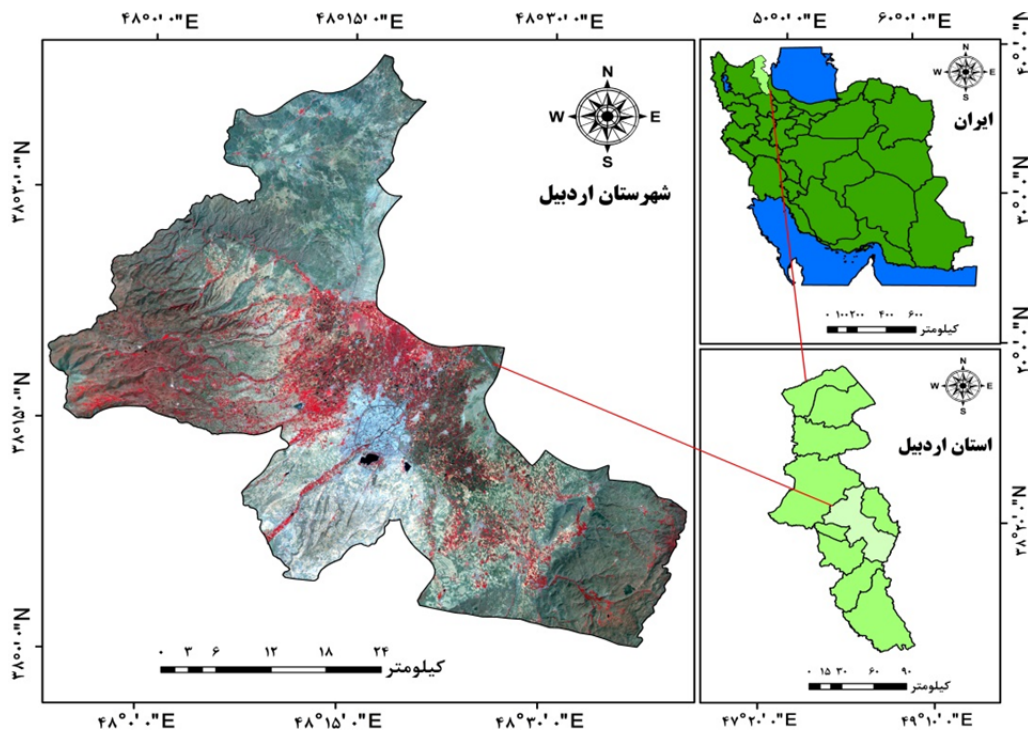
داده‌های اعتبارسنجی با زمان عبور ماهواره، علاوه بر داده‌های دمای سطح اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های سینوپتیک، دمای سطح زمین در دو ایستگاه زمینی نیز همزمان با عبور ماهواره ثبت گردید.

### روش تحقیق

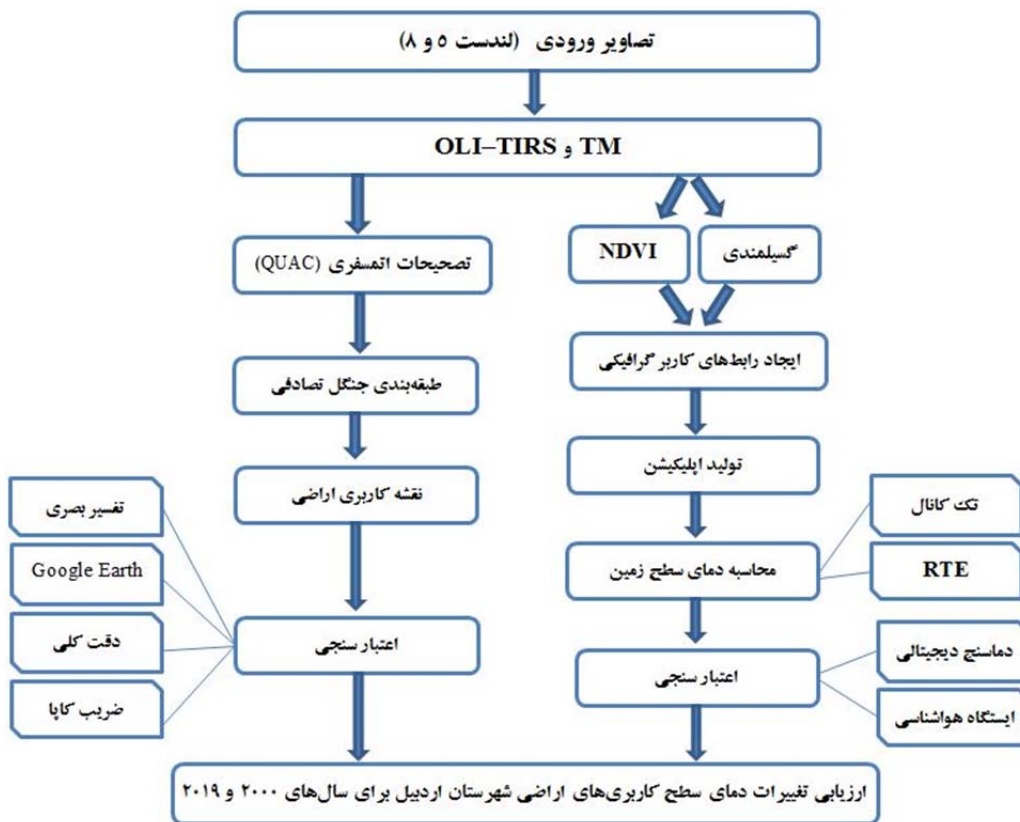
#### منطقه مورد مطالعه

شهرستان اردبیل در محدوده جغرافیایی  $37^{\circ}55'60''$  تا  $38^{\circ}36'27''$  عرض شمالی و  $47^{\circ}48'21''$  تا  $48^{\circ}39'20''$  طول شرقی واقع شده است. این شهرستان با جمعیتی بالغ بر  $1270420$  نفر و مساحت  $221677$  کیلومتر مربع بزرگترین شهرستان استان اردبیل محسوب می‌شود. شرایط خاص منطقه از لحاظ تغییرات ارتفاعی و تعدد عوامل موثر بر اقلیم، باعث تنوع بالای محدوده مورد مطالعه از لحاظ شرایط اقلیمی شده است. بر اساس تقسیمات کوسن منطقه دارای چهار اقلیم مدیترانه‌ای گرم، مدیترانه‌ای معتدل، کوهستانی سرد و معتدل می‌باشد (۸). از جمله عوامل موثر محلی در آب و هوای شهرستان می‌توان به شرایط کوهستانی و اختلاف ارتفاع و از عوامل موثر فرامحلی می‌توان وجود دریای خزر، جریانات هوایی مدیترانه‌ای، اروپای شمالی و آسیای مرکزی را نام برد (۱)، که عمدتاً نقش کاهنده درجه حرارت برای منطقه را دارند. موقعیت محدوده مورد مطالعه در شکل ۱ و روند کلی مراحل انجام پژوهش در شکل ۲ ارائه شده است.

کمبود ایستگاه‌های هواشناسی در اکثر مناطق کشور از جمله منطقه مورد مطالعه محدودیت‌های اطلاعاتی در زمینه داده‌های دمای سطح زمین ایجاد کرده است. همچنین طیف وسیعی از کاربران غیر سنجش از دوری وجود دارند که به نقشه‌های دمای سطح زمین نیاز دارند و اغلب آنها آشنایی کافی با نرم‌افزارهای محاسبه کننده LST ندارند و به ناچار مجبورند زمان زیادی را صرف کنند تا نقشه‌های مورد نظر خود را تهیه کنند. این فرآیند حتی برای متخصصان سنجش از دور نیز در صورت بالا بودن تعداد تصاویر، زمان‌بر خواهد بود. با توجه به مطالب ذکر شده هدف از این پژوهش در مرحله اول ایجاد برنامه کاربردی برای محاسبه خودکار دمای سطح زمین و سپس استفاده از نتایج این برنامه در ارزیابی تغییرات دمایی کاربری‌های اراضی محدوده مورد مطالعه است. اپلیکیشن تولید شده در این پژوهش این امکان را به کاربر می‌دهد که با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای دمای سطح زمین را در سریع‌ترین زمان ممکن با الگوریتم‌های مختلف برآورد کند. استفاده از داده‌های معتبر جهت اعتبارسنجی که از لحاظ زمانی کمترین اختلاف را با زمان عبور ماهواره داشته باشد، اهمیت زیادی در برآورد دقت نتایج دارد. با بررسی تحقیقات داخلی مشابه با موضوع مورد مطالعه اکثر پژوهش‌ها برای اعتبارسنجی نتایج تنها از داده‌های ایستگاه هواشناسی استفاده کردند که زمان ثبت داده در این ایستگاه‌ها با زمان عبور ماهواره متفاوت است. در این پژوهش به دلیل وسعت زیاد منطقه مورد مطالعه و کافی نبودن تعداد ایستگاه‌های هواشناسی و همچنین به منظور همزمانی



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه  
Fig 1. Location of the study area



شکل ۲. نمودار روند پژوهش  
Fig. 2. Flow chart of research methodology

### انتخاب، آماده‌سازی و پیش‌پردازش تصاویر

در این پژوهش از تصاویر دو ماهواره لندست ۵ و لندست ۸ با فاصله زمانی ۱۹ ساله استفاده شد که مشخصات تصاویر در جدول ۱ نمایش داده شده است. هر دو تصویر بدون ابر و از یک ماه (مرداد) انتخاب و فرایند پیش‌پردازش روی آنها اعمال گردید. تصاویر از داده‌های سطح یک ماهواره لندست است که تصحیحات هندسی روی آنها توسط سازمان USGS صورت می‌پذیرد (۲۳). جهت تصحیح اتمسفری تصاویر چندطیفی برای تهیه نقشه‌های کاربری اراضی از روش تصحیح اتمسفری سریع (QUAC) استفاده شده است. این روش که از سرعت پردازش بالایی برخوردار است، برای تعیین پارامترهای مورد نیاز خود بصورت مستقیم از اطلاعات موجود در طیف پیکسل‌های مشاهده شده استفاده می‌کند و نیاز به اطلاعات جانبی ندارد و می‌تواند عمق نوری آئروسول را زمانی که پیکسل تاریک در دسترس نیست برآورد کند (۶). جهت تهیه نقشه‌های دمای سطح زمین نیز در فرآیند تبدیل ارزش‌های رقومی پیکسل‌ها به رادیانس باندهای حرارتی و همچنین تبدیل رادیانس به دمای روشنایی، تصحیح رادیومتریکی روی باند حرارتی صورت می‌گیرد (۱۹). همچنین برای مدلسازی انتشار و تابش اتمسفری و تخمین میزان انتقال‌پذیری اتمسفر از پلنفرم تحت وب MODTRAN نسخه ۶ استفاده شد. با استفاده از این سامانه پروفیل استاندارد اتمسفر از سطح زمین تا ارتفاع ۱۰۰ کیلومتری شامل تابش‌های رو به بالا و رو به پایین اتمسفری و ضریب ضخامت اتمسفر برای دو تاریخ ۲۰۰۰/۰۷/۳۱ ساعت ۱۱:۳۳ و ۲۰۱۹/۰۸/۲۱ ساعت ۱۱:۵۶ به وقت محلی مطابق با زمان عبور ماهواره تعیین گردید.

### ایجاد رابط کاربر گرافیکی (GUI)

GUI یا رابط کاربر گرافیکی از جمله امکانات نرم افزار قدرتمند متلب است که امکان برقراری ارتباط به صورت گرافیکی بین کاربر و نرم‌افزار را فراهم می‌کند. یکی از ویژگی‌های مهم واسط‌های گرافیکی در متلب، سهولت استفاده از توابع نوشته شده و یا به عبارتی سهولت اجرای یک پروژه است (۱۴). در این پژوهش هر یک از مراحل محاسبه دمای سطح زمین (NDVI، گسیلمندی و الگوریتم‌های LST) ابتدا در محیط نرم افزار متلب کد نویسی شد و سپس هر یک از توابع تبدیل به رابط‌های کاربر گرافیکی شده و در نهایت اپلیکیشن محاسبه‌گر دمای سطح زمین تولید گردید.

### محاسبه توان تشعشعی

در اپلیکیشن تولید شده امکان محاسبه توان تشعشعی به سه روش گسیلمندی بر مبنای NDVI، گسیلمندی براساس حد‌آستانه‌گذاری NDVI و گسیلمندی با استفاده از شاخص FVC فراهم شده است. با توجه به این که روش گسیلمندی بر اساس شاخص NDVI از دقت بیشتری در نتایج برخوردار بود، در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفت. در این روش توان تشعشعی هر پیکسل بر اساس طبقه‌ای که به آن تعلق دارد تعیین می‌شود. طبق پژوهش ژانگ و همکاران در صورتی که مقدار NDVI یک منطقه بدست آید، امکان تعیین مقادیر گسیلمندی نیز برای آن منطقه وجود دارد. به این منظور ابتدا شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شد و سپس مقدار گسیلمندی هر پیکسل بر مبنای مقدار شاخص NDVI آن پیکسل بر اساس جدول ۲ محاسبه گردید (۲۵).

جدول ۱. مشخصات تصاویر ماهواره‌ای استفاده شده

Table 1. Specifications of satellite images used

ماهواره	زمان اخذ تصویر (محلی)	تاریخ	ردیف	گذر
لندست ۵	۱۱:۳۳:۰۲	۲۰۰۰/۰۷/۳۱	۳۳	۱۶۷
لندست ۸	۱۱:۵۶:۰۰	۲۰۱۹/۰۸/۲۱	۳۳	۱۶۷

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad [1]$$

$$\Psi_{1(\omega, T_a)} \equiv \frac{1}{\tau_{(\omega, T_a)}} \quad [5]$$

$$\Psi_{2(\omega, T_a)} \equiv -L_{atm}^{\downarrow}(\omega, T_a) - \frac{L_{atm}^{\uparrow}(\omega, T_a)}{\tau_{(\omega, T_a)}} \quad [6]$$

$$\Psi_{3(\omega, T_a)} \equiv -L_{atm}^{\downarrow}(\omega, T_a) \quad [7]$$

در این رابطه‌ها؛  $C_1$  و  $C_2$  ضرایب ثابت تابشی پلانک، در رابطه ۴،  $L_{sensor\lambda}$  و  $T_{sensor}$  به ترتیب برابر رادیانس سنجنده حرارتی (باند ۱۰ سنجنده‌ی TIRS و باند ۶ سنجنده‌ی TM و دمای درخشندگی سنجنده و  $L_{atm}^{\uparrow}$ ،  $L_{atm}^{\downarrow}$  و  $\tau$  در رابطه‌های ۵، ۶ و ۷ به ترتیب تابش‌های رو به بالای اتمسفر، تابش‌های رو به پایین اتمسفر و ضخامت اتمسفر (میزان انتقال پذیری اتمسفر) را نشان می‌دهد.

#### روش معادله انتقال تابشی (RTE)

روش RTE از جمله الگوریتم‌های ساده و پرکاربرد به شمار می‌رود که با استفاده از رابطه ۸ بدست می‌آید (۲۱):

$$T_s = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_{\lambda}(T_s)} + 1\right)} \quad [8]$$

در این رابطه؛  $K_1$  و  $K_2$  ضرایب باندهای حرارتی مورد استفاده (باند ۱۰ لندست ۸ و باند ۶ لندست ۵) که در جدول ۳ نمایش داده شده است (مستخرج متادیتای تصاویر)،  $L_{\lambda}(T_s)$  نشان‌دهنده رادیانس سطح در دو باند حرارتی ۱۰ و ۶ است و به وسیله آن، رادیانس به رادیانس سطح تبدیل می‌شود (۵) و با استفاده از رابطه ۹ بدست می‌آید.

$$L_{\lambda}(T_s) = \frac{L_{\lambda} - L_{\lambda up}}{\tau \varepsilon_{\lambda}} - \frac{1 - \varepsilon_{\lambda}}{\varepsilon_{\lambda}} L_{\lambda down} \quad [9]$$

در این رابطه؛  $L_{\lambda up}$  و  $L_{\lambda down}$  به ترتیب تابش‌های رو به بالای اتمسفر و تابش‌های رو به پایین اتمسفر،  $\tau$  ضخامت اتمسفر و  $\varepsilon$  توان تشعشعی باندهای حرارتی ۱۰ و ۶ است.

جدول ۲. مقادیر گسیلمندی برای اساس ارزش NDVI

Table 2. Emissivity values based on the NDVI

NDVI	LSE
NDVI < - ۰/۱۸۵	۰/۹۵۵
-۰/۱۸۵ ≤ NDVI < ۰/۱۵۷	۰/۹۸۵
۰/۱۵۷ ≤ NDVI ≤ ۰/۷۲۷	۱/۰۰۹ + ۰/۰۴۷ × ln(NDVI)
NDVI ۰/۷۲۷	۰/۹۹۰

#### الگوریتم‌های برآورد دمای سطح زمین

جهت محاسبه دمای سطح زمین معادلات دو الگوریتم تک‌کانال و روش RTE در اپلیکیشن کدنویسی شده است که کاربر با انتخاب هر یک از الگوریتم‌ها، نقشه دمای سطح زمین با همان روش ایجاد می‌شود. الگوریتم‌ها با استفاده از رابطه‌های زیر محاسبه شد.

#### روش تک‌کانال

روش تک‌کانال برای اجرا نیاز به اطلاعات دقیق پروفیل اتمسفری از منطقه مورد مطالعه دارد و برای سنجنده‌هایی که دارای یک باند حرارتی هستند مناسب است که از رابطه زیر حاصل می‌شود (۱۲):

$$LST = \gamma[\varepsilon^{-1}(\Psi_1 L_{sensor} + \Psi_2) + \Psi_3] + \delta \quad [2]$$

در این رابطه؛  $\varepsilon$  گسیلمندی و  $L_{sensor}$  رادیانس حرارتی،  $\gamma$  گاما که با استفاده از رابطه ۳ محاسبه شده است،  $\delta$  برابر با دلتا که از رابطه ۴ حاصل شده و  $\Psi_1$ ،  $\Psi_2$  و  $\Psi_3$  پارامترهای تصحیح اتمسفری هستند و با اعمال آنها اثر اتمسفر روی خروجی‌ها از بین رفته یا تا حد زیادی تعدیل می‌شود (۸)، که با استفاده از رابطه‌های ۵، ۶ و ۷ محاسبه گردید (۱۲).

$$\gamma = \left\{ \frac{c_2 L_{sensor\lambda}}{T_{sensor}^2} \left[ \frac{\lambda^4}{c_1} L_{sensor\lambda} + \lambda^{-1} \right] \right\}^{-1} \quad [3]$$

$$C1 = 1.19104 \times 10^8 (W \cdot \mu m \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1})$$

$$C2 = 1.43877 \times 10^4 (\mu m^4 \cdot K)$$

$$\delta = -\gamma L_{sensor\lambda} + T_{sensor} \quad [4]$$



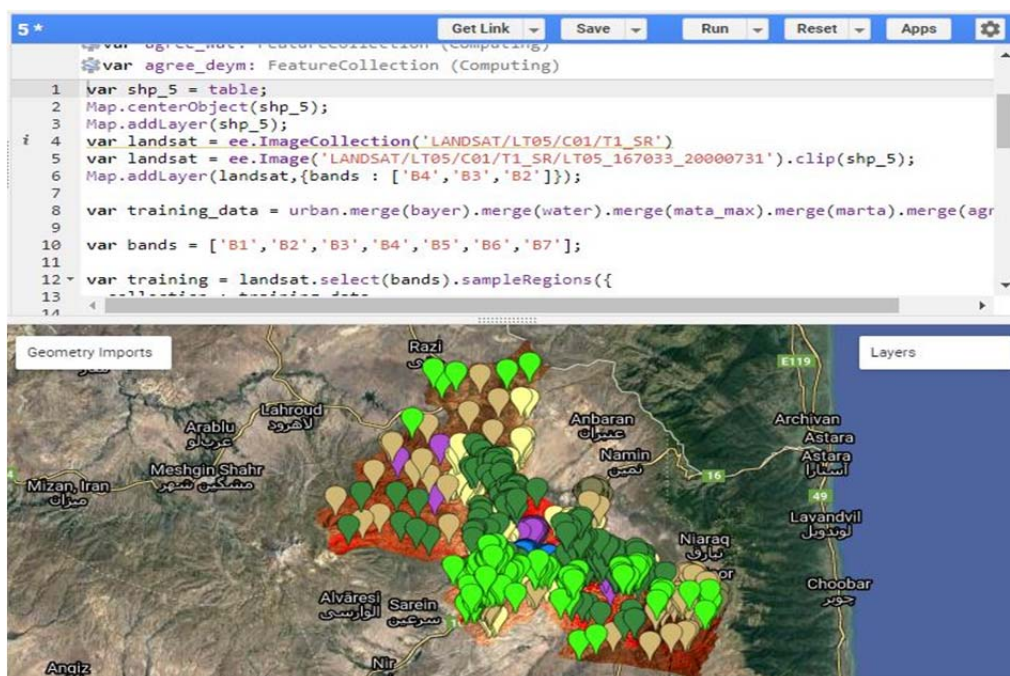
مقایسه با روش‌های سنتی مثل حداکثر احتمال عملکرد بسیار بهتری دارد (۱۱). جهت اعمال طبقه‌بندی، ۷ کلاس مناطق مسکونی، اراضی بایر، مناطق آبی، مراتع غنی، مراتع متوسط و فقیر، کشاورزی آبی و کشاورزی دیم انتخاب شد و برای تفکیک بهتر کلاس‌ها از پیکسل‌های خالص هر کاربری جهت اخذ نمونه‌های تعلیمی استفاده شد. شکل ۳ کدهای نوشته شده و پراکنش نمونه‌های تعلیمی در محیط سامانه GEE را نشان می‌دهد. الگوریتم مورد استفاده ترکیبی از طبقه‌بندی کننده‌های درختی است که هر یک از آنها با استفاده از یک بردار تصادفی نمونه‌برداری شده مستقل از مجموعه تعلیمی بردارهای ورودی تولید شده‌اند و هر درخت یک رأی واحد برای طبقه محبوب-تر بردار ورودی مورد نظر تعیین می‌کند. در نهایت هر نمونه به دسته‌ای تعلق می‌گیرد که بیشترین محبوبیت را در بین طبقات دارد (۷).

جدول ۳. ضرایب  $K_1$  و  $K_2$  برای باند ۱۰ لندست ۸ و باند ۶ لندست ۵

سنجده	باند	K	مقدار ضرایب ثابت $K_1$ و $K_2$
TIRS (لندست ۸)	۱۰	$K_1$ $K_2$	۷۷۴/۵۳۸۸ ۱۳۲۱/۰۷۸۹
TM (لندست ۵)	۶	$K_1$ $K_2$	۶۰۷/۷۶ ۱۲۶۰/۵۶

### نقشه کاربری اراضی

تصاویر اولیه پس از طی فرآیند پیش پردازش، با استفاده از الگوریتم جنگل تصادفی (Random Forest) با هفت کلاس در محیط سامانه ابری گوگل ارث انجین (GEE) طبقه‌بندی و نقشه کاربری اراضی شهرستان اردبیل در دو سال ۲۰۰۰ و ۲۰۱۹ استخراج گردید. این الگوریتم به دلیل ساختار سلسله مراتبی که در انتخاب هر پیکسل به طبقه مناسب دارد در



شکل ۳. نمایشی از کدها و نمونه‌های تعلیمی انتخاب شده در محیط سامانه GEE  
Fig. 3. View of codes and training data selected in the GEE system

## اعتبارسنجی

منطقه داده‌های ساعت ۱۲ به وقت محلی بود که اختلاف ۲۷ دقیقه‌ای با تصویر سال ۲۰۰۰ و اختلاف ۴ دقیقه‌ای با تصویر سال ۲۰۱۹ داشت، به همین دلیل علاوه بر داده‌های ایستگاه هواشناسی، دمای سطح زمین در دو نقطه از محدوده به وسیله دو دماسنج دیجیتالی نیز همزمان با عبور ماهواره ثبت گردید. مشخصات و مختصات دو ایستگاه هواشناسی و دو ایستگاه زمینی در جدول ۴ نمایش داده شده است.

جهت صحت سنجی نقشه‌های LST خروجی از اپلیکیشن از داده‌های ایستگاه هواشناسی و ایستگاه زمینی استفاده شده است. منطقه مورد مطالعه دارای دو ایستگاه سینوپتیک هست که دمای سطح زمین در محل ایستگاه به صورت روزانه و هر ۸ ساعت یکبار ثبت می‌شود. نزدیکترین زمان ثبت دما در این ایستگاه‌ها نسبت به زمان عبور ماهواره از

جدول ۴. مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی و زمینی

Table 4. Meteorological station specifications and ground stations

X	Y	ارتفاع از سطح دریا (متر)	زمان ثبت دمای سطح	ایستگاه سینوپتیک
۴۸.۱۹.۴۳	۳۸.۱۳.۰۵	۱۳۳۵/۲	۱۲:۰۰	ایستگاه ۱ (اردبیل)
۴۸.۲۴.۵۷	۳۸.۱۹.۵۰	۱۳۱۷/۳	۱۲:۰۰	ایستگاه ۲ (فرودگاه)
۴۸.۱۴.۰۶	۳۸.۱۶.۸۵	۱۳۴۳	۱۱:۵۶	ایستگاه ۳
۴۸.۱۵.۹۲	۳۸.۱۰.۳۷	۱۳۸۴	۱۱:۵۶	ایستگاه ۴

محاسبه‌گر خودکار دمای سطح زمین تولید گردید که در شکل ۴ نمایی از محیط اجرا شده آن نمایش داده شده است. چهار بخش *Input Parameters*، *Atm*، *Sensor* و *Output* در این اپلیکیشن تعبیه شده است که هر کدام اطلاعاتی را از کاربر دریافت می‌کند. در پنل *Input* تصاویر ورودی (تصویر رادیانس، دمای درخشندگی و ترکیب باند قرمز و مادون قرمز نزدیک) توسط کاربر معرفی می‌شود، در پنل *Atm Parameters* پارامترهای اتمسفری (ضریب ضخامت اتمسفر، ضرایب تابش‌های رو به بالا و رو به پایین، دمای متوسط و رطوبت نسبی) که میزان انتقال پذیری اتمسفر را مشخص می‌کند معرفی می‌شود. با توجه به اینکه در این پژوهش از تصاویر دو ماهواره لندست ۸ و ۵ استفاده شده است، درون اپلیکیشن کاربر با انتخاب هر کدام از ماهواره‌ها، ضرایب مربوط به آن ماهواره در ادامه فرآیند محاسبه دمای سطح زمین اعمال می‌شود. در پنل *Output* پس از تعیین نوع الگوریتم *LST* در کادر اول و نوع الگوریتم گسیلمندی در کادر دوم، نقشه‌های دمای سطح زمین محاسبه می‌شود و در نهایت کاربر می‌تواند پس از تعیین مسیر علاوه بر نقشه‌های سه الگوریتم برآورد

برای ارزیابی دقت نقشه‌های کاربری اراضی نیز با استفاده از Google Earth که توان تفکیک مکانی بهتری نسبت به تصویر مورد استفاده دارد، ۲۴۸ نقطه کنترل زمینی از پیکسل‌های خالص کاربری‌های مختلف برداشت و در فرآیند اعتبارسنجی بکار گرفته شد. همچنین پارامترهای آماری مانند ماتریس خطا، دقت کلی و ضریب کاپا روی خروجی هر دو نقشه کاربری اراضی اعمال شد که با استفاده از رابطه‌های ۱۰ و ۱۱ محاسبه شدند (۹).

$$OA = \frac{1}{N} \sum P_{ii} \quad (10)$$

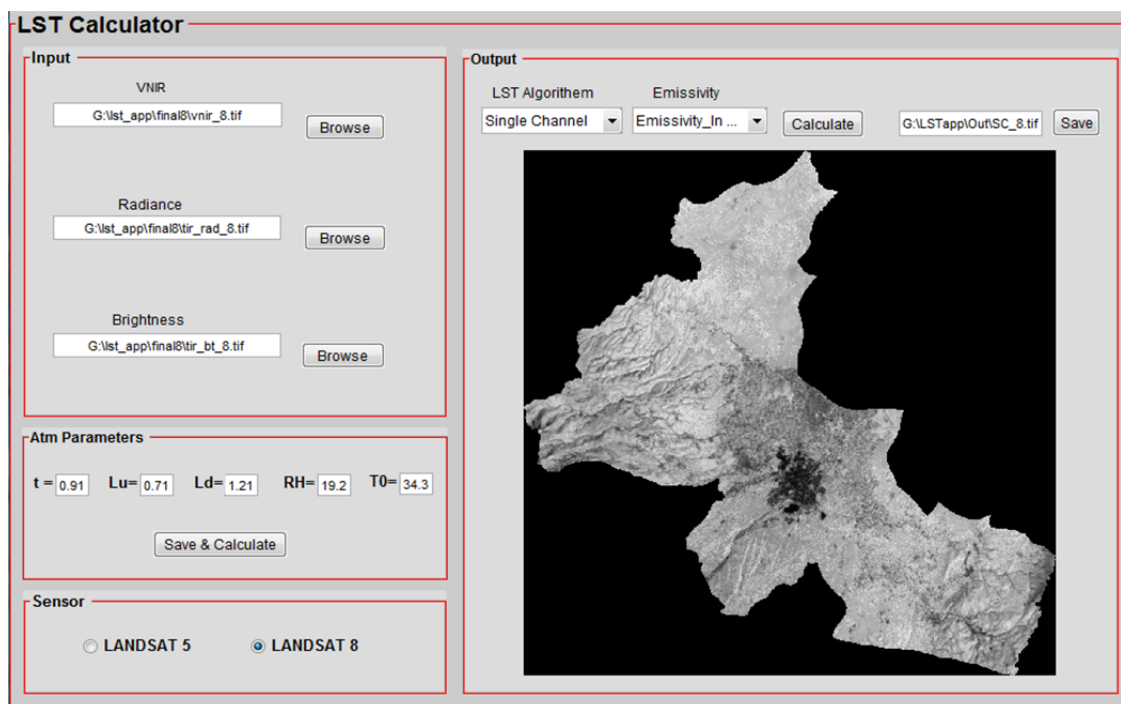
$$Kappa = \frac{N \sum_{i=1}^k x_{ii} - \sum_{i=1}^k x_i \times x_i}{N^2 - \sum_{i=1}^k (x_i \times x_i)} \quad (11)$$

در این رابطه‌ها؛  $N$  تعداد پیکسل‌های آزمایشی،  $P_{ii}$  عناصر قطر اصلی ماتریس خطا،  $X_{ii}$  عناصر قطر اصلی ماتریس،  $X_{i+}$  عناصر سطر  $i$  ام و  $X_{+i}$  عناصر ستون  $i$  ام را نشان می‌دهد.

## نتایج

با استفاده از کدهای نوشته شده در محیط نرم افزار متلب رابط‌های کاربری گرافیکی (GUI) ایجاد و سپس اپلیکیشن

LST، نقشه‌های گسیلمندی و NDVI را نیز با فرمت tiff خروجی بگیرد.



شکل ۴. نمایی از محیط اپلیکیشن تولید شده جهت محاسبه خودکار دمای سطح زمین  
Fig. 4. View of the application generated to automatically calculate the LST

است که این ضرایب به همراه مقدار رطوبت نسبی و دمای متوسط در زمان گذر ماهواره باید توسط کاربر اخذ و در پنل Atm Parameters وارد شود.

جهت محاسبه میزان انتقال‌پذیری اتمسفر از پلتفرم MODTRAN برای دو تاریخ ۲۰۱۹/۰۸/۲۱ و ۲۰۰۰/۰۷/۳۱ همزمان با عبور ماهواره از منطقه مورد مطالعه استفاده شد که ضرایب بدست آمده در جدول ۵ ارائه شده است. لازم به ذکر

جدول ۵. ضرایب اتمسفری بدست آمده از پلتفرم MODTRAN

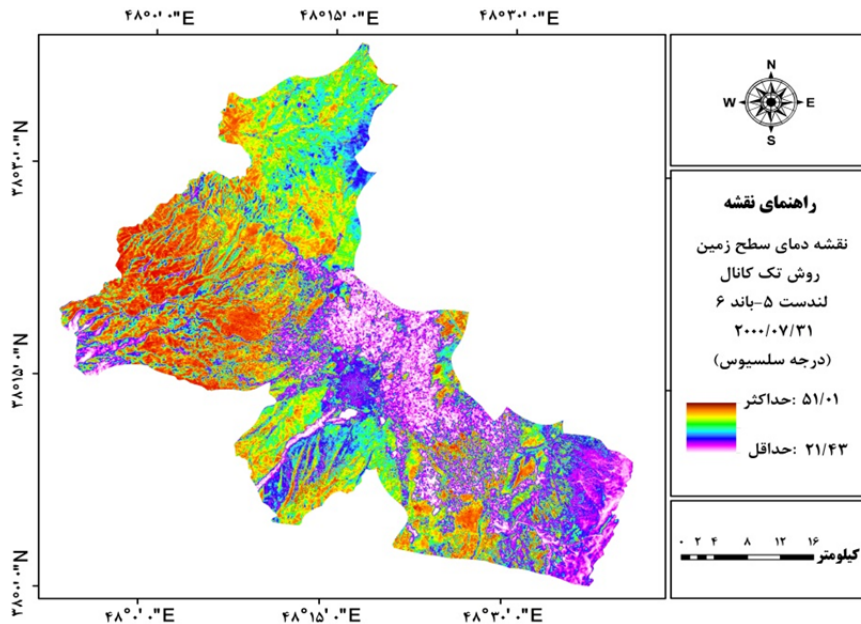
Table 5. Atmospheric coefficients obtained from the MODTRAN platform

تاریخ	ساعت (جهانی)	ساعت (محلی)	ضریب ضخامت اتمسفر	ضریب تابش‌های رو به بالا	ضریب تابش‌های رو به پایین
۲۰۰۰/۰۷/۳۱	۰۷:۰۳	۱۱:۳۳	۰/۹۱	۰/۷۰	۱/۱۵
۲۰۱۹/۰۸/۲۱	۰۷:۲۶	۱۱:۵۶	۰/۹۱	۰/۷۱	۱/۲۱

هواشناسی و دمای سطح زمین محاسبه شده توسط الگوریتم‌ها در محل دو ایستگاه هواشناسی را نشان می‌دهد. ایستگاه‌های هواشناسی موجود در منطقه (بخصوص ایستگاه اول) تا حدودی در حریم شهری واقع شده است و با توجه به توان تفکیک مکانی باندهای سنجنده TM (۱۲۰ متر) و

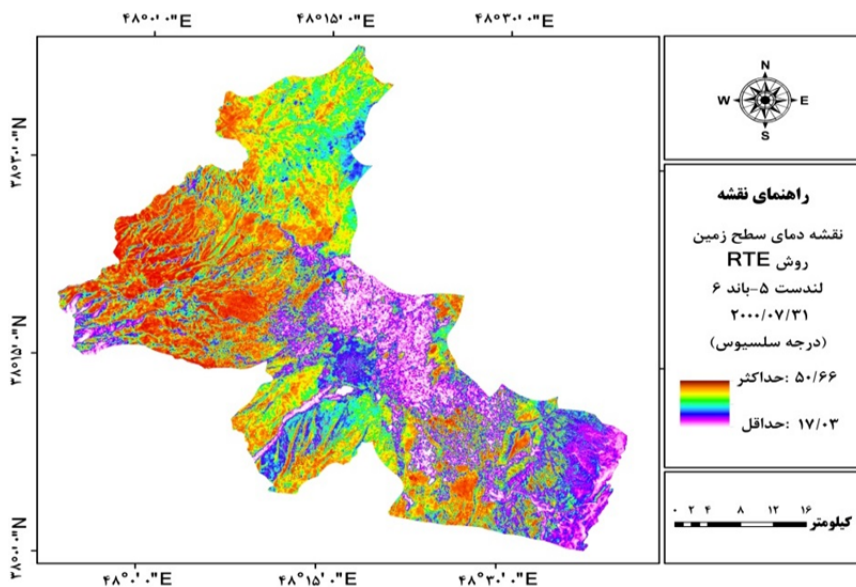
نقشه‌های خروجی دمای سطح زمین با دو الگوریتم تک‌کانال و معادله انتقال تابشی (RTE) با استفاده از تصویر حرارتی (باندهای ۶) سنجنده TM ماهواره لندست ۵ برای تاریخ ۲۰۰۰/۰۷/۳۱ در شکل‌های ۵ و ۶ نمایش داده شده است. جدول ۶ دمای سطح زمین ثبت شده توسط دو ایستگاه

ناهمگون بودن محیط شهری، به نظر می‌رسد این عامل به همراه اختلاف ۲۷ دقیقه‌ای داده ثبت شده در ایستگاه و زمان عبور ماهواره در افزایش اختلاف بین دمای سطح ثبت شده و مقدار محاسبه شده تا حدودی اثرگذار بوده است.



شکل ۵. نقشه دمای سطح زمین مستخرج از الگوریتم تک کانال برای تاریخ ۲۰۰۰/۰۷/۳۱

Fig. 5. LST map extracted from Single channel algorithm in 2000/07/31



شکل ۶. نقشه دمای سطح زمین مستخرج از الگوریتم RTE برای تاریخ ۲۰۰۰/۰۷/۳۱

Fig. 6. LST map extracted from RTE algorithm in 2000/07/31

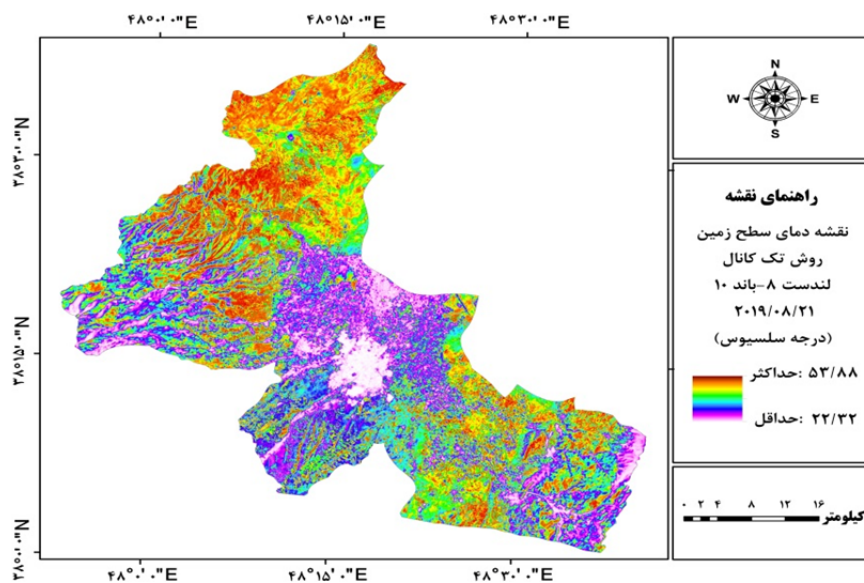
جدول ۶. مقایسه دمای سطح تخمینی با دمای سطح ایستگاه‌های هواشناسی در تاریخ ۲۰۰۰/۰۷/۳۱

Table 6. Comparison of the estimated LST with LST of the meteorological stations in 2000/07/31

RTE	تک کانال SC	تک پنجره IMW	دمای سطح ثبت شده در ایستگاه هواشناسی	ایستگاه
۴۱/۲	۴۶/۸	۴۷/۲	۴۴/۳	ایستگاه-۱
۴۰/۰	۴۰/۹	۴۵/۵	۴۲/۹	ایستگاه-۲

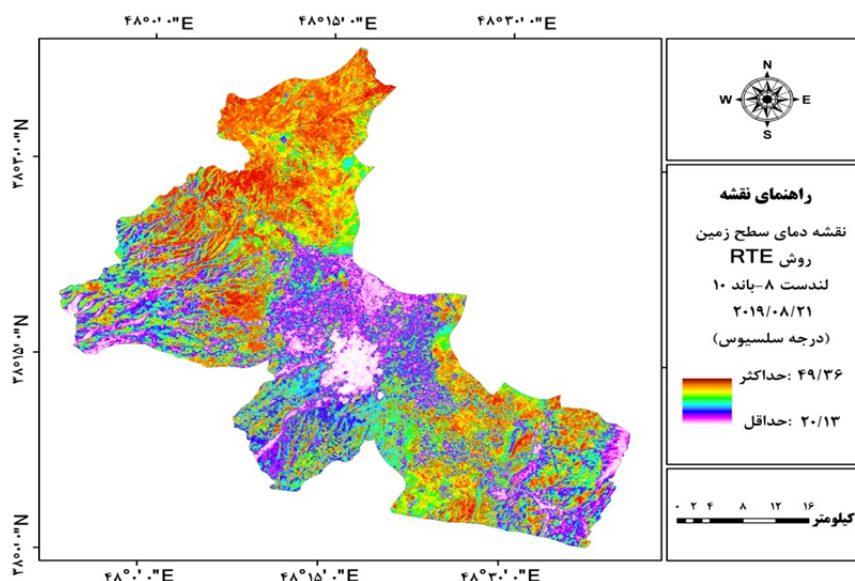
محیط همگن غیر شهری با کاربری کشاورزی و بایر که محصول آن برداشت شده بود انتخاب شد و با استفاده از دو دماسنج دیجیتالی همزمان با عبور ماهواره دمای سطح زمین در محل دو ایستگاه ثبت شد. جدول ۷ مقادیر دمای سطح ثبت شده در ایستگاه‌های هواشناسی و زمینی به همراه مقادیر خروجی از نقشه‌های دمای سطح را نشان می‌دهد.

شکل‌های ۷ و ۸ نقشه‌های خروجی دمای سطح زمین با استفاده از باند ۱۰ سنجنده TIRS ماهواره لندست ۸ در تاریخ ۲۰۱۹/۰۸/۲۱ را نشان می‌دهد. برای اعتبارسنجی خروجی‌ها از داده‌های دمای سطح ثبت شده در دو ایستگاه هواشناسی موجود در منطقه استفاده شد که اختلاف ۴ دقیقه‌ای با زمان عبور ماهواره داشته است. همچنین دو ایستگاه زمینی نیز از دو



شکل ۷. نقشه دمای سطح زمین مستخرج از الگوریتم تک کانال برای تاریخ ۲۰۱۹/۰۸/۲۱

Fig. 7. LST map extracted from Single channel algorithm in 2019/08/21



شکل ۸. نقشه دمای سطح زمین مستخرج از الگوریتم RTE برای تاریخ ۲۰۱۹/۰۸/۲۱

Fig. 8. LST map extracted from RTE algorithm in 2019/08/21

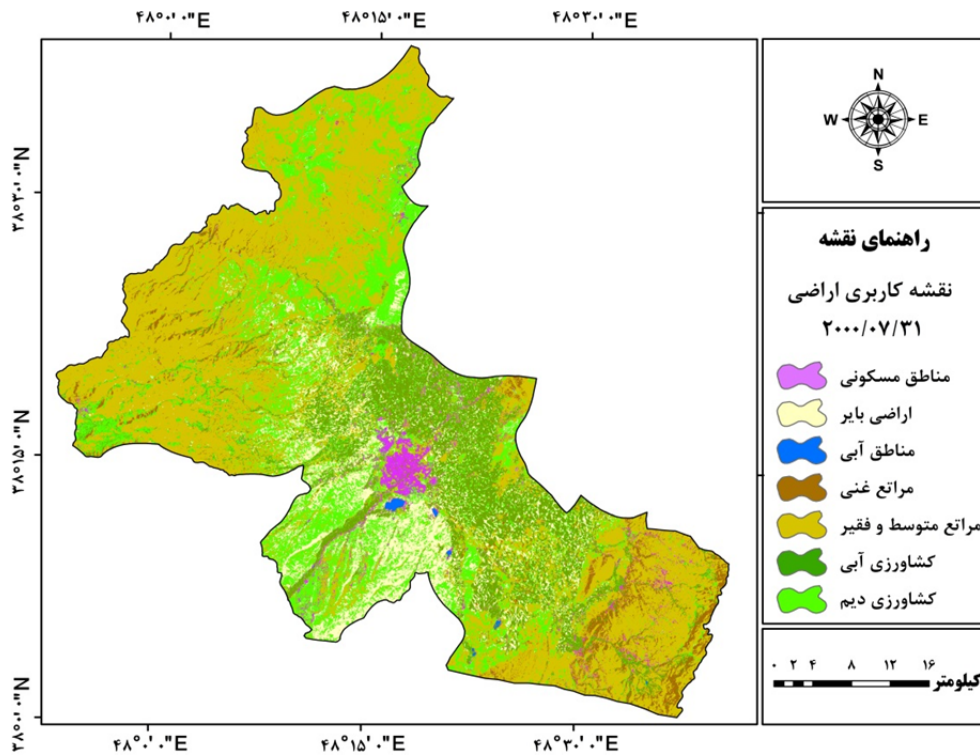
جدول ۷. مقایسه دمای سطح تخمینی با دمای سطح ایستگاه‌های هواشناسی در تاریخ ۲۰۱۹/۰۸/۲۱

Table 7. Comparison of the estimated LST with LST of the meteorological stations in 2019/08/21

RTE	تک کانال	دمای سطح ایستگاه	ایستگاه
۴۴/۷	۴۳/۹	۴۲/۶	ایستگاه ۱
۴۳/۶	۴۲/۷	۴۱/۸	ایستگاه ۲
۲۸/۵	۲۵/۵	۲۶/۶	ایستگاه ۳
۴۱/۲	۳۸/۶	۳۹/۵	ایستگاه ۴

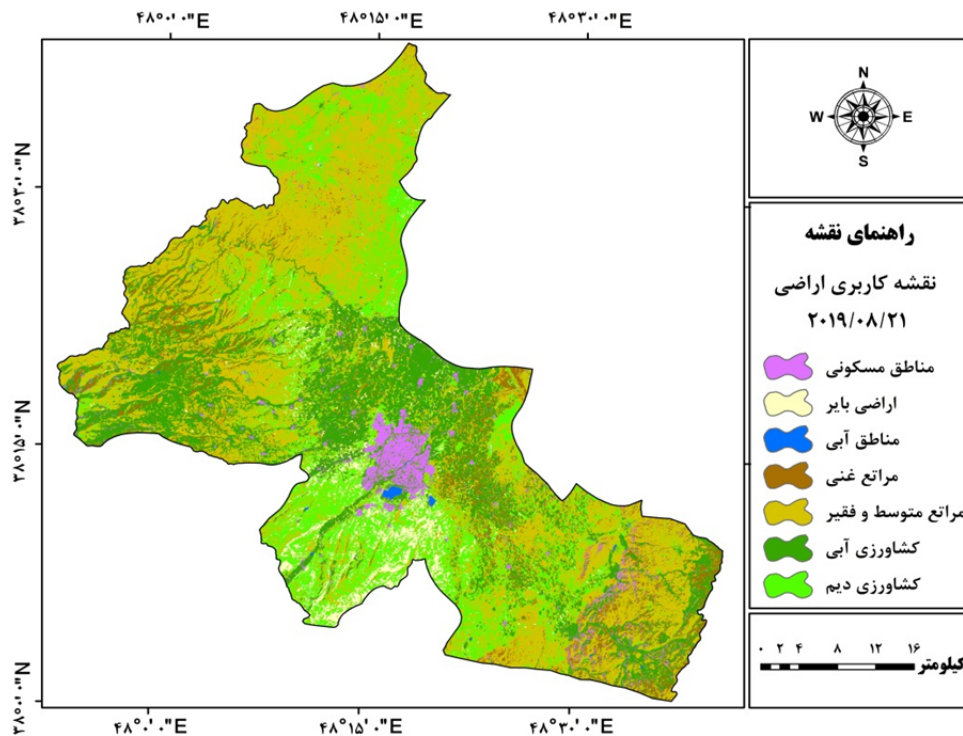
جدول ۸ نمایش داده شده است. بر اساس نتایج ماتریس خطا برای سال ۲۰۰۰ بیشترین تداخل پیکسلی مربوط به کلاس مرتع متوسط و فقیر بوده است که با کلاس‌های مسکونی و کشاورزی دیم جابه‌جایی ۱۶ پیکسلی دارد. به دلیل مشخص نبودن مرز کاربری‌های مسکونی، مراتع ضعیف و مزارع دیم و درهم‌تنیدگی‌هایی که این کاربری‌ها به‌خصوص در اطراف محدوده شهری داشته است این جابه‌جایی‌های پیکسلی قابل پیش‌بینی بود. با توجه به بهبود توان تفکیک مکانی ماهواره لندست ۸ نسبت به لندست ۵ و به دنبال آن تفکیک بهتر کلاس‌ها، این جابه‌جایی پیکسلی در نقشه کاربری سال ۲۰۱۹ مقدار کمتری را نشان می‌دهد. به گونه‌ای که بیشترین خطا مربوط به کلاس کشاورزی آبی بوده که جابه‌جایی ۱۰ پیکسلی با کلاس‌های مرتع غنی و کشاورزی دیم داشته است.

جهت ارزیابی شرایط دمایی منطقه در کاربری‌های مختلف از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۹، نقشه کاربری اراضی شهرستان اردبیل برای دو تاریخ ۲۰۰۰/۰۷/۳۱ و ۲۰۱۹/۰۸/۲۱ با استفاده از الگوریتم جنگل تصادفی ایجاد شد که نتایج در شکل‌های ۹ و ۱۰ ارائه شده است. هفت کلاس مناطق مسکونی، اراضی بایر، مناطق آبی، مراتع غنی، مراتع متوسط و فقیر، کشاورزی آبی و کشاورزی دیم تعیین شد و تغییرات دمایی هر کدام مورد ارزیابی قرار گرفت. برای ارزیابی نتایج نقشه‌های کاربری اراضی با استفاده از سامانه گوگل ارث که نسبت به تصویر ماهواره‌ای مورد استفاده توان تفکیک بهتری داشت، نقاط کنترلی از پیکسل‌های خالص و معلوم با رعایت جنبه همزمانی با تصویر اصلی از کاربری‌های مختلف اخذ و مورد استفاده قرار گرفت که نتایج در قالب دقت کلی و ضریب کاپا در



شکل ۹. نقشه کاربری اراضی شهرستان اردبیل برای تاریخ ۲۰۰۰/۰۷/۳۱

Fig. 9. Land use map of Ardabil city in 2000/07/31



شکل ۱۰. نقشه کاربری اراضی شهرستان اردبیل برای تاریخ ۲۰۱۹/۰۸/۲۱

Fig. 10. Land use map of Ardabil city for 2019/08/21

جدول ۸. نتایج صحت سنجی نقشه‌های کاربری اراضی سال‌های ۲۰۱۹ و ۲۰۰۰

Table 8. Results of validation land use maps of 2000 and 2019

ماهواره	تاریخ	دقت کلی	ضریب کاپا	نقاط کنترل از GE	نمونه‌های تعلیمی از تصویر
لندست ۵	۲۰۰۰/۰۷/۳۱	۰/۹۵	۰/۹۴	۲۴۸	۱۰۷۴
لندست ۸	۲۰۱۹/۰۸/۲۱	۰/۹۶	۰/۹۵	۲۴۸	۱۱۳۲

جدول ۹ مقادیر دمای سطح هر یک از کاربری‌ها در دو سال ۲۰۱۹ و ۲۰۰۰ را نشان می‌دهد که با استفاده نقشه کاربری اراضی و نقشه دمای سطح حاصل از الگوریتم بهینه (روش تک‌کانال) محاسبه شده است. همچنین شکل ۱۱ نمودار تغییرات حرارتی کلاس‌ها را در دو سال ۲۰۱۹ و ۲۰۰۰ نمایش می‌دهد. با توجه به مقادیر بدست آمده کمترین مقدار متوسط دمای سطح ثبت شده در سال ۲۰۰۰، ۲۵/۳۴ و برای سال ۲۰۱۹، ۲۷/۷۵ درجه سانتیگراد بوده که مربوط به کاربری آب (به دلیل ظرفیت گرمایی بالا) است. بیشترین مقدار دمای

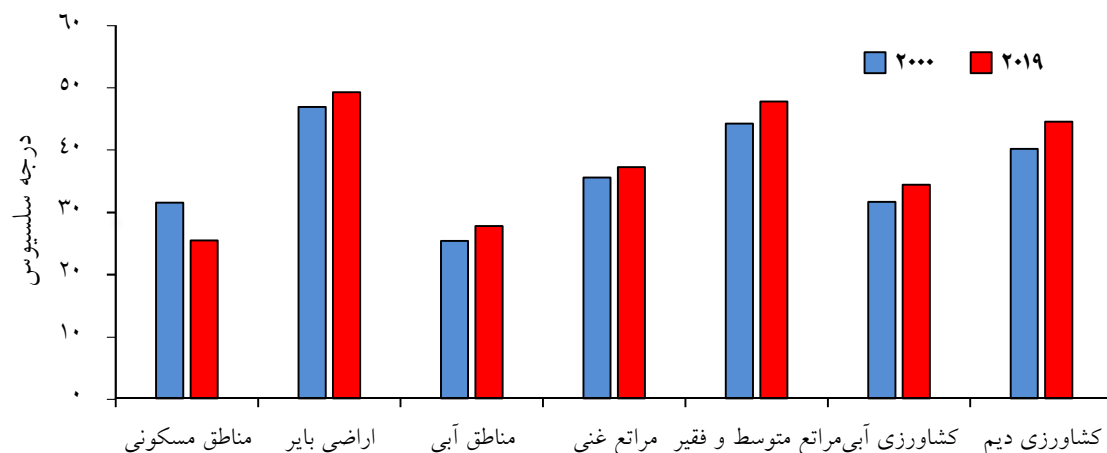
متوسط سطح هم مربوط به اراضی بایر در هر دو سال است. مقدار متوسط دمای سطح در این اراضی برای سال ۲۰۰۰، ۴۶/۹۳ درجه و برای تصویر ۲۰۱۹ مقدار ۴۹/۲۸ درجه سانتیگراد ثبت شده است. با ارزیابی‌های میدانی مشخص شد که این زمین‌ها عمدتاً اراضی کشاورزی با محصول گندم هستند که پس از برداشت محصول، خالی از پوشش مانده و باعث بالا رفتن دمای سطح این مناطق شده است. بعد از کاربری بایر بالاترین دما مربوط به کلاس‌های مراتع متوسط و فقیر و کاربری کشاورزی دیم بوده است.

جدول ۹. تغییرات دمایی کاربری‌ها در سال ۲۰۱۹ و ۲۰۰۰

Table 9. Temperature changes of land uses in 2000 and 2019

کاربری‌ها	سال	دمای حداقل	دمای حداکثر	میانگین دما	انحراف معیار
مناطق مسکونی	۲۰۰۰	۲۶/۴۶	۵۰/۴۰	۳۱/۵۲	۳/۴۱
	۲۰۱۹	۲۲/۸۶	۴۹/۵۱	۲۵/۴۳	۲/۹۰
اراضی بایر	۲۰۰۰	۳۱/۴۷	۵۱/۰۱۶	۴۶/۹۳	۲/۱۳
	۲۰۱۹	۳۷/۵۳	۵۳/۶۶	۴۹/۲۸	۳/۳۹
مناطق آبی	۲۰۰۰	۲۱/۵۸	۳۵/۳۰	۲۵/۳۴	۱/۸۷
	۲۰۱۹	۲۲/۳۲	۳۲/۰۵	۲۷/۷۵	۲/۷۳
مراتع غنی	۲۰۰۰	۲۸/۴۱	۴۹/۴۳	۳۵/۵۵	۳/۰۱
	۲۰۱۹	۳۰/۹۷	۵۰/۵۴	۳۷/۲۴	۲/۹۶
مراتع متوسط و فقیر	۲۰۰۰	۲۲/۱۹	۵۱/۰۱۳	۴۴/۲۳	۳/۱۲
	۲۰۱۹	۳۷/۵۶	۵۳/۸۸	۴۷/۸۰	۳/۷۷
کشاورزی آبی	۲۰۰۰	۲۳/۹۷	۴۸/۳۹	۳۱/۶۳	۲/۲۱
	۲۰۱۹	۲۸/۶۱	۵۱/۷۶	۳۴/۳۹	۲/۷۳
کشاورزی دیم	۲۰۰۰	۲۸/۱۹	۵۱/۳۸	۴۰/۱۷	۱/۸۳
	۲۰۱۹	۲۷/۴۷	۵۲/۷۵	۴۴/۵۵	۴/۲۱





شکل ۱۱. نمودار تغییرات حرارتی کلاس‌ها در دو سال ۲۰۱۹ و ۲۰۰۰  
 Fig. 11. Graph of thermal changes of classes in 2000 and 2019

### بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش با استفاده از اپلیکیشن محاسبه‌گر دمای سطح زمین نقشه‌های LST با دو الگوریتم تک‌کانال و RTE محاسبه و تولید شد. نتایج اعتبارسنجی نقشه خروجی سال ۲۰۰۰ با استفاده از داده‌های دمای سطح دو ایستگاه‌های هواشناسی نشان داد که روش تک‌کانال با اختلاف  $+2/5$  و  $-2$  درجه سلسیوس به ترتیب با ایستگاه‌های اول و دوم نسبت به روش RTE با اختلاف  $-3/1$  و  $-2/9$  درجه سلسیوس از دقت بالاتری برخوردار است. نتایج نقشه‌های دمای سطح سال ۲۰۱۹ نیز نشان داد که الگوریتم تک‌کانال با اختلاف  $+1/3$  و  $+0/9$  نسبت به ایستگاه‌های اول و دوم سینوپتیک و با اختلاف  $-0/1$  و  $-0/9$  با ایستگاه‌های سوم و چهارم زمینی نسبت به الگوریتم RTE با اختلاف  $+2/1$ ،  $+1/8$ ،  $+1/9$  و  $+1/7$  درجه سلسیوس به ترتیب با چهار ایستگاه از دقت بیشتری برخوردار بود. نتایج ارزیابی نقشه‌های کاربری اراضی برای سال ۲۰۰۰ دقت کلی و ضریب کاپا به ترتیب برابر با  $0/95$  و  $0/94$  و برای سال ۲۰۱۹ برابر با  $0/96$  و  $0/95$  بدست آمد. جهت ارزیابی تغییرات دمایی کاربری‌های اراضی در سال ۲۰۰۰ و ۲۰۱۹ از نقشه‌ی LST حاصل از الگوریتم تک‌کانال استفاده شده که از کمترین خطا برخوردار بود. در این رابطه با توجه به مقادیر بدست آمده کمترین متوسط دمای سطح ثبت شده در سال ۲۰۰۰،  $25/34$

درجه و برای سال ۲۰۱۹ به مقدار  $27/75$  درجه سلسیوس بوده که مربوط به کاربری آب است. بیشترین مقدار متوسط دمای سطح هم مربوط به اراضی بایر در هر دو سال است که مقدار متوسط برای سال ۲۰۰۰،  $46/93$  درجه و برای تصویر ۲۰۱۹ مقدار  $49/28$  درجه سلسیوس ثبت شده است. با توجه به این که وجود پوشش گیاهی به دلایل مختلف از جمله تبخیر و تعرق و وجود رطوبت نقش زیادی در تعدیل دمایی سطح خاک دارد، بی پوشش ماندن زمین بایر باعث بالا رفتن دمای سطح آن می‌شود. کاربری مراعات متوسط و فقیر و کاربری کشاورزی دیم با کمی اختلاف در رده‌های بعدی بیشترین دمای متوسط بوده‌اند. با مقایسه متوسط دمای سطح کاربری‌ها در دو تاریخ، بجز کاربری مناطق مسکونی، همه کاربری‌ها در سال ۲۰۱۹ نسبت به سال ۲۰۰۰ با افزایش دمای سطح روبه‌رو بوده‌اند. با توجه به رشد فیزیکی قابل توجه بخش شهری محدوده در بازه زمانی ۱۹ ساله، انتظار می‌رفت که محدوده شهری نیز مانند سایر کاربری‌ها با افزایش دما روبه‌رو شود، در صورتی که نقشه‌های خروجی خلاف این فرضیه را نشان داد. به نظر می‌رسد عواملی مانند گسترش زمین‌های کشاورزی با کشت آبی اطراف مناطق شهری تا شعاع ۱۰ کیلومتری و درهم تنیدگی این مزارع با مناطق مسکونی تاثیر زیادی در تعدیل دمای بخش شهری محدوده داشته است. این اراضی در سال

شهرستان اردبیل پرداختند. نتایج پژوهش نشان داد که بین کاربری اراضی و دما سطح شهرستان رابطه‌ی قوی وجود دارد. مناطق شهری بدلیل جاذب بودن دارای دمای بیشتر و مناطقی که دارای پوشش گیاهی و آب بوده‌اند کمترین دما را به خود اختصاص دادند. نوروداد و هانجو (۱۷) طی پژوهشی تغییرات حرارتی کاربری‌های اراضی و عوامل توسعه جزایر حرارتی شهر بگو را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج این تحقیق نشان داد بین LST و LCZ رابطه وجود دارد. در بین کاربری‌ها نیز بیشترین درجه حرارت مربوط به مناطق شهری و کمترین آن مربوط به مناطق گیاهی می‌باشد.

اپلیکیشن تولید شده در این پژوهش امکان اجرا روی هر سیستم عاملی که از فرمت exe پشتیبانی می‌کند را دارد و کاربر می‌تواند با واردسازی پارامترهای اتمسفری دمای سطح زمین را به صورت خودکار برآورد کند. همچنین این برنامه کاربردی قابلیت به‌کارگیری در بخش‌های مختلف مانند سامانه‌های کشاورزی، اقلیمی و مدیریت منابع آب را نیز دارد. با توجه به اهمیت محاسبه دقیق توان گسیلمندی در برآورد دمای سطح زمین پیشنهاد می‌شود با استفاده از دستگاه‌های اسپکترومتر توان تشعشع کاربری‌ها بصورت میدانی اخذ و در الگوریتم‌ها استفاده شود. همچنین به دلیل محدودیت در تعداد باند و توان تفکیک مکانی باندهای ماهواره لندست، جهت دستیابی به نتایج بهتر و مطالعات دقیق‌تر، پیشنهاد می‌شود از تصاویر ماهواره‌های حرارتی ابرطیفی و داده‌های حرارتی هوابرد با توان تفکیک مکانی بالاتر استفاده شود.

عمدتاً زیر کشت محصولات دیمی بودند و با حل مشکل آب (حفر چاه‌های عمیق و پروژه‌های انتقال آب) تبدیل به باغات و مزارع کشت آبی مثل سیب‌زمینی شدند و به دلیل نیاز آبی بالا دارای سبزی‌نگی بالایی نیز هستند و این عامل خود باعث بالا رفتن میزان تبخیر و تعرق و به دنبال آن خنکی محدوده کشت و بخش شهری شده است.

پژوهش‌های دیگری نیز در سطح ایران و جهان همسو با این موضوع انجام گرفته که باتوجه نوع داده و منطقه، نتایج متفاوتی به همراه داشته است. از جمله؛ سانتوس و همکاران (۲۰) که در پژوهشی دمای سطح زمین را با سه روش RTE، پنجره مجزا و تک کانال بر روی ۲۱ تصویر حرارتی محاسبه و نتایج را با یک رادیومتر مادون قرمز حرارتی پهن باند همزمان با عبور ماهواره صحت سنجی کردند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که الگوریتم پنجره مجزا با کمترین مقدار (RMSE ۲ K) دارای بیشترین دقت نسبت به دو الگوریتم قبلی بوده است. در مطالعه‌ای دیگر پاراستاتیدیس و همکاران (۱۸) اقدام به تخمین میزان دمای سطح زمین بصورت آنلاین با استفاده از تصاویر ماهواره سری لندست کرده‌اند. آنها پس از ارزیابی الگوریتم‌های مختلف دمای سطح زمین، با استفاده از روش تک‌کانال در بستر محیط GEE محصول دمای سطح زمین از کل تصاویر سری ماهواره لندست تولید کردند که امکان دسترسی بصورت آنلاین در غالب برنامه‌های تحت وب را برای کاربران فراهم می‌آورد. اصغری و امامی (۳) در مطالعه‌ای اقدام به ارزیابی رابطه کاربری اراضی با دمای سطح زمین

## References

- Ahmadi B, Ghorbani A, Safarrad T, Sobhani B. 2015. Evaluation of surface temperature in relation to land use/cover using remote sensing data. *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 6(1): 61-77. (In Persian).
- Aik How Jin D, Ismail MH, Muharam FM. 2020. Land use/land cover changes and the relationship with land surface temperature using Landsat and MODIS imageries in Cameron Highlands, Malaysia. *Land*, 9(10): 372. doi:https://doi.org/10.3390/land9100372.
- Asghari S, Emami H. 2018. Monitoring the land surface temperature and examining the relationship between land use and land surface temperature using from OLI and ETM<sup>+</sup> sensor images, (Case study: Ardabil city). *Journal of Geographical Sciences*, 19(53): 195-215. (In Persian).
- Avdan U, Jovanovska G. 2016. Algorithm for automated mapping of land surface temperature using LANDSAT 8 satellite data. *Journal of sensors*, 2016(2): 1-8. doi:https://doi.org/doi.org/10.1155/2016/1480307.
- Barsi JA, Barker JL, Schott JR. 2003. An atmospheric correction parameter calculator for a single thermal band earth-sensing instrument. In: *IGARSS 2003. 2003 IEEE International*

- Geoscience and Remote Sensing Symposium. Proceedings (IEEE Cat. No. 03CH37477). IEEE, pp 3014-3016. <https://doi.org/doi.org/3010.1109/IGARSS.2003.1294665>.
6. Bernstein LS, Adler-Golden SM, Sundberg RL, Levine RY, Perkins TC, Berk A, Ratkowski AJ, Felde G, Hoke ML. 2005. Validation of the QUick atmospheric correction (QUAC) algorithm for VNIR-SWIR multi-and hyperspectral imagery. In: Algorithms and Technologies for Multispectral, Hyperspectral, and Ultraspectral Imagery XI. SPIE, pp 668-678. <https://doi.org/610.1117/1112.603359>.
  7. Breiman L. 2001. Random forests. *Machine learning*, 45(1): 5-32.
  8. Fekrat H, Asghari Saraskanrood S, Alavipanah SK. 2020. Estimation of Ardabil land surface temperature using Landsat images and accuracy assessment of land surface temperature estimation methods with ground truth data. *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 11(4): 114-136. doi:<https://doi.org/10.1001.1.26767082.1399.11.4.6.6>. (In Persian).
  9. Foody GM. 2002. Status of land cover classification accuracy assessment. *Remote Sensing of Environment*, 80(1): 185-201. doi:[https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(01\)00295-4](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(01)00295-4).
  10. Hu W, Zhou W, He H. 2015. The effect of land-use intensity on surface temperature in the Dongting Lake Area, China. *Advances in Meteorology*, 2015. doi:<https://doi.org/10.1155/2015/632151>.
  11. Isaya Ndossi M, Avdan U. 2016. Application of open source coding technologies in the production of land surface temperature (LST) maps from Landsat: a PyQGIS plugin. *Remote sensing*, 8(5): 413. doi:<https://doi.org/10.3390/rs8050413>.
  12. Jenson PJ, Power CH, Keating J. 2013. *Introductory remote sensing: Principles and concepts*. Routledge, 216 p. <https://doi.org/10.4324/9780203714522>.
  13. Jiménez-Muñoz JC, Sobrino JA. 2003. A generalized single-channel method for retrieving land surface temperature from remote sensing data. *Journal of geophysical research: atmospheres*, 108(D22). doi:<https://doi.org/10.1029/2003JD003480>.
  14. Martinez WL, Martinez AR. 2001. *Computational statistics handbook with MATLAB*. Chapman and Hall/CRC, 616 p. <https://doi.org/10.1201/9781420035636>.
  15. Matkan AA, Nohegar A, Mirbagheri B, Torkchin N. 2014. Assessment relations of land use in heat islands using time series ASTER sensor data (Case study: Bandar Abbas city). *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 5(4): 1-14.
  16. Naughton J, McDonald W. 2019. Evaluating the variability of urban land surface temperatures using drone observations. *Remote Sensing*, 11(14): 1722. doi:<https://doi.org/10.3390/rs11141722>.
  17. Nurwanda A, Honjo T. 2018. Analysis of land use change and expansion of surface urban heat island in Bogor City by remote sensing. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 7(5): 165. doi:<https://doi.org/10.3390/ijgi7050165>.
  18. Parastatidis D, Mitraka Z, Chrysoulakis N, Abrams M. 2017. Online global land surface temperature estimation from Landsat. *Remote Sensing*, 9(12): 1208. doi:<https://doi.org/10.3390/rs9121208>.
  19. Sahana M, Dutta S, Sajjad H. 2019. Assessing land transformation and its relation with land surface temperature in Mumbai city, India using geospatial techniques. *International Journal of Urban Sciences*, 23(2): 205-225. doi:<https://doi.org/10.1080/12265934.2018.1488604>.
  20. Santos-García V, Cuxart J, Martínez-Villagrasa D, Jiménez MA, Simó G. 2018. Comparison of three methods for estimating land surface temperature from landsat 8-tirs sensor data. *Remote Sensing*, 10(9): 1450. doi:<https://doi.org/10.3390/rs10091450>.
  21. Sinha S, Pandey PC, Sharma LK, Nathawat MS, Kumar P, Kanga S. 2014. Remote estimation of land surface temperature for different LULC features of a moist deciduous tropical forest region. In: *Remote sensing applications in environmental research*. Springer., pp 57-68. [https://doi.org/10.1007/1978-1003-1319-05906-05908\\_05904](https://doi.org/10.1007/1978-1003-1319-05906-05908_05904).
  22. Stephens GL, L'Ecuyer T. 2015. The Earth's energy balance. *Atmospheric Research*, 166: 195-203. doi:<https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2015.06.024>.
  23. Young NE, Anderson RS, Chignell SM, Vorster AG, Lawrence R, Evangelista PH. 2017. A survival guide to Landsat preprocessing. *Ecology*, 98(4): 920-932. doi:<https://doi.org/10.1002/ecy.1730>.
  24. Zhang F, Tiyp T, Kung H, Johnson VC, Maimaitiyiming M, Zhou M, Wang J. 2016. Dynamics of land surface temperature (LST) in response to land use and land cover (LULC) changes in the Weigan and Kuqa river oasis, Xinjiang, China. *Arabian Journal of Geosciences*, 9(7): 499. doi:<https://doi.org/10.1007/s12517-016-2521-8>.
  25. Zhang J, Wang Y, Li Y. 2006. A C++ program for retrieving land surface temperature from the data of Landsat TM/ETM+ band6. *Computers & Geosciences*, 32(10): 1796-1805. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cageo.2006.05.00>.



## Creating a graphical user interface (GUI) to automatically calculate the land surface temperature and use the results in evaluating temperature changes in land uses in Ardabil city

Hossein Fekrat, Sayyad Asghari Saraskanrood, Seyed Kazem Alavipanah

Received: 26 July 2021 / Received in revised form 21 September 2021 / Accepted: 26 September 2021  
Available online 28 August 2021 / Available print 23 September 2022

### Abstract

**Background and Objective** Land surface temperature is a vital indicator for studying environmental changes, hydrological conditions and the energy balance of the earth, which can also be used to monitor the temperature changes of cities. The lack of meteorological stations in most parts of the country, including the study area, has created information limitations in the field of surface temperature data. There are also a large number of non-remote sensing users who need LST maps, and most of them are not familiar enough with LST computing software and inevitably have to spend a lot of time mapping to prepare their maps. This process can be time-consuming even for remote sensing professionals if the number of images is high. The use of valid data for validation that has the least time difference with the satellite passes time is very important in estimating the accuracy of the results. By reviewing internal research similar to the one under study, most internal studies used only meteorological station data to validate the results, the data recording time at these stations is

different from the satellite passes time. In this study, due to the large area of the study area and the insufficient number of meteorological stations, in addition to the surface temperature data measured in synoptic stations, the land surface temperature in two ground stations was recorded simultaneously with the satellite. Creating a graphical user interface (GUI) to automatically calculate the surface temperature of Ardabil city with two single-channel and RTE algorithms and use the results to evaluate the temperature changes of land uses

**Materials and Methods** In this study, in order to automatically calculate the land surface temperature of Ardabil city from three types of data: Landsat 5 and 8 satellite images, land surface temperature data recorded at two meteorological stations in the study area and also due to an insufficient number of stations Meteorological data land surface temperature data measured with digital thermometers are also used as the satellite passes. After preparing thermal and multispectral images, first MODTRAN web computing software was used to model the atmospheric transferability and atmospheric coefficients were extracted. Then, to create graphical user interfaces and automatic calculation of LST, land surface temperature with two algorithms single-channel and RTE method with Landsat 5 and Landsat 8 satellite images for two dates: 31/07/2000 and 21/08/2019 in MATLAB software were coded and using these codes, graphical user interfaces were created for each algorithm and finally, an automatic

H. Fekrat<sup>1</sup>, S. Asghari Saraskanrood<sup>2</sup>, S.K. Alavipanah<sup>3</sup>

1. MA of Remote Sensing and GIS, Faculty of Humanities, University of Mohaghegh Ardabili, Iran
2. Associate Professor, Department of natural geography, Faculty of Humanities, University of Mohaghegh Ardabili, Iran
3. Professor, Department of Remote Sensing and GIS, Faculty of Geography, University of Tehran, Iran

e-mail: [s.asghari@uma.ac.ir](mailto:s.asghari@uma.ac.ir)

<https://doi.org/10.30495/GIRS.2022.684503>

<http://dorl.net/dor/20.1001.1.26767082.1401.13.3.7.9>

land surface temperature calculator application was produced. Also, the land use map of Ardabil city for both mentioned dates was classified and extracted using a random forest algorithm in the Google Earth engine system environment with 7 classes. This algorithm has a much better performance compared to traditional methods such as maximum likelihood due to its hierarchical structure in selecting each pixel to the appropriate class. To validate surface temperature maps from two types of surface temperature data recorded in two meteorological stations and surface temperature recorded by a digital thermometer that simultaneously passes the satellite in two points of the homogeneous non-urban environment with agricultural use (alfalfa) and Bayer that product It was harvested, used. To evaluate the accuracy of land use maps, using Google Earth, which has a better spatial resolution than the image used, 248 ground control points were obtained from pure pixels of different land uses and used in the validation process. Also, statistical parameters such as error matrix, overall accuracy and kappa coefficient were applied to the output of both land use maps.

**Results and Discussion** Using the codes written in MATLAB software, graphical user interfaces (GUI) were created and then the automatic LST calculator application was produced. The output of the application was surface temperature maps with single channel algorithms and radiation transfer equation (RTE) for 31/07/2000 using thermal image (band 6) of Landsat 5 satellite TM and 21/08 / 2019 was created by the 10 TIRS sensor band of Landsat 8 satellite. After comparing the output maps with the meteorological station and ground station data, the results showed that the single-channel method had the lowest temperature deviations compared to the stations in both years. After preparing LST maps and selecting the optimal algorithm (single channel), land use maps of Ardabil city were prepared using a random forest algorithm in the GEE platform. Statistical evaluations of the classification results showed that for 2000, the highest pixel interference was related to the middle and poor rangeland class, which has a 16-pixel displacement with residential and rainfed agricultural classes. Due to the improved spatial resolution of the Landsat 8 satellite compared to the Landsat 5, followed by better class separation, this pixel displacement in the 2019 user map shows a smaller value. The most common error was related to the aquaculture class, which had a displacement of 10

pixels with rich rangeland and rainfed agriculture classes. Finally, using the LST map and land use map, the temperature changes of the land uses over a period of 19 years were evaluated. By entering the input images and atmospheric parameters in the application, the land surface temperature was calculated with two one-channel algorithms and the RTE method. Evaluation of output maps with meteorological and terrestrial data showed that the single-channel algorithm with a difference of +2.5 and -2 with stations 1 and 2 for the year 2000 and with a temperature difference of +1.3, +0.9, -1 and -0.9 with stations 1, 2, 3 and 4 in 2019, respectively, had higher accuracy than the RTE method. Also, the results of validation of land use maps showed an overall accuracy of 0.95 and a kappa coefficient of 0.94 for 2000 and overall accuracy of 0.96 and a kappa coefficient of 0.95 for 2019.

**Conclusion** Assessing the relationship between land surface temperature and land use maps showed that despite the significant physical growth of the urban sector over a period of 19 years, except for residential areas, all land uses in 2019 compared to 2000 with an increase in average surface temperature. It seems that factors such as the expansion of agricultural lands with irrigated cultivation around the urban area up to a radius of 10 km and the entanglement of these farms with the urban sector have a great impact on the temperature adjustment of the urban sector. In 2000, these lands were mainly under cultivation of rain-fed crops, and by solving the water problem (digging deep wells and water transfer projects), they became orchards and irrigated farms such as potatoes. Due to the high water requirement, these products also have high greenery, and this factor has increased the rate of evapotranspiration, followed by cooling of the cultivation area and the urban sector. Among other classes, in both years of water use, the lowest and the use of barren lands had the highest average surface temperature. The generated application can be run on any operating system that supports the exe format, and the user by specifying atmospheric parameters can automatically estimate the LST. This application can also be used in various sectors such as agricultural systems, and climate and water resources management.

**Keywords:** Land surface temperature (LST), Graphical user interfaces (GUI), Single-channel, Random forest, Ardabil

Please cite this article as: Fekrat H, Asghari Saraskanrood S, Alavipanah SK. 2022. Creating a graphical user interface (GUI) to automatically calculate the land surface temperature and use the results in evaluating temperature changes in land uses in Ardabil city. *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 13(3): 111-131. <https://doi.org/10.30495/GIRS.2022.684503>