



دانشگاه گورگان
فصلنامه علمی و پژوهشی

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد بیست و سوم، شماره دوم، ۱۳۹۵
<http://jwsc.gau.ac.ir>

انتخاب مناسب‌ترین الگوریتم روزانه مجزا در تخمین دمای سطح زمین با استفاده از سنجنده MODIS (مطالعه موردی: دشت کرمان)

بهرام بختیاری^۱، *سعید دلگرم^۲ و محمدسهیل رضازاده^۲

^۱ استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کارشناسی ارشد گروه مهندسی آب، دانشگاه شهید باهنر کرمان

تاریخ دریافت: ۹۳/۷/۱۶؛ تاریخ پذیرش: ۹۴/۱/۱۹

چکیده

سابقه و هدف: دمای سطح زمین مقدار خالص انرژی است که تحت شرایط اقلیمی در سطح زمین به توازن رسیده و به مقدار انرژی رسیده، گسیل‌مندی سطح، رطوبت و جریان هوای اتمسفر بستگی دارد. تحلیل و پایش الگوهای دمای سطح زمین، با توجه به نوع کاربری آن از اصلی‌ترین مقوله‌هایی است که می‌توان در حل مسائل پیچیده آب و هوایی در نواحی شهری مورد استفاده قرار داد. هدف از این مطالعه به‌دست آوردن نقشه دمایی دشت شهرستان کرمان با به‌کار بردن داده‌های سنجنده‌های از دور با استفاده از مقایسه الگوریتم‌های روزانه مجزا می‌باشد. با توجه به این‌که شار گرمای محسوس که عامل ایجاد دما است در سردترین پیکسل تصاویر برابر صفر در نظر گرفته می‌شود از این جهت بین متوسط درجه حرارت روزانه با دمای سطح زمین اختلاف چندانی وجود ندارد، بنابراین مقایسه نتایج به‌دست آمده با داده‌های هواشناسی و میدانی که برداشت شده است.

مواد و روش‌ها: دشت شهرستان کرمان، محدوده مورد مطالعه پژوهش حاضر با وسعتی حدود ۱۲۸۸۷ کیلومترمربع بین عرض‌های جغرافیایی ۲۹ درجه و ۲۹ دقیقه تا ۳۹ درجه و ۱۱ دقیقه شمالی و طول‌های جغرافیایی ۵۶ درجه و ۲۲ دقیقه تا ۵۸ درجه و ۱۶ دقیقه شرقی واقع شده است. در این پژوهش برای بررسی دمای سطح زمین از ۱۲ تصویر بدون ابر مربوط به سنجنده MODIS از سایت NASA استفاده شد. تصحیحات هندسی و رادیومتریکی بر روی تصاویر فوق در نرم‌افزار ENVI4.5 انجام شد. علاوه بر این، برای مقایسه نتایج حاصله از ۱۰ الگوریتم روزانه مجزا، درجه حرارت ۵ سانتی‌متری عمق خاک از داده‌های برداشت شده در بازدید میدانی استفاده شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد مدل کول و کاسیلیس با MAE برابر با ۴/۷۶ سانتی‌گراد و MBE برابر با ۰/۰۷- بیش‌ترین دقت را در بین مدل‌ها دارا می‌باشد. مدل پرایس با احتساب MAE مساوی با ۴/۹۸ و MBE مساوی با ۰/۰۸۱ در جایگاه دوم با دقتی نسبتاً نزدیک به مدل کول قرار گرفته است و مدل بیکرولی در بین این ۱۰ الگوریتم پایین‌ترین دقت را با احتساب MAE برابر با ۶/۲۱ و MBE برابر با ۳/۷۳ داشته است. R^2 برابر با ۰/۸۱ بین نتایج حاصل از برداشت زمینی و دمای منتج از داده‌های ماهواره‌ای تیز صحت الگوریتم کول و کاسیلیس را نشان می‌دهد. در نهایت نقشه طبقه‌بندی دمایی دشت شهرستان کرمان با روش ماشین بردار پشتیبان براساس نمونه‌های تعلیمی در پنج کاربری (شهری، کوهستان، دشت، بایر و کشاورزی) تهیه گردید.

* مسئول مکاتبه: delgarm.s@gmail.com

نتیجه‌گیری: قابل ذکر است که در سنجش‌ازدور حرارتی تأثیر پارامترهایی چون سرعت باد، درجه حرارت هوا، رطوبت خاک، توان تشعشعی، زبری و صافی، شرایط اتمسفریک و زاویه تابش خورشید بسیار بالا است و این امر باعث شده است که سنجش‌ازدور حرارتی در مقایسه با سنجش‌ازدور انعکاسی دچار خطا و در بعضی اوقات اغراق شود. همچنین بر اساس نتایج حاصله درمی‌یابیم که برای محاسبه دقیق دمای سطح زمین لازم است که توان تشعشعی هر پدیده به‌طور مجزا شناسایی شود.

واژه‌های کلیدی: روزنه مجزا، MODIS، کول و کاسیلیس، ماشین بردار پشتیبان، دشت کرمان

مقدمه

معمولاً مناسب نبوده و دمای اندازه‌گیری شده در آن‌ها بیان مناسبی از وضعیت دمایی یک سطح وسیع را ندارند. تاکنون روش‌های مختلفی جهت محاسبه و برآورد اطلاعات مکانی در حد فاصل ایستگاه‌های هواشناسی ارائه شده‌اند از جمله آن می‌توان به رابطه رگرسیون با ارتفاع، روش‌های درون‌یابی از قبیل میانگین وزنی فاصله‌ای معکوس و صورت‌های مختلف کریجینگ اشاره کرد (۲۶). اما روش رگرسیون با ارتفاع، تنها برای مناطق کوهستانی کوچک و روش‌های درون‌یابی برای مناطق یکنواخت مناسب می‌باشد. چون دمای سطح زمین وابستگی زیادی به تنوع پوشش سطح زمین دارد بنابراین روش‌های ذکر شده نمی‌توانند تخمین صحیحی از دما را ارائه دهند (۷). استفاده از داده‌های سنجش‌ازدور برای برآورد دمای سطح زمین روش نسبتاً جدیدی به‌شمار می‌آید که به‌دلیل پوشش وسیع، به‌هنگام بودن و کسب اطلاعات در محدوده حرارتی طیف الکترومغناطیس، هزینه‌های تخمین دما به روش کلاسیک را به‌طور چشمگیری کاهش می‌دهد. همچنین داده‌های سنجش‌ازدور پارامترهای محاسباتی را به‌صورت توزیعی با توجه به قدرت تفکیک مکانی سنجنده مورد استفاده در اختیار کاربر قرار می‌دهد (۱۵). یکی از مهم‌ترین و پرکاربرترین الگوریتم‌های استفاده‌شده در برآورد دمای سطح خاک، الگوریتم‌های روزنه

به عقیده سالیس بوری (۱۹۹۷) دمای سطح زمین^۱ مقدار خالص انرژی است که تحت شرایط اقلیمی در سطح زمین به توازن رسیده و به مقدار انرژی رسیده، گسیل‌مندی سطح، رطوبت و جریان هوای اتمسفر بستگی دارد (۲۵). تحلیل و پایش الگوهای دمای سطح زمین، با توجه به نوع کاربری آن از اصلی‌ترین مقوله‌هایی است که می‌توان در حل مسائل پیچیده آب و هوایی در نواحی شهری مورد استفاده قرار داد. آگاهی از توزیع مکانی و زمانی دمای سطح زمین برای تعیین بیلان انرژی زمین و مطالعات هواشناسی ضروری می‌باشد (۲۴). اطلاع از تغییرات دمای سطح خاک برای تعیین اثر متقابل حرارتی بین لایه‌های زمین برای احداث بزرگراه‌ها و خطوط آهن در مناطق سردسیر و گرمسیر که با نوسانات زیاد دمایی روبه‌رو هستند، اهمیت فراوانی دارد (۲۱). همچنین مطالعات تغییرات دمای سطح خاک بر روی رشد گیاه، انتخاب تاریخ مناسب کشت، جوانه‌زنی و ظهور گیاهچه در سطح خاک، سبز شدن پیازها و غده‌ها و محاسبه تبخیر- تعرق گیاه تأثیر اساسی دارد (۱۱). داده‌های دمایی به‌کار رفته در مدل‌های اقلیمی، دمای اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های هواشناسی است که به‌صورت داده‌های نقطه‌ای در ایستگاه‌ها موجود می‌باشد. تعداد و پراکنش ایستگاه‌های هواشناسی

1- Land Surface Temperature, LST

مجزا^۱ می‌باشد. این الگوریتم‌ها باندهای مادون قرمز حرارتی سنجنده پیشرفته با توان تفکیک بسیار بالا در ماهواره NOAA را مورد استفاده قرار می‌دهند و بر مبنای تفاوت قابلیت انتقال اتمسفر در دو محدوده طیفی ۱۱ و ۱۲ میکرومتر، توسعه یافته‌اند. در سال‌های اخیر الگوریتم‌های روزنه مجزای زیادی توسعه یافته‌اند که بر اساس پارامترهای مورد نیاز در تعیین ضرایب به چهار گروه تقسیم می‌شوند. دسته اول مدل‌های وابسته به گسیلندگی است که در این مدل‌ها اثرات اتمسفری را ثابت در نظر می‌گیرد و فرض می‌شود تغییر دمای سطح زمین با گسیلندگی سطح می‌باشد. دسته دوم مدل‌های دو فاکتوری بوده که در این الگوریتم‌ها دو پارامتر اساسی گسیلندگی سطح و قابلیت انتقال اتمسفر یا بخار آب منظور می‌شود. مدل‌های ترکیبی که دسته سوم الگوریتم‌های روزنه مجزا هستند علاوه بر دو پارامتر مدل‌های دو فاکتوری یک یا چند پارامتر مؤثر دیگر را در محاسبات لحاظ می‌نمایند. در مدل‌های سه دسته قبل، تخمین دمای سطح زمین بر مبنای دمای روشنایی باندها صورت می‌گیرد در صورتی که در مدل‌های تابشی از تابش ثبت شده در برآورد دما استفاده می‌شود (۲۱).

محاسبه دمای سطح زمین مورد توجه بسیاری از پژوهشگران در سطح ایران و جهان قرار گرفته است که در اینجا به بیان یافته‌های چندین پژوهش پیشین در این زمینه پرداخته شده است. گالو و همکاران (۱۹۹۳) شاخص‌های گیاهی و دمای سطح زمین را با استفاده از تصاویر AVHRR^۲ در مناطق شهری و غیرشهری مقایسه کردند و با توجه به قدرت تفکیک مکانی داده‌های این ماهواره به این نتیجه رسیدند که در مقیاس ماکرو جهت تهیه نقشه دمایی مناسب می‌باشد (۹). زینگ‌پینگ و همکاران (۲۰۱۱)

با به‌کارگیری ایستگاه‌های خودکار هواشناسی^۳ و نیز تکنیک‌های سنجش‌ازدور، رابطه بین پوشش نسبی زمین و حرارتی شهر گونگجو در جنوب چین را مورد مطالعه قرار دادند و جزایر حرارتی در این مناطق را پهنه‌بندی کردند (۲۸). پایپل و همکاران (۲۰۰۱) توزیع دمای اعماق زمین را در شهر پزنال لهستان در دو کاربری متفاوت مورد مطالعه قرار دادند و به این نتیجه دست یافتند که تغییرات کوتاه‌مدت شبانه‌روزی دما تا عمق یک متری ادامه دارد و در عمق یک و نیم متری این نوسانات به‌سختی قابل تشخیص است (۱۸). هریس (۲۰۰۷) با مقایسه دماهای سطح زمین و نیمرخ اعماق زمین، به‌منظور پیش‌بینی دماهای اعماق خاک در نیم‌کره شمالی، از مدل POM_SAT^۴ استفاده کرد و نتیجه گرفت که مدل یادشده، ابزاری مناسب برای بارسازی آب و هوا در دوره‌های معین است (۱۰). کین و هیلر (۲۰۱۱) در فلات کینگای تبت با استفاده از دامنه شبانه‌روزی و فصلی دمای سطح زمین و نیز داده‌های مربوط به گرمایش جهانی، از یک مدل عددی یک‌بعدی انتقال گرما برای شبیه‌سازی رژیم دما در لایه‌های پرفروست واقع در زیر خاک‌ریزهای بزرگراه، به‌منظور کاربرد در احداث بزرگراه و خط آهن استفاده کرد و به این نتیجه دست یافت که این مدل یک‌بعدی عددی از دقت بالایی در شبیه‌سازی سری زمانی دما برخوردار است (۲۱). در پژوهشی دیگر دنگ‌شنگ و ونگ (۲۰۰۶) با استفاده از تصاویر سنجنده ASTER^۵ با تحلیل چندزمانه به برآورد رابطه میان الگوی حرارتی شهری و توصیف‌گرهای بیوفیزیکی در شهر ایندیاناپولیس آمریکا پرداختند و بهترین مدل را انتخاب کردند. توزیع مکانی دمای سطح زمین در چهار شهر

۳- Automatic Weather Stations
 4- Pre-Observational Mean. Surface Air Temperature
 5- Advanced Spaceborne Thermal Emission

۱- Split-Window
 2- Advanced Very High Resolution Radiometer

هدف از این مطالعه به‌دست آوردن نقشه دمایی دشت شهرستان کرمان با به‌کار بردن داده‌های سنجش‌ازدور با استفاده از مقایسه الگوریتم‌های روزنه مجزا می‌باشد. با توجه به این‌که شار گرمای محسوس که عامل ایجاد دما است در سردترین پیکسل تصاویر برابر صفر در نظر گرفته می‌شود از این جهت بین متوسط درجه حرارت روزانه با دمای سطح زمین اختلاف چندانی وجود ندارد، بنابراین مقایسه نتایج به‌دست آمده با داده‌های هواشناسی و میدانی که برداشت شده است، می‌تواند مناسب‌ترین الگوریتم را مشخص نماید (۳۰).

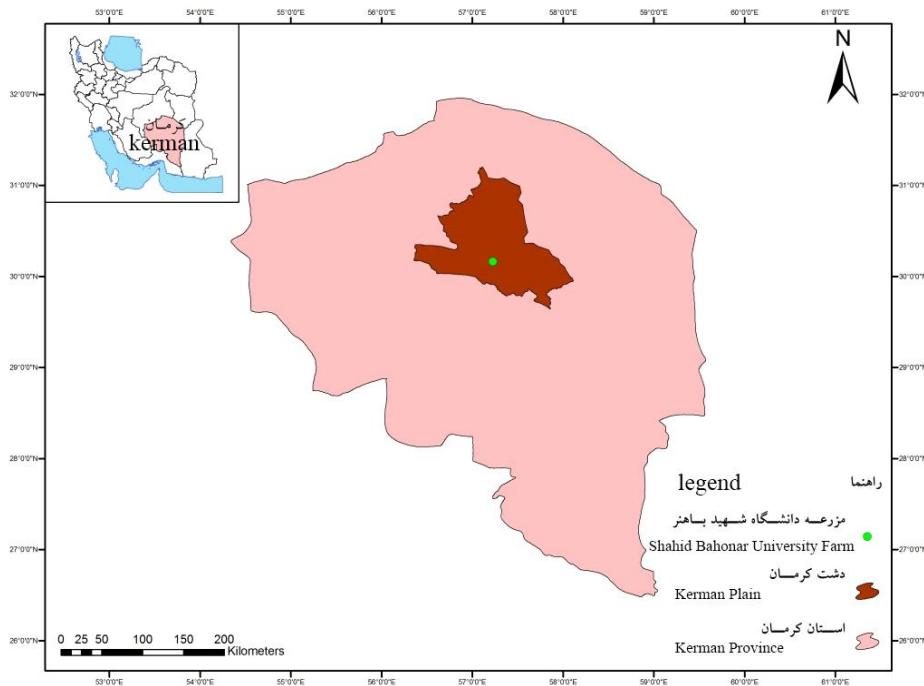
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: دشت شهرستان کرمان، محدوده مورد مطالعه پژوهش حاضر با وسعتی حدود ۱۲۸۸۷ کیلومتر مربع بین عرض‌های جغرافیایی ۲۹ درجه و ۲۹ دقیقه تا ۳۹ درجه و ۱۱ دقیقه شمالی و طول‌های جغرافیایی ۵۶ درجه و ۲۲ دقیقه تا ۵۸ درجه و ۱۶ دقیقه شرقی واقع شده است. که طبق گزارش سازمان هواشناسی شهرستان کرمان در ارتفاع ۱۷۴۰ متری از سطح دریا واقع گردیده و در تقسیم‌بندی اقلیمی دوماستن، نوع اقلیم آن نیمه‌خشک است. میانگین بارندگی سالانه منطقه بر اساس آمار ۳۵ ساله (۲۰۰۵-۱۹۷۰) ایستگاه سینوپتیک کرمان، ۱۵۴/۱ میلی‌متر به‌دست آمده است. در شکل ۱ نمایی از منطقه مورد مطالعاتی مورد استفاده در این پژوهش نشان داده شده است.

ایالات متحده (Atlanta, Baton Rouge, Salt Lake City and Sacramento) با استفاده از سنجش‌ازدور حرارتی توسط کواتروچی (۲۰۰۰) مطالعه شده و نتایج آن‌ها نشان می‌دهد که رشد گسترده شهر، باعث افت کیفیت کلی هوای شهر شده و ازن سطحی^۱ در شرایط باد آرام، تابش خورشیدی متراکم و دمای زیاد هوا (بیش از ۲۶ درجه سانتی‌گراد) از واکنش شیمیایی مواد آلی فرار (VOCs) و اکسیدهای نیتروژن (NOx) شکل می‌گیرد (۸). علوی‌پناه و همکاران (۲۰۰۹) با استفاده از داده‌های حرارتی ماهواره NOAA و AVHRR و داده‌های زمینی، با به‌کارگیری دوازده تصویر سنجنده AVHRR سال ۲۰۰۱ و داده‌های هواشناسی ۸ ایستگاه زمینی به‌عنوان نقاط کنترلی، مدل دمای سطحی منطقه حاشیه یاردانگ‌های بیابان لوت را طراحی کردند (۲). میریعقوب‌زاده و قنبرپور (۲۰۱۲) به بررسی روش‌های تعیین دمای سطح بر اساس داده‌های سنجش‌ازدور با استفاده از الگوریتم سبال^۲ و داده‌های سنجنده ETM+ و نیز بررسی صحت روش مورد استفاده در تعیین دمای سطح بر اساس مقایسه با مقادیر مشاهداتی پرداختند (۱۴). احمدی و همکاران (۲۰۱۲) در مقاله‌ای تغییرات زمانی- مکانی الگوهای حرارتی و کاربری شهر شیراز را با استفاده از داده‌های سنجنده TM و ETM+ مورد بررسی قرار دادند و دریافتند که سطوح بایر خاکی فاقد پوشش گیاهی حاشیه شهر بیش‌ترین میزان دما را داشته و در کاربری‌های شهری نیز دمای بافت‌های فرسوده شهری بیش از دیگر مناطق مسکونی است. همچنین حلقه‌های دمایی با مناطق آلوده و پرتراфик شهری انطباق دارند و سردترین مناطق نیز با کاربری پوشش گیاهی منطبق‌اند (۱).

1- Ground Level Ozone

2- Surface Energy Balance Algorithm for Land



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی دشت مورد مطالعه.

Figure 1. Geographical location.

در پژوهشی که توسط رحیمی خوب و همکاران (۲۰۰۵) در حوضه آبریز دریاچه ارومیه انجام گرفت، نشان داده شد که اختلاف دما بین سطح خاک با دما در عمق ۵ سانتی متری در طی روز متغیر می باشد به طوری که دمای سطح زمین در ساعات ۱۲ الی ۱۴ تقریباً ۱۰ درجه بیش تر از دما در عمق ۵ سانتی متری است. با توجه به این که زمان گذر ماهواره در منطقه مورد مطالعه این پژوهش در ساعت ۱۱:۴۵ به وقت محلی می باشد، بنابراین برای محاسبه دمای سطح زمین ۱۰ درجه سانتی گراد به داده های مشاهداتی در عمق ۵ سانتی متری اضافه گردید. سپس از پارامترهای میانگین قدر مطلق خطا (MAE) و میانگین انحراف خطا (MAE) برای همبستگی بین داده های مشاهداتی و محاسباتی حاصل از الگوریتم های اندازه گیری LST^۱ استفاده شد.

داده های مورد استفاده: در این پژوهش برای بررسی دمای سطح زمین از ۱۲ تصویر بدون ابر مربوط به سنجنده MODIS از سایت NASA (<http://lance-modis.eosdis.nasa.gov/cgi-bin/imagery/realtime.cgi>) استفاده شده که جزئیات مربوط به این تصاویر در جدول ۱ ارائه شده است. تصحیحات هندسی و رادیومتریک بر روی تصاویر فوق در نرم افزار ENVI4.5 انجام شد. علاوه بر این مقادیر، برای مقایسه نتایج الگوریتم های روزنه مجزا، درجه حرارت ۵ سانتی متری عمق خاک در ساعت گذر ماهواره در ۱۲ روز، توسط یک دماسنج دیجیتالی و یک دستگاه GPS دستی که نمایی از آنها در شکل ۲ نشان داده شده است در نقاط مشخص اندازه گیری گردید. مشخصات این نقاط در جدول ۲ آورده شده است. همچنین فلوچارت مراحل انجام کار در شکل ۳ ارائه شده است.

1- Land Surface Temperature

جدول ۱- تاریخ تصاویر مورد استفاده در برآورد دمای سطح زمین به روش الگوریتم روزنه مجزا.

Table 1. The images used on the land surface temperature algorithm in split window.

تاریخ برداشت خورشیدی	تاریخ برداشت میلادی	ردیف
Da	ad	Row
1392/1/8	2013/3/28	1
1392/1/15	2013/4/4	2
1392/1/26	2013/4/15	3
1392/2/6	2013/4/26	4
1392/2/19	2013/5/9	5
1392/2/26	2013/5/16	6
1392/3/5	1203/5/26	7
1392/3/15	2013/6/5	8
1392/3/27	2013/6/17	9
1392/4/9	2013/6/30	10
1392/4/17	2013/7/8	11
1392/4/28	2013/7/19	12

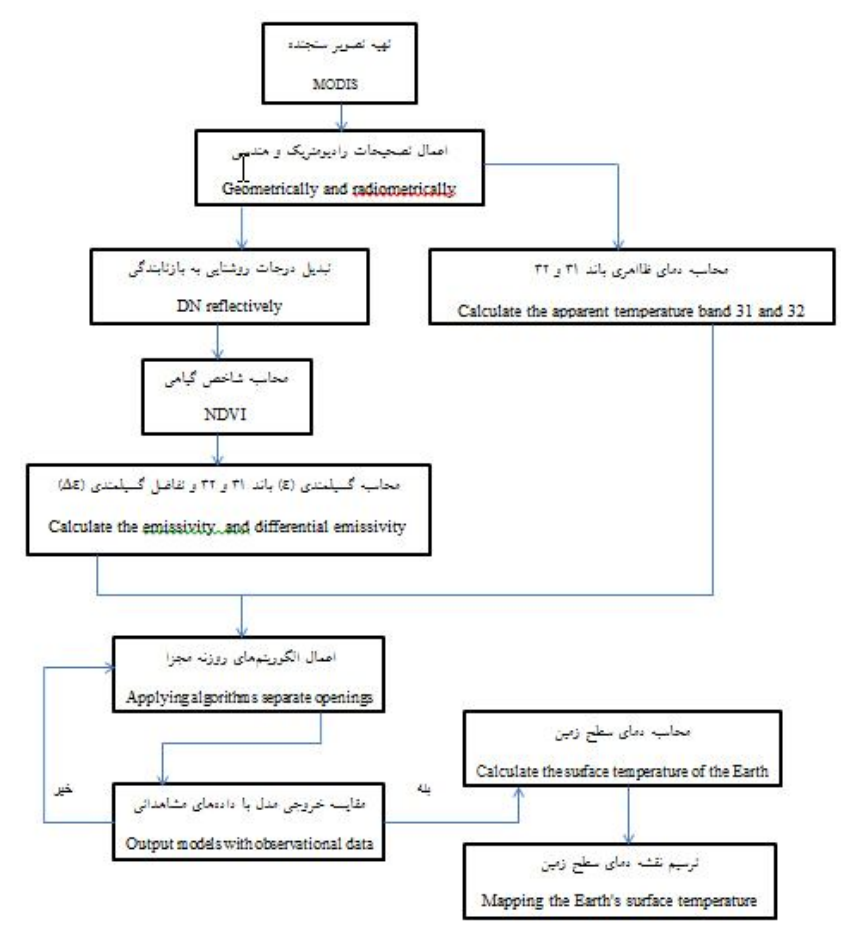
جدول ۲- تاریخ مربوط به داده‌های مشاهداتی برداشت شده (مرحله تست) در منطقه مورد مطالعه.

Table 2. Date of observational data collected (testing phase) in the study area.

طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	تاریخ	ستون
Longitude	Latitude	Date	Column
57.13011	30.23686	1392/1/8	1
57.13014	30.23621	1392/1/15	2
57.12798	30.23916	1392/1/26	3
57.12787	30.23984	1392/2/6	4
57.13010	30.23653	1392/2/19	5
57.12525	30.24113	1392/2/26	6
57.12157	30.24285	1392/3/5	7
57.11910	30.24480	1392/3/15	8
57.11721	30.24585	1392/3/27	9
57.11503	30.24725	1392/4/9	10
57.11282	30.25021	1392/4/17	11
57.11227	30.25024	1392/4/28	12



شکل ۲- نمایی از دماسنج دیجیتال و GPS (Garmin-Etrex). جهت برداشت داده مشاهداتی دمای سطح خاک.
 Figure 2. A view of a digital thermometer and GPS (Garmin-Etrex), to remove the soil surface temperature observations.



شکل ۳- فلوجارت مراحل محاسبه دمای سطح زمین با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و الگوریتم‌های روزنه مجزا.
 Figure 3. Flowchart calculate the surface temperature of the earth using satellite images and algorithms separate openings.

محاسبه دمای سطح زمین (LST)

تبدیل عدد رقومی (DN) به تابش طیفی^۱:

تبدیل ارزش‌های رقومی به رادیانس طیفی بر اساس مرجع تابش طیفی بر اساس رابطه ۱ قابل محاسبه است.

$$\begin{cases} L_{\lambda} = [(L_{Max} - L_{Min}) / \\ [(QCal_{Max} - QCal_{Min}) \times QCal] + L_{Min} \\ (QCal_{Max} = 255) - (QCal_{Min} = 0) \\ QCal = DN \end{cases} \quad (1)$$

که در آن، L_{Max} و L_{Min} تابش طیفی مرجع باند ۳۱ در DN به ترتیب معادل صفر و ۲۵۵ بر حسب $(Wm^{-2}Sr^{-1}\mu m^{-1})$ است. این مقادیر از Header file مربوط به تصاویر استخراج می‌شود.

تبدیل رادیانس طیفی به دمای جسم سیاه: با استفاده از رابطه پلانک، داده‌های باند حرارتی سنجنده MODIS تابش طیفی به دمای جسم سیاه (T_B) که در آن توان تشعشعی حداکثر یعنی یک در نظر گرفته می‌شود (MODIS Project Science Office, 2002) و بر اساس رابطه ۲ قابل محاسبه است.

$$T_B = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_{\lambda}} + 1\right)} \quad (2)$$

که در آن، T_B دمای مؤثر در ماهواره بر حسب کلونین، K_1 ثابت کالیبراسیون اول به مقدار ۶۶۶/۰۹ $(Wm^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1})$ ، K_2 ثابت کالیبراسیون دوم به مقدار ۱۲۸۲/۷۱ کلونین و L_{λ} رادیانس طیفی بر حسب $(Wm^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1})$ می‌باشد.

محاسبه گسیلمندی سطح^۳ و دمای سطح زمین:

نسبت بین گسیل از یک شی به گسیل از جسم سیاه در دمای ثابت، گسیلمندی (تابندگی) نامیده می‌شود. مقدار گسیلمندی برای تبدیل دمای روشنایی به دمای جنبش سطح بسیار ضروری است، زیرا دمای روشنایی به دست آمده از رابطه ۲ دمایی است که جسم سیاه برای تولید رادیانس مشخص در طول موج معین دارا می‌باشد (۱). یکی از گزینه‌های عملیاتی و بسیار کاربردی برای به دست آوردن توان تشعشعی (روش آستانه NDVI)^۴ است. که بر اساس این روش توان تشعشعی سطحی به سه طبقه تقسیم می‌شود.

الف - $NDVI < 0.2$: در این صورت پیکسل مربوط به خاک خشک و توان تشعشعی آن ۰/۹۷۸ لحاظ می‌شود.

ب - $NDVI > 0.5$: مربوط به پیکسل‌های مناطق با پوشش گیاهی کامل و توان تشعشعی آن ۰/۹۸۵ تخمین زده شده است.

ج - $0.2 < NDVI < 0.5$: که در مورد پیکسل‌ها ترکیبی از خاک و پوشش گیاهی هستند و توان تشعشعی با استفاده از رابطه‌های ۳ تا ۶ قابل محاسبه می‌باشد.

$$\varepsilon = \varepsilon_{veg} P_V + \varepsilon_{Soil} (1 - P_V) \quad (3)$$

که در آن، P_V نسبت پوشش گیاهی است و از رابطه ۴ قابل محاسبه است.

$$P_V = \left(\frac{NDVI - NDVI_{Min}}{NDVI_{Max} - NDVI_{Min}} \right)^2 \quad (4)$$

که در آن، $NDVI_{Max}$ برابر با ۰/۵ و $NDVI_{Min}$ برابر با ۰/۲ می‌باشد $NDVI$. نیز بر اساس رابطه‌های ۵ و ۶ قابل محاسبه است.

3- Surface emissivity

4- NDVI Threshold Method

1- DN-Digital Number (DN)

2- Spectral Radiance

ارائه شده است در تاریخ‌های مورد نظر محاسبه و خروجی هر مدل با داده‌های زمینی برداشت شده مقایسه گردید، در نهایت مدل منتخب برگزیده و نقشه LST منطقه مورد مطالعه ترسیم گردید.

پارامترهای T31 و T32 به ترتیب معرف دمای روشنایی باندهای ۳۱ و ۳۱ سنجنده MODIS، ρ_v درصد پوشش گیاهی، ε میانگین گسیلمندی سطح برای باندهای ۳۱ و ۳۲ و $\Delta\varepsilon$ اختلاف گسیلمندی باندهای ۳۱ و ۳۲ سنجنده می‌باشد.

برای ارزیابی الگوریتم‌ها ابتدا لازم است دمای عمق ۵ سانتی متری خاک به دمای سطح خاک تبدیل شود که این امر با درونیابی بین دمای اعماق خاک در ساعت ۷:۴۸ گرینویچ و زمان گذر ماهواره انجام گرفت سپس آماره میانگین قدر مطلق خطا (MAE) و میانگین انحراف خطا (MAE) مطابق با رابطه‌های ۷ و ۸ به عنوان معیار ارزیابی الگوریتم‌ها محاسبه گردیده است.

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |Z(e)_i - Z(m)_i|}{n} \quad (7)$$

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^n Z(e)_i - Z(m)_i}{n} \quad (8)$$

در این آماره‌ها، $Z(e)_i$ مقدار برآورد شده توسط الگوریتم، $Z(m)_i$ مقدار اندازه‌گیری شده و n تعداد مشاهدات می‌باشد.

این شاخص از طریق نسبت‌گیری باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک به دست می‌آید که با توجه به سنجنده MODIS رابطه آن به صورت رابطه ۵ می‌باشد.

$$NDVI = \frac{\rho(\text{band } 2) - \rho(\text{band } 1)}{\rho(\text{band } 2) + \rho(\text{band } 1)} \quad (5)$$

که در آن، ρ ضریب انعکاس باند است و از رابطه ۶ به دست می‌آید.

$$\rho = \frac{\pi \times L_\lambda \times d^2}{ESUN_\lambda \times \theta_s} \quad (6)$$

که در آن، ρ ضریب انعکاس باند (بدون بعد)، L_λ رادیانس طیفی، d فاصله زمین تا خورشید، $ESUN_\lambda$ میانگین بازتابندگی خورشیدی اگزواتمسفریک^۱ و θ زاویه زینتی خورشید به درجه است. همه ثابت‌های فوق از MODIS Project (Science Office, 2002) قابل استخراج است به جز θ که از فایل هدر مربوط به تصاویر سنجنده MODIS به دست می‌آید.

پژوهش در زمینه ارائه مدل‌های مختلف برای تعیین دمای سطح زمین گسترش یافت و منجر به ارائه الگوریتم‌های متعددی گردید. بر اساس نظریات متفاوتی که برای تعیین دمای سطح زمین توسط پژوهشگران ارائه شده، الگوریتم‌های متفاوتی توسعه یافته است. در تمام این الگوریتم‌ها فرض شده ماکزیمم رطوبت اتمسفر کم‌تر از 4 gr/cm^3 بوده و دمای سطح به دمای هوا بسیار نزدیک می‌باشد (۱۲).

در این پژوهش دمای سطح زمین با استفاده از ۱۰ الگوریتم روزانه مجزا که معادلات آن‌ها در جدول ۳

1- Mean solar exoatmospheric irradiances

جدول ۳- معرفی الگوریتم‌های روزنه مجزا استفاده شده.

Table 3. The introduction of a separate aperture algorithms used.

رابطه الگوریتم Algorithm Function	نام الگوریتم (سال) Algorithm Name
$LST = 0.39T_{31}^2 + 2.34T_{31} - 0.78T_{31}T_{32} - 1.34T_{32} + 0.39T_{32}^2 + 0.56$	کول و کاسیلیس (۱۹۹۷) Cole & kasilis
$LST = T_{31} + [1 + 0.58(T_{31} - T_{32})](T_{31} - T_{32}) + 40(1 - \varepsilon) - 75\Delta\varepsilon$	کول و همکاران (۱۹۹۴) Cole & Partners
$LST = T_{31} + 1.8(T_{31} - T_{32}) + 48(1 - \varepsilon) - 75\Delta\varepsilon$	بولیوری و همکاران (۱۹۹۴) Bulivoury & Partners
$LST = T_{31} + 1.06(T_{31} - T_{32}) + 0.46(T_{31} - T_{32})^2 + 53(1 - \varepsilon) - 53\Delta\varepsilon$	سالیسبوری و همکاران (۱۹۹۳) Salisbury & Partners
$LST = (0.5P_v + 3.1)T_{31} + (-0.5P_v - 2.1)T_{32} + 3.1 - 5.5P_v$	کر و همکاران (۱۹۹۲) Kerr & Partners
$LST = 3.78T_{31} - 2.78T_{32} + 50\frac{1-\varepsilon}{\varepsilon} - 300\frac{\Delta\varepsilon}{\varepsilon}$	ویدال (۱۹۹۱) Vidal
$LST = 3.45\frac{T_{31} - 273.15}{\varepsilon_{31}} - 2.45\frac{T_{32} - 273.15}{\varepsilon_{32}} + 40\frac{1 - \varepsilon_{31}}{\varepsilon_{31}} + 273.15$	پرانا و پلات (۱۹۹۰) Perana & Plot
$LST = 1.274 + \left(1 + 0.15616\frac{1-\varepsilon}{\varepsilon} - 0.482\frac{\Delta\varepsilon}{\varepsilon^2}\right)\frac{T_{31} + T_{32}}{2}$ $+ \left(6.26 + 3.98\frac{1-\varepsilon}{\varepsilon} + 38.33\frac{\Delta\varepsilon}{\varepsilon^2}\right)\frac{T_{31} - T_{32}}{2}$	بیکروالی (۱۹۹۰) Bikervali
$LST = 1.035T_{31} + 3.046(T_{31} - T_{32}) - 283.93 + 273$	مک‌کلاین و همکاران (۱۹۸۵) Mc Clain & Partners
$LST = T_{31} + 3.33(T_{31} - T_{32})\frac{5.5 - \varepsilon_{31}}{4.5} + 0.75T_{31}\Delta\varepsilon$	پرایس (۱۹۸۴) Priase

نتایج و بحث

واژکوئز و همکاران (۱۹۹۷) در مطالعه‌ای که در اسپانیا بر روی دمای سطح زمین و اعماق خاک انجام دادند به این نتایج دست یافتند که اختلاف دما بین سطح خاک و دمای عمق ۵ سانتی‌متری طی روز متغیر است و در ساعات ۱۲ الی ۱۴ دمای سطح زمین

حدود ۱۰ درجه بیش‌تر از دما در عمق ۵ سانتی‌متری می‌گردد. بنابراین در این پژوهش در روزهای ذکر شده و در ساعت گذر عبور ماهواره از منطقه در نقاط مختلف با کاربری‌های متفاوت با استفاده از یک دماسنج دیجیتال و یک دستگاه GPS دستی اقدام به برداشت میدانی داده دمای سطح خاک در عمق

می‌دهد در صورتی که MBE معادل صفر باشد، مدل فضای مورد مطالعه را به خوبی و بدون هیچ انحرافی برآورد نموده است. لازم به ذکر است که تک‌تک الگوریتم‌ها بر روی ۱۲ تصویر منتخب اعمال شده و نتایج آن با داده‌های اندازه‌گیری شده در منطقه مقایسه گردید که به دلیل محدود بودن صفحات مقاله نتایج مربوط به تصویر ۹ تیر ۱۳۹۲ آورده شده است. این نتایج در جدول ۴ قابل مشاهده می‌باشند.

۵ سانتی‌متری شد. سپس با استفاده از درون‌یابی و نکته ذکر شده در پژوهش وازکوئز و همکاران (۱۹۹۷) دمای سطح خاک محاسبه گردید و دقت الگوریتم‌های مدل شده با آماره MAE و MBE مشخص شد. مقدار صفر برای MAE نشان‌دهنده دقت صد درصد مدل بوده و هر قدر مقدار آن از صفر فاصله داشته باشد بیانگر کم شدن دقت مدل است. آماره MBE بیانگر آن است که مدل، مقدار متغیر مورد بررسی را کم یا زیاد برآورد می‌کند و نیز مقدار کمی آن را نشان

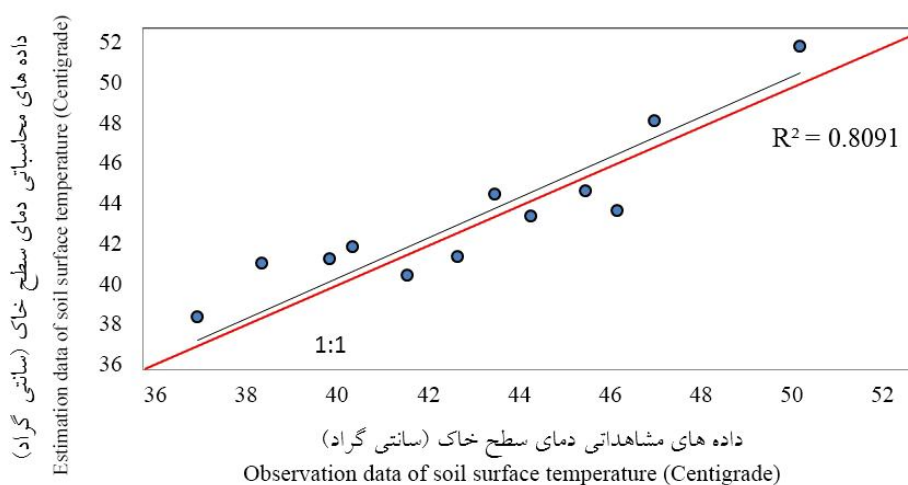
جدول ۴- نتایج تحلیل آماره‌های MBE و MAE بر حسب سانتی‌گراد برای الگوریتم‌های مختلف، ۹ تیر ۱۳۹۲.

Table 4. The results of MSE and MAE statistics according to various algorithms.

MAE	MBE	الگوریتم Algorithm	تاریخ برداشت خورشیدی Da
4.762	-0.075	کول و کاسیلیس (۱۹۹۷) Cole & kasilis	1392/4/9
5.421	1.483	کول و همکاران (۱۹۹۴) Cole & Partners	1392/4/9
5.785	1.647	بولیوری و همکاران (۱۹۹۴) Bulivoury & Partners	1392/4/9
5.612	2.492	سالیسبوری و همکاران (۱۹۹۳) Salisbury & Partners	1392/4/9
5.363	1.352	کر و همکاران (۱۹۹۲) Kerr & Partners	1392/4/9
5.752	2.521	ویدال (۱۹۹۱) Vidal	1392/4/9
5.874	2.846	پرانا و پلات (۱۹۹۰) Perana & Plot	1392/4/9
6.214	3.739	بیکروالی (۱۹۹۰) Bikervali	1392/4/9
5.597	2.647	مک‌کلاین و همکاران (۱۹۸۵) Mc Clain & Partners	1392/4/9
4.987	0.0817	پرایس (۱۹۸۴) Priase	1392/4/9

باعث شده تأثیر این پارامتر در برآورد LST کم‌تر شود. این خطا در الگوریتم‌های ویدال (۱۹۹۱) و پراتا و پلات (۱۹۹۰) نیز مشخص است. به‌طورکلی چون محاسبه میانگین گسیلمندی (E) مسیری طولانی و دارای الگوریتمی پیچیده است حضور این پارامتر در هر مدل روزنه مجزا به نسبت ضریب تأثیری که به این عامل داده می‌شود ایجاد خطا می‌کند. در شکل ۴ نتایج مربوط به مقایسه داده‌های مشاهداتی و محاسباتی مربوط به الگوریتم منتخب (کول و کاسیلیس) که مربوط به تصویر ۹ تیر ۱۳۹۲ می‌باشد، آورده شده است. این نمونه‌ها در تابستان ۹۲ در بازه زمانی سه ماه و در هرروز در ۱۲ کاربری متفاوت و با پراکندگی مناسب تهیه شده است.

طبق نتایج حاصل از آنالیز آماره‌های استفاده‌شده در این پژوهش، همان‌طور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود مدل کول و کاسیلیس (۱۹۹۸) با MAE برابر با ۴/۷۶۲ و MBE برابر با -۰/۰۷۵ بیش‌ترین دقت را در بین مدل‌ها دارا می‌باشد. مدل پرایس (۱۹۸۴) با احتساب MAE برابر با ۴/۹۸۷ و MBE برابر با ۰/۰۸۱۷ در جایگاه دوم با دقتی مناسب و نسبتاً نزدیک به مدل کول قرار گرفته است. همچنین مدل بیکرولی (۱۹۹۰) در بین این ۱۰ الگوریتم پایین‌ترین دقت را با احتساب MAE برابر با ۶/۲۱۴ و MBE برابر با ۳/۷۳۹ داشته است. دلیل خطای بالای الگوریتم بیکرولی (۱۹۹۰) قرار گرفتن میانگین گسیلمندی سطح با توان ۲ در مخرج کسر است که



شکل ۴- نمودار همبستگی داده‌های زمینی و محاسبه‌شده دمای سطح خاک به روش الگوریتم کول و کاسیلیس در تاریخ ۹ تیر ۱۳۹۲.
Figure 4. Field data and calculated the correlation graph algorithm Cole soil surface temperature and Kasylys.

از الگوریتم کول و کاسیلیس همبستگی بالای ۰/۸ را در روز ۹ تیر ۱۳۹۲ نشان می‌دهد که نشانگر صحت و دقت این الگوریتم برای برآورد دمای سطح خاک منطقه مورد مطالعه این پژوهش می‌باشد. شایان ذکر است که مقایسه مقادیر مشاهداتی حاصل از برداشت‌های زمینی در تاریخ‌های مختلف

با توجه به این‌که شار گرمای محسوس که عامل ایجاد دما است در سردترین پیکسل تصاویر برابر صفر در نظر گرفته شد، اختلافی چندانی بین متوسط درجه حرارت روزانه با دمای سطح زمین وجود نداشت. همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود نتایج به‌دست آمده از داده‌های زمینی با نتایج استخراج‌شده

تصویربرداری با مقادیر محاسباتی حاصل از اعمال تک تک الگوریتم‌ها در تمامی روزهای تصویربرداری انجام گرفت. به طور مثال نتایج جدول ۵ مربوط به مقایسه الگوریتم کول و کاسیلیس و داده‌های برداشت شده در روزهای تصویربرداری می‌باشد. همان‌طور که مشاهده می‌شود این مدل با دقت متوسط R^2 برابر با ۰/۷۶ توانسته است در تمامی این روزها برآوردی دقیقی از LST داشته باشد.

جدول ۵- ضرایب همبستگی بین داده‌های محاسباتی و مشاهده شده در تاریخ‌های مختلف تصویربرداری بر اساس الگوریتم کول و کاسیلیس.

Table 5. Correlation coefficients between computational and data observed in different dates based imaging algorithms Kasylys and Cole.

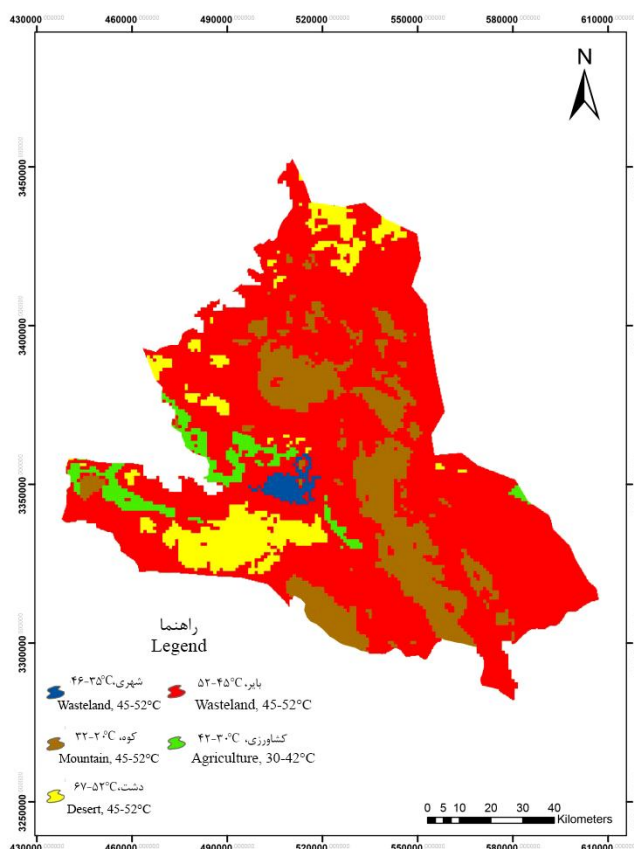
R^2	r	b	a	Date	Column
0.74	0.85	3.4	1.2	1392/1/8	1
0.68	0.81	7.4	1.1	1392/1/15	2
0.77	0.84	18.4	3.53	1392/1/26	3
0.64	0.79	10.92	0.54	1392/2/6	4
0.79	0.88	4.7	1.12	1392/2/19	5
0.87	0.94	12.57	1.14	1392/2/26	6
0.83	0.91	8.62	0.52	1392/3/5	7
0.85	0.93	15.7	0.91	1392/3/15	8
0.72	0.84	14.1	1.17	1392/3/27	9
0.8	0.89	3.9	1.13	1392/4/9	10
0.69	0.83	17.19	1.7	1392/4/17	11
0.78	0.87	11.16	1.4	1392/4/28	12

پشتیبان^۲ و با مشخص کردن تابع کرنل مناسب، طبقه‌بندی بر روی کل تصویر و باندهای طیفی انجام شد. نتیجه آن تولید نقشه حرارتی دشت کرمان بود که در شکل ۵ قابل مشاهده است.

داده‌های میدانی این پژوهش در پراکنندگی مناسبی تهیه گردیده است به طوری که هیچ کدام از این نقاط در یک پیکسل ماهواره MODIS (1000×1000) قرار نگرفته است و از نقاط بایر، تحت کشت، مسکونی با کاربری‌های متفاوت برداشت شده است. پس از تهیه نمونه‌های تعلیمی^۱ به کمک اطلاعات به دست آمده از پیکسل‌های هر طبقه، نشانه‌های طیفی آن پدیده استخراج گردیده و میزان همگنی و همپوشی آن‌ها مشخص شد. سپس به کمک الگوریتم ماشین بردار

2- Support Vector Machine

1- Training Area



شکل ۵- نقشه حرارتی دشت کرمان با استفاده از الگوریتم کول و کاسیلیس براساس طبقه‌بندی به روش SVM در تاریخ ۹ تیر ۱۳۹۲.
Figure 5. Heat Map Kerman Plain Cole and Kasylys using algorithms based on SVM classification method.

نقشه شیب و جهت شیب نیز جز ورودی‌های مدل است. این الگوریتم‌ها در مناطق کوهستانی دچار خطای زاویه‌ای و تداخل سایه نشده‌اند و همان‌طور که مشاهده می‌شود به‌خوبی و با دقت توانسته‌اند مناطق کوهستانی را با درصد مساحت بالا تشخیص دهند. این امر باعث شد که روش طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان به‌راحتی مناطق کم‌دمای کوهستانی را از مناطق دیگر مجزا و تفکیک کند و دمای این محدوده را به‌درستی در بازه ۲۰ تا ۳۲ قرار دهد. با آنالیز نقشه حرارتی خروجی که ماشین بردار پشتیبان تولید کرده است می‌تواند به خطای تفکیک جزایر حرارتی که در جنوب‌غربی این شهرستان به وجود آمده است پی برد. شرق دشت شهرستان کرمان منطقه پست شهداد واقع شده است که طبق گزارش هواشناسی استان در برخی

با بررسی اطلاعات به‌دست آمده (ضریب آبی‌دو، توان گسیلمندی) از آنالیز نشانه‌های طیفی ۵ کاربری منتخب (بایر، شهری، کوه، کشاورزی و دشت) مشخص شد که سطوح نفوذناپذیر و تیره به‌علت جذب و عدم انعکاس اشعه خورشیدی دمای بالاتری دارند در حالی که پوشش گیاهی به‌دلیل دارا بودن سطحی روشن‌تر و وجود تبخیر- تعرق دارای دمای سطحی پایین‌تری می‌باشد. همان‌طور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود محدوده دمایی شهر کرمان ۳۵ تا ۴۶ درجه سانتی‌گراد برآورد شده است که بازتاب سطوح روکش شده آسفالت خیابان‌ها، حجم بالای ترافیک و آلودگی در مناطق پرجمعیت آن را توجیه می‌کند. شایان ذکر است که چون در اعمال الگوریتم‌های روزنه مجزا بر روی تصویر خام، زاویه خورشیدی،

از نقاط این محدوده ارتفاعی بسیار کم از سطح دریا وجود دارد اما SVM پست‌ترین نقاط و به طبع پایین‌ترین دماها را برای محدوده‌ای در جنوب‌غرب شهرستان در نظر گرفته است. دلیل این اشتباه مدل کول و کاسیلیس و در ادامه طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان وجود ذرات گردوغبار هوا در مناطق خشک و بیابانی و همچنین بافت خاک منطقه کویری شهداد می‌باشد. رفتار گردوغبار در طول شب و روز متفاوت و تابعی از ثبات جو است. ناپایداری جو در روزهای تابستان به مراتب بیش‌تر از شب‌های تابستان می‌باشد و زمانی که در طول روز سرعت باد به ۷ تا ۸ متر بر ثانیه افزایش می‌یابد سنجش‌ازدور حرارتی دچار خطای قابل ملاحظه‌ای است. بنابراین طوفان‌هایی که در روزهای تابستانی از اوایل صبح تا غروب آفتاب در کویر شهداد اتفاق می‌افتد باعث ایجاد مشکلاتی در تخمین درجه حرارت سطحی خاک است. همچنین وجود ماسه‌هایی با رنگ روشن که در آن لایه‌ای سفیدرنگ از کربنات منیزیم با ضخامت ۰/۶ میلی‌متر موجود است، باعث افزایش بازتاب خاک و پایین آمدن دمای سطح خاک دشت کویری شهداد شده است. اما در دشت‌های جنوب‌غربی شهرستان، بافت منطقه رنگی تیره داشته و این امر باعث پدیده جذب و در ادامه افزایش دمای سطح خاک بوده است. با توجه به نتایج به‌دست آمده در تاریخ ۹ تیرماه ۱۳۹۲ حداکثر درجه حرارت با توان تشعشعی برابر با ۰/۹۷۴، ۶۷ درجه سانتی‌گراد و پایین‌ترین درجه حرارت با توان تشعشعی ۰/۹۱۷، ۲۰ درجه سانتی‌گراد برآورد گردید.

نتیجه‌گیری

استفاده از داده‌های سنجش‌ازدور برای برآورد دمای سطح زمین روش نسبتاً جدیدی به‌شمار می‌آید که به‌دلیل پوشش وسیع، به‌هنگام بودن و کسب

اطلاعات در محدوده حرارتی طیف الکترومغناطیس هزینه‌های تخمین دما به روش کلاسیک را به‌طور چشمگیری کاهش می‌دهد. بدین منظور در پژوهش حاضر از تکنیک فوق به‌منظور برآورد دمای سطح زمین بهره گرفته شد. طبق نتایج به‌دست آمده در این پژوهش، سنجنده MODIS از قدرت تفکیک مکانی بالایی نسبت به باندهای انعکاسی برخوردار است و توانایی شناسایی سطوح ناهمگن و پستی بلندی‌ها را دارا می‌باشد زیرا در پهنه‌بندی و طبقه‌بندی دمایی در کوهستان و مناطق پست کشاورزی دچار خطا نشده است به همین دلیل در زمینه انطباق جز به جز تصاویر انعکاسی و تصاویر حرارتی مشکل چندانی ندارد. در این پژوهش از بین ۱۰ الگوریتم روزنه مجزا مدل کول و کاسیلیس (۱۹۹۷) با دقت بالایی دمای سطح زمین را تخمین زده و نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل‌های آماری نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین نتایج حاصل از برداشت زمینی و دمای منتج از داده‌های ماهواره‌ای می‌باشد زیرا این مقایسه R^2 برابر با ۰/۸۰۹۱ را به همراه داشته که صحت و دقت این الگوریتم را نشان می‌دهد. سپس نقشه طبقه‌بندی حرارتی دشت شهرستان کرمان با روش ماشین بردار پشتیبان تهیه گردید. قابل ذکر است که در سنجش‌ازدور حرارتی تأثیر پارامترهایی چون سرعت باد، درجه حرارت هوا، رطوبت خاک، توان تشعشعی، زبری و صافی، شرایط اتمسفریک و زاویه تابش خورشید بسیار بالا است و این امر باعث شده است که سنجش‌ازدور حرارتی در مقایسه با سنجش‌ازدور انعکاسی دچار خطا و در بعضی اوقات اغراق شود. همچنین بر اساس نتایج حاصله درمی‌یابیم که برای محاسبه دقیق دمای سطح زمین لازم است که توان تشعشعی هر پدیده به‌طور مجزا شناسایی شود.

منابع

1. Ahmadi, M., Ashorlo, D., and Narengi Fard, D. 2012. Temporal and spatial variation patterns using data from Landsat thermal User Shiraz TM & ETM. Remote Sensing and GIS, Iran, Issue Four. (In Persian)
2. Alavipanah, S.K., Serajian, M.R., and Khodai, K. 2009. Land Surface Temperature Modeling Using NOAA-AVHRR Thermal data. Physical geography research. 67: 1-11.
3. Bikervali, M. 1990. Measurement of evapotranspiration of irrigated spring wheat and maize in a semi- arid region of North China. Agricultural Water Management, 61: 1-12.
4. Bulivoury, R.E., Hartford, R.A., and Eidenshink, J.C. 1993. Using NDVI to assess departure from average greenness and its relation to the fire business. Intermountain Research Station: USDA Forest Service, 8: 1. 121-137.
5. Cole, A., Menenti, M., Feddes, R., and Holtslag, A. 1994. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL) 1 Formulation. J. Hydrol. 212: 3. 198-212.
6. Cole, A., Kasilis, H.P., Podaire, A., and Froutin, R. 1997. Upscale integration of normalized difference vegetation index: The problem of spatial heterogeneity. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 42: 3. 326-338.
7. Dashtakian, K., and Dehghani, M. 2012. Assessment of land surface temperature in relation to plant and urban development using remote sensing and geographic information systems in wilderness areas. Research and development of natural resources. 77: 1. 66-77. (In Persian)
8. Dengsheng, L., and Qihao, W. 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: 167-157.
9. Gallo, K.P., and Tarpley, J.D. 1993. The comparison of vegetation index and surface temperature composites for urban heat island. Analysis Remote Sensing. 17: 3071-3076.
10. Harris, R.N. 2007. Variations in Air and Ground Temperature and the POM-SAT Model: Result from the Northern Hemisphere. Climate of the Past. 3: 1. 611-621.
11. Kamali, Gh., Hajjam, S., Ranjbar, S., Hedayati Dezful, A., Kamali, M., and Behyar, M. 2008. Review about weather shelter at different levels of soil moisture and soil temperature (Case Study: Zarghan). J. Geograph. Res. the twenty-third year. 90: 126-109. (In Persian)
12. Kerr, Y.H., Lagouarde, J.P., and Imbernon, J. 1992. Accurate land surface temperature retrieval from AVHRR data with the use of an improved split-window algorithm. Remote Sensing of Environment. 41: 197-209.
13. Mc Clain, J.M., Kustas, W.P., and Humes, K.S. 1985. Source approach for estimating soil and vegetation energy fluxes in observations of directional radiometric surface temperature. Agricultural and Forest Meteorology, 77: 263-293.
14. Miryaghoobzadeh, M.H., and Ghanbarpur, M.R. 2012. Using Remote Sensing Data to estimate land surface temperature (Case study: Vardin Basin, East Azerbaijan). J. Range. 4: 723-734.
15. MODIS Home Page. <http://modis.gsfc.nasa.gov/index.php>, visited: 2009/7/25. MODIS Products Page. <http://ladsweb.nacom.nasa.gov/data/search.html>, visited: 2009/09/20.
16. Mushtaq, N., and Soltani, S. 2012. Comparison algorithms to determine the land surface temperature using remote sensing techniques. Ninth International Congress on Civil Engineering, Isfahan University of Technology. (In Persian)
17. Perana, M., and Plot, A. 1990. The derivation of the green vegetation fraction from NOAA/AVHRR data for use in numerical weather prediction models. Inter. J. Rem. Sens. 11: 1533-1543.
18. Popiel, C.O., Wojtkowiak, J., and Biernacka, B. 2001. Measurement of temperature distribution in ground. Experimental Thermal and Fluid Science. 25: 1. 301-309.
19. Priase, M. 2008. Modelling surface energy fluxes over maize using a two-source patch model and radiometric soil and canopy temperature observations. Remote Sensing of Environment, 112: 1130-1143.

20. Qin, Y., and Hiller, J.E. 2011. Impacts of Diurnal Temperature Cycles on the Geothermal Regime on Qinghai-Tibet Plateau. *Cold Regions Science and Technology*. 65: 429-436.
21. Qin, Z., Xu, B., Zhang, W., Li, W., and Zhang, H. 2004. Comparison of split window algorithms for land surface temperature retrieval from NOAA-AVHRR data. *International Geosciences and Remote Sensing Symposium*, VI, 3740-3743, September 20-24, Anchorage, Alaska, USA.
22. Quattrochi, D.A. 2000. A decision support information system for urban landscape management using thermal infrared data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 66: 10. 1195-1207.
23. Rahimi Khob, A., Kochak Zadeh, M., Mohamad Vali Samani, J., and Sharifi, F. 2005. Evaluation of several methods for estimating land surface temperature using NOAA satellite image at the basin of Lake Urmia. *Publications research and development in agriculture and horticulture*. 41: 68-84. (In Persian)
24. Salisbury, C.M. 1997. Retrieving land-surface temperature from satellites. UCSB MODIS LST Group mom page. Retrieved from: http://www.ices.ucsb.edu/esrg/sum97/studentEss.1997/cleo_Salisbury/cleo_final_paper.html.
25. Sun, Y.J., Wang, J.F., Zhang, R.H., Gillies, R.R., and Xue, Y.Y.C.B. 2004. Air temperature retrieved from remote sensing data based on thermodynamics. *Theor. Appl. Climatol.* published online.
26. Vidal, A. 1991. Vegetal cover to estimate soil erosion hazard in Rhodesia. *Geoderma*, 15: 1. 61-70.
27. Xingping, W., Xiaofeng, Y., and Guangdao, H. 2011. Relationship between Land Cover Ratio and Urban Heat Island from Remote Sensing and Automatic Weather Stations Data. *J. Ind. Soc. Rem. Sens.* 39: 2. 193-201.
28. Vázquez, D.P., Reyes, F.J.O., and Arboledas, L.A. 1997. A comparative study of algorithms for estimating land surface temperature from AVHRR Data. *Remote Sensing of Environment, Lore velit adiamcommy nonulput la feugueriure*. 62: 3. 215-222.
29. Xu, C.Y., and Singh, V.P. 2005. Evaluation of three complementary relationship evapotranspiration models by water balance approach to estimate actual regional evapotranspiration in different climatic regions. *J. Hydrol.* 308: 105-121.



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 23(2), 2016
<http://jwsc.gau.ac.ir>

Choosing the most appropriate split-window algorithms for estimating land surface temperature by use of MODIS sensor (Case study: Kerman plain)

B. Bakhtari¹, *S. Delgarm² and M.S. Rezazadeh²

¹Assistant Prof., Dept. of Water Engineering, Bahonar University of Kerman,

²M.Sc., Dept. of Water Engineering, Bahonar University of Kerman

Received: 10/08/2014; Accepted: 04/08/2015

Abstract

Background and Objectives: Land surface temperature value is net energy that under the climatic conditions and the amount of energy reaching the earth's surface has risen balance and depends on surface emissivity, humidity and atmospheric air flow. Analysis and monitoring of the Earth's surface temperature patterns, are the main categories Due to their usage can be used in solving complex problems of climate used in urban areas. The aim of this study is obtaining a temperature map of the city of Kerman plain by using remote sensing data by comparing the aperture algorithms distinct. Since the sensible heat flux that causes the temperature in the coldest pixel images can be considered zero in this respect the difference between average daily temperature and land surface temperature is so little.

Materials and Methods: Plain of Kerman, with an area of 12887 square kilometers. This study area is located between latitudes 29° 29' to 39° 11' north to east geographical lengths of latitudes 56° 22' to 58° 16'. In this study for investigating the Earth's surface temperature of 12 cloudless images on the site NASA from MODIS sensor was used. Geometric and radiometric corrections were done on images by ENVI4.5 software. In addition, the algorithm for comparing the results of 10 separated aperture algorithm, 5 cm deep soil temperature data were obtained during field visit.

Results: The results indicated that Cole and Kasylys model with MAE was equal to 4.76 °C and with MBE was at -0.07 had the most accuracy among all models. Price Model, including MAE equal to 4.98 and MBE equals to 0.081 was in the second rank with the accuracy close to Cole's model accuracy. And Bicroly model has the lowest accuracy among these 10 algorithms with MAE equal to 6.21 and MBE is equal to 3.73. R² equal to 0.81 between the results of harvesting the resulting surface temperature by satellite data shows correctness of Kasylys and Cole model and accuracy of the algorithm. The temperature classification map of the city of Kerman desert supported by vector machine based on training samples in five users (urban, mountain, desert, barren and farmers) were prepared.

Conclusions: It is noteworthy that in the thermal remote sensing, influence of parameters such as wind speed, air temperature, soil moisture, the radiation, roughness and smoothness, atmospheric conditions and sun shine angle are so high and This has caused thermal remote sensing be overstated and sometimes causes errors in comparison with reflection remote sensing. According to the results, we find that for the accurate calculation of the Earth's surface temperature is necessary the Radiation of any phenomenon should be identified separately. The use of remote sensing data to estimate the surface temperature is considered as a new approach reduces the cost of estimating the temperature by classical methods.so to estimate the surface temperature of kerman plain, 12 cloudless images of MODIS sensor (which has no problem in reflection and thermal compatibility of images) and 10 separate aperture algorithm in a tome period of the summer of 1392 were used. Furthermore, to compare the results of separated aperture algorithms, 5 cm deep soil temperature was measured at certain points at the time of passing satellites in a time periods of 12 days, by a digital thermometer with a handheld GPS device. The results showed that Kasylys Cole model (1978) including MAE equal to 76.4 °C and MBE equal to -0.07 has the highest accuracy among all models. Praice model (1984), including the MAE equal to 4.98 and MBE equal to 0.081 is at the second rank and also is close to the Cole model in accuracy and Bykroly model (1990) with the MAE equal to 6.21 and MBE equal to 3.73 has the lowest accuracy among the 10 algorithm. When R² is equal to 0.81 among the results of the estimating surface temperature on the ground and by satellite data shows the correctness of and Kasylys and Cole (1978) algorithm. Finally, the thermal classification map of the Kerman plain was prepared by use of support vector machine based on training samples in five users (urban, mountain, desert, barren and farmers).

Keywords: Single/separated aperture, MODIS, Kasylys and Cole, SVM, Kerman plain

* Corresponding Author; Email: delgarm.s@gmail.com