



سنجش از دور

GIS ایران



سنجش از دور و GIS ایران / سال هفتم، شماره سوم، پاییز ۱۳۹۴
Iranian Remote Sensing & GIS / Vol.7, No. 3, Autumn 2015

۶۴-۴۹

محاسبه و واسنجی دمای سطح زمین با استفاده از داده‌های حرارتی ماهواره Landsat 8

- علیرضا رضانی خوجین*^۱، میرمسعود خیرخواه زرکش^۲، پیمان دانش کار آراسته^۳، علی مریدی^۴، رحیم علیمحمدی نافچی^۵
۱. دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده محیط زیست و انرژی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران.
 ۲. دانشیار دانشکده محیط زیست و انرژی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران.
 ۳. دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی(ره)، قزوین، ایران.
 ۴. استادیار دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط زیست، پردیس فنی و مهندسی شهید عباسپور، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.
 ۵. استادیار مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان چهارمحال و بختیاری، شهرکرد، ایران.

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۱۱/۱۸

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۴/۳/۱۶

چکیده

امروزه محاسبه دمای سطوح مختلف پوشش گیاهی و خاکی با استفاده از تصاویر ماهواره ای، با هدف برآورد تخییر و تفرق واقعی با الگوریتم بیان انرژی، اهمیت بسیار زیادی دارد. در این مطالعات دقت محاسبه گرادیان حرارتی بین سطح زمین و هوا و میزان اختلاف دمای سطوح مختلف کاربری دارای اهمیت است. در دشت شهرکرد به منظور محاسبه دمای سطح زمین^۱ سه چالش اصلی وجود داشت. نخست، نبود مطالعه مشخصی در زمینه محاسبه دمای سطح زمین با استفاده از باندهای حرارتی ماهواره Landsat 8، دوم، فقدان داده های مشاهده ای دمای سطح پوشش های مختلف گیاهی و خاکی و سوم، محدود بودن داده های دمای سطح زمین ایستگاه های کلیماتولوژی و سینوپتیک به حداقل روزانه. در این مطالعه، به منظور تبدیل دمای درخشندگی^۲ سطح به دمای سطح زمین، از الگوریتم دوپنجره ای^۳ موجود AVHRR-NOAA استفاده شد و برای محاسبه گسیلندگی سطحی^۴ نیز روش پیشنهادی الگوریتم سبال^۵ به کار رفت. با توجه به نبود ایستگاه های هواشناسی مرجع، از داده های ایستگاه های غیرمرجع برای محاسبه دمای روزانه سطح زمین و لحظه عبور ماهواره استفاده شد و در نهایت، از روش محاسبه خطای انحراف برای واسنجی دمای سطح زمین ماهواره Landsat 8 و تهیه لایه میانگین روزانه دمای سطح زمین استفاده شد. در این مطالعه همه ضرایب همبستگی محاسبه شده بیشتر از ۰.۹ بود و تمامی روابط رگرسیونی، از نظر آماری، در سطح ۹۵٪ و حتی ۹۹٪ معنادار بودند. اختلاف مقادیر خطای انحراف محاسبه شده در روز-تصویرهای مختلف در بیشترین مقدار، ۰.۵ کلون بود و میزان RMSE محاسبه شده نیز بین ۱.۹ تا ۲.۲ کلون قرار داشت که در مقایسه با مطالعات مشابه مورد پذیرش بود.

کلید واژه ها: Landsat 8، ایستگاه غیرمرجع، پنجره مجزا، دمای سطح زمین، گسیلندگی سطح.

* نویسنده ارشد مکاتبات: دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشکده محیط زیست و انرژی، گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی

Email: Ramezani.alireza@gmail.com

1. Land Surface Temperature – LST
2. brightness temperature
3. split window algorithm
4. surface emissivity
5. Sebal (Surface Energy Balance Algorithm)

۱- مقدمه

دمای سطح زمین از مهم‌ترین فاکتورهایی است که می‌تواند به محققان در تحلیل‌های مرتبط با علوم محیطی کمک کند. با توجه به اینکه اندازه‌گیری دمای سطح زمین به صورت نقطه‌ای است و اصولاً نمی‌شود آن را با سنجش‌های زمینی در سطوح وسیع به دست آورد، تصاویر ماهواره‌ای ابزاری مناسب برای استخراج و سنجش دمای سطح زمین به شمار می‌روند. یکی از نیازهای اساسی استخراج اطلاعات زمینی با استفاده از داده‌های سنجش از دور، واسنجی این اطلاعات با داده‌های زمینی و مشاهداتی است. به منظور واسنجی لایه دمای سطح زمین که با مطالعات سنجش از دور به دست می‌آید، داده‌های زمینی مانند دمای سطوح پوشش گیاهی و خاکی و ... به‌ویژه همزمان با عبور ماهواره، اهمیت بسیاری دارد. ایستگاه‌های هواشناسی از نظر شرایط محیطی برداشت داده‌های هواشناسی، در دو گروه جای می‌گیرند:

- ایستگاه‌های هواشناسی کشاورزی (ایستگاه‌های مرجع)
- ایستگاه‌های هواشناسی غیرکشاورزی (ایستگاه‌های غیرمرجع)

در ایستگاه هواشناسی کشاورزی محصور در مناطق زیرکشت، دستگاه‌های اندازه‌گیری در شرایط اقلیم مشابه با گیاهان پیرامون ایستگاه قرار دارند. در این ایستگاه دمای هوا، رطوبت هوا، سرعت باد و ساعات آفتابی، معمولاً در ارتفاع دو متر بالاتر از سطح وسیع چمن یا گیاهان کوتاه اندازه‌گیری می‌شود. در صورت لزوم و امکان، پوشش چمن ایستگاه آبیاری می‌شود (Allen et al., 1998).

ایستگاه‌های هواشناسی غیرکشاورزی اغلب در شرایط خشک قرار دارند و در آن‌ها از پوشش سنگریزه و سنگ به جای پوشش گیاهی استفاده می‌شود که با توجه به تفاوت ضریب آلیبدو و زبری سنگ و پوشش گیاهی و نیز شرایط رطوبتی حاکم در این نوع ایستگاه‌ها، دمای اندازه‌گیری شده بیشتر از ایستگاه‌های کشاورزی است. داده‌های جمع‌آوری شده در ایستگاه‌های

هواشناسی غیرکشاورزی، پیش از به‌کارگیری باید به لحاظ درستی و اعتبار ارزیابی شوند.

متأسفانه، در دشت شهرکرد همه ایستگاه‌های هواشناسی، حتی ایستگاه هواشناسی واقع در مرکز تحقیقات کشاورزی فرخشهر، از نوع غیرمرجع است و در آن‌ها هیچ‌گونه اطلاعات موثقی از دمای کانوپی وجود ندارد. این امر امکان مدل کردن و محاسبه دمای سطوح گوناگون کاربری اراضی را ناممکن کرده است. از سوی دیگر، داده‌های دمای سطح اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های سینوپتیک و کلیماتولوژی، به اندازه‌گیری کمینه دمای سطحی خاک در زمانی نامشخص در طی شبانه‌روز محدود بود که این امر امکان استفاده از داده‌های مورد نظر را برای واسنجی لایه‌های LST مستخرج از تصاویر ماهواره‌ای ناممکن می‌کرد. توجه به این نکته ضروری به نظر می‌رسد که در ایستگاه‌های غیرمرجع، بسته به فاصله ایستگاه از اراضی کشاورزی و پوشش‌های گیاهی و نیز بسته به اندازه پیکسل باندهای حرارتی ماهواره مورد استفاده، امکان تشکیل پیکسل‌های مختلط و در نتیجه، میانگین‌گیری دمای سطحی پوشش گیاهی و خاک خشک در پیکسل‌های واقع در ایستگاه هواشناسی وجود دارد. این باعث کاهش غیریکنواخت دمای این پیکسل‌ها، در مقایسه با داده‌های ایستگاه‌های زمینی، می‌شود و اصلاح و واسنجی آن‌ها را مشکل می‌کند.

همزمانی پرتاب ماهواره Landsat 8 و انجام دادن تحقیق حاضر، با توجه به کیفیت بسیار مناسب داده‌های این ماهواره و دسترسی آسان به آن‌ها، فرصت بسیار مناسبی بود که برای مطالعه فراهم شد و به نظر می‌رسد که با توجه به خصوصیات مناسب این ماهواره، شاهد استفاده روزافزون از آن در تحقیقات آتی باشیم. درمورد استفاده از تصاویر ماهواره‌ای نظیر Landsat 7، Aster، Modis و Noaa برای استخراج دمای سطح زمین، تاکنون مطالعات بسیاری صورت گرفته اما در مطالعه حاضر، یکی از تنگناهای استفاده از داده‌های ماهواره Landsat 8، با توجه به جدید بودن آن، نبود

لخت و بوته زارها در اکوسیستم‌های خشک مقایسه شده‌اند. LST استخراجی از تصاویر بالاتر بودن دمای سطحی زمین در بوته زارها را در مقایسه با ماسه‌های لخت نشان می‌دهد. او جهت محاسبه LST از سه فاکتور گسیلندگی، عبور و دمای میانگین مؤثر اتمسفر، و برای شبیه‌سازی شرایط اتمسفری منطقه از برنامه LOWTRAN 7 در محاسبات خود استفاده کرد. در نهایت، خطای LST حاصل با تصحیح خطاهای اتمسفری به کمترین میزان رسید و دامنه خطا ± 4 K محاسبه شد. در تحقیق دیگری ونگ و همکاران (2003)^۳ از داده‌های ETM+ ماهواره Landsat 7 و الگوریتم تک‌پنجره‌ای اقدام به استخراج LST و شناسایی جزایر حرارتی شهر کردند. پیش‌تر نیز، میلر و میلیس (1989)^۴ برای برآورد تبخیر و تعرق نقشه توزیع دمای سطح دریاچه The great salt lake، واقع در ایالت یوتا (ایالات متحده) را با استفاده از تصویر TM استخراج کردند. نتایج همبستگی عموماً بسیار خوب ارزیابی شدند. تحقیقات یانگ و وانگ (۲۰۰۲) در مناطق جنوبی نیوانگلند به ارائه رابطه‌ای برای تعیین دمای سطح از دمای درخشندگی باند شش تصویر ETM+ انجامید. در این تحقیق، از یک گذر تصویر و اطلاعات همزمان در ۱۵ ایستگاه زمینی استفاده شده و بیشترین خطای به دست آمده معادل ۰.۸ درجه سانتیگراد است. استفاده از دو یا چند تصویر همزمان یا به‌کارگیری دو یا چند باند حرارتی از یک تصویر، نخستین بار از سوی سینگ (۱۹۸۴)^۵ معرفی شد و در آن از تصویربرداری همزمان از یک منطقه استفاده می‌شود. در روش پنجره مجزا یا دوباندی، همان‌طور که از نام آن بر می‌آید، از دو باند طیف الکترومغناطیس برای محاسبه LST

مطالعه و الگوریتم مشخصی برای محاسبه دمای سطح زمین به وسیله داده‌های این ماهواره بود که این امر مشکلات بسیاری را برای تصحیح اتمسفریک باندهای حرارتی این ماهواره نیز پدید آورد. در تصاویر ماهواره‌ای که باندهای حرارتی دارند، سنجنده‌های فرسوخ می‌توانند در محدوده‌های طیفی مناسب، حرارت تابشی سطح زمین را دریافت و به صورت تصاویر رقومی ذخیره و به زمین مخابره کنند. به منظور استخراج دقیق دمای سطحی از محدوده‌های طیفی استفاده می‌شود که جو زمین شفاف باشد. این محدوده‌ها را پنجره‌های اتمسفری می‌نامند. با این حال، باز هم اتمسفر تأثیراتی بر تصاویر دارد که نمی‌شود از آن‌ها چشم‌پوشی کرد و باید اصلاح شوند. بدین منظور، امروزه روش‌های بسیاری از سوی محققان گوناگون ارائه شده که براساس داده‌های سنجش از دور، به محاسبه دمای سطح زمین اقدام می‌کنند. تفاوت این روش‌ها در تعداد باندهای مورد استفاده در محاسبات، تعداد فاکتورهای مورد استفاده در محاسبه گسیلندگی اتمسفر و سطح زمین و الگوریتم‌های ریاضی و روش‌های آماری برای تعیین ضرایب و ثابت‌های محاسباتی است.

در این زمینه دو شیوه معمول وجود دارد:

- الگوریتم تک‌پنجره‌ای^۱: شبیه‌سازی اتمسفر LOWTRAN و MODTRAN؛
- پنجره مجزا: استفاده از دو یا چند تصویر همزمان یا به‌کارگیری دو یا چند باند حرارتی از یک تصویر. در روش تک‌پنجره‌ای معمولاً برای تخمین میزان عبور یا انتقال اتمسفر، از مدل‌های شبیه‌سازی شرایط اتمسفری از قبیل MODTRAN و LOWTRAN، استفاده می‌شود. بخار آب اتمسفر بیشترین تأثیر را در تعیین عبور اتمسفر دارد (Sobrino et al., 1991; Cracknell, 1997). در سال ۲۰۰۱، کین و همکاران^۲ با استفاده از الگوریتم تک‌پنجره‌ای، دمای سطحی زمین را از باند شماره ۶ تصاویر TM استخراج کردند. در این تحقیق، دمای سطحی زمین‌های ماسه‌ای، زمین‌های

1. mono-Window window algorithm
 2. Qin et al.
 3. Weng et al., 2003
 4. Millis & Miller, et al., 1989
 5. Singh, 1984

آن برنامه‌ها و نرم‌افزارهای پیچیده ممکن نیست. در مقابل، در روش پنجره مجزا نیاز به اطلاعات زمینی برای واسنجی دمای سطح مرتفع شده و دمای سطح مستقل از برداشت‌های زمینی به وسیله سنجش از دور تعیین می‌شود. اما در هر دو روش، گسیلندگی سطحی باید محاسبه شود. گسیلندگی سطحی به صورت نسبت انرژی گرمایی تابیده شده به وسیله سطح به انرژی گرمایی تابیده شده به وسیله جسم سیاه در همان دما تعریف می‌شود و به دو صورت محاسبه می‌شود. نخستین گسیلندگی معرف رفتار سطحی برای گسیل حرارتی در باند کم‌پهنای حرارتی است که با علامت ϵ_{NB} نشان داده می‌شود. دومین گسیلندگی معرف رفتار سطحی برای گسیل حرارتی در محدوده وسیع حرارتی از ۶ تا ۱۴ میکرومتر است که با علامت ϵ_0 نشان داده می‌شود.

مطالعه حاضر، در واقع، بخشی از تحقیقی با هدف برآورد تبخیر و تعرق، با استفاده از الگوریتم بیلان انرژی است که در آن از یکسو محاسبه گرادیان حرارتی بین سطح زمین و ارتفاع دومتری در کاربری‌های مختلف، و از سوی دیگر، میزان اختلاف دمای سطوح گوناگون کاربری اهمیت بسیاری دارد و در مقادیر محاسبه شده نهایی تأثیر بسیار می‌گذارد.

در این مطالعه، با لحاظ کردن نیازهای اطلاعاتی تحقیق و مشکلات و تنگناهای موجود، و با توجه به وجود دو باند حرارتی در ماهواره Landsat 8، سعی شد از الگوریتم دوپنجره‌ای برای تبدیل دمای درخشندگی سطح به دمای سطح زمین، جهت محاسبه LST در ۹ تاریخ مختلف سال ۲۰۱۳ استفاده شود و به منظور محاسبه گسیلندگی سطحی نیز روش پیشنهادی الگوریتم سبال به کار رود. با توجه به نبود ایستگاه‌های

استفاده می‌شود. در مطالعه‌ای در کشور چین، هو و همکاران (۲۰۰۶)^۱ با استفاده از باندهای شماره ۴ و ۵ تصاویر سنجنده AVHRR ماهواره NOAA 5، دمای سطح زمین را استخراج کردند. LST استخراج شده با دمای سطحی محاسبه شده در ۲۵۷ ایستگاه هواشناسی مقایسه شد و همبستگی ۰.۹۰٪ به دست آمد که به طور میانگین، خطای محاسباتی (RMSE) حدود ۳.۴ کلون محاسبه شد. در سال ۱۹۹۵ نیز، با استفاده از باندهای حرارتی NOAA-AVHRR و الگوریتم دوپنجره‌ای، نقشه توزیع دمای سطح دریاچه بایکال به وسیله بولگرین و همکاران^۲ تهیه شد. در این مطالعه چرخه حرارتی فصلی، پوشش یخی، جبهه‌های حرارتی و چگونگی پراکنش آب رودخانه مورد مطالعه قرار گرفت. لیو و همکاران (۲۰۰۷)^۳ با استفاده همزمان از ماهواره‌های MODIS و ASTER، دمای سطح زمین را مطالعه کردند. در این مطالعه، سه روش وان و همکاران^۴، وان و همکاران (اصلاح شده)^۴ و روش عمومی دوپنجره‌ای^۵ بررسی شدند و هر سه رویکرد ناهمخوانی حدود ۳ درجه کلون را، که بین ASTER و MODIS بود، به شکل مؤثری کاهش دادند. خطای موجود از مقدار 2.7 ± 1.28 K، به ترتیب به 0.1 ± 1.87 K، 0.2 ± 1.57 K، 0.1 ± 1.33 K کاهش یافت و مقادیر RMSE نیز، از مقدار 3.02 K تا 2.44 K، به ترتیب به مقادیر 1.92 K تا 1.87 K، 1.74 K تا 1.58 K و 1.39 K تا 1.34 K رسید. در این میان، روش GSW بهترین نتیجه را از نظر میانگین، انحراف معیار، RMSE و ضریب همبستگی نشان داد. خیمنس مونیوس و سوبرینو (۲۰۰۷)^۶ امکان تهیه دمای سطح زمین از باندهای حرارتی ASTER را با استفاده از روش دوپنجره‌ای مورد مطالعه قرار دادند و نتایج نشان داد که دقت LST تولید شده با این روش در حد ۱.۵ درجه کلون است.

در روش تک‌پنجره‌ای با توجه به استفاده آن از مدل‌های شبیه‌ساز اتمسفری، نیاز به شناخت کافی از مشخصات اتمسفر در ایستگاه‌های زمینی است که معمولاً هم دسترسی به این اطلاعات و هم دستیابی به

1. Hu et al., 2003
2. Bolgrien et al., 1995
3. Wan et al.
4. Refined Wan et al.
5. generalized split window (GSW)
6. Jimenez-Munoz & Sobrino (2007)

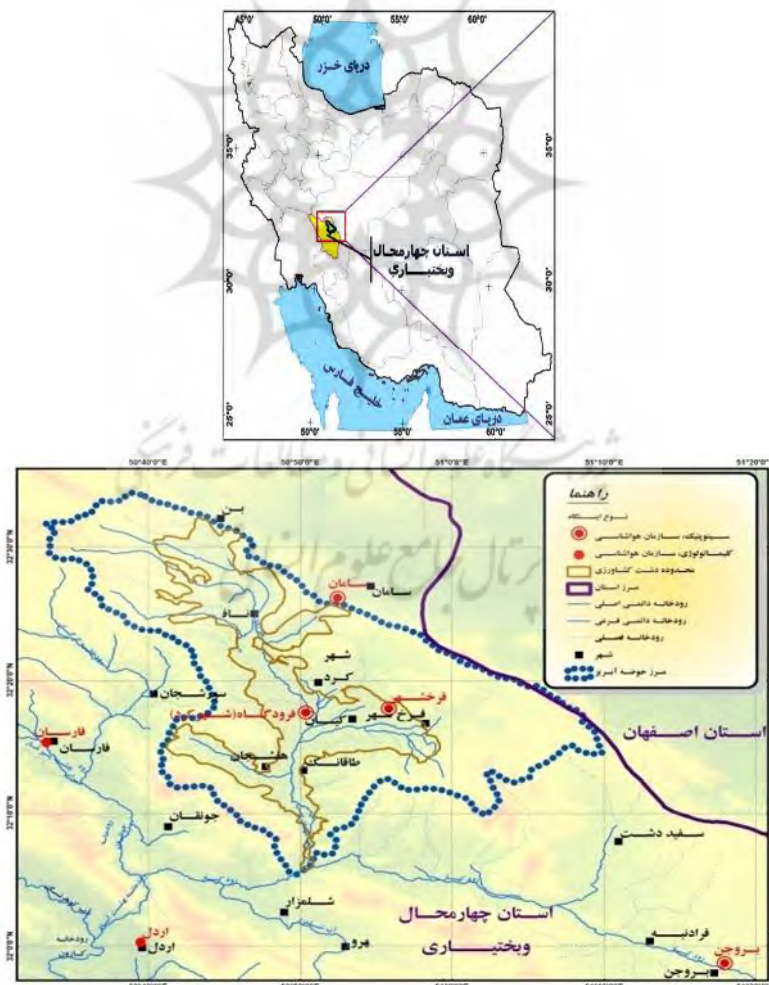
مطالعه در استان چهارمحال و بختیاری و در جنوب غرب اصفهان قرار دارد و شامل دشت شهرکرد است. این دشت با امتداد شمال غرب جنوب شرق، در فاصله بین ۳۲ درجه و ۷ دقیقه تا ۳۲ درجه و ۳۵ دقیقه عرض شمالی و ۵۰ درجه و ۳۸ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۱۰ دقیقه طول شرقی قرار دارد. بررسی درازمدت میانگین دمای ماهانه نشان می دهد که ماه ژانویه سردترین و ماه ژوئیه گرم ترین ماه سال است. بیشترین دما معادل ۴۲ درجه سانتیگراد در ماه ژوئیه سال ۱۹۷۷ و کمترین آن معادل ۳۲- درجه سانتیگراد در ماه فوریه سال ۱۹۷۴ گزارش شده است.

هواشناسی مرجع، به منظور جلوگیری از انتشار خطا و نیز حفظ تغییرات نسبی دمای سطوح گیاهی و خاکی و با توجه به اینکه دمای ثبت شده برای عوارض مختلف داخل یک تصویر ماهواره ای، نظیر پوشش های گیاهی و خاکی، کمترین خطای نسبی را دارد، از روش محاسبه خطای انحراف برای اصلاح و واسنجی دمای سطح زمین ماهواره Landsat 8 و تهیه لایه میانگین دمای سطح زمین روزانه استفاده شد.

۲- مواد و روش ها

۲-۱- محدوده مطالعاتی

همان طور که در شکل ۱ مشاهده می شود، ناحیه مورد



شکل ۱. موقعیت دشت کشاورزی شهرکرد در محدوده مطالعاتی و ایران

۲-۲- داده‌های مورد استفاده

الف) داده‌ها و اطلاعات زمینی

ایستگاه‌های غیرمرجع مورد استفاده برای تهیه سطح دمای روزانه دشت شهرکرد شامل ایستگاه خودکار هواشناسی فرخشهر و ایستگاه‌های سینوپتیک و کلیماتولوژی فرخشهر، شهرکرد، بروجن، سامان، اردل و فارسان بود. در ایستگاه‌های یادشده داده‌های دمای هوا و دمای سطح زمین جمع‌آوری و پس از یکسان‌سازی فرمت داده‌ها در بانک اطلاعاتی طرح قرار داده شد. فراوانی قرائت روزانه این داده‌ها در ایستگاه‌های واقع در محدوده مطالعاتی در جدول ۱ آورده شده است.

ب) داده‌ها و اطلاعات دریافتی از تصاویر ماهواره‌ای

ماهواره Landsat 8 در یازدهم فوریه ۲۰۱۳ راه‌اندازی شد. این هشتمین ماهواره در برنامه ماهواره‌های لندست و هفتمین ماهواره‌ای است که با موفقیت به مدار رسیده است. این داده‌ها دارای تفکیک زمانی شانزده‌روزه‌اند و تفکیک مکانی آن‌ها از ۱۵ تا ۱۰۰ متر در طول موج‌های مرئی، فروسرخ و فروسرخ حرارتی (دو باند) متغیر است.

۲-۳- روش کار

رویه‌ای که در این تحقیق، برای حل مشکلات موجود و تهیه و واسنجی دمای سطح زمین با استفاده از تصاویر Landsat 8 استفاده شد، به شرح ذیل است:
- استفاده از الگوریتم پنجره مجزا به منظور حذف اثر اتمسفری روی باندهای حرارتی ماهواره Landsat 8، با استفاده از الگوریتم آزموده‌شده روی داده‌های ماهواره NOAA-AVHRR و محاسبه گسیلندگی سطح زمین با استفاده از روش پیشنهادی سبال.

جدول ۱. فراوانی قرائت روزانه هر یک از داده‌های هواشناسی در ایستگاه‌های واقع در محدوده مطالعاتی

ایستگاه خودکار		سینوپتیک و کلیماتولوژی						نوع ایستگاه	
سامان	فارسان	فرخشهر	شهرکرد	سامان	بروجن	فارسان	اردل	فرخشهر	نام ایستگاه
۱۴۴	۱۴۴	۱۴۴	۸	۸	۸	۵	۸	۳	دمای هوا
N	N	۱۴۴	۱	۱	۱	۱	۱	۱	کمینه دمای سطحی خاک

- اعداد داخل جدول تعداد رکوردهای ثبت‌شده داده در طی یک روز است.

- N: نبود داده برای پارامتر مورد نظر.

- کمینه دمای سطحی خاک کمترین دمای روزانه سطحی خاک است و ساعت مشخصی ندارد.

- در ایستگاه فرخشهر، افزون بر دمای کمینه، دمای بیشینه روزانه نیز برداشت شده است.

- در ایستگاه‌های خودکار فارسان و سامان، به دلیل نقص دستگاه، از ماه هشتم به بعد تمامی اطلاعات به هم ریخته و غیر قابل استفاده است.

1. thermal infraRed sensor
2. operational land imager

برای تهیه دمای سطح زمین از ماهواره Landsat 8، نخست DN باندهای حرارتی به رادیانس، و سپس با معکوس کردن تابع رادیانس پلانک یا استفاده از رابطه (۱) به دمای درخشندگی تبدیل شد (Landsat 8 2015 Data Users Handbook).

رابطه (۱) $T_b = K_2 / (LN(((K_1 * \epsilon NB) / L\lambda) + 1))$ دمای درخشندگی (K)، $L\lambda$ رادیانس باند حرارتی- تشعشع رسیده به سنجنده ($mWcm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}$)، ϵNB گسیلندگی باند کم پهنای K_1 و K_2 ثابت کالیبراسیون سنجنده است.

در این مدل، برای محاسبه گسیلندگی ماهواره Landsat 8 از روش توصیه شده در مدل سیال (Alen et al., 2002) استفاده شد. بدین منظور، با توجه به کوهستانی بودن منطقه و ثابت نبودن زاویه تابش فرودی^۲، ابتدا با استفاده از مدل دافی و بکمن (1991)^۳ برای محاسبه $Cos\theta$ و اصلاح رفلکتانس^۴ ورودی اقدام و سپس گسیلندگی های کم پهنای حرارت سطحی براساس پوشش سطح زمین و با استفاده از روابط تجربی ارائه شده در جدول ۲ محاسبه شد.

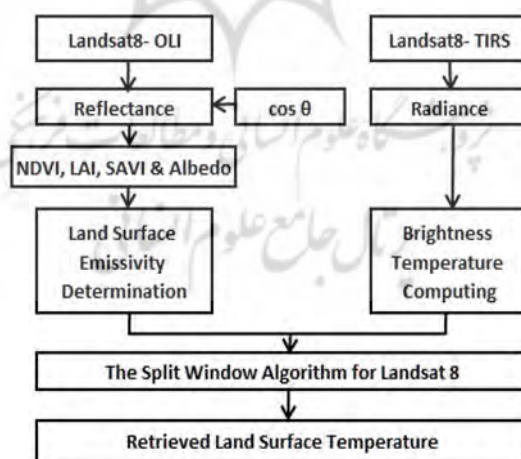
- بازسازی دمای سطح زمین در محل ایستگاه های هواشناسی با استفاده از داده های کمینه (و در برخی موارد، بیشینه) دمای سطحی و تنها ایستگاه خودکار موجود به منظور محاسبه ایستگاهی دمای روزانه سطح زمین و لحظه عبور ماهواره.

- محاسبه خطای انحراف هر روز-تصویر و جمع جبری آن با دمای به دست آمده از سطح زمین، از طریق داده های ماهواره ای، به منظور محاسبه دمای روزانه سطح زمین و لحظه عبور ماهواره.

۲-۳-۱- تهیه لایه دمای سطحی با استفاده از

باند های حرارتی ماهواره Landsat 8

در این مطالعه برای تهیه دمای سطح زمین، از باندهای مربوط به حسگرهای OLI و TIRS ماهواره Landsat 8 استفاده شد. داده های حسگر OLI بیشتر جهت محاسبه گسیلندگی سطحی و از حسگر TIRS این ماهواره با هدف استخراج دمای درخشندگی سطح مورد استفاده قرار گرفت. در شکل ۲ رویه کلی استخراج دمای سطح زمین در این مطالعه نمایش داده شده است:



شکل ۲. رویه کلی استخراج دمای سطح زمین با استفاده از ماهواره Landsat 8 در مطالعه حاضر

1. narrow band
2. solar incidence angle
3. Duffie and Beckman, 1991
4. reflectance

جدول ۲. گسیلندگی‌های سطحی در باند کم‌پهنای حرارتی براساس پوشش سطح زمین

$NDVI \geq 0$	$LAI < 3$	$\varepsilon_{NB} = 0.97 + 0.0033 \times LAI$
	$LAI \geq 3$	$\varepsilon_{NB} = 0.98$
$NDVI < 0$	برای آب ($\alpha < 0.47$) و برف ($\alpha \geq 0.47$)	$\varepsilon_{NB} = 0.99$

مشکل، باندهای حرارتی این ماهواره با ماهواره‌های موجود مورد مقایسه قرار گرفت و با توجه به شباهت بسیار باندهای حرارتی Landsat 8 و ماهواره NOAA، از الگوریتم پنجره مجزای این ماهواره (Brivio et al., 2006) برای محاسبه دمای سطح زمین و حذف اثر اتمسفری روی باندهای حرارتی در ماهواره Landsat 8 استفاده شد

$$T_s(^{\circ}K) = T_{bpt} + [0.36 + 0.65(T_{bpt} - T_{bmt})](T_{bpt} - T_{bmt}) + 1.4 \quad \text{رابطه (۲)}$$

T_{bpt} : دمای تابشی ماهواره در شرایط اتمسفری با شفافیت بیشتر - B10

T_{bmt} : دمای تابشی ماهواره در شرایط اتمسفری با شفافیت کمتر - B11

۲-۳-۲- بازسازی و محاسبه دمای سطحی لحظه

عبور ماهواره و محاسبه دمای سطحی روزانه ایستگاه‌ها

- استخراج کمینه و بیشینه دمای سطح زمین ایستگاه خودکار و کلیماتولوژی فرخ‌شهر و ایجاد رابطه رگرسیونی بین آن‌ها.

- واسنجی دمای سطح زمین ایستگاه خودکار با استفاده از داده‌های کمینه و بیشینه کلیماتولوژیک موجود. تا این مرحله داده‌های ده دقیقه‌ای ایستگاه خودکار واسنجی شده‌اند.

در جدول ۲، $NDVI^1$ شاخصی عددی برای تشخیص پوشش گیاهی زنده و سالم است و برای تهیه آن از باندهای ۴ و ۵ استفاده شد (Rouse et al., 1973). شاخص سطح برگ یا LAI^2 نشان‌دهنده بیومس^۳ و مقاومت تاج پوشش گیاهی است و به صورت نسبت مساحت کل برگ‌های گیاه به سطح زمین پوشانده شده به وسیله آن گیاه تعریف می‌شود. در این مطالعه، شاخص سطح برگ با استفاده از رابطه کلی SAVI- LAI به دست آمد (Choudhury et al., 1994) و برای تهیه SAVI یا شاخص اصلاح‌شده تعدیل خاک گیاه (Huete et al., 1988) از رابطه 2 MSAVI (Qi et al., 1994 b) استفاده شد. شایان ذکر است که در مطالعات کی و همکاران، نتایج حاصل از SAVI، MSAVI و 2 MSAVI نزدیک به هم گزارش شده است. آلبیدو سطحی یا α نیز به صورت نسبت تابش الکترومغناطیسی خورشیدی بازتابیده از سطح خاک و گیاه بر تابش ورودی تعریف می‌شود (Jensen et al., 1990). بسته به نوع گیاه، آلبیدو متفاوت است و حتی برای یک گیاه نیز در طول فصل رشد تغییر می‌کند. در این تحقیق، لایه آلبیدوی سطحی ماهواره Landsat 8 بعد از محاسبه ضرایب وزنی هر باند با استفاده از میانگین تابش برون اتمسفری (ESUN)، با تصحیح مقدار $atmo^4$ برای آثار شفافیت جوی و با استفاده از روش پیشنهادی جنسن و همکاران تهیه شد.

پس از محاسبه دمای درخشندگی برای هر یک از باندهای حرارتی، با توجه به وجود دو باند حرارتی در تصویر ماهواره‌ای Landsat 8، امکان استفاده از الگوریتم پنجره مجزا میسر است. همان‌گونه که عنوان شد، با توجه به نبود مطالعه مشخصی در این زمینه، برای حل

1. normalized difference vegetation index
2. leaf area index
3. biomass
4. top of atmosphere albedo

بنابراین، رویه ذیل جهت محاسبه خطای انحراف استفاده شد:

- تعیین رابطه رگرسیونی LST ماهواره و دمای لحظه عبور براساس محاسبات مرحله پیش برای هر ایستگاه، به صورت جداگانه.

- استفاده از رابطه رگرسیونی هر ایستگاه برای پیش‌بینی دما در دیگر ایستگاه‌ها.

- محاسبه باقی‌مانده خطا در همه روابط رگرسیونی و ایستگاه‌ها در مقایسه با داده‌های زمینی زمان عبور ماهواره.

- میانگین‌گیری از باقی‌مانده‌های خطا در هر تاریخ، برای محاسبه خطای انحراف در هر روز-تصویر.

۲-۳-۴- تهیه لایه میانگین دمای سطحی روزانه به منظور تهیه لایه میانگین روزانه دمای سطح زمین نیز مشابه رویه‌ای که در مرحله پیشین گفتیم، عمل شد. با این تفاوت که این بار از رابطه رگرسیونی بین لایه LST تصاویر Landsat 8 واسنجی‌شده در مرحله قبل با میانگین دمای روزانه سطح زمین برای هر یک از ایستگاه‌ها به طور جداگانه استفاده شد.

۳- نتایج

۳-۱- تهیه لایه دمای سطح زمین با استفاده از باندهای حرارتی ماهواره
در این مرحله، دمای سطحی زمین از تصاویر ماهواره Landsat 8 با رویه توضیح داده‌شده در قسمت روش کار، استخراج شد.

- استفاده از داده‌های واسنجی‌شده ایستگاه خودکار به منظور بازسازی داده‌های دمای سطحی دیگر ایستگاه‌های منطقه.

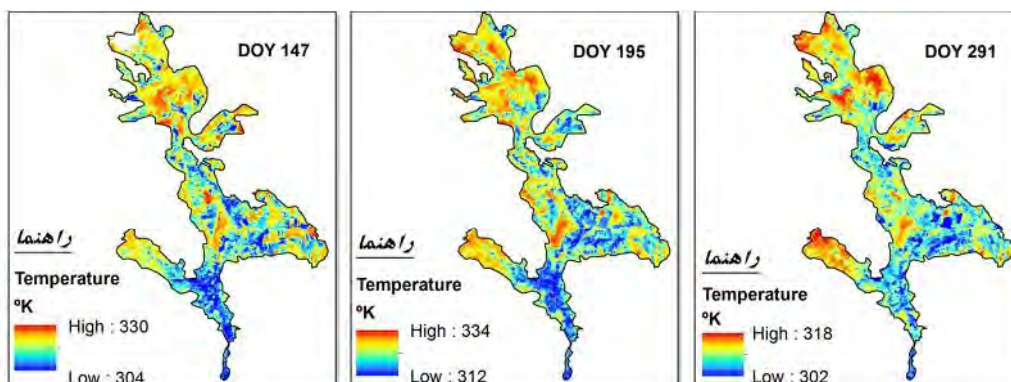
- محاسبه دمای سطح زمین در لحظه عبور ماهواره در هر یک از ایستگاه‌ها.

- میانگین‌گیری از داده‌های محاسبه‌شده به منظور محاسبه دمای روزانه سطح زمین در ایستگاه‌ها.

۲-۳-۳- واسنجی لایه دمای سطحی ماهواره

لندست ۸

پس از تهیه لایه دمای سطح زمین با استفاده از تصاویر Landsat 8، این لایه با داده‌های ایستگاهی دمای سطح زمین لحظه عبور ماهواره واسنجی شد. در این مطالعه، رویه‌ای که برای واسنجی لایه دمای لحظه‌ای مدنظر بود، ایجاد رابطه رگرسیونی داده‌های بازسازی‌شده لحظه‌ای ایستگاهی (شش ایستگاه) و LST تهیه‌شده با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، آن هم به صورت روزانه، بود. متأسفانه در محل ایستگاه‌های هواشناسی غیرمرجع، به دلیل مسائلی نظیر اختلاط عوارض پوشش گیاهی و خاکی پیکسل ماهواره در محل ایستگاه (میانگین‌گیری دمای سطوح گیاهی و خاکی) و نیز خطاهای انسانی و دستگاهی، همبستگی مناسبی بین آن‌ها مشاهده نشد. در مقابل، هر یک از ایستگاه‌ها به تنهایی در تاریخ‌های مختلف با LST به دست آمده از تصاویر ماهواره‌ای همبستگی مناسبی را نشان دادند.



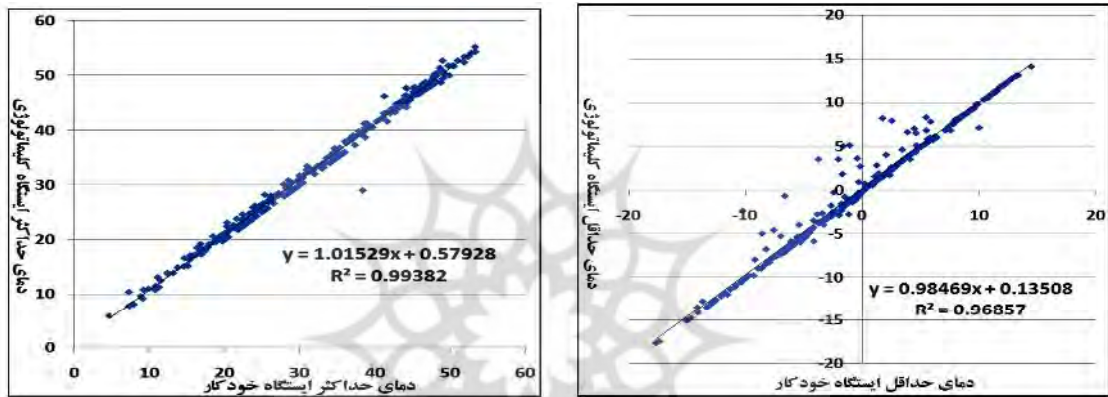
شکل ۳. لایه دمای سطح زمین تهیه‌شده با استفاده از تصاویر Landsat 8 در سه تاریخ منتخب

آورده شده است. در شکل ۵ نیز وضعیت دمای سطحی ده دقیقه‌ای واسنجی شده ایستگاه فرخشهر در روزهای دارای تصویر ارائه شده است.

پس از واسنجی داده‌های دمای اندازه‌گیری شده سطح زمین در ایستگاه خودکار فرخشهر، از این داده‌ها برای بازسازی دمای سطح زمین دیگر ایستگاه‌های محدوده مطالعاتی استفاده شد. پارامترها و آزمون‌های آماری مورد نظر در جدول ۴ آورده شده است.

۲-۳- بازسازی و محاسبه دمای سطح زمین در لحظه عبور ماهواره و دمای روزانه سطح زمین ایستگاه‌ها

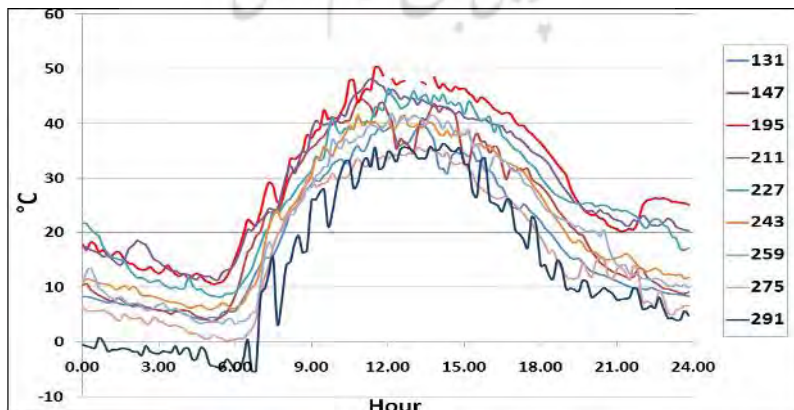
در شکل ۴ همبستگی دمای کمینه و بیشینه سطحی ایستگاه خودکار و کلیماتولوژی فرخشهر که به منظور واسنجی داده‌های ایستگاه خودکار هواشناسی فرخشهر انجام شده، ارائه شده است. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، همبستگی بسیار خوبی بین این داده‌ها وجود دارد. پارامترها و آزمون‌های آماری مربوط در جدول ۳



شکل ۴. همبستگی دمای کمینه و بیشینه سطح زمین ایستگاه خودکار و کلیماتولوژی فرخشهر

جدول ۳. پارامترها و آزمون‌های آماری مقایسه دمای کمینه سطح زمین ایستگاه خودکار فرخشهر و ایستگاه کلیماتولوژی فرخشهر

نام ایستگاه	درصد نمونه‌ها	رابطه رگرسیونی	ضریب تبیین	تعداد نمونه	بیشینه	کمینه	انحراف معیار	میانگین	Sig.
فرخشهر - بیشینه	100	$y = 1.01529x + 0.57928$	$R^2 = 0.99$	317	54.7	5.4	12.1	32.9	0.000
فرخشهر - کمینه	100	$y = 0.98469x + 0.13508$	$R^2 = 0.96$	317	14.4	-17.2	6.8	0.5	0.000

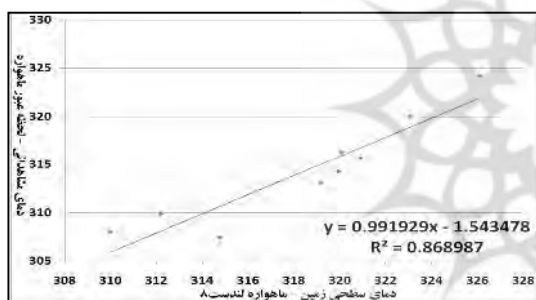


شکل ۵. وضعیت دمای سطح زمین ده دقیقه‌ای واسنجی شده ایستگاه فرخشهر در روزهای دارای تصویر

جدول ۴. پارامترها و آزمون‌های آماری مقایسه دمای کمینه سطح زمین واسنجی شده در ایستگاه خودکار فرخ شهر و دمای کمینه سطح زمین اندازه‌گیری شده در سایر ایستگاه‌های محدوده مطالعاتی

Sig.	میانگین	انحراف معیار	کمینه	بیشینه	تعداد نمونه	ضریب تبیین	رابطه رگرسیونی	درصد نمونه‌ها	نام ایستگاه
0.000	-1.2	6.5	-18.2	12.2	315	$R^2 = 0.92$	$y = 0.95925x - 1.65862$	100	شهرکرد
0.000	5.3	6.6	-12.0	18.8	315	$R^2 = 0.84$	$y = 0.972116x + 4.779338$	100	سامان
0.000	1.2	6.1	-14.6	13.7	312	$R^2 = 0.91$	$y = 0.896006x + 0.786213$	100	بروجن
0.000	2.4	7.3	-16.7	17.1	298	$R^2 = 0.93$	$y = 1.0787x + 1.6001$	100	فارسان
0.000	4.8	6.7	-12.7	18.4	312	$R^2 = 0.93$	$y = 0.982729x + 4.273718$	100	اردل

همبستگی LST تصاویر 8 Landsat و دمای سطح زمین لحظه عبور ماهواره در محل ایستگاه هواشناسی اردل برای نمونه نمایش داده شده است. مقادیر خطای انحراف محاسبه شده و پارامترها و آزمون‌های آماری مورد نظر نیز در جدول ۵ و ۷ ارائه شده است.



شکل ۶. همبستگی LST تصاویر 8 Landsat و دمای سطح زمین لحظه عبور در محل ایستگاه هواشناسی اردل

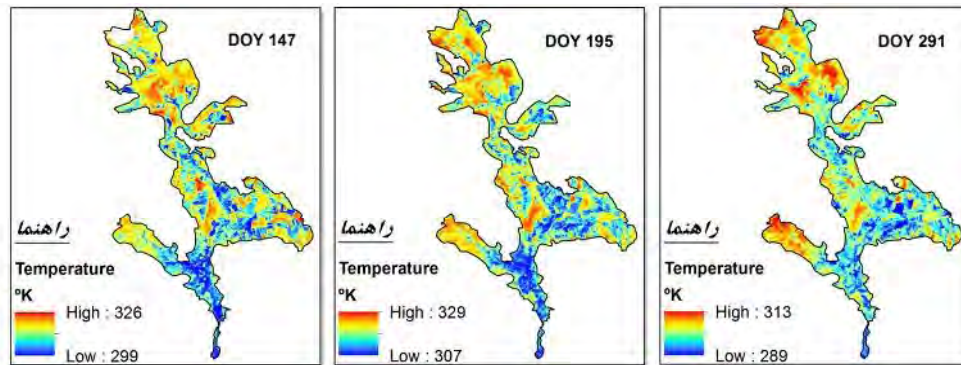
تا این مرحله داده‌های دمای سطح موجود در شش ایستگاه برای همه ساعات شبانه‌روز سال میلادی ۲۰۱۳ واسنجی و بازسازی شد و ایستگاه‌ها دارای داده‌های دمای سطحی در فواصل زمانی ده دقیقه هستند (نزدیک ۵۰۰۰۰ رکورد). با استفاده از نتایج به دست آمده، میانگین دمای سطحی برای کل روز و نیز دمای لحظه عبور ماهواره برای تمامی ایستگاه‌ها به صورت روزانه محاسبه شد.

۳-۳- واسنجی لایه دمای سطح زمین ماهواره

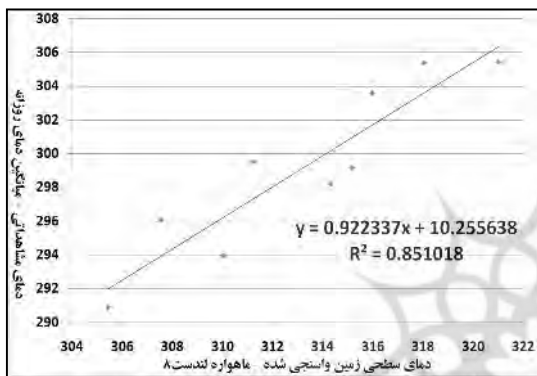
در این مطالعات براساس رویه‌ای که پیش‌تر بدان اشاره شد، با محاسبه خطای انحراف نسبت به واسنجی لایه دمای سطح زمین ماهواره 8 Landsat اقدام شد. در شکل ۶

جدول ۵. پارامترها و آزمون‌های آماری مقایسه LST تصاویر 8 Landsat و دمای سطح زمین لحظه عبور در محل هر یک از ایستگاه‌های محدوده مطالعاتی

نام ایستگاه	هدف	رابطه رگرسیونی	ضریب تبیین	تعداد نمونه	بیشینه	کمینه	انحراف معیار	میانگین	RMS E	Sig.
شهرکرد	واسنجی LST لحظه عبور	$Y = 0.86394X + 31.842389$	$R^2 = 0.81$	۹	314.6	300.6	4.7	307.8	2.2	0.000
سامان	واسنجی LST لحظه عبور	$Y = 0.983798X + 2.311684$	$R^2 = 0.83$	۹	321.2	306.0	4.8	314.7	2.2	0.000
بروجن	واسنجی LST لحظه عبور	$Y = 0.824721X + 48.304004$	$R^2 = 0.85$	۹	314.2	300.3	4.4	307.8	1.9	0.000
فارسان	واسنجی LST لحظه عبور	$Y = 1.233394X - 70.161323$	$R^2 = 0.84$	۹	324.1	308.0	5.0	316.5	2.2	0.001
اردل	واسنجی LST لحظه عبور	$Y = 0.991929X - 1.543478$	$R^2 = 0.87$	۹	321.9	305.9	5.2	314.4	2.0	0.000
فرخ‌شهر	واسنجی LST لحظه عبور	$Y = 0.891914X + 27.208494$	$R^2 = 0.86$	۹	318.3	304.1	4.6	311.8	1.9	0.000



شکل ۷. دمای واسنجی شده سطح زمین با استفاده از داده‌های دمای سطح زمین در لحظه عبور ماهواره



شکل ۸. همبستگی LST تصاویر Landsat 8 کالیبره شده و میانگین

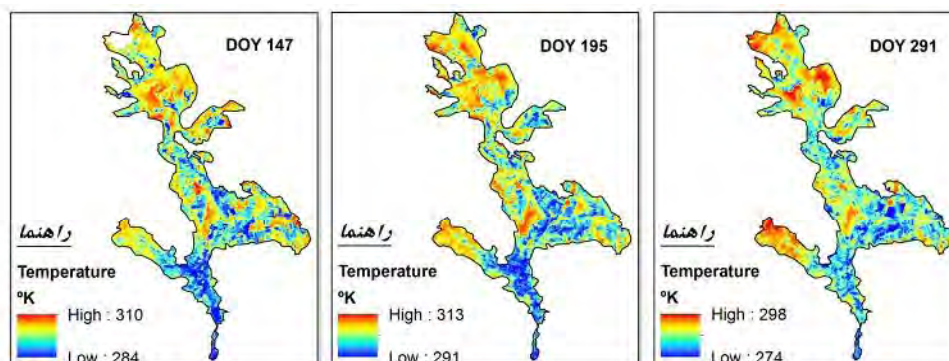
روزانه دمای سطح زمین در محل ایستگاه هواشناسی اردل

جدول ۶. پارامترها و آزمون‌های آماری مقایسه LST تصاویر Landsat 8 واسنجی شده و میانگین روزانه دمای سطح زمین در محل هر یک از ایستگاه‌های محدوده مطالعاتی

نام ایستگاه	هدف	رابطه رگرسیونی	ضریب تبیین	تعداد نمونه	بیشینه	کمینه	انحراف معیار	میانگین	Sig.
شهرکرد	تهیه LST روزانه	$Y = 0.814044X + 36.643638$	$R^2 = 0.83$	۹	298.9	286.1	4.5	292.7	0.001
سامان	تهیه LST روزانه	$Y = 0.943686X + 4.281039$	$R^2 = 0.88$	۹	305.4	291.4	4.7	299.4	0.000
بروجن	تهیه LST روزانه	$Y = 0.799835X + 45.879517$	$R^2 = 0.91$	۹	299.8	286.7	4.4	293.7	0.000
فارسان	تهیه LST روزانه	$Y = 1.281594X - 96.768807$	$R^2 = 0.80$	۹	306.7	290.5	4.9	298.6	0.001
اردل	تهیه LST روزانه	$Y = 0.922337X + 10.255638$	$R^2 = 0.85$	۹	306.3	292.0	4.6	299.1	0.000
فرخشهر	تهیه LST روزانه	$Y = 0.923126X + 5.339075$	$R^2 = 0.85$	۹	301.9	287.7	4.7	295.2	0.000

جدول ۷. خطای انحراف محاسبه شده به منظور تهیه لایه دمای لحظه عبور و میانگین روزانه سطح زمین تصاویر Landsat 8

روز ژولییوسی	انحراف دمای سطح زمین، لحظه‌ای	انحراف دمای سطح زمین، روزانه	مجموع
۱۳۱	۴.۶	۱۵.۲	۱۹.۸
۱۴۷	۴.۷	۱۵.۴	۲۰.۲
۱۹۵	۵.۰	۱۵.۸	۲۰.۹
۲۱۱	۵.۰	۱۵.۸	۲۰.۸
۲۲۷	۴.۹	۱۵.۶	۲۰.۴
۲۴۳	۴.۹	۱۵.۶	۲۰.۵
۲۵۹	۴.۸	۱۵.۵	۲۰.۳
۲۷۵	۴.۷	۱۵.۳	۲۰.۰
۲۹۱	۴.۵	۱۵.۱	۱۹.۵



شکل ۹. میانگین روزانه دمای سطح زمین در محدوده مطالعاتی در سه تاریخ منتخب

۴- بحث و نتیجه‌گیری

دست آمده رضایت‌بخش بود. نتایج حاصل در این تحقیق را در سه بخش به شرح ذیل می‌شود جمع‌بندی کرد:

۴-۱- جمع بندی نتایج بازسازی دمای لحظه عبور

ماهواره در ایستگاه‌های هواشناسی منطقه

در این مطالعه به منظور محاسبه دمای سطح زمین، لحظه عبور ماهواره و میانگین دمای روزانه در محل هر یک از ایستگاه‌ها، دمای سطح زمین در محل ایستگاه‌های هواشناسی با استفاده از تنها ایستگاه خودکار به صورت ده دقیقه‌ای بازسازی شد. در تمامی روابط رگرسیونی که با هدف واسنجی داده‌های ایستگاه خودکار فرخ شهر و بازسازی دمای سطح زمین لحظه عبور ماهواره در پنج ایستگاه دیگر استفاده شد، مقدار ضرایب تبیین بین ۰.۸ تا ۰.۹۹ قرار داشت. آزمون t نیز نشان داد که همه روابط رگرسیونی به کار رفته، از نظر آماری در سطح ۹۵٪ و حتی ۹۹٪ معنادار است که این امر اطمینانی نسبی برای استفاده از مقادیر محاسبه‌شده جهت واسنجی LST محاسبه‌شده به وسیله باندهای ماهواره پدید آورد.

۴-۲- تحلیل نتایج واسنجی دمای سطح زمین

ماهواره با داده‌های زمینی لحظه عبور

در این مرحله، با استفاده از دمای سطح زمین در لحظه عبور ماهواره که به صورت ایستگاهی در مرحله قبل محاسبه شد، لایه LST محاسبه‌شده با استفاده از

همان‌گونه که در مقدمه نیز عنوان شد، در این تحقیق، با توجه به نبود مطالعه مشخصی در زمینه محاسبه دمای سطح زمین با استفاده از باندهای حرارتی ماهواره Landsat 8، براساس دلایلی که عنوان شد، از الگوریتم دوپنجره‌ای سنجنده NOAA-AVHRR جهت تهیه LST استفاده شد. در ادامه، با توجه به نبود ایستگاه‌های هواشناسی مرجع و فقدان داده‌های مشاهده ای دمای کانوپی و سطوح خاکی در محدوده مطالعاتی، امکان ساخت مدل به منظور واسنجی LST محاسبه‌شده وجود نداشت. از سوی دیگر، دمای سطح زمین برداشت‌شده به وسیله ایستگاه‌های سینوپتیک و کلیماتولوژی محدود به کمینه دمای روزانه بود که این امر محاسبه دمای سطح زمین را در لحظه عبور ماهواره دچار مشکل کرد. که طبق روشی که در بخش مواد و روش‌ها عنوان شد، برای محاسبه دمای لحظه عبور ماهواره به صورت ایستگاهی اقدام شد. بدیهی است که در صورت وجود ایستگاه‌های هواشناسی مرجع و داده‌های دمای سطوح گوناگون پوشش گیاهی و خاکی به صورت ساعتی در محدوده مطالعاتی و نیز وجود تحقیقات مشخصی در زمینه داده‌های حرارتی ماهواره لندست ۸، این مطالعه می‌توانست با سهولت و دقت بیشتری صورت پذیرد. اما به‌رغم مشکلات، هم در مرحله واسنجی و بازسازی داده‌های ایستگاهی و هم در مرحله واسنجی دمای سطح زمین محاسبه‌شده با استفاده از داده‌های حرارتی ماهواره لندست ۸ نتایج به

۴-۳- تحلیل نتایج تهیه لایه میانگین روزانه

دمای سطح زمین

در این مرحله از لایه واسنجی شده دمای سطح زمین ماهواره Landsat 8 و میانگین روزانه دمای سطح زمین ایستگاه‌ها جهت ساخت لایه دمای سطح روزانه استفاده شد. در همه روابط رگرسیونی به کار رفته مقادیر R^2 در فاصله ۰.۸۳ تا ۰.۹۱ قرار داشت و آزمون t نیز نشان داد که روابط رگرسیونی، از نظر آماری در سطح ۰.۹۵٪ و حتی ۰.۹۹٪ معنادار است. خطای انحراف محاسبه شده نیز در این مرحله، در حدود ۱۵.۱ تا ۱۵.۸ کلوین و اختلاف آن در روز-تصویرهای مختلف کمتر از ۰.۷ کلوین بود.

با توجه به تنگناها و مشکلاتی که در این تحقیق به منظور تهیه دمای سطح زمین و نیز واسنجی آن پیش آمد و به منظور دستیابی به داده‌های دقیق‌تر دمای سطح زمین در مطالعات مختلف، به‌ویژه مطالعاتی نظیر برآورد تبخیر و تعرق واقعی با استفاده از الگوریتم بیلان انرژی، راه‌کارهای ذیل پیشنهاد می‌شود:

۱- برای واسنجی لایه دمای سطح زمین به دست آمده از مطالعات سنجش از دور، وجود داده‌های زمینی دمای سطوح پوشش گیاهی و خاکی، آن هم همزمان با عبور ماهواره جهت ساخت مدل مناسب و محاسبه دمای هوای سطوح مختلف کاربری اراضی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. بنابراین، پیشنهاد می‌شود که در ایستگاه‌های هواشناسی کشاورزی، ادوات و تجهیزات اندازه‌گیری پارامترهای هواشناسی در داخل مزرعه کار گذاشته شود.

۲- رابطه دمای سطح و دمای هوا در کاربری‌های گوناگون مورد مطالعه قرار گیرد.

۳- با توجه به اهمیت واسنجی دمای سطح زمین منتج از داده‌های ماهواره‌ای، پیشنهاد می‌شود که در ایستگاه‌های سینوپتیک و کلیماتولوژی، ثبت و گزارش داده‌های دمای سطح به صورت ساعتی انجام شود.

۴- با بهره‌گیری از تصاویر ماهواره Landsat 8 و روش پیشنهادی این مطالعه، برای محاسبه دمای سطح

باندهای حرارتی Landsat 8 واسنجی شد. در این راستا، در تمامی روابط رگرسیونی استفاده شده بین دمای سطح زمین محاسبه شده توسط باندهای ماهواره و داده‌های زمینی زمان عبور، مقادیر R^2 محاسبه شده در فاصله ۰.۸۱ تا ۰.۸۷ قرار داشت و آزمون t نیز حاکی از معنادار بودن روابط رگرسیونی به کار رفته در سطح ۰.۹۵٪ و حتی ۰.۹۹٪ بود. نکته مهم این بود که مقادیر خطای انحراف محاسبه شده در نه تصویر برداشت شده در فاصله زمانی ۱۶۰ روزه در حدود ۴.۵ تا ۵.۰ کلوین و اختلاف آن در روز-تصویرهای مختلف کمتر از ۰.۵ K بود و به نظر می‌رسد در صورت تکرار مطالعه، حتی در سایر مناطق، به‌ویژه در مناطقی که شرایط آب و هوایی مشابه دارند، مقادیر خطای انحراف محاسبه شده به مقادیر محاسبه شده در این مطالعه نزدیک باشد، که البته این امر نیازمند بررسی‌های بیشتری است.

در مطالعات پیشین که با روش پنجره مجزا انجام شده بود، مقادیر RMSE محاسبه شده، بسته به تفکیک فضایی ماهواره به کار رفته متفاوت بود. در مطالعه یانگ و همکاران (2006) با استفاده از تصاویر سنجنده AVHRR مقدار RMSE حدود ۳.۴ K به دست آمد و در مطالعه خیمنس مونیوس و سوبرینو (۲۰۰۷) با استفاده از باندهای حرارتی ASTER مقدار آن ۱.۵ گزارش شده است. در مطالعه لیو و همکاران (۲۰۰۷) که همزمان از ماهواره‌های ASTER و MODIS استفاده کردند، مقدار RMSE تصویر MODIS در محدوده ۳.۰۲ K تا ۲.۴۴ K قرار داشت که پس از اصلاح با تصویر ASTER، با استفاده از سه روش یادشده در محدوده ۱.۹۲ K تا ۱.۳۴ K قرار گرفت. در مطالعه حاضر، مقادیر RMSE در بازه ۲.۲ تا ۱.۹ کلوین محاسبه شد که با توجه به الگوریتم پنجره مجزای به کار رفته، اندازه پیکسل‌های ماهواره Landsat 8 و نبود داده‌های مشاهده‌ای اندازه‌گیری شده در لحظه عبور ماهواره، مناسب به نظر می‌رسد.

- Duffie Jone, A., & Beckman, William A., 1991, **Solar Engineering of Thermal Process**, John Wiley & Sons Inc.
- Huete, A.R., 1998, **Introduction to Vegetation Indices**, Retrieved from <http://www.start.or.th/lucddis98/huete1.htm> 6 July 2003..
- Huete, Alfredo R.A., 1988, **Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI)**, Remote sensing of environment 25.3: 295-309.
- Jensen, M.E., Burman, R.D. & Allen, R.G., 1990, **Evapotranspiration and Irrigation Water Requirements**, ASCE Manuals and Reports on Engineering, Practices NO 70. ASCE. New York.
- Jimenez-Munoz, J.C. & Sobrino, J., 2007, **Feasibility of Retrieving Land-Surface Temperature from ASTER TIR Bands Using Two-Channel Algorithms: A Case Study of Agricultural Areas**, Geoscience and Remote Sensing Letters, IEEE,4(1), 60-64.
- Liu, Y., Yamaguchi, Y. & Ke, C., 2007, **Reducing the Discrepancy Between ASTER and MODIS Land Surface Temperature Products**, Sensors, 7(12), 3043-3057.
- Miller, Woodruff & Millis, Eric, 1989, **Estimating Evaporation from Utah's Great Salt Lake Using Thermal Infrared Satellite Imagery 1**, 541-550.
- Peterson, Christopher G. & Stevenson, R. Jan, 1989, **Substratum Conditioning and Diatom Colonization in Different Current Regimes**, Journal of Phycology 25.4: 790-793.
- Qi, J., Chehbouni, A., Huete, A.R., Kerr, Y.H., 1994, **Modified Soil Adjusted Vegetation Index (MSAVI)**, Remote Sensing of Environment, 48:119-126.
- Qi, J., Kerr, Y., Chehbouni, A., 1994, **External Factor Consideration in Vegetation Index Development**, Proc. of Physical Measurements and Signatures in Remote Sensing, ISPRS, 723-730.
- Qin, Zhi-hao, Karnieli, A. & Berliner, P., 2001, **A Mono-Window Algorithm for Retrieving**
- زمین لحظه عبور ماهواره و میانگین دمای روزانه در مناطق دیگر کشور اقدام و خطاهای انحراف محاسبه شده با نتایج این مطالعه مقایسه شود.
- ۵- سپاسگزاری**
- از همه کسانی که در انجام دادن این مطالعه همکاری داشتند، به ویژه جناب آقای مهندس عبدالعلی قبادی که در مراحل مختلف مطالعه راهنمایی و کمک کردند، و از مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان چهارمحال و بختیاری و از اداره کل هواشناسی این استان و سازمان هواشناسی کشور برای در اختیار قرار دادن داده‌های مورد نیاز تقدیر و تشکر می‌کنیم.
- ۶- منابع**
- Allen, R.G., 1998, **Crop Evapotranspiration (Guidelines for Computing Crop Water Requirements)**, FAO Irrigation and Drainage Paper No.56.
- Allen, R.G., Tasumi, M., Trezza, R., Waters, R. & Bastiaanssen, W., 2002, **SEBAL (Surface Energy Balance Algorithms for Land)**, Advance Training and Users Manual-Idaho Implementation, version, 1, 97.
- Bolgrien, D.W., Granin, N.G. & Levin, L., 1995, **Surface Temperature Dynamics of Lake Baikal Observed from AVHRR Images**, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 61: 211-216.
- Brivio, P.A., Zilioli, E. & Lechi, G.L., 2006, **Principi e Metodi di Telerilevamento**, CittàStudi.
- Choudhury, Bhaskar J. et al., 1994, **Relations Between Evaporation Coefficients and Vegetation Indices Studied by Model Simulations**, Remote sensing of environment, 50.1: 1-17.
- Cracknell, A.P., 1997, **The Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR)**, Taylor & Francis Ltd., London, U.K., 534 pp.

- Weng, Q., 2003, **Fractal Analysis of Satellite-Detected Urban Heat Island Effect**, Photogrammetric engineering & remote sensing 69.5: 555-566.
- Yang, H. & Zhongdong, Y, 2006, **A Modified Land Surface Temperature Split Window Retrieval Algorithm and Its Applications Over China**, Global and Planetary Change 52.1: 207-215.
- Yang, J. & Wang, Y.Q., 2002, **Estimation of Land Surface Temperature Using Landsat-7 ETM+ Thermal Infrared and Weather Station Data**, Available on the http://www.ltrs.uri.edu/research/LST_page/paper4.doc
- Land Surface Temperature from Landsat TM Data and Its Application to the Israel-Egypt Border Region**, International Journal of Remote Sensing, 22.18: 3719-3746.
- Rouse Jr, J., Haas, R.H., Schell, J.A. & Deering, D.W., 1973, **Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS**, NASA special publication, 351, 309.
- Singh, S.M., 1984, **Removal of Atmospheric Effects on a Pixel by Pixel Basis from the Thermal Infrared Data from Instruments on Satellites**, The Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR). International Journal of Remote Sensing. Vol.5, pp. 161-183.
- Sobrino, JoséA, Coll, César & Caselles, Vicente, 1991, **Atmospheric Correction for Land Surface Temperature Using NOAA-11 AVHRR Channels 4 and 5**, Remote sensing of environment, 38.1: 19-34.

