


Estimation of monthly mean minimum and maximum air temperature using MODIS LST data over Yazd province

Shirgholami, M.R.¹ 

1. Ph.D. of Climatology - Head of Applied Meteorology Development Group, Yazd Meteorological Office, Yazd, Iran.

Corresponding Author E-mail: mrshirgholami@yahoo.com

(Received: 17 Mar 2024, Revised: 14 May 2024, Accepted: 07 Jul 2024, Published online: 07 Jul 2024)

Abstract

Continuous monitoring of temperature in extreme areas, such as mountainous and desert regions, is hampered with insufficient or sparse distribution of meteorological stations, as well as the complexity of interpolating existing station data. For this reason, the use of satellite remote sensing data has increased significantly in recent years. In this study, the daily LST data (daytime and nighttime) obtained from the MODIS Aqua satellite in the period from 2003 to 2019 at 1-km resolution, as well as the meteorological data of 11 synoptic stations, were used to estimate the air temperature in Yazd province. The assessment of the relationship between the mean monthly LST (day/night) and the mean monthly air temperature (maximum/minimum) indicated a strong correlation between them. The coefficient of determination (R^2) values between LST daytime and maximum air temperature varied from 0.989 to 0.997 and between LST nighttime and minimum air temperature from 0.991 to 0.999. Therefore, according to the suitable spatial coverage of MODIS LST, it is possible to estimate the air temperature for different cells of Yazd province using the linear regression equation. In addition, the results indicated that the RMSE values at night were much smaller than the values during the day. Therefore, it is possible to retrieve the land surface temperature at night with a much higher accuracy than during the day. The findings of this research also showed that the estimated air temperature and LST have similar seasonal cycles. Although the difference between these two variables is greater during the day than at night. These differences between the air temperature and LST increase in the summer season (June to August).

Keywords: Remote sensing, weather station data, validation, linear regression, spatial distribution

برآورد میانگین ماهانه دمای کمینه و بیشینه هوا با استفاده از داده‌های دمای رویه زمین سنجنده مودیس (MODIS LST) در استان یزد

محمد رضا شیرغلامی^۱

۱. دکترای آب و هواشناسی - رییس گروه توسعه هواشناسی کاربردی، اداره کل هواشناسی یزد، یزد، ایران.

رایانامه نویسنده مسئول: mrrshirgholami@yahoo.com

(دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۲۷، بازنگری: ۱۴۰۳/۰۲/۲۵، پذیرش: ۱۴۰۳/۰۴/۱۷، انتشار آنلاین: ۱۴۰۳/۰۴/۱۷)

چکیده

پایش پیوسته دما در محیط‌های دوردست، مانند مناطق کوهستانی و بیابانی با توجه به توزیع ناکافی و یا پراکنده ایستگاه‌های هواشناسی و همچنین پیچیدگی درونیابی داده‌های ایستگاهی موجود با محدودیت مواجه است. به همین دلیل استفاده از داده‌های سنجنش‌ازدور ماهواره‌ای در سالیان اخیر افزایش فزاینده‌ای داشته است. در این مطالعه، از داده‌های روزانه دمای رویه زمین (روز و شب) به‌دست‌آمده از سنجنده مودیس آکوا در بازه زمانی ۱۸ ساله با قدرت تفکیک یک کیلومتر و همچنین داده‌های ۱۱ ایستگاه همدیدی، برای برآورد دمای هوا در استان یزد استفاده شد. واکاوی رابطه بین میانگین ماهانه دمای رویه زمین (روز/شب) و میانگین ماهانه دمای هوا (بیشینه/کمینه) حاکی از همبستگی قوی بین آن‌ها بود. مقادیر ضریب تعیین (R^2) بین دمای رویه زمین روز/هنگام و دمای بیشینه هوا از ۰/۹۸۹ تا ۰/۹۹۷ و برای دمای رویه زمین شب هنگام و دمای کمینه هوا از ۰/۹۹۱ تا ۰/۹۹۹ متغیر است. بنابراین با توجه به پوشش فضایی خوب داده‌های دمای رویه زمین سنجنده مودیس، می‌توان با استفاده از معادله رگرسیون خطی دمای هوا را برای یاخته‌های مختلف استان یزد محاسبه کرد. علاوه بر این نتایج حاکی از آن بود که مقادیر آماره RMSE در شب بسیار کوچکتر از مقادیر آن در روز بود. بنابراین بازایی دمای رویه زمین به هنگام شب نسبت به داده‌های روز، با دقت بسیار بهتری امکان‌پذیر می‌باشد. یافته‌های پژوهش حاضر همچنین نشان داد که دمای هوای برآورد شده و دمای رویه زمین دارای چرخه‌های فصلی مشابه هستند. اگرچه اختلاف این دو متغیر در روز بیشتر از شب است. این تفاوت‌ها بین دمای هوا و دمای رویه زمین در فصل تابستان (ژوئن تا آگوست) افزایش می‌یابد.

کلیدواژه‌ها: سنجنش‌ازدور، داده‌های ایستگاه هواشناسی، صحت‌سنجی، رگرسیون خطی، توزیع مکانی

۱. مقدمه

دما یک متغیر آب و هواشناسی مهم است که هم در پیش-بینی‌های جوی و اقلیمی و هم در اکثر مطالعات تغییرات اقلیمی به دلیل در دسترس بودن داده‌های طولانی مدت و پیوسته، مورد توجه قرار می‌گیرد. برآوردهای قابل اعتماد از دمای هوای و تغییرات روزانه آن برای درک کافی بیابان انرژی سطح و اندرکنش‌های زمین و جو، پایش جزیره گرمایی شهری و ارزیابی تغییرات آب و هوایی حیاتی است (شریف‌نژاد عزیز و همکاران، ۲۰۱۶؛ تورن و همکاران، ۲۰۱۶). با این حال، تولید میدان‌های دمایی شبکه‌ای با وضوح مکانی کمتر از ۱۰ کیلومتر، همچنان یک چالش است. دیدبانی‌های طولانی مدت دما فقط در نقاط تک ایستگاه محدود یافت می‌شود (دالی، ۲۰۱۶). توزیع مکانی

استناد: شیرغلامی، محمد رضا. (۱۴۰۳). برآورد میانگین ماهانه دمای کمینه و بیشینه هوا با استفاده از داده‌های دمای رویه زمین سنجنده مودیس (MODIS LST) در استان یزد.

مجله نیوار، ۴۸ (۱۲۶-۱۲۷)، ۳۵-۴۹. DOI: <https://doi.org/10.30467/nivar.2024.449005.1285>



NDVI و LST با توجه به فصول و شرایط رطوبت خاک یا نوع پوشش زمین متغیر است، روش TVX در برخی موارد رضایت‌بخش نیست (القاسمی و همکاران، ۲۰۲۲؛ ونکاستم و همکاران، ۲۰۱۰). مزیت اصلی روش رگرسیون خطی این است که رگرسیون در برابر داده‌های ایستگاه، خطاهای سامانمند منطقه‌ای در داده‌های ماهواره را به حداقل می‌رساند. آنها معمولاً برآورد دقیق دمای هوا را در چارچوب مکانی و زمانی که به دست می‌آیند ارائه می‌کنند و کار با آنها آسان‌تر است. بنابراین، رگرسیون خطی ساده شهودی‌ترین و پرکاربردترین روش برآورد دمای هوا است (استیس و همکاران، ۲۰۰۷).

پژوهش‌های متعددی در سطح دنیا در رابطه با برآورد دمای هوا با استفاده از دمای رویه زمین انجام شده است. ونکاستم و همکاران (۲۰۱۰) به مقایسه بین دمای رویه زمین و دمای هوا در زیست‌بوم‌های مختلف آفریقا پرداختند. مقایسه بین داده‌های دمای رویه زمین حاصل از سنجنده مودیس به هنگام شب با دمای کمینه هوا نشان می‌دهد که محصولات مودیس در شب برآورد خوبی از دمای کمینه هوا را ارائه می‌کنند. اما اختلاف بین داده‌های دمای رویه زمین به هنگام روز با دمای بیشینه هوا به شدت با توجه به فصل، زیست‌بوم، تابش خورشیدی و پوشش ابر متفاوت است. نتایج برآورد دمای کمینه و بیشینه روزانه هوا در حوضه رودخانه ژیانگراید در شمال فلات تبت حاکی از آن است که محصولات دمای رویه زمین به دست آمده از سنجنده مودیس می‌توانند روند تغییرات زمانی دمای کمینه و بیشینه هوا را منعکس کنند. با این حال، تفاوت زیادی در طول روز و در طول شب مشاهده می‌شود. دمای رویه زمین به هنگام روز، دمای بیشینه هوا را به طور قابل توجهی بیش‌تر برآورد می‌کند، در حالی که دمای رویه زمین به هنگام شب، دمای کمینه هوا را کم‌تر برآورد می‌کند. با این وجود مطابقت خوبی بین دمای کمینه هوا و دمای مشتق از سنجنده مودیس وجود دارد (ژو و همکاران، ۲۰۱۳). نتایج حاصل از ارزیابی رابطه بین دمای هوا و دمای

ایستگاه‌های هواشناسی، به ویژه در کشورهای در حال توسعه، پراکنده و محدود است. بنابراین پوشش مکانی داده‌های دمای هوای اندازه‌گیری شده توسط ایستگاه‌های زمینی ناکافی است (اوایلر و همکاران، ۲۰۱۶؛ میندر و همکاران، ۲۰۱۰). با این حال، سنجش از دور ماهواره‌ای روشی موثر برای اندازه‌گیری یکنواخت دمای رویه زمین (LST¹) در مقیاس جهانی را فراهم می‌سازد (لی و همکاران، ۲۰۱۳؛ تاملینسون و همکاران، ۲۰۱۱). داده‌های دمای رویه زمین به دست آمده از ماهواره در هر دو پوشش فضایی و زمانی پیوسته می‌باشند. با این حال، ماهواره مستقیماً دمای هوا را اندازه‌گیری نمی‌کند بلکه فقط دمای رویه زمین را اندازه‌گیری می‌کند (نتلر، ۲۰۱۰؛ ژانگ و همکاران، ۲۰۱۴). دمای هوا (Ta) در پناهگاه هواشناسی و در ارتفاع ۱/۵ تا ۲ متری اندازه‌گیری می‌شود، در حالی که دمای رویه زمین حاصل از دورسنجی، دمای رادیومتریک سطح زمین یا سایبان است. دمای رویه زمین یک متغیر فیزیکی متفاوت از دمای هوا را نشان می‌دهد، اما این دو متغیر از نظر فیزیکی با هم مرتبط هستند و می‌توانند به شدت با هم ارتباط داشته باشند (چین و دیکینسون، ۲۰۰۰). روش‌های متعددی برای تخمین Ta از داده‌های MODIS LST توسعه و به کارگرفته شده‌اند. بنالی^۲ و همکاران (۲۰۱۲) و نوی^۳ و همکاران (۲۰۱۶) اشاره می‌کنند که سه روش رایج وجود دارد: روش‌های آماری، شاخص دما - پوشش گیاهی (TVX⁴) و مدل‌سازی توازن - انرژی. رویکردهای توازن - انرژی به متغیرهای زیادی نیاز دارند که عمدتاً، به صورت مستقیم توسط سنجش از دور ارائه نمی‌شوند. این نقطه ضعف اصلی روش‌های توازن - انرژی است (بنالی و همکاران، ۲۰۱۲). در روش TVX تنها داده‌های ماهواره‌ای مورد نیاز است که معمولاً با داده‌های حرارتی در دسترس است (میسلین و همکاران، ۲۰۱۸). اما یکی از اشکالات این روش این است که عملکرد آن به همستگی منفی بین شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی (NDVI⁵) و LST بستگی دارد و از آنجا که رابطه بین

⁴ - Temperature-Vegetation Index

⁵ - Normalized Difference Vegetation Index

¹ - Land Surface Temperature

² - Benali

³ - Noi

ماهانه هوا در بیابان‌های سلطان نشین عمان حاکی از آن است که مناسب‌ترین ماهواره برای تهیه داده‌های دمای کمینه و بیشینه هوا با استفاده از داده‌های دمای رویه زمین، سنجنده مودیس آکوا است (هرهر، ۲۰۱۹). تاکنون هیچ‌گونه مطالعه‌ای در مورد برآورد دمای هوا با استفاده از داده‌های سنجنش از دور به ویژه داده‌های MODIS LST در استان یزد انجام نشده است. بنابراین با توجه به اینکه بیش از ۴۶ درصد از وسعت استان یزد را مناطق بیابانی و کویری در بر گرفته است (نوجوان و هاشمی، ۱۳۹۲) و امکان پایش دمای هوا در این مناطق وجود ندارد، برآورد دمای هوا با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای ضروری است. براین اساس، در پژوهش حاضر، میانگین ماهانه دمای هوا با استفاده از فرآورد MYD11A1 مورد برآورد قرار گرفت.

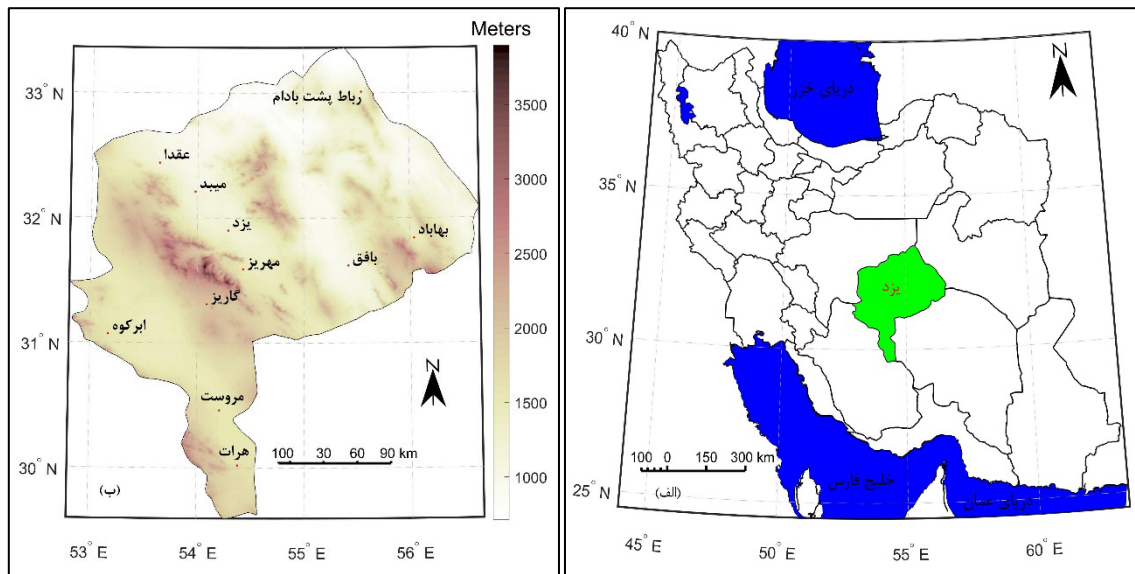
۲. مواد و روش‌ها

۲-۱. منطقه مورد مطالعه

استان یزد با ۷۳۷۵۶ کیلومتر مربع وسعت، در بخش مرکزی فلات ایران و در محدوده ۳۶' ۲۹° تا ۲۴' ۳۳° عرض شمالی و ۴۵' ۵۲° تا ۴۲' ۵۶° طول شرقی واقع شده و ۴/۵٪ از مساحت ایران را شامل می‌شود (شکل ۱-الف). پهنه بزرگی از منطقه مورد مطالعه را مناطق بیابانی و زمین‌های بایر در برمی‌گیرد و بعد از استان سیستان و بلوچستان دومین استان بیابانی کشور است که بیش از ۱۸ درصد از عرصه‌های بیابانی کشور را در خود جای داده است. بلندترین نقطه استان یزد قله شیرکوه با ارتفاع ۴۰۷۵m از سطح دریا و در مقابل پست‌ترین نقطه با ارتفاع ۶۶۰m متر از سطح دریا در کویر ریگ زرین قرار دارد (شکل ۱-ب). میانگین بلندمدت بارندگی استان یزد در حدود ۹۰mm است که به عنوان کم‌بارش‌ترین استان کشور محسوب می‌شود و با توجه به واقع شدن استان یزد در کمربند خشک و بیابانی کشور، این استان در گروه مناطق خشک تا فراخشک طبقه‌بندی می‌شود (ایرجی و همکاران، ۲۰۲۱؛ شیرغلامی و مسعودیان، ۲۰۲۲).

رویه زمین در شرایط آسمان صاف و آسمان ابری برای ۱۴ ایستگاه موجود در شبکه مرجع آب و هوایی ایالات متحده (USCRN¹) گویای آن است که به طور کلی، برای هر دو شرایط آسمان صاف و ابری دمای رویه زمین بزرگتر از دمای هوا است. با این حال، تفاوت بین دمای هوا و دمای رویه زمین در شرایط آسمان ابری به طور قابل توجهی کمتر می‌باشد (گالو و همکاران، ۲۰۱۱). مقایسه دمای رویه زمین بازمیابی شده از ماهواره‌های آکوا و ترای سنجنده مودیس با دمای هوای اندازه‌گیری شده در بیش از ۵۰۰۰ ایستگاه هواشناسی در ایالات متحده نشان می‌دهد که دمای رویه زمین در فصل زمستان هم در روز و هم در شب به شدت با دمای هوا همبستگی دارد، اما این رابطه در طول فصل تابستان به ویژه به هنگام روز کاهش می‌یابد. به عبارت دیگر دمای رویه زمین به خوبی با دمای هوای دیدبانی شده در طول شب همخوانی دارد، اما در طول روز به ویژه در طول تابستان تمایل به بیش-برآوردی دارد (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۴). در کشور ایران اما مطالعات بسیار محدودی در این زمینه انجام گرفته است. یافته‌های اسماعیلی و همکاران (۱۳۹۷) در برآورد توزیع مکانی سه پارامتر دمای هوا شامل دمای کمینه، دمای بیشینه و دمای میانگین با بهره‌گیری از تصاویر سنجنده مودیس در استان کردستان حاکی از آن است که ارتباطی قوی بین هر سه پارامتر دمایی با دماهای رویه زمین مستخرج از تصاویر ماهواره‌ای وجود دارد. به طور کلی الگوریتم استفاده شده در این پژوهش منجر به حصول نتایج بسیار خوبی در برآورد دمای میانگین، نسبتاً خوب در برآورد دمای بیشینه و قابل قبول در برآورد دمای کمینه می‌شود. موضوع مهم دیگری که در این گونه از مطالعات باید به آن توجه شود، انتخاب ماهواره مناسب است زیرا زمان گذر ماهواره‌ها تأثیر بسزایی در دقت برآورد دمای هوا دارد. یافته‌های ژو و همکاران (۲۰۱۳) در حوضه رودخانه ژیانگراید نشان می‌دهد که دمای رویه زمین در ماهواره ترا، نماینده بهتری برای دمای کمینه و بیشینه هوا نسبت به ماهواره آکوا در منطقه مورد مطالعه است. مقایسه داده‌های ماهواره‌های آکوا و ترا به منظور برآورد دمای

¹ - U.S. Climate Reference Network



شکل ۱. منطقه مورد مطالعه (الف) همراه با نقشه مدل رقمی ارتفاع (DEM) استان یزد (ب)

۲-۲. داده‌های دمای رویه زمین

دمای رویه زمین، دمای تابشی است که در سطح مشترک بین مواد رویه (بالای تاج گیاه، آب، زمین، یخ یا سطح برف) و جو اندازه‌گیری می‌شود (استروپیانو و همکاران، ۲۰۱۴). دمای رویه زمین نقش مهمی در اندرکنش‌های بین زمین و جو دارد و یکی از متغیرهای کلیدی در فیزیک فرآیندهای رویه زمین در مقیاس‌های منطقه‌ای و جهانی است (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۰؛ کانگ و همکاران، ۲۰۱۸). به دلیل تفکیک مکانی و زمانی بالا، سنجنده مودیس به یکی از مهم‌ترین و پرکاربردترین منابع داده‌های دمای رویه زمین مشتق از ماهواره تبدیل شده است. با این حال، داده‌های مودیس به شدت تحت تاثیر پوشش ابری است، که کاربردهای فرآورده‌های دمای رویه زمین را محدود می‌کند (کانگ و همکاران، ۲۰۱۸). سنجنده مودیس بر روی دو ماهواره ترا^۲ و آکوا^۳ نصب شده است. ماهواره ترا، اولین ماهواره سامانه پایش زمین (EOS^۴) است که در تاریخ ۱۸ دسامبر ۱۹۹۹ در نقطه اعتدال پاییزی به فضا پرتاب شد و از ۲۴ فوریه ۲۰۰۰ شروع به جمع‌آوری داده کرد. اما ماهواره آکوا در تاریخ ۴

می ۲۰۰۲ در نقطه اعتدال بهاری شروع به فعالیت کرد. زمان گذر ماهواره ترا در حالت نزولی حدود ۱۰:۳۰ صبح (به وقت خورشیدی محلی) و در حالت صعودی ۲۲:۳۰ شب است. زمان گذر ماهواره آکوا در حالت صعودی حدود ساعت ۱۳:۳۰ بعدازظهر و در حالت نزولی ساعت ۱:۳۰ بامداد است. بنابراین این ماهواره‌ها در مجموع چهار دیدبانی روزانه را در یک مکان مشخص، فراهم می‌سازند (ون و همکاران، ۲۰۰۴).

MOD11B1 و MOD11A1 (MYD11A1)

(MYD11B1) دو فرآورده استاندارد دمای رویه زمین روزانه هستند که از دیدبانی‌های مودیس به دست آمده‌اند. این دو محصول دمای رویه زمین در مجموعه‌های فعلی ۴، ۵ و ۶ موجود هستند (Lu et al., 2018). تفاوت بین فرآورده‌های مجموعه ۶ و مجموعه ۵ در مناطق خشک قابل توجه است (پراکاش و همکاران، ۲۰۱۹) و دقت محصولات دمای رویه زمین از مجموعه ۶، تقریباً ۲ برابر بهتر از محصولات مجموعه ۵ در مناطق با خاک برهنه است (دوان و همکاران، ۲۰۱۷). از آنجایی که استان یزد در منطقه ای خشک تا فراخشک قرار دارد و مساحت قابل توجهی از آن، پوشیده از

¹ - Digital Elevation Model

² - Terra

³ - Aqua

⁴ - Earth Observation System

(packeddata) و بر حسب یکای کلونین می‌باشد، بنابراین با استفاده از رابطه ۱، یکای این داده‌ها به یکای سلسیوس تبدیل شد.

$$LST(^{\circ}C) = (0.02 \times \text{packeddata}) - 273.15 \quad (1)$$

که در این رابطه $LST(^{\circ}C)$ دمای رویه بر حسب درجه سلسیوس و ۰/۰۲ ضریب مقیاس فرآورده دمای رویه زمین مودیس است (فان و همکاران، ۲۰۱۸).

پیش از استفاده از داده‌های ماهواره‌ای باید این داده‌ها مورد راستی‌آزمایی قرار گیرند. برای صحت‌سنجی داده‌های دمای رویه زمین، میانگین بلندمدت ماهانه داده‌های دمای رویه زمین برای یاخته‌های متناظر با مختصات ایستگاه‌های هواشناسی همدیدی استان یزد محاسبه و با میانگین بلندمدت ماهانه دماهای کمینه و بیشینه هوای هر ایستگاه مقایسه شد. بدین منظور سه سنجه آماری ضریب تعیین (R^2)، خطای اریبی (Bias) و خطای جذر میانگین مربعات (RMSE) مورد استفاده قرار گرفت. پس از آن با استفاده از روش رگرسیون و رابطه خطی بین دو پارامتر دمای هوا و دمای رویه زمین، دمای هوا برای منطقه مورد مطالعه برآورد شد. در انتها نقشه‌های مربوط به توزیع مکانی میانگین دمای بیشینه و کمینه ماهانه و سالانه استان یزد ترسیم شد. لازم به ذکر است که محاسبه سنجه‌های آماری و تمامی نمودارها و نقشه‌های مطالعه حاضر با استفاده از نرم‌افزار متلب انجام شده است.

۳. نتایج و بحث

۳-۱. صحت‌سنجی داده‌های دمای رویه زمین

از آنجا که داده‌های دمای هوا عمدتاً با دماهای بیشینه و کمینه نشان داده می‌شوند، انتخاب ماهواره‌ای که داده‌های همگام سازی شده برای این محدوده را فراهم کند مهم است. از آنجا که ماهواره آکوا در ساعت ۱۳:۳۰ و ۱۳:۳۰ به وقت محلی اقدام به تصویربرداری می‌کند و این زمان به زمان واقعی رخداد دماهای کمینه و بیشینه هوا نزدیک‌تر است، بنابراین سنجنده آکوا مودیس برای تهیه داده‌های دمای کمینه و بیشینه هوا

خاک لخت است، در مطالعه حاضر از داده‌های دمای رویه زمین مجموعه جدید ۶ (MYD11A1 V06) بازیابی شده از سنجنده مودیس آکوا استفاده شده است. مهم‌ترین تغییرات و بهبودهای نسخه ۶ در مقایسه با نسخه قبلی حذف پیکسل‌های LST آلوده به ابر است. داده‌ها از مرکز آرشیو فعال توزیع شده فرآیندهای زمینی سازمان ملی هوانوردی و فضایی ($LPDAAC^1$) و از وبگاه آن قابل دسترسی است. داده‌های شبکه‌ای با فرمت HDF³ و سیستم تصویر سینوسی بر روی کاشی‌هایی با ابعاد ۱۲۰۰ در ۱۲۰۰ کیلومتر، با وضوح مکانی یک کیلومتر و در مقیاس زمانی روزانه در دسترس می‌باشد (نتلر، ۲۰۱۰).

۳-۲. داده‌های ایستگاهی

برای راستی‌آزمایی داده‌های دمای رویه زمین سنجنده مودیس آکوا، از داده‌های دمای کمینه و دمای بیشینه هوای دیدبانی شده در ۱۱ ایستگاه همدیدی استان یزد استفاده شد. موقعیت ایستگاه‌های همدیدی مورد مطالعه در شکل ۱ب نمایش داده شده است.

۳-۴. روش تحقیق

از آنجا که داده‌های دمای رویه زمین سنجنده مودیس به صورت کاشی‌هایی با ابعاد ۱۲۰۰×۱۲۰۰ کیلومتر می‌باشد، در ابتدا داده‌های کاشی‌هایی که تمام پهنه ایران را پوشش می‌دهند از وبگاه‌های مربوطه دریافت و سپس با بهره‌گیری از تابع hdfread در نرم‌افزار متلب داده‌های این کاشی‌ها خوانده شد. در مرحله بعد، فرآیند کنار هم گذاشتن کاشی‌ها یا به اصطلاح موزاییک کردن کاشی‌ها انجام گرفت. لازم به ذکر است که شش کاشی با نمادهای H22v05، H23v05، H21v06، H22v06، H23v06 کل محدوده ایران را پوشش می‌دهد. سپس با استفاده از دستور inpolygon در متلب تنها داده‌هایی که در محدوده استان یزد قرار می‌گیرند استخراج شد. باید توجه داشت که داده‌های دمای رویه زمین به دست آمده از مودیس آکوا به صورت عدد راقومی

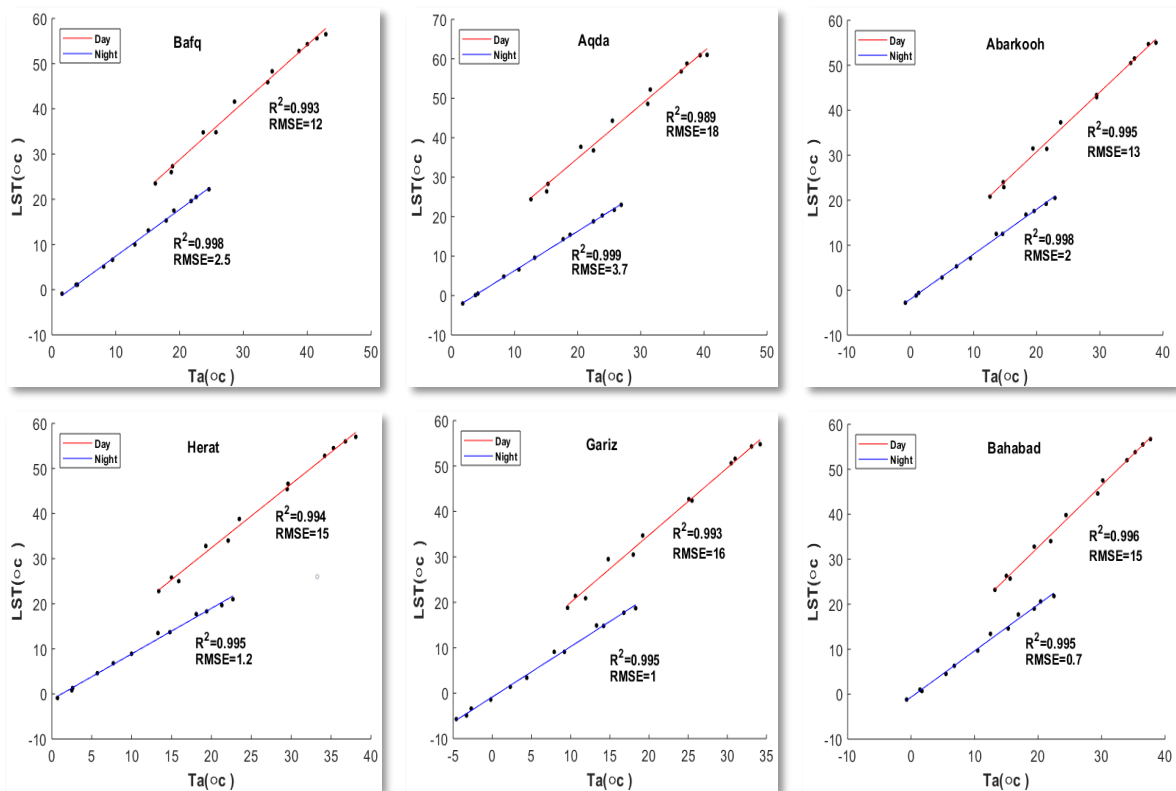
² - <https://lpdaac.usgs.gov>

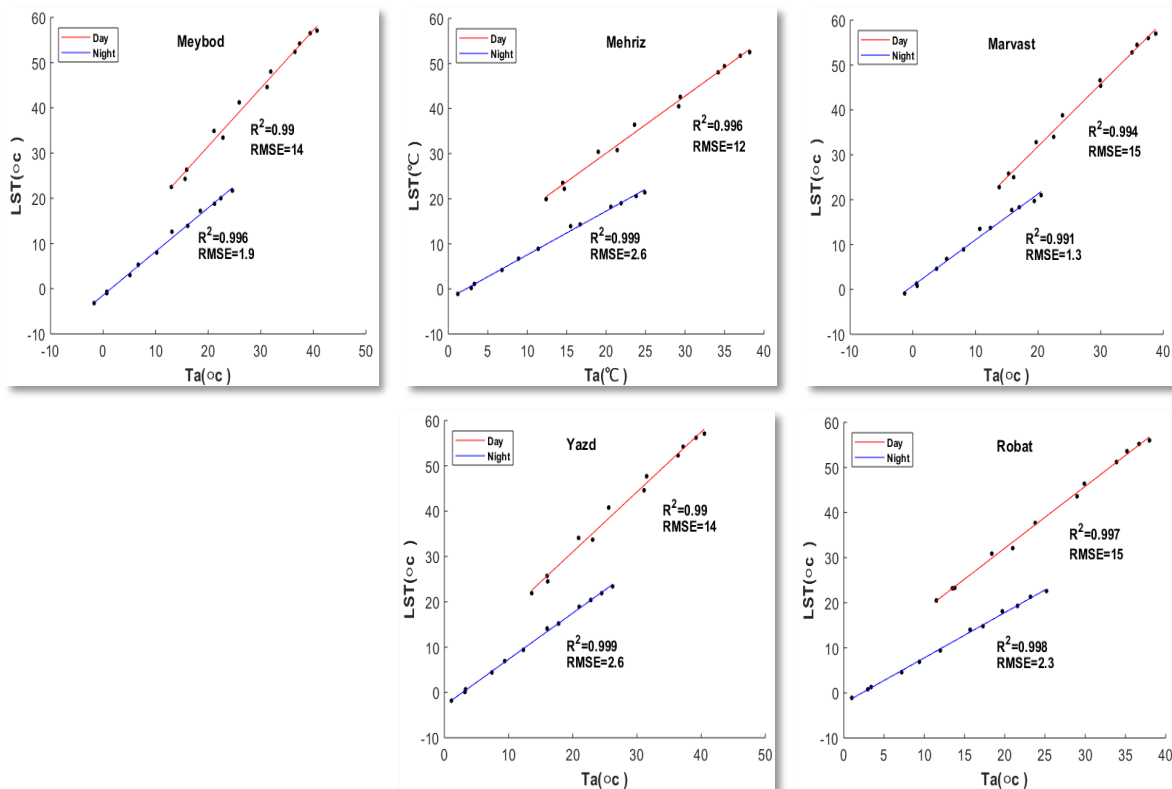
³ - Hierarchical Data Format

¹ - National Aeronautics and Space Administration Land Processes Distributed Active Center

همبستگی قوی بین دمای رویه زمین و دمای هوا، در مطالعات متعددی از داده‌های مودیس آکوا برای استخراج و برآورد دمای کمینه و دمای بیشینه هوا استفاده شده است (Gallo et al., 2011; Yang et al., 2016; Zhu et al., 2013). همچنین مقادیر خطای جذر میانگین مربعات از ۱۱/۸ تا ۱۷/۷۶ در طول شب و از ۰/۷ تا ۳/۷۱ در طول روز تغییر می‌کند. در تمام ایستگاه‌ها مقادیر آماره RMSE در شب بسیار کوچکتر از مقادیر آن در روز بود. برخی از مطالعات قبلی نشان می‌دهند که بازیابی دمای رویه زمین در شب هنگام به دلیل نبود تفاضل گرمایش خورشیدی، به طور قابل توجهی دقت بهتری را نسبت به داده‌های روز ارائه می‌دهد (Hook et al., 2003; Schneider et al., 2009; Xie et al., 2010).

مناسب‌ترین است (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۴؛ نوی و همکاران، ۲۰۱۶؛ هرهر، ۲۰۱۹). با استفاده از مدل رگرسیون خطی سه سنج آماری ضریب تعیین (R^2)، خطای اریبی (Bias) و خطای جذر میانگین مربعات (RMSE) بین میانگین ماهانه دمای رویه زمین (روز و شب) و میانگین ماهانه دمای هوا (کمینه و بیشینه) برای تمام ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه محاسبه شد (لو و همکاران، ۲۰۱۸). همانطور که از شکل ۲ دیده می‌شود، همبستگی قوی بین داده‌های دمای هوا و دمای رویه زمین در تمام ایستگاه‌ها وجود دارد. ضریب تعیین بین دمای رویه زمین روز هنگام و دمای بیشینه هوا از ۰/۹۸۹ تا ۰/۹۹۷ و برای دمای رویه زمین شب هنگام و دمای کمینه هوا از ۰/۹۹۱ تا ۰/۹۹۹ متغیر است. با توجه به این





شکل ۲. نمودارهای پراکنندگی بین دمای رویه زمین روز هنگام و دمای بیشینه (قرمز) و دمای رویه زمین شب هنگام و دمای کمینه (آبی) برای ۱۱ ایستگاه همدیدی استان یزد در بازه زمانی ۲۰۰۳-۲۰۲۰

گفته شد، رگرسیون خطی ساده پرکاربردترین روش برآورد دمای هوا است. معادلات رگرسیون برای استخراج دمای روز و شب از تصاویر ماهواره‌ای برای دمای ماهانه هوا عبارتند از (معادلات ۲ و ۳ و شکل ۳):

$$LST_{Day} = 1.318 T_{max} + 5.6 \quad (2)$$

$$LST_{Night} = 0.976 T_{min} - 1.4 \quad (3)$$

مقادیر LST_{Day} و LST_{Night} به دماهای رویه زمین مشتق از سنجنده مودیس آکوا به ترتیب در روز و شب و مقادیر T_{max} و T_{min} به ترتیب به بیشینه و کمینه دمای هوای دیدبانی شده از ایستگاه‌های هواشناسی اشاره دارد. دو سنجه محبوب برای ارزیابی عملکرد مدل رگرسیون یعنی ضریب تعیین (R^2) و خطای میانگین مربعات ریشه (RMSE) استفاده شد. همان‌گونه که از شکل ۳ دیده می‌شود، سنجه آماری RMSE برای روز و شب به ترتیب ۱۵ و ۲/۲ برآورد شده است. مقدار RMSE بین دمای رویه زمین روز هنگام و دمای بیشینه هوا، بسیار بزرگتر از مقدار آن بین دمای رویه

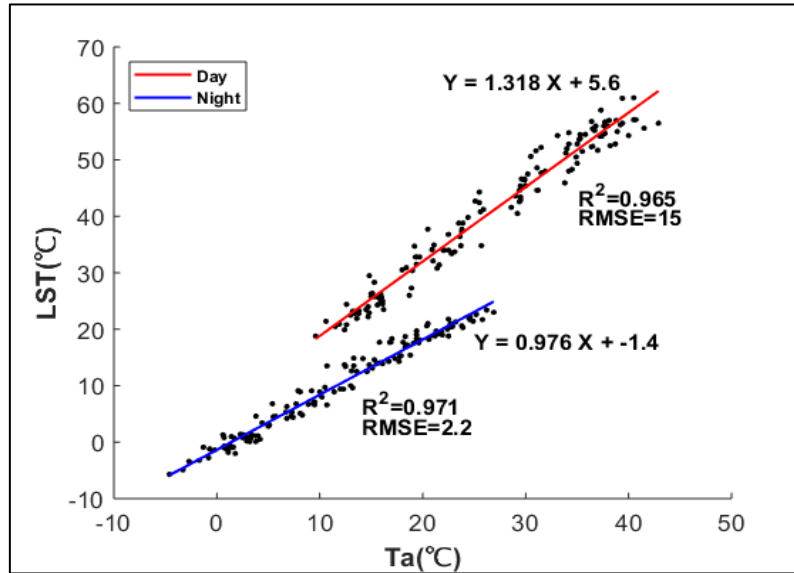
مقادیر آماره خطای اریبی به هنگام روز برای تمام ایستگاه‌ها مثبت برآورد شده است که نشان‌دهنده بیش برآوردی مقادیر دمای رویه زمین می‌باشد. اما مقادیر این آماره به هنگام شب در تمام ایستگاه‌ها به استثنای ایستگاه گاریز منفی محاسبه شده است که حاکی از کم‌برآوردی مقادیر دمای رویه زمین به هنگام شب به وسیله سنجنده مودیس آکوا است. همچنین مقادیر این آماره در روز نسبت به شب بزرگتر است که این موضوع ناشی از این است که بزرگتر بودن دمای رویه زمین از دمای هوا در روز نسبت به شب، قابل ملاحظه‌تر و مشهودتر است (پراکش و همکاران، ۲۰۱۹).

۳-۲. برآورد میانگین ماهانه دمای هوا با استفاده از داده‌های ماهانه دمای رویه زمین

در مناطق کویری، مانند استان یزد، که پوشش گیاهی به طور کلی کم است، اگر مقدار LST آن مشخص باشد، می‌توان دمای هوا را برای تمام مناطق حتی مناطق دوردست و فاقد ایستگاه هواشناسی استخراج کرد. همان‌گونه که پیش از این

مقادیر سنجه R^2 برای روز و شب به ترتیب $0/965$ و $0/971$ است، که نشان از همبستگی بالای بین میانگین ماهانه دمای هوا و میانگین ماهانه LST به هنگام روز و شب است.

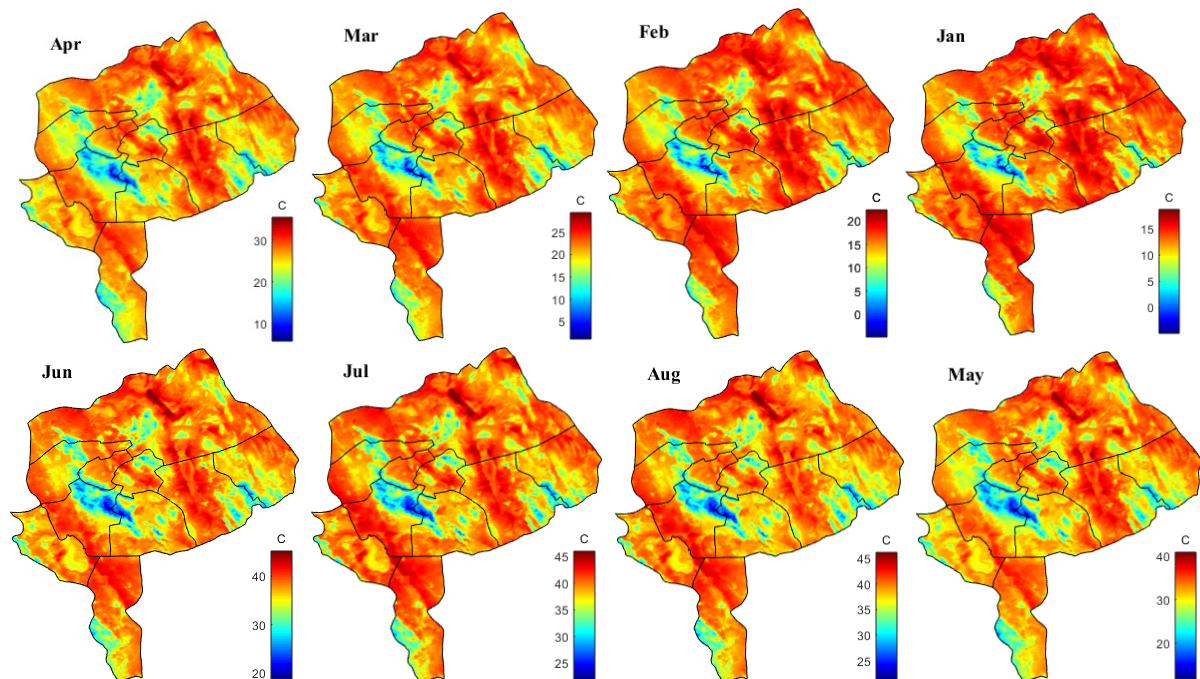
زمین شب‌هنگام و دمای کمینه هوا است. که این ناشی از تغییرپذیری قوی‌تر دمای رویه زمین نسبت به دمای هوا در طول روز می‌باشد (پراکاش و همکاران، ۲۰۱۹). همچنین

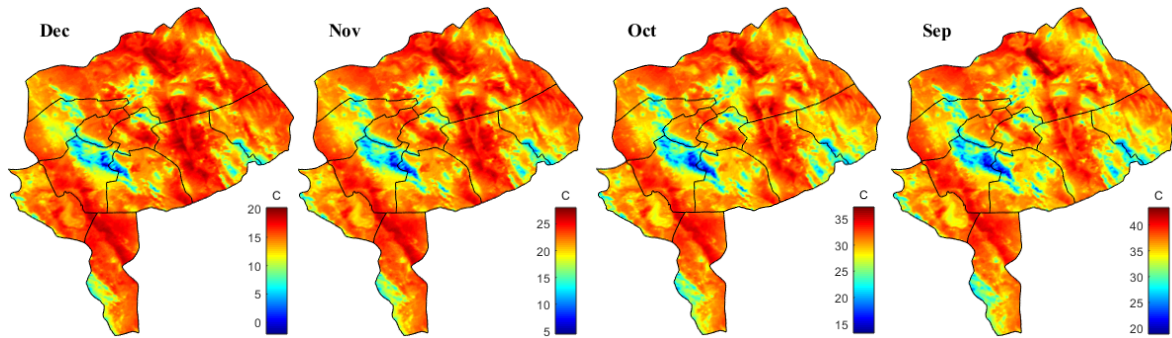


شکل ۳. همبستگی رگرسیونی بین LST(day) و Tmax (قرمز) و نیز LST(night) و Tmin (آبی) برای دوره ۲۰۰۳-۲۰۲۰ برای تمام داده‌های ۱۱ ایستگاه هواشناسی مورد استفاده.

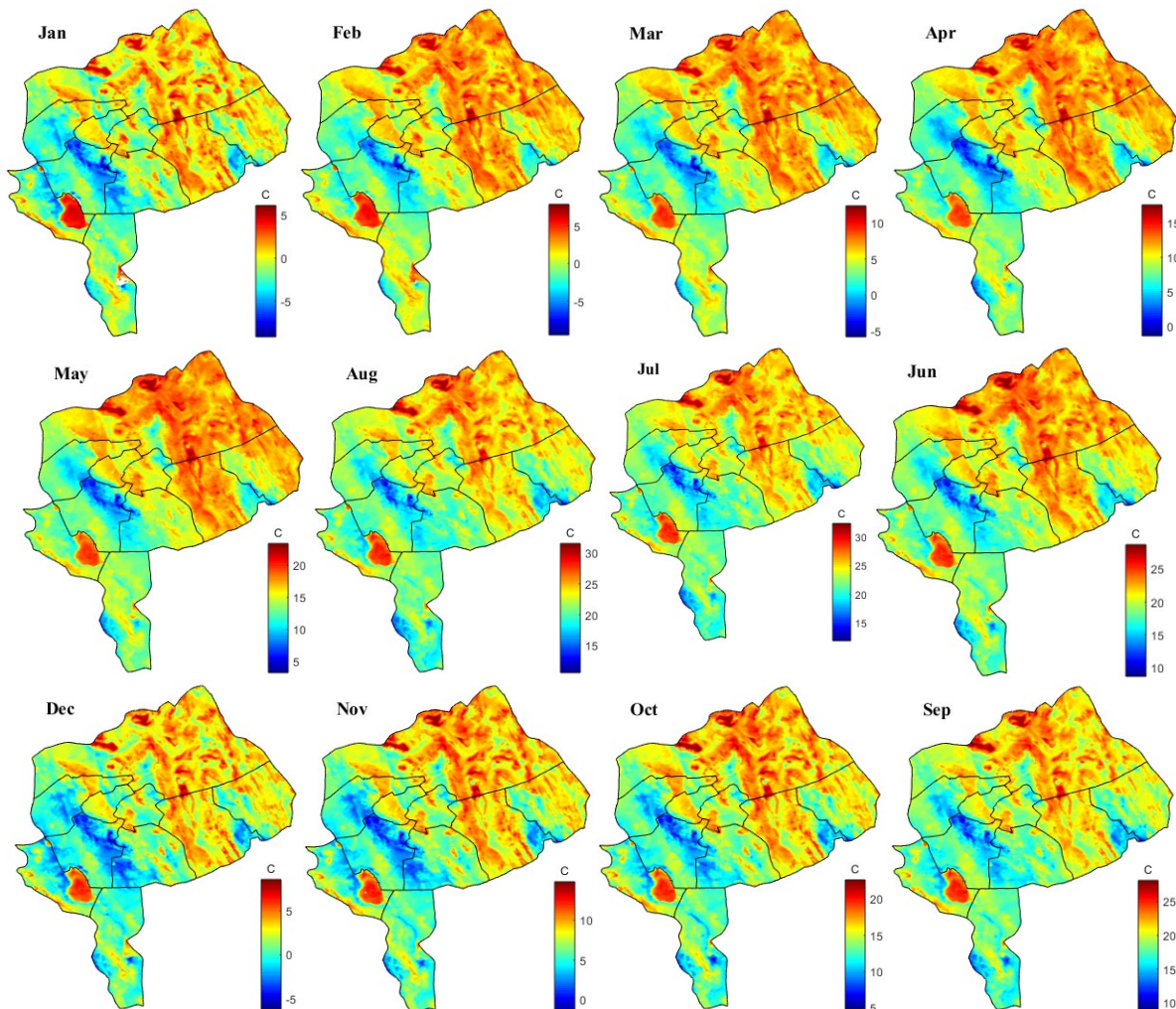
کمینه ماهانه استان یزد که با استفاده از داده‌های دمای رویه زمین روزهنگام و شب‌هنگام برآورد شده است، در شکل‌های ۴ و ۵ نمایش داده شده است.

بنابراین می‌توان با استفاده از معادلات ۲ و ۳ و با جایگزینی مقادیر معلوم LST شب و روز، دمای کمینه و بیشینه هوای هر یاخته را محاسبه کرد. توزیع مکانی میانگین دمای بیشینه و





شکل ۴. توزیع مکانی میانگین دمای بیشینه ماهانه استان یزد، برآورد شده از داده‌های دمای رویه زمین (LST) روز هنگام و بر اساس معادله رگرسیون (۲)



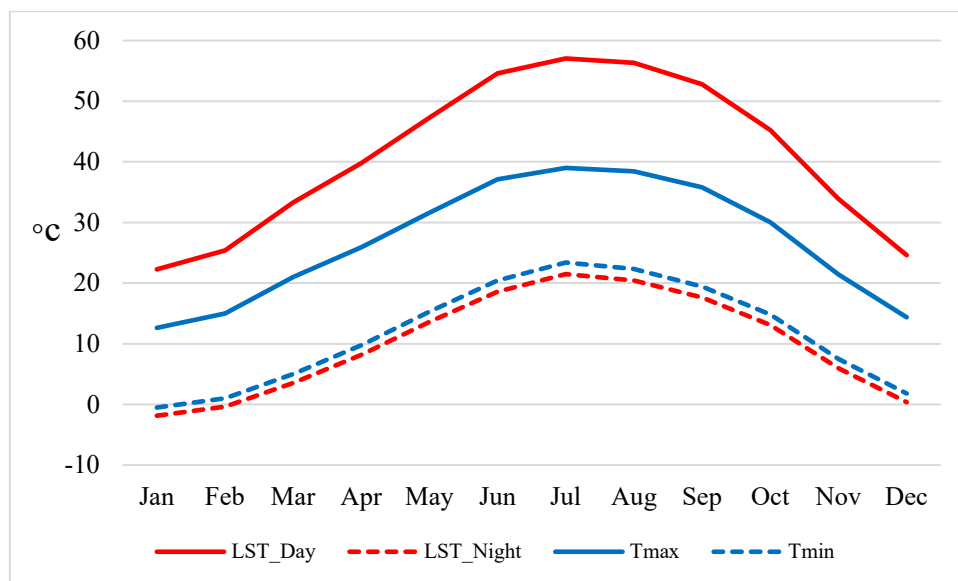
شکل ۵. توزیع مکانی میانگین دمای کمینه ماهانه استان یزد، برآورد شده از داده‌های دمای رویه زمین (LST) شب هنگام و بر اساس معادله رگرسیون (۳)

سلسیوس متغیر است. ماه جولای با میانگین دمای بیشینه ۳۹ درجه سلسیوس و میانگین دمای کمینه ۱۲ درجه سلسیوس گرمترین ماه سال می‌باشد. از طرفی ماه ژانویه با میانگین دمای کمینه $-۰/۵$ درجه سلسیوس سردترین ماه سال محسوب می‌شود. تغییرات مکانی بالای میانگین ماهانه دما نشان‌دهنده

مقادیر میانگین ماهانه دمای هوای محاسبه شده، از ژانویه تا جولای افزایش می‌یابد و جولای گرمترین ماه سال است. به طور کلی، در ماه‌های مختلف سال، میانگین ماهانه دمای بیشینه هوا در یاخته‌های مختلف از $۱۲/۶$ تا ۳۹ درجه سلسیوس و میانگین ماهانه دمای کمینه هوا از $-۰/۵$ تا $۲۳/۴$ درجه

LST مشاهده می‌شود که دلیل آن تلاطم سطحی بیشتر و شرایط آب و هوایی متغیر است که متاثر از نور مستقیم خورشید می‌باشد (القاسمی، ۲۰۲۲؛ ونکاستم و همکاران، ۲۰۱۰). تابش خورشید ابتدا توسط زمین جذب شده و سپس هوای نزدیک سطح را گرم می‌کند. با افزایش دما و تمرکز انرژی حرارتی بیشتر در سطح، LST و دمای هوا در روز به صورت فزاینده‌ای از هم فاصله می‌گیرند و در نتیجه LST در روز بسیار گرمتر از دمای هوا می‌باشد (لین و همکاران، ۲۰۱۶). به عبارت دیگر همچنان که در شکل ۶ مشخص است، اختلاف (LSTday-Tmax) بیشتر از (LSTnight-Tmin) است. این تفاوت‌ها بین دمای هوا و LST در فصل گرم سال (ژوئن تا آگوست)، که در آن روزها گرم‌تر و طولانی‌تر هستند، افزایش می‌یابد.

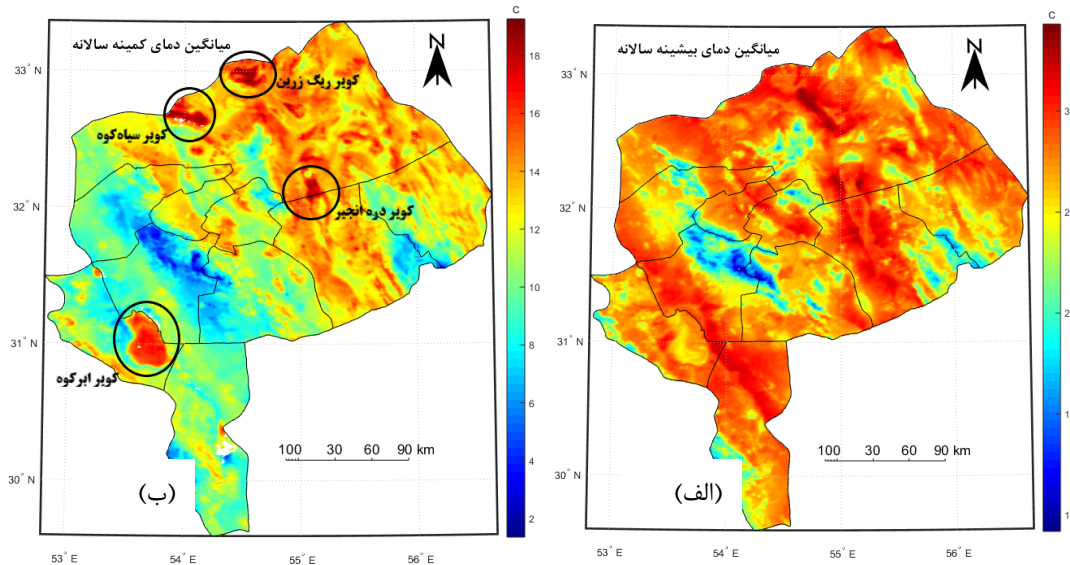
کوهساری نسبتاً پیچیده منطقه است. در تمام ماه‌ها، مناطق کوهستانی سردتر از سایر مناطق هستند. در واقع، مناطق مرتفع‌تر با میانگین ماهانه دمای کمتر نسبت به مناطق پست مشخص می‌شوند (استروپیانا و همکاران، ۲۰۱۴). از طرفی دمای هوا و LST دارای چرخه‌های فصلی هستند که مشابه و مرتبط به هم هستند و ناشی از تبادل انرژی بین دمای هوا و دمای رویه زمین است که به تغییرات فصلی تابش خورشیدی ورودی بستگی دارد (شکل ۶). در طول شب، به دلیل سرمایش تابشی در سطح، هوا به طور پایدار چینه‌بندی شده و در نتیجه تلاطم ایجاد شده توسط اصطکاک سطحی تضعیف می‌شود. بنابراین سطح زمین تقریباً به عنوان یک سطح هم‌دما و همگن رفتار می‌کند که فرآیند بازیابی را ساده و دقت برآورد دمای هوا را بهبود می‌بخشد (لین و همکاران، ۲۰۱۶). اما به هنگام روز برهم‌کنش‌های پیچیده‌تری بین دمای هوا و



شکل ۶. چرخه سالانه میانگین ماهانه LST به هنگام شب و روز (قرمز) و میانگین ماهانه دمای کمینه و بیشینه برآورد شده با روش رگرسیون (آبی)

توزیع مکانی میانگین بلندمدت سالانه دمای بیشینه و کمینه استان یزد در بازه زمانی ۲۰۰۳ تا ۲۰۲۰ که با استفاده از داده‌های ماهواره مودیس آکوا برآورد شده است، در شکل ۷ نمایش داده شده است.

۳-۳. برآورد میانگین سالانه دمای هوا با استفاده از داده‌های ماهانه دمای رویه زمین



شکل ۷. توزیع مکانی میانگین سالانه دمای بیشینه (الف) و کمینه (ب) استان یزد در بازه زمانی ۲۰۰۳ تا ۲۰۲۰، برآورد شده از داده‌های دمای رویه زمین (LST) روز و شب

در شب گرمای خود را دیرتر از دست می‌دهد. در نتیجه، در طول روز سردتر و در شب گرم‌تر است.

۴. نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر، برای اولین بار به برآورد میانگین ماهانه دمای کمینه و بیشینه هوا در استان یزد با استفاده از داده‌های دمای رویه زمین سنجنده مودیس آکوا و مقادیر دیدبانی شده دمای کمینه و بیشینه هوا در ایستگاه‌های هواشناسی منطقه مورد مطالعه پرداخته شد. از آنجا که داده‌های دمای رویه زمین سنجنده مودیس با قدرت تفکیک یک کیلومتر در دسترس هستند، این داده‌ها می‌توانند به عنوان جایگزینی برای ایستگاه‌های هواشناسی زمینی در نظر گرفته شوند. یافته‌های تحقیق حاضر نشان داد که همبستگی قوی بین این دو مجموعه داده وجود دارد. بنابراین به دلیل همبستگی قوی بین داده‌های ماهواره‌ای و دیدبانی‌های ایستگاه‌های هواشناسی ($R^2 > 0.99$)، می‌توان به داده‌های ماهواره‌ای برای برآورد دمای هوا در روز و شب برای هر منطقه تکیه کرد. در واقع هر یاخته خود به عنوان یک ایستگاه هواشناسی مستقل با دقت و اطمینان بالا عمل می‌کند. از آنجایی که داده‌های دمای رویه زمین توان تابش خورشیدی را در هر نقطه مشخصی تعیین می‌کند، این داده‌ها نه تنها می‌تواند برای برآورد دمای هوا، بلکه برای تعیین مکان‌های مناسب برای تولید برق از انرژی خورشیدی نیز

میانگین بلندمدت دمای بیشینه برآورد شده از داده‌های دمای رویه زمین، برای یاخته‌های مختلف از $9/3$ تا $34/5$ درجه سلسیوس در نوسان است و میانگین دمای بیشینه استان یزد 27 درجه سلسیوس برآورد شد. میانگین بلندمدت دمای کمینه برآورد شده با استفاده از معادله رگرسیون نیز، برای یاخته‌های مختلف از $1/5$ تا $19/4$ درجه سلسیوس متغیر است و میانگین دمای کمینه استان در این دوره زمانی $11/8$ درجه سلسیوس برآورد شد. چهار منطقه در این شکل توجه را به خود جلب می‌کند. ویژگی خاص این مناطق این است که در روز سردتر از اطراف خود هستند، اما به هنگام شب گرم‌تر از نواحی مجاور خود هستند. این مناطق همچنین از لحاظ ارتفاعی جزو نواحی پست و کم ارتفاع محسوب می‌شوند. این مناطق که در شکل ۷ با دایره‌هایی به دور آن‌ها مشخص شده‌اند عبارتند از کویر ابرکوه، کویر سیاه‌کوه، کویر دره انجیر و شمال ریگ زرین. مناطق مشخص شده در شکل ۷ همگی پلایا هستند و سطح آب زیرزمینی در پلایاها بالا است. در برخی از نواحی پلایاها، سطح آب زیرزمینی حتی از سطح زمین بالاتر است، به گونه‌ای که در بعضی نقاط دریاچه یا باتلاق تشکیل می‌شود (کشتکار و همکاران، ۱۳۹۴). به دلیل وجود آب و گرمای ویژه بالای آن، نسبت گرمای محسوس به گرمای نهان کاهش می‌یابد (مسعودیان، ۱۳۹۸). بنابراین نسبت به مناطق اطراف، سطح زمین در روز دیرتر گرم شده و

۶. منابع

۱. اسمعیلی، سرور؛ خوشخو، یونس؛ عبدالهی، مسعود. (۱۳۹۷). برآورد پارامترهای روزانه و ماهانه دمای هوا در استان کردستان با بکارگیری تصاویر سنجنده MODIS. تحقیقات آب و خاک ایران (علوم کشاورزی ایران)، ۴۹(۲)، ۴۱۳-۴۲۳.
۲. کشتکار، امیر رضا؛ پاک طینت، مهدی؛ پاک طینت، هادی. (۱۳۹۴). به کارگیری روش تصمیم‌گیری چند معیاره در تعیین اراضی مناسب به منظور استفاده از منابع آب شور در اجرای طرح‌های پرورش آرتیمیا در محیط‌های خشک و بیابانی (مورد مطالعه: پلایای سیاه کوه یزد)، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۴۷(۲)، ۳۰۳-۳۱۵.
۳. مسعودیان، سیدابوالفضل. (۱۳۹۸). بازتاب تغییرات محیطی در تغییرات توزیع فراوانی دمای رویه زمین: مطالعه موردی حوضه زاینده رود و حوضه اورمیه، مخاطرات محیط طبیعی، ۸(۱۹)، ۲۶۴-۲۷۵.
۴. نوجوان، محمدرضا؛ هاشمی، معصومه. (۱۳۹۲). افتراق‌های ژئومورفولوژی مناظر کویری استان یزد. جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، ۲۴(۲)، ۱۴۱-۱۵۲.
5. Alqasemi, A. S., Hereher, M. E., Al-Quraishi, A. M. F., Saibi, H., Aldahan, A., & Abuelgasim, A. (2022). Retrieval of monthly maximum and minimum air temperature using MODIS aqua land surface temperature data over the United Arab Emirates. *Geocarto International*, 37(10), 2996-3013.
6. Benali, A., Carvalho, A., Nunes, J., Carvalhais, N., & Santos, A. (2012). Estimating air surface temperature in Portugal using MODIS LST data. *Remote sensing of environment*, 124, 108-121.
7. Daly, C. (2006). Guidelines for assessing the suitability of spatial climate data sets. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 26(6), 707-721.
8. Duan, S.-B., Li, Z.-L., & Leng, P. (2017). A framework for the retrieval of all-weather land surface temperature at a high spatial resolution from polar-orbiting thermal infrared and passive microwave data.

می‌تواند استفاده شود. در استان یزد، مناطق مستعد زیادی وجود دارند که می‌توانند برای تولید انرژی خورشیدی مناسب باشند. نتایج مطالعه حاضر برای سایر مناطق ایران به ویژه استان‌های همسایه که شرایط اقلیمی مشابهی دارند، مفید خواهد بود. زیرا نتایج آن کاربردهای متعددی در زمینه‌های آب‌شناسی، اپیدمیولوژی، زیست محیطی، تغییرات آب و هوایی، رشد اقتصادی و اجتماعی دارد. همچنین یک ورودی مهم در پایش کشاورزی برای تخمین تبخیر و تعرق و تنش رطوبتی محصول و خاک است (القاسمی و همکاران، ۲۰۲۲؛ ونکاستم و همکاران، ۲۰۱۰). اما محدودیت فرآورده MODIS LST در برآورد دمای هوا، این است که برای شرایط آسمان صاف مناسب است و در شرایط ابری با خطای قابل ملاحظه همراه است. زیرا داده‌ها را با استفاده از مادون قرمز حرارتی بازیابی می‌کند، اگرچه این موضوع در استان یزد، جایی که بیشتر ایام سال آفتابی است، باعث خطای آنچنانی نمی‌شود. علاوه بر این، داده‌های دمای رویه زمین سنجنده مودیس از مارس ۲۰۰۰ شروع می‌شود و برآورد دمای هوا را برای قبل از این تاریخ با محدودیت مواجه می‌سازد.

مطالعات نشان می‌دهد که رابطه بین دمای رویه زمین و دمای هوا، می‌تواند با مکان متفاوت باشد. بخشی از تغییرات غیرقابل توضیح در رابطه بین دمای رویه زمین و دمای هوا ممکن است به رطوبت خاک نسبت داده شود (گالو و همکاران، ۲۰۱۱). بنابراین پیشنهاد می‌شود برای بهبود نتایج پژوهش حاضر، در مطالعات آتی سایر متغیرهای کمکی که می‌توانند ویژگی‌های سطح زمین و تغییرات دمایی ناشی از آن را منعکس کنند نیز در نظر گرفته شوند.

۵. سپاس‌گزاری

از اداره کل هواشناسی استان یزد جهت در اختیار گذاشتن داده‌های ایستگاه‌های همدیدی و نیز حمایت مادی و معنوی از انجام پژوهش حاضر تقدیر و تشکر به عمل می‌آید.

- land surface temperature product using multi-year ground measurements in an arid area of Northwest China. *Remote Sensing*, 10(11), 1852.
18. Minder, J. R., Mote, P. W., & Lundquist, J. D. (2010). Surface temperature lapse rates over complex terrain: Lessons from the Cascade Mountains. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 115(D14).
 19. Misslin, R., Vaguet, Y., Vaguet, A., & Daudé, É. (2018). Estimating air temperature using MODIS surface temperature images for assessing *Aedes aegypti* thermal niche in Bangkok, Thailand. *Environmental Monitoring and Assessment*, 190, 1-17.
 20. Neteler, M. (2010). Estimating daily land surface temperatures in mountainous environments by reconstructed MODIS LST data. *Remote Sensing*, 2(1), 333-351.
 21. Noi, P. T., Kappas, M., & Degener, J. (2016). Estimating daily maximum and minimum land air surface temperature using MODIS land surface temperature data and ground truth data in Northern Vietnam. *Remote Sensing*, 8(12), 1002.
 22. Oyler, J. W., Dobrowski, S. Z., Holden, Z. A., & Running, S. W. (2016). Remotely sensed land skin temperature as a spatial predictor of air temperature across the conterminous United States. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 55(7), 1441-1457.
 23. Phan, T. N., Kappas, M., & Tran, T. P. (2018). Land surface temperature variation due to changes in elevation in northwest Vietnam. *Climate*, 6(2), 28.
 24. Prakash, S., Shati, F., Norouzi, H., & Blake, R. (2019). Observed differences between near-surface air and skin temperatures using satellite and ground-based data. *Theoretical and Applied Climatology*, 137, 587-600.
 25. Schneider, P., Hook, S., Radocinski, R., Corlett, G., Hulley, G., Schladow, S., & Steissberg, T. (2009). Satellite observations indicate rapid warming trend for lakes in California and Nevada. *Geophysical Research Letters*, 36(22).
 26. Sharifnezhadazizi, Z., Norouzi, H., Prakash, S., Beale, C., & Khanbilvardi, R. (2019). A global analysis of land surface temperature diurnal cycle using MODIS observations. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 58(6), 1279-1291.
 - Remote sensing of environment, 195, 107-117.
 9. Gallo, K., Hale, R., Tarpley, D., & Yu, Y. (2011). Evaluation of the relationship between air and land surface temperature under clear-and cloudy-sky conditions. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 50(3), 767-775.
 10. Hereher, M. E. (2019). Estimation of monthly surface air temperatures from MODIS LST time series data: application to the deserts in the Sultanate of Oman. *Environmental Monitoring and Assessment*, 191(9), 592.
 11. Hook, S. J., Prata, F. J., Alley, R. E., Abtahi, A., Richards, R. C., Schladow, S. G., & Pálmarsson, S. (2003). Retrieval of lake bulk and skin temperatures using Along-Track Scanning Radiometer (ATSR-2) data: A case study using Lake Tahoe, California. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 20(4), 534-548.
 12. Iraj, F., Memarian, M. H., Joghataei, M., & Malamiri, H. R. G. (2021). Determining the source of dust storms with use of coupling WRF and HYSPLIT models: A case study of Yazd province in central desert of Iran. *Dynamics of Atmospheres and Oceans*, 93, 101197.
 13. Jin, M., & Dickinson, R. E. (2000). A generalized algorithm for retrieving cloudy sky skin temperature from satellite thermal infrared radiances. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 105(D22), 27037-27047.
 14. Kang, J., Tan, J., Jin, R., Li, X., & Zhang, Y. (2018). Reconstruction of MODIS land surface temperature products based on multi-temporal information. *Remote Sensing*, 10(7), 1112.
 15. Li, Z.-L., Tang, B.-H., Wu, H., Ren, H., Yan, G., Wan, Z., Trigo, I. F., & Sobrino, J. A. (2013). Satellite-derived land surface temperature: Current status and perspectives. *Remote sensing of environment*, 131, 14-37.
 16. Lin, X., Zhang, W., Huang, Y., Sun, W., Han, P., Yu, L., & Sun, F. (2016). Empirical estimation of near-surface air temperature in China from MODIS LST data by considering physiographic features. *Remote Sensing*, 8(8), 629.
 17. Lu, L., Zhang, T., Wang, T., & Zhou, X. (2018). Evaluation of collection-6 MODIS

- temperature in different ecosystems over Africa. *Remote sensing of environment*, 114(2), 449-465.
33. Wan, Z., Wang, P., & Li, X. (2004). Using MODIS land surface temperature and normalized difference vegetation index products for monitoring drought in the southern Great Plains, USA. *International journal of remote sensing*, 25(1), 61-72.
 34. Xie, H., Chang, N.-B., Daranpob, A., & Prado, D. (2010). Assessing the long-term urban heat island in San Antonio, Texas based on moderate resolution imaging spectroradiometer/Aqua data. *Journal of Applied Remote Sensing*, 4(1), 043508.
 35. Zhang, P., Bounoua, L., Imhoff, M. L., Wolfe, R. E., & Thome, K. (2014). Comparison of MODIS land surface temperature and air temperature over the continental USA meteorological stations. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 40(2), 110-122.
 36. Zhong, L., Ma, Y., Su, Z., & Salama, M. S. (2010). Estimation of land surface temperature over the Tibetan Plateau using AVHRR and MODIS data. *Advances in atmospheric sciences*, 27, 1110-1118.
 37. Zhu, W., Lü, A., & Jia, S. (2013). Estimation of daily maximum and minimum air temperature using MODIS land surface temperature products. *Remote sensing of environment*, 130, 62-73.
 27. Shirgholami, M., & Masoodian, S. A. (2022). Assessment of spatial and temporal variations of land surface temperature (LST) due to elevation changes in Yazd Province, Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 15(16), 1372.
 28. Stisen, S., Sandholt, I., Nørgaard, A., Fensholt, R., & Eklundh, L. (2007). Estimation of diurnal air temperature using MSG SEVIRI data in West Africa. *Remote sensing of environment*, 110(2), 262-274.
 29. Stroppiana, D., Antoninetti, M., & Brivio, P. A. (2014). Seasonality of MODIS LST over Southern Italy and correlation with land cover, topography and solar radiation. *European Journal of Remote Sensing*, 47(1).
 30. Thorne, P., Donat, M., Dunn, R., Williams, C., Alexander, L., Caesar, J., Durre, I., Harris, I., Hausfather, Z., & Jones, P. (2016). Reassessing changes in diurnal temperature range: Intercomparison and evaluation of existing global data set estimates. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 121(10), 5138-5158.
 31. Tomlinson, C. J., Chapman, L., Thornes, J. E., & Baker, C. (2011). Remote sensing land surface temperature for meteorology and climatology: A review. *Meteorological Applications*, 18(3), 296-306.
 32. Vancutsem, C., Ceccato, P., Dinku, T., & Connor, S. J. (2010). Evaluation of MODIS land surface temperature data to estimate air