



بخش از دور

GIS ایران



سنجش از دور و GIS ایران سال چهاردهم، شماره چهارم، زمستان ۱۴۰۱
Iranian Remote Sensing & GIS Vol.14, No. 4, Winter 2023

۷۰-۵۳

مقاله پژوهشی

تخمین دمای هوای بیشینه و کمینه روزانه

با استفاده از محصولات دمای سطح زمین سنجنده مادیس

محمد طاوسی^۱، مهدی وفاخواه^{۲*}، وحید موسوی^۳

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، مازندران

۲. استاد گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، مازندران

۳. استادیار گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، مازندران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۶/۳۰

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۰۳/۲۹

چکیده

با توجه به اهمیت داده‌های هواشناسی و وجود محدودیت داده‌برداری در ایستگاه‌های زمینی، فنّ سنجش از دور می‌تواند نقش مهمی در تهیه این داده‌ها ایفا کند. هدف از این پژوهش ارزیابی کمی دمای سطح زمین (LST) حاصل از تصاویر سنجنده مادیس، برای تخمین دمای هوای بیشینه و کمینه روزانه در حوضه آبخیز طالقان است. برای این منظور، داده‌های دمای هوای بیشینه و کمینه روزانه سه ایستگاه هواشناسی زمینی و مقادیر LST روز و شب و NDVI سنجنده مادیس، متعلق به دوره زمانی ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۵، دریافت و تهیه شد. سپس با استفاده از روش رگرسیون خطی چندگانه، بین هریک از متغیرهای مؤثر و دمای هوای بیشینه و کمینه روزانه در ایستگاه‌های زمینی، ارتباط برقرار شد. نتایج نشان داد که بین دمای هوای بیشینه و کمینه روزانه در ایستگاه‌های زمینی، با LST روز و شب و NDVI حاصل از سنجنده مادیس، همبستگی معنی‌داری وجود دارد؛ بنابراین از این متغیرها در روابط رگرسیونی استفاده شد. نتایج حاصل از اعتبارسنجی نشان داد روابطی که با همه متغیرهای مؤثر ایجاد شده است بیشترین صحت را دارد؛ به طوری که بهترین مدل در تخمین بیشینه دمای هوای روزانه، دارای مقادیر R^2 ، NSE و RMSE، به ترتیب ۰/۷۵، ۰/۷۵ و ۴/۷^{°C} و در مورد کمینه دمای هوای روزانه، به ترتیب ۰/۷۱، ۰/۷۱ و ۲/۹^{°C} است؛ از این رو می‌توان با تبدیل دمای سطح زمین حاصل از تصاویر سنجنده مادیس، دمای هوا را با دقت بالا در مقیاس روزانه و ماهیانه، برای استفاده در پژوهش‌های گوناگون، تخمین زد.

کلیدواژه‌ها: دمای هوا، دمای سطح زمین، شاخص پوشش گیاهی، ماهواره آکوا و ترا.

* نویسنده مکاتبه‌کننده: دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، مازندران، نور. تلفن: ۰۱۱۴۴۹۹۹۱۲۰، ۰۹۱۲۳۱۷۹۶۹۹

۱- مقدمه

سنجندۀ مادیس، با روش پنجرۀ متحرک، برآورد شد (Xu et al., 2012). نتایج نشان داد اندازه پنجرۀ متحرک و وزن هریک از پیکسل‌ها، براساس فاصله، در تخمین دمای هوا مؤثر است. کمترین خطای مدل‌های برآوردی نیز ۲/۳۹ درجۀ سانتی‌گراد برآورد شد. باستوس و مزاً^۶ (۲۰۱۵) با پیشنهاد روش‌های مبتنی بر تجزیه و تحلیل NDVI^۷ و LST^۸ به دست آمده از سنجندۀ مادیس، دمای بیشینه و کمینۀ هوا را برآورد کردند و نتایج را با مقادیر مشاهداتی دوازده ایستگاه هواشناسی مقایسه کردند. نتایج نشان از نمایش صحیح توزیع فضایی و زمانی حداکثر و حداقل درجۀ حرارت، درمورد تمامی انواع سطوح با خطای ۱ درجۀ سانتی‌گراد داشت. در پژوهش دیگری در چین، محققان با استفاده از متغیرهای فیزیوگرافی، دمای هوا را از طریق داده‌های LST تصاویر مادیس برآورد کردند (Lin et al., 2016). نتایج نشان داد در مناطق مسطح با ضریب تبیین بیش از ۰/۸، بین دمای هوا و LST ارتباط مطلوبی وجود دارد اما در مناطق دارای توپوگرافی پیچیده، این ارتباط ضعیف‌تر است و خطی نیست. چن^۹ و همکاران (۲۰۱۶) تغییرات روزانۀ دمای هوا را در یکن، با استفاده از داده‌های ماهواره‌های ترا^{۱۰} و آکوا^{۱۱} و الگوریتم‌های گوناگون، در دوره‌ی زمانی ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۰ بررسی کردند. نتایج نشان داد، در الگوریتم‌های متفاوت، دمای روزانۀ هوای برآوردی دارای خطای RMSE بین ۱/۶۲ تا ۲/۳۳ درجۀ سانتی‌گراد است. دیداری^{۱۲} و همکاران (۲۰۱۷)،

دمای هوا^۱، در ارتفاع دومتری، متغیری مهم در تحقیقات اقلیمی، تغییرات جهانی آب‌وهوا و کنترل‌کنندۀ فرایندهای زیستی و فیزیکی بین آب‌کره^۲، هواکره^۳ و زیست‌کره^۴ شمرده می‌شود (Prihodko & Goward, 1997; Nieto et al., 2011). انرژی در سیستم زمین- جو از راه جذب طیف نور در بخش طول موج کوتاه تابش فرودی خورشید و انتشار امواج فروسرخ و جریان‌های افت گرما به تعادل می‌رسد؛ این فرایندها، با گرمایش و سرمایش سطح زمین، اصلی‌ترین چرخۀ تعدیل‌کنندۀ دمای سطح زمین‌اند (Jin & Dickinson, 2010). بنابراین با توجه به اهمیت این موضوع، اندازه‌گیری‌های هواشناسی در ایستگاه‌های گوناگون در سطح جهان به صورت منظم انجام می‌شود اما محدودیت آن ناهمگونی مکانی دمای هوا در محدوده‌ای وسیع و ناتوانی در تعمیم آن است. از سویی، اندازه‌گیری دمای هوا معمولاً با خطای زیادی در زمینۀ درون‌یابی مواجه است (Willmott & Robeson, 1995). پیشرفت‌های فنّ سنجش از دور و استخراج تصاویر ماهواره‌ای سبب شده است بسیاری از اطلاعات مورد نیاز در اختیار پژوهشگران قرار گیرد. ماهواره‌ها، با سنجنده‌های متفاوت، قابلیت و اطلاعات گوناگونی را در اختیار کاربران قرار می‌دهند و کاربران باید، متناسب با هدف و دقت مورد انتظار خود، تصاویر مناسب را انتخاب کنند. در مناطقی از جهان که تراکم ایستگاه‌های هواشناسی اندک و فاصلۀ آنها از یکدیگر زیاد است یا دسترسی به داده‌ها ممکن نیست، سنجش از دور می‌تواند به‌منزله منبع اطلاعاتی ارزشمند، مورد استفاده قرار گیرد و داده‌هایی با قدرت تفکیک مکانی و زمانی بالا در دسترس قرار دهد (Czajkowski et al., 2000). پژوهشگران بسیاری روش‌های متنوعی را برای استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، به‌ویژه تصاویر مادیس^۵، به‌منظور تخمین دما مطرح کرده‌اند. در پژوهشی در چین، با مقایسۀ مدل‌های تجربی با توجه به پوشش زمین و مقیاس فضایی، دمای هوا از دمای سطح زمین

1. Air Temperature (TA)
2. Hydrosphere
3. Atmosphere
4. Biosphere
5. Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS)
6. Bustos & Meza
7. Normalized difference vegetation index
8. Land Surface Temperature
9. Chen
10. Terra
11. Aqua
12. Didari

با استفاده از مدل آماری داده‌های دمای سطح زمین سنجنده مادیس، دمای هوا را در ارتفاع پنج‌سانتی‌متری زمین، در استان فارس تخمین زدند. نتایج نشان داد دقت مدل پیشنهادی مناسب بوده اما دقت برآورد در فصل زمستان کمتر از دیگر فصل‌ها بوده است و دارای خطای RMSD ۳/۵۵ (۲۰۱۵) با استفاده از سری زمانی دمای سطح زمین تصاویر مادیس و استفاده از NDVI، مدل رقومی ارتفاع^۲ و داده‌های هواشناسی و نیز با استفاده از مدل رگرسیونی، توزیع فضایی میانگین دمای هوای ماهیانه را در شمال فلات تبت برآورد کردند. نتایج نشان داد مدل رگرسیونی دارای ضریب تبیین بین ۰/۴ تا ۰/۷۸ و ریشه میانگین مربعات خطای بین ۱/۶ تا ۴/۳۸ درجه سانتی‌گراد، در تخمین دمای هوا بود. یانگ^۳ و همکاران (۲۰۱۷) با به‌کارگیری روش‌های گوناگون رگرسیون خطی، دمای هوای بیشینه و کمینه و میانگین روزانه را از LST تصاویر ماهواره‌ای در شمال شرق چین تخمین زدند. طبق نتایج، پوشش زمین در فصل‌های متفاوت به تغییرات زمانی عملکرد مدل منجر می‌شود. به‌علاوه دمای هوا با ضریب کارآیی حدود ۰/۹۰ از تصاویر ماهواره‌ای برآورد شد اما عملکرد مدل، در مقیاس‌های فضایی و زمانی گوناگون، متفاوت است. جنتیان^۴ و همکاران (۲۰۱۷) از طریق یازده متغیر کمکی، رویکرد آماری پیشرفته‌ای را در برآورد دمای هوا، با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای در شرق ایران پیشنهاد کردند. نتایج نشان داد میانگین خطای مطلق مدل‌های برآوردی، در مقیاس روزانه، ۲/۳ درجه سانتی‌گراد است و مدل‌های پیشنهادی به‌طور کلی در مورد مناطق کم‌ارتفاع عملکرد بهتری دارند. میسلین^۵ و همکاران (۲۰۱۸) با استفاده از روش شاخص پوشش گیاهی-دمای^۶ و نیز تصاویر ماهواره‌ای، دمای بیشینه و کمینه هوا را در تایلند تخمین زدند. نتایج نشان داد که روش ذکر شده کارآیی چشمگیری در تخمین دمای هوا دارد؛ میانگین خطای مطلق در تخمین بیشینه دمای هوا ۱/۰۹ تا ۵/۴۲ درجه سانتی‌گراد و در تخمین کمینه دمای هوا ۱/۳۲ تا

۱/۶۱ درجه سانتی‌گراد برآورد شد. یو^۷ و همکاران (۲۰۱۸)، برای تخمین دمای بیشینه و کمینه هوای شهری، از داده‌های LST در آمریکا و کره جنوبی و نیز یک رویکرد یادگیری تصادفی ماشین استفاده کردند. نتایج نشان داد بهترین برآورد بیشینه و کمینه دما هوا، به ترتیب دارای مقادیر ضریب تبیین ۰/۸۵ و ۰/۷۷ و خطای RMSE ۱/۷ و ۱/۲ درجه سانتی‌گراد بوده است. الگوهای دمای بیشینه هوا نیز بسیار تحت تأثیر عوامل جغرافیایی باد، فاصله از دریا و ارتفاع قرار دارد و از دیگر سو، دمای کمینه هوا از کاربری زمین تأثیر می‌پذیرد. در پژوهش دیگری، روئیس-آوارس^۸ و همکاران (۲۰۱۹) با روش‌های ماشین‌های بردار پشتیبان^۹، درون‌یابی^{۱۰}، رگرسیون خطی چندگانه^{۱۱} و جنگل‌های تصادفی^{۱۲} دمای هوای حاصل از سنجش از دور را ارزیابی کردند. در این پژوهش بیان شد روش جنگل‌های تصادفی با مقادیر خطای RMSE برابر با ۳/۰۱ درجه سانتی‌گراد، بهترین نتیجه را دربر دارد. در تحقیق دیگری، با تعیین همبستگی بین LST و دمای حاصل از ایستگاه‌های زمینی، دمای هوا در عمان تخمین زده شد (Hereher, 2019). نتایج مدل‌های رگرسیونی حاکی از دقت بالای دمای هوای برآوردی، با خطای RMSE بین ۰/۹۷ تا حدود ۲ درجه سانتی‌گراد بود. در مطالعه‌ای دیگر، دمای حاصل از تصاویر مادیس با چهار ایستگاه زمینی در بخش‌های ساحلی، کوهستانی و شهری در قبرس مقایسه شد (Georgiou & Varnava, 2019). نتایج مشخص کرد داده‌های LST

1. Huang
2. Digital Elevation Model (DEM)
3. Yang
4. Janatian
5. Misslin
6. Temperature-Vegetation Index (TVX)
7. Yoo
8. Ruiz-Álvarez
9. Support Vector Machines
10. Interpolation
11. Multiple Linear Regression
12. Random Forest

سنجندگی مادیس همبستگی بالایی با مقادیر RMSE بین ۱/۹ تا ۴/۱ درجه سانتی‌گراد با ایستگاه‌های زمینی دارد و منبعی مورد اعتماد برای دمای سطح زمین، به‌ویژه در مناطق با کمبود ایستگاه زمینی شمرده می‌شود. مرزبان^۱ (۲۰۰۲) برای تخمین رابطه دمای هوا و دمای سطح زمین حاصل از سنجش از دور در پوشش و کاربری‌های متفاوت زمین، با استفاده از چند مدل در برلین، از بیست ایستگاه هواشناسی بهره برد. طبق نتایج، همبستگی بین دمای هوا و دمای روزانه سطح زمین بیشتر از شبانه است و مدل شبکه عصبی مصنوعی در تخمین دمای هوا خطای ۲/۱۶ درجه سانتی‌گراد دارد. سیرا^۲ و همکاران (۲۰۲۰) دمای بیشینه، کمینه و میانگین هوا را در بارسلونا از تصاویر ماهواره‌ای، با استفاده از همبستگی ۴۸ ایستگاه هواشناسی و همچنین داده‌های جغرافیایی و توپوگرافی، از طریق رگرسیون چندگانه، تخمین زدند. نتایج نشان داد خطای مدل برآوردی در مورد داده‌های ماهیانه بین ۱/۲ تا ۲/۱ درجه سانتی‌گراد بوده است. گلدبلا^۳ و همکاران (۲۰۲۱) دقت داده‌های LST استخراج‌شده از تصاویر ماهواره‌ای لندست^۴ - ۸ را در مقیاس کوچک جغرافیایی در کشور عربستان، ارزیابی کردند. نتایج نشان داد که استفاده بالقوه از داده‌های دمایی تصاویر ماهواره‌ای می‌تواند تأثیرات پوشش و کاربری زمین را در مورد برنامه‌ریزی پایدار شهری نشان دهد. در ایران، فتاحی و وظیفه‌دوست^۵ (۲۰۱۱) به‌منظور پایش سطح پوشش و دمای برف در حوضه‌های استان گلستان، از داده‌های سنجندگی مادیس استفاده کردند. نتایج بیان کرد تصاویر ماهواره‌ای مادیس، با توجه به دقت زمانی و مکانی و در دسترس بودن از طریق اینترنت، برای پایش سطح پوشش و دمای برف مناسب است. پرویز^۶ و همکاران (۲۰۱۱) از همبستگی منفی بین داده‌های دمای سطح زمین و شاخص NDVI، در قالب روش شاخص پوشش گیاهی- دما، برای تعیین دمای هوا استفاده کردند. طبق نتایج این تحقیق، میزان اختلاف دمای تخمینی با دمای مشاهداتی ۲/۶ درجه

سانتی‌گراد بود. نصرتی^۷ و همکاران (۲۰۱۵) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای مادیس، تبخیر و تعرق را طی ۲۲ روز، در حوضه آبخیز طالقان، بررسی کردند. نتایج نشان داد تصاویر این سنجندگی می‌تواند تبخیر و تعرق واقعی روزانه را با ضریب همبستگی ۰/۸۸، در آبخیز طالقان، به‌خوبی برآورد کند. در پژوهشی، حاتمی جارآباد^۸ و همکاران (۲۰۱۸) از مدل رقومی ارتفاع سنجندگی استر، داده‌های ماهواره‌ای سنجندگی مادیس و مدلی هندسی مبتنی بر شیب و جهت، به‌منظور تهیه نقشه‌های تابش روزانه در حوضه دریاچه ارومیه، استفاده کردند. براساس نتایج، مقادیر تابش طول موج کوتاه ۲۴ ساعته ورودی در پیکسل‌های هموار و شیب‌دار دارای اختلاف زیادی بود. احمدی^۹ و همکاران (۲۰۱۸ الف)، با رویکردی نوین براساس برون‌داد تصاویر سنجندگی مادیس، وضعیت LST زودهنگام ایران را در ماه‌های گوناگون سال بررسی کردند. نتایج نشان داد، از غرب به شرق و از شمال به جنوب ایران، در تمامی ماه‌های سال افزایش دمای سطح زمین دیده می‌شود. همچنین دمای سطح زمین به‌شدت متأثر از عرض جغرافیایی و ارتفاع از سطح دریاست. نبی‌زاده بلخانلو^{۱۰} و همکاران (۲۰۱۸) با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای مادیس، وضعیت دمایی پوشش گیاهی را برای پایش خشکسالی در حوضه آبریز سیمینه‌رود دریاچه ارومیه بررسی کردند. مطابق نتایج این پژوهش، از طریق یکپارچه‌سازی داده‌های ماهواره‌ای مادیس با داده‌های هواشناسی، وضعیت دمایی پوشش گیاهی برای تنش خشکسالی از سالی به سال دیگر متفاوت است. اسماعیلی^{۱۱} و همکاران (۲۰۱۷) توزیع

1. Marzban
2. Serra
3. Goldblatt
4. Landsat
5. Fattahi & Vazifehdoust
6. Parviz
7. Nosrati
8. Hatami Jarabad
9. Ahmadi
10. Nabizadeh Balkhanloo
11. Ismaili

منطقه، شامل طول و عرض جغرافیایی، ارتفاع از سطح دریا و نیز متغیرهای حاصل از تصاویر مادیس، شامل NDVI، دمای شبانه و دمای روزانه، با دمای بیشینه و کمینه روزانه ثبت شده در ایستگاه‌های زمین تعیین می‌شود. سپس بهترین مدل برای تخمین بیشینه و کمینه دمای روزانه هوا مشخص می‌شود.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- محدوده مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه (شکل ۱) حوضه آبخیز بالادست سد طالقان، با مساحت حدود ۹۴۰ کیلومترمربع است که بین عرض جغرافیایی $30^{\circ}53'00''$ تا $15^{\circ}11'$ و شمالی و طول جغرافیایی $45^{\circ}00'$ تا $51^{\circ}11'22''$ شرقی قرار دارد. حداکثر و حداقل ارتفاع آبخیز طالقان به ترتیب ۴۰۷۵ و ۱۷۷۸ متر از سطح دریا و ارتفاع متوسط منطقه نیز ۲۹۲۶ متر بالاتر از سطح دریاست. بیش از ۸۵٪ اراضی حوضه آبخیز کاربری مرتع دارد که بیش از ۶۰٪ آن دارای پوشش ضعیف و ۴۰٪ نیز دارای پوشش گیاهی متوسط است (Noor et al., 2016). به این دلیل که ایستگاه‌های هواشناسی دارای آمار دمای روزانه، در این منطقه، خارج از مرز حوضه قرار دارد، قابی مستطیلی (شکل ۱) روی این حوضه آبخیز قرار گرفت؛ به صورتی که ایستگاه‌های زمینی موجود در منطقه را پوشش دهد. بنابراین تصاویر دمای سطح زمین مادیس، برای این محدوده، دریافت شد.

۲-۲- داده‌های LST و NDVI سنجنده مادیس

پیشرفت‌های سنجش از دور و دریافت تصاویر ماهواره ای سبب شده است بسیاری از اطلاعات مورد نیاز در تحقیقات در اختیار پژوهشگران قرار گیرد.

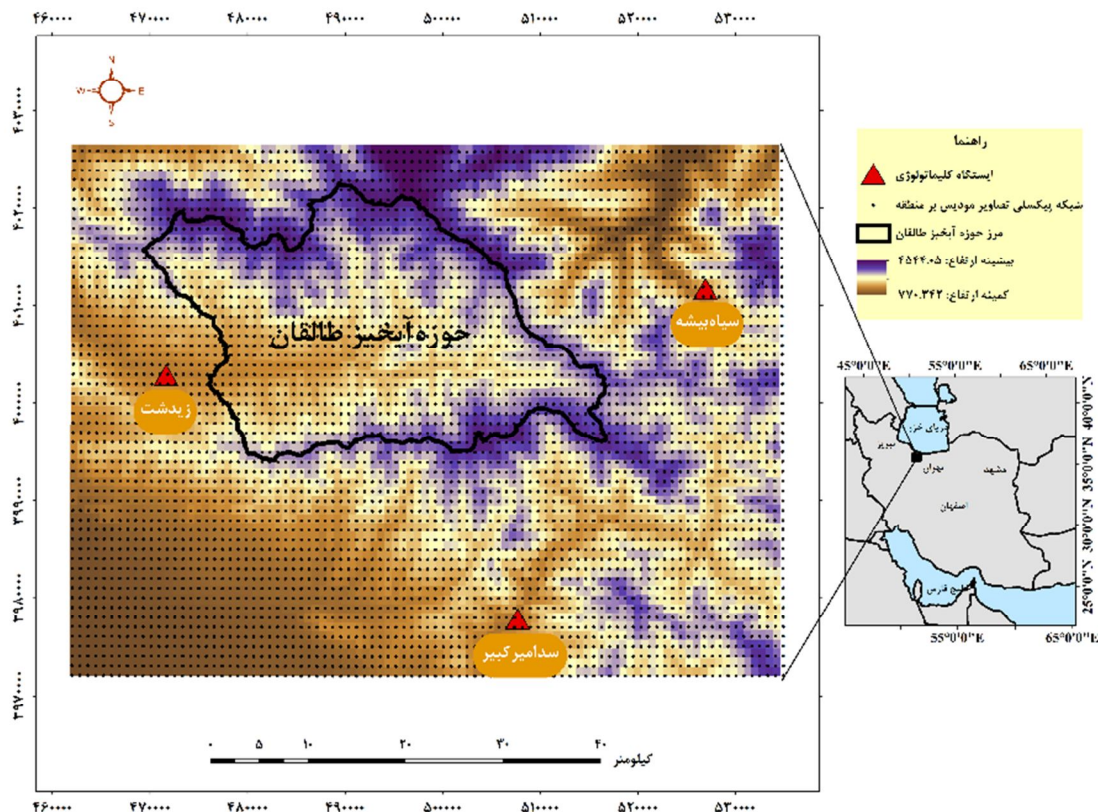
1. Mohammadi
2. Kazempour Chourasi
3. Tropical Rainfall Measuring Mission
4. Global Land Data Assimilation System
5. National Centers for Environmental Prediction- National Center for Atmospheric Research

مکانی سه پارامتر دمای هوا، شامل دمای کمینه، دمای بیشینه و دمای میانگین هوا را در مقیاس‌های روزانه و ماهیانه در استان کردستان، برآورد کردند و برای این کار از تصاویر سنجنده مادیس بهره بردند. نتایج نشان داد که با استفاده از روابط رگرسیونی، می‌توان دمای هوا را با دقت بالا براساس تصاویر ماهواره‌ای تخمین زد. در پژوهش مورد نظر، شاخص میانگین قدرمطلق خطا برای دمای بیشینه، کمینه و میانگین هوا به ترتیب ۲/۷، ۲/۱ و ۱/۶ درجه سانتی‌گراد برآورد شد. محمدی^۱ و همکاران (۲۰۱۷) دمای هوای میانگین ماهیانه را با استفاده از پارامترهای محیطی و داده‌های حاصل از سنجش از دور، تخمین زدند. نتایج تحلیل حاکی از آن بود که در زمستان، ارتفاع نقش اساسی را در توزیع پراکندگی اختلافات دمای سطح زمین و دمای هوا دارد؛ درحالی‌که در دیگر فصل‌ها، نقش شیب و پوشش گیاهی مشخص‌تر است. خطای استاندارد در ماه‌های متفاوت نیز بین ۱ تا ۱/۶ درجه سانتی‌گراد برآورد شد. در مطالعه دیگر، کاظم‌پور چورسی^۲ و همکاران (۲۰۱۹) به‌کارگیری داده‌های ماهواره‌ای تصاویر مادیس و TRMM^۳ را در پایش خشکسالی دریاچه ارومیه، ارزیابی کردند. نتایج نشان داد با استفاده از شاخص‌های ماهواره‌ای مطلوب، امکان پیش‌بینی برآورد منطقه‌ای پدیده خشکسالی، در ماه‌های گوناگون فصل رشد یا طی فصل رشد وجود دارد. احمدی و همکاران (۲۰۱۸ ب) دمای هوا و سطح زمین مدل GLDAS^۴ با سنجنده مادیس و پایگاه NCEP/NCAR^۵ با داده‌های ایستگاهی در استان‌های البرز، قزوین، زنجان، کردستان و همدان ارزیابی کردند. نتایج نشان‌دهنده دقت بالای دمای برآوردی پایگاه NCEP/NCAR، با RMSE ۱/۱۷ درجه سانتی‌گراد بود. با توجه به مطالب بیان‌شده، روش‌های متنوعی برای تخمین دمای هوا براساس داده‌های دمای سطح زمین وجود دارد اما ساده‌ترین و کارآمدترین روش استفاده از مدل‌های رگرسیونی است؛ بنابراین در این پژوهش، ابتدا همبستگی برخی متغیرهای جغرافیایی

سراسر سطح کره زمین را، هر دو روز یک بار، مشاهده کرد. در این جا، کلمه «جامع» بیانگر وسیع بودن دامنه طیفی و کامل بودن پوشش مکانی است. علاوه بر این مادیس سنجنده ای کامل است که اندازه گیری های آن در نواحی طیفی متفاوت انجام می شود. به طور خلاصه مادیس ابزاری اصلی روی ماهواره های سازمان دیده بانی زمین^۱، برای هدایت و انجام دادن تحقیقات در مورد تغییرات جهانی به شمار می رود (NASA - MODIS Brochures). این سنجنده در سال های ۱۹۹۹ و ۲۰۰۲، به ترتیب روی ماهواره های تِرا و آکوا قرار گرفت (Jang et al., 2010). سنجنده مادیس ماهواره تِرا، هر دو روز یک بار، سراسر سطح زمین را پوشش می دهد و تصویربرداری می کند و داده هایی در ۳۶ باند طیفی دریافت می کند که همراه با داده های سنجنده مادیس

ماهواره ها، با سنجنده های متفاوت، قابلیت و اطلاعات گوناگونی را در اختیار کاربران قرار می دهند و کاربران باید، متناسب با هدف و دقت مورد نظر خود، تصاویر مناسب را انتخاب کنند. سنجنده مادیس در توسعه مدل های انعطاف پذیر درباره سامانه های کره زمین، نقش حیاتی بازی می کند و توسعه این مدل ها سبب می شود بتوان تغییرات جهانی را به طور دقیق پیش بینی کرد. تصاویر مادیس در ۳۶ باند طیفی، از مرئی تا فروسرخ حرارتی (۴۱/۰ تا ۱۴ میکرومتر) با عرض نوار اسکن ۲۳۳۰ کیلومتر در مداری خورشیدآهنگ، پوشش ۹۵٪ از سطح زمین را فراهم می آورد (Zhang & Wegehenkel, 2006).

هدف استفاده از سنجنده مادیس فراهم کردن مجموعه ای جامع از مشاهدات جهانی از سطح زمین، اقیانوس ها و جو در نواحی طیفی گوناگون است تا بتوان



شکل ۱. محدوده منطقه مورد مطالعه و موقعیت هریک از ایستگاه های زمینی

1. Earth Observing System (EOS)

بین متغیرها وجود دارد و اگر $0.25 \leq r \leq 0$ ، ارتباط ضعیفی بین متغیرها برقرار است (Lin et al., 2012). طبق مواردی که بیان شد، در پژوهش حاضر، متغیرهایی در مدل‌سازی به کار رفت که دارای همبستگی معنی‌دار و بیش از ۰/۲۵ است.

۲-۴- روش پژوهش

در این پژوهش، برای ایجاد ارتباط میان دمای هوا (T_{Air}) و دمای سطح زمین حاصل از تصاویر مادیس (LST)، از روش رگرسیون خطی چندگانه استفاده شد. برای این منظور، ابتدا همبستگی میان متغیرهای جغرافیایی منطقه در محل ایستگاه‌های زمینی، شامل طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع، همچنین NDVI و LST شبانه و روزانه حاصل از تصاویر ماهواره‌ای، با دمای بیشینه و کمینه ثبت‌شده در ایستگاه‌های زمینی، به دست آمد. با توجه به میزان همبستگی متغیرها، شش مدل رگرسیونی ساده برای برآورد بیشینه و کمینه دمای هوا به کار رفت (روابط (۱) تا (۳)) بیانگر بیشینه دمای هوا و روابط (۴) تا (۶) نشان‌دهنده کمینه دمای روزانه هواست.

$$T_{a\ Max} = a \times LST_D + b \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$T_{a\ Max} = a \times LST_D + b \times LST_N + c \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$T_{a\ Max} = a \times LST_D + b \times LST_N + c \times NDVI + d \quad \text{رابطه (۳)}$$

$$T_{a\ Min} = a \times LST_D + b \quad \text{رابطه (۴)}$$

$$T_{a\ Min} = a \times LST_D + b \times LST_N + c \quad \text{رابطه (۵)}$$

$$T_{a\ Min} = a \times LST_D + b \times LST_N + c \times NDVI + d \quad \text{رابطه (۶)}$$

در این روابط، $T_{a\ Min}$ و $T_{a\ Max}$ بیشینه و کمینه دمای روزانه هوا، LST_D دمای هوای روزانه MODIS، LST_N دمای شبانه MODIS می‌باشد.

ماهواره آکوا دریافت می‌شوند. از بین محصولات گوناگون سنجنده مادیس، تصاویر مورد استفاده برای این تحقیق جزء زیرگروه داده‌های سطح سه (L_3) سنجنده مادیس است که محصول MOD11A1 مربوط به ماهواره ترا و محصول MYD11A1 مربوط به ماهواره آکوا، با توان تفکیک مکانی ۱۰۰۰ متر و توان تفکیک زمانی روزانه بودند (Wang et al., 2006)؛ بنابراین برای استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در این پژوهش، محصول دمای روزانه و شبانه مادیس با فرمت Tif* متعلق به بازه زمانی ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۵ و منطقه مورد مطالعه، از سامانه Google Earth Engine (https://earthengine.google.com) استخراج شد که شامل ۲۵۵۶ تصویر از دمای شب و روز سطح زمین، به طور مجزا بود. همچنین محصول NDVI تصاویر مادیس، در مقیاس شانزده روزه، دریافت و با میان‌یابی، به مقیاس روزانه تبدیل شد. دمای روزانه ایستگاه‌های زمینی، در دوره آماری مورد نظر، از شرکت تحقیقات منابع آب ایران وابسته به وزارت نیرو دریافت شد. دمای پیکسل‌های تصاویر ماهواره‌ای، در مختصات ایستگاه‌های زمینی، به فرمت اکسل استخراج شد. در شکل ۱، حوضه آبخیز طالقان و موقعیت هریک از ایستگاه‌های زمینی نشان داده شده است. با توجه به اینکه سه ایستگاه زیدشت، سد امیرکبیر و سیاه‌بیشه نزدیک‌ترین ایستگاه‌های دارای آمار روزانه دمای هوا به منطقه مورد مطالعه بودند، از اطلاعات این ایستگاه‌ها برای مدل‌سازی دمای هوا طبق تصاویر ماهواره‌ای استفاده شد.

۲-۳- ضریب همبستگی پیرسون

برای انتخاب متغیرهای مؤثر در فرایند مدل‌سازی، ضریب همبستگی پیرسون (r) بین هریک از متغیرهای مستقل و دمای بیشینه و کمینه محاسبه شد. در صورتی که ضریب همبستگی پیرسون برابر با ± 1 باشد، ارتباطی قوی بین متغیرها وجود دارد و اگر $r=0$ ، هیچ ارتباطی بین متغیرها وجود ندارد. اگر $0.75 \leq r \leq 0.25$ ، ارتباط متوسطی

۲-۵- ارزیابی داده‌های محصولات LST سنجنده مادیس

برای مقایسه و صحت‌سنجی داده‌های دمای سطح زمین حاصل از تصاویر مادیس، از داده‌های سه ایستگاه زمینی وابسته به وزارت نیرو استفاده شد که مشخصات آنها در جدول ۱ آمده است. همه داده‌ها به صورت تصادفی با هم ترکیب شد، سپس به دو بخش داده‌های آموزشی و آزمایشی، به نسبت ۷۰٪ به ۳۰٪ تقسیم شدند. بنابراین مدل‌ها براساس ۷۰٪ داده‌ها تعیین و در نهایت، مدل‌ها با ۳۰٪ باقی‌مانده از داده‌ها ارزیابی شدند. تحلیل داده‌ها در مقیاس روزانه و برای هفت سال انجام شد.

برای صحت‌سنجی داده‌ها، از نمایه‌های ضریب تعیین^۱ (R^2)، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و نمایه کارایی نش-ساتکلیف^۲ استفاده شد (روابط (۷) تا (۹)).

$$R^2 = \left(\frac{\sum (X_i - \bar{X})(\hat{X}_i - \bar{\hat{X}})}{\sqrt{\sum (X_i - \bar{X})^2} \sqrt{\sum (\hat{X}_i - \bar{\hat{X}})^2}} \right)^2 \quad \text{رابطه (۷)}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \hat{X}_i)^2}{N}} \quad \text{رابطه (۸)}$$

$$NSE = 1 - \frac{\sum (X_i - \hat{X}_i)^2}{\sum (X_i - \bar{X})^2} \quad \text{رابطه (۹)}$$

در این معادلات، X_i سری داده‌های مشاهداتی، \bar{X} میانگین سری داده‌های مشاهداتی، \hat{X}_i سری داده‌های تخمینی، میانگین سری داده‌های تخمینی، N تعداد داده‌ها و i متغیر آم است.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- همبستگی بین متغیرهای گوناگون و بیشینه و کمینه دما

با بررسی رابطه بین متغیرهای گوناگون و دمای بیشینه و کمینه روزانه ثبت شده در ایستگاه‌های زمینی، ضریب همبستگی پیرسون (r) درمورد سه متغیر LST روز، LST شب و NDVI، در ارتباط با هر دو دمای بیشینه و کمینه هوا، معنی‌دار بود (جدول ۲)؛ به گونه‌ای که حداقل ضریب همبستگی پیرسون برای LST بیش از ۰/۸ و برای NDVI بیش از ۰/۳ برآورد شد. همچنین بین LST روز و بیشینه دمای هوا و نیز LST شب و کمینه دمای هوا، بهترین توافق وجود داشت. در بیشتر مطالعات نیز، نتایج مشابهی به دست آمده است (Vancutsem et al., 2010; Zhang et al., 2011; Shamir & Georgakakos, 2014; Huang et al., 2015). بین متغیر ارتفاع با دمای هوا ارتباط محسوسی مشاهده نشد و ارتفاع فقط با بیشینه دمای هوا ارتباط ضعیفی، با ضریب همبستگی ۰/۱۹- داشت؛ به همین دلیل، از فرایند مدل‌سازی حذف شد. یو و همکاران (۲۰۱۸) نیز بیان کردند که متغیر ارتفاع در بیشینه دمای هوا اثرگذار است. در این مورد، علت تأثیر ناچیز ارتفاع در دمای هوا را می‌توان نزدیک بودن ارتفاع ایستگاه‌های زمینی به یکدیگر دانست اما نوئی^۳ و همکاران (۲۰۱۶)، با بررسی اثر گروه‌های متفاوت ارتفاعی در تخمین دمای هوا، بیان کردند که متغیر ارتفاع در تخمین بیشینه و کمینه دمای هوا نقش محسوسی ندارد. افزون‌براین به دلیل همبستگی ضعیف

جدول ۱. مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های زمینی

نام ایستگاه	نوع ایستگاه	طول جغرافیایی (X UTM)	عرض جغرافیایی (Y UTM)	ارتفاع از سطح دریا (متر)
زدشت	کلیماتولوژی	۴۷۱۶۷۰	۴۰۰۲۸۸۰	۱۷۵۰
سیاه‌بیشه	سینوپتیک	۵۲۶۹۵۲	۴۰۱۱۷۱۹	۱۸۵۵
سد امیرکبیر	کلیماتولوژی	۵۰۷۷۴۱	۳۹۷۷۸۵۱	۱۶۱۳

1. Coefficient of Determination
2. Nash-Sutcliffe Model Efficiency Coefficient (NSE)
3. Noi

متغیرهای مؤثر می‌شد دارای بیشترین دقت و کمترین خطا بود؛ به طوری که در تخمین بیشینه و کمینه دمای هوا، به ترتیب مدل اول و چهارم، با نمایه نش-ساتکلیف و ۰/۷۴ و ۰/۷۱ بیشترین دقت را داشتند. در این زمینه، نوئی و همکاران (۲۰۱۶) و فن^۳ و همکاران (۲۰۱۹) به نتایج مشابه دست یافتند. آنچه به وضوح مشخص است تأثیر پررنگ LST روز و شب و در مرتبه بعد، NDVI در تخمین بیشینه و کمینه دمای هواست زیرا، با حذف سایر متغیرها، تغییر محسوس در نتایج دیده نشد؛ بنابراین در تخمین بیشینه دمای روزانه هوا، مدل اول که شامل همه متغیرهای مؤثر (LST روز و شب، و NDVI) است، با R^2 و NSE برابر با ۰/۷۴ و ۰/۷۴ و RMSE برابر با ۴/۷+ درجه سانتی‌گراد، بیشترین دقت و کمترین خطا را دارد. در تخمین کمینه دمای روزانه هوا نیز، مدل چهارم با R^2 برابر با ۰/۷۲، NSE برابر با ۰/۷۱ و RMSE برابر با ۳/۹+ درجه سانتی‌گراد، دارای بیشترین دقت و کمترین خطاست.

جدول ۳. نتایج آزمون هم‌خطی متغیرهای مستقل

متغیر	عامل تورم واریانس (VIF)
LST روز	۴/۷
LST شب	۴/۰۲
NDVI	۱/۱۵

همان‌طور که در شکل ۳ مشخص است، کمترین مقدار ضریب تبیین و نمایه نش-ساتکلیف به مدل ششم بازمی‌گردد که فقط از LST روز برای تخمین کمینه دمای روزانه هوا بهره برده است؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از LST روز، به تنهایی، مدلی با دقت بالا برای تخمین کمینه دمای هوا در منطقه مورد مطالعه دربر نخواهد داشت. در پژوهش ژو^۴ و همکاران (۲۰۱۳) نیز به این نکته اشاره شده است که

1. Colinearity
2. Variance Inflation Factor (VIF)
3. Phan
4. Zhu

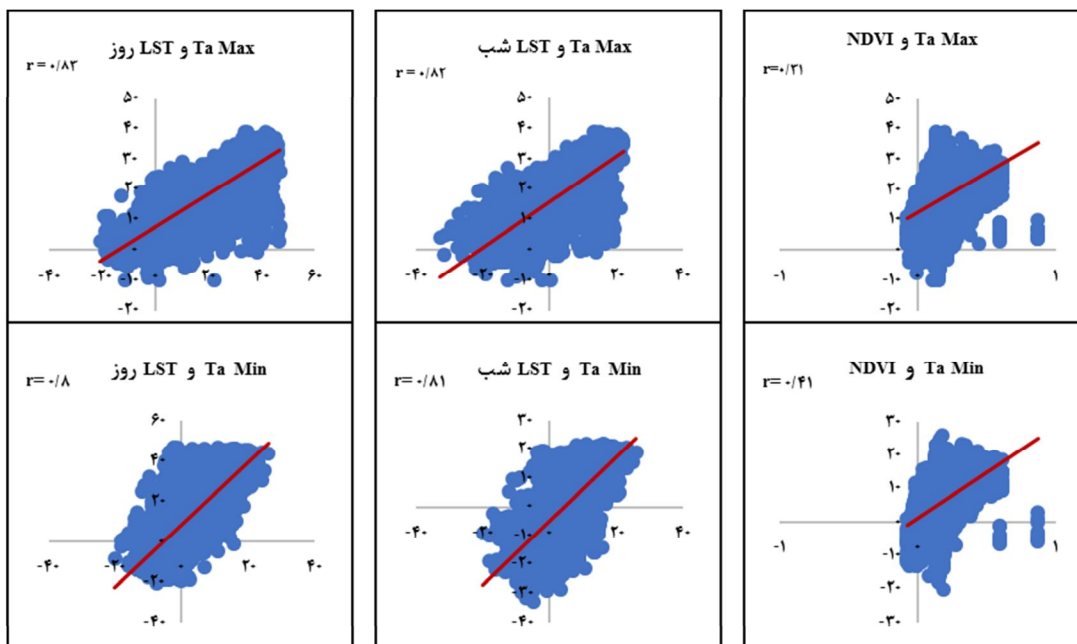
طول و عرض جغرافیایی با دمای هوا، این دو متغیر از فرایند مدل‌سازی حذف شدند. علت این امر فقدان تغییرات محسوس مختصات جغرافیایی در مقیاس کوچک است. در پژوهش سرا و همکاران نیز، همبستگی طول و عرض جغرافیایی با دمای هوا بسیار ضعیف بود. از بین متغیرهای یادشده، LST روز و LST شب و NDVI بیشترین همبستگی را با دمای هوای ثبت‌شده در ایستگاه‌های زمینی داشتند (شکل ۲).

جدول ۲. ضریب همبستگی پیرسون بین متغیرهای گوناگون و بیشینه و کمینه دمای روزانه هوا

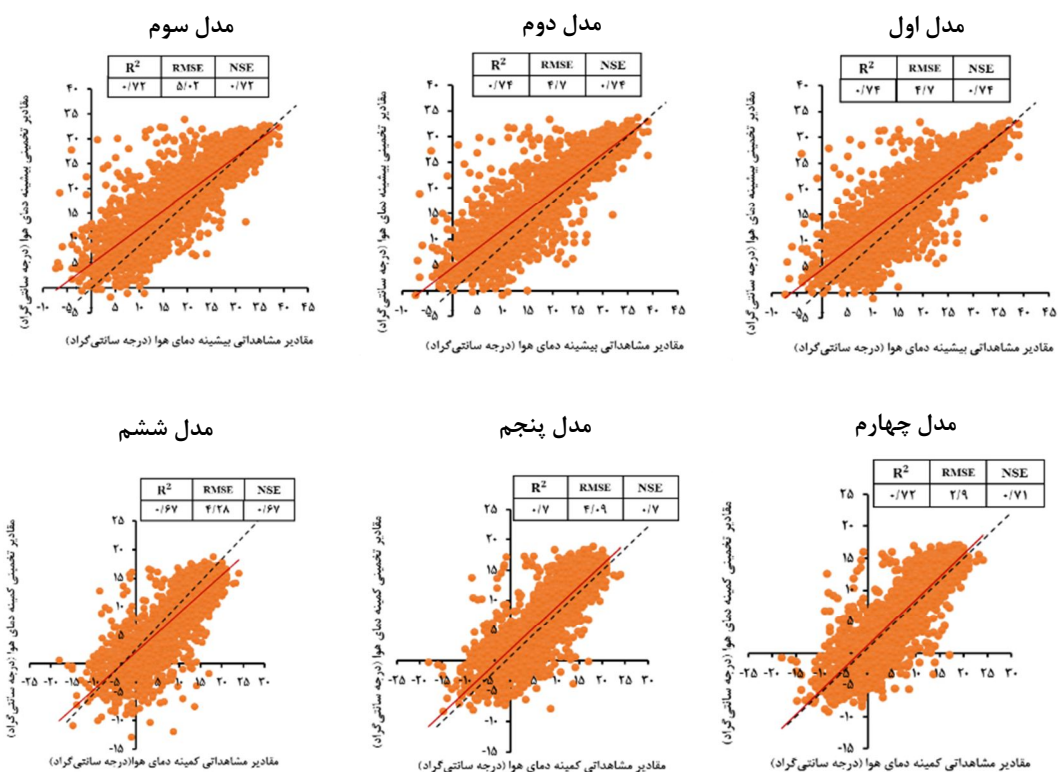
متغیر مستقل	بیشینه دمای هوا	کمینه دمای هوا
LST روز	۰/۸۳	۰/۸
LST شب	۰/۸۱	۰/۸۲
NDVI	۰/۳۱	۰/۴۱
ارتفاع	-۰/۱۹	-۰/۰۴
طول جغرافیایی	۰/۰۲	۰/۰۸
عرض جغرافیایی	-۰/۰۹	-۰/۰۶

۳-۲- مدل‌سازی بیشینه و کمینه دمای هوا با روش رگرسیون خطی چندگانه

پس از تعیین متغیرهای مؤثر در دمای هوا، ابتدا براساس روابط (۱) تا (۳)، از روش رگرسیون خطی چندگانه سه مدل برای تخمین بیشینه دمای هوا و مطابق روابط (۴) تا (۶) سه مدل برای تخمین کمینه دمای روزانه هوا به دست آمد (شکل ۳). به منظور بررسی اثر هم‌خطی^۱ متغیرهای مستقل و تأیید مدل‌سازی، عامل تورم واریانس^۲ در نرم‌افزار SPSS، برای هر یک از متغیرهای مستقل محاسبه شد (جدول ۳). براساس برخی منابع، اگر $VIF > 5$ (Sheather, 2009) یا $VIF > 10$ (Kutner et al., 2004)، اثر هم‌خطی وجود دارد و آن متغیر باید از فرایند مدل‌سازی حذف شود؛ بنابراین طبق داده‌های جدول ۳، در هیچ‌یک از متغیرهای مورد استفاده، اثر هم‌خطی وجود نداشت. در همه مدل‌ها ارتباط مناسبی بین مقادیر مشاهداتی و تخمینی دمای هوا وجود داشت اما مدلی که شامل همه



شکل ۲. ارتباط بین متغیرهای LST روز و شب و NDVI با بیشینه و کمینه دمای روزانه هوا



شکل ۳. ارتباط بین مقادیر تخمینی و مشاهداتی دمای روزانه هوا در مدل‌های اول تا ششم. در هر مدل، خط سیاه بیانگر خط ۱:۱ و خط قرمز نشان‌دهنده خط رگرسیون است

دلیل آن کاهش LST در طول شب است؛ بنابراین با افزایش ضریب LST شب در مدل، تأثیر آن در تخمین دمای هوا تعدیل می‌شود.

۳-۳- اعتبارسنجی بهترین مدل برآوردی در هر یک از ایستگاه‌های زمینی

پس از انتخاب مدل‌های ۱ و ۴ به‌منزله بهترین مدل در تخمین بیشینه و کمینه دمای روزانه هوا، این مقادیر با استفاده از متغیرهای هر ایستگاه برآورد شد. سپس با مقادیر ثبت‌شده در ایستگاه‌های زمینی مقایسه و شاخص‌های خطا، طبق جدول ۶ برآورد شد. در هر سه ایستگاه، مقادیر شاخص‌های خطا کاملاً مطلوب بود و در تخمین بیشینه دمای هوا، ایستگاه سد امیرکبیر با مقادیر ضریب تبیین و نمایه‌نش- سائکلیف، به‌ترتیب ۰/۹ و ۰/۸۸ و ریشه میانگین مربعات خطای ۳/۲۲ درجه سانتی‌گراد، بهترین نتایج را دربر داشت.

LST روز و شب، به‌تنهایی، تخمین مناسبی از دمای هوا، به‌ویژه بیشینه دمای هوا به‌دست نخواهد داد. از سوی دیگر، تفاوت بین مدل ششم با مدل پنجم در حذف متغیر LST شب در مدل ششم است که سبب کاهش دقت مدل شده و این نکته تأثیر LST شب در تخمین کمینه دمای روزانه هوا را بیان می‌کند. در جدول‌های ۴ و ۵، مدل‌های برآوردی از روش رگرسیون چندگانه آورده شده است. به‌دلیل اینکه مقادیر عددی NDVI کوچک و بین ۱- تا ۱ متغیر است، در مدل‌های برآوردی ضریب آن بیشتر از سایر متغیرهاست اما در دقت برآورد بیشینه دمای روزانه هوا تأثیری نداشته است زیرا، با حذف آن در مدل دوم، شاخص‌های خطا تغییر محسوسی نداشته‌اند. از سوی دیگر، در مدل پنجم با حذف NDVI، خطای مدل در تخمین کمینه دمای روزانه هوا افزایش اندکی یافته است. ضریب LST شب نیز در تمامی مدل‌ها بیشتر از LST روز است که

جدول ۴. مدل‌های برآوردی برای تخمین بیشینه دمای روزانه هوا

مدل	معادلات	R^2	RMSE
۱	$Ta_{Max} = 0/31 LST_D + 0/33 LST_N + 4/26 NDVI + 10/17$	۰/۷۴	۴/۷
۲	$Ta_{Max} = 0/31 LST_D + 0/36 LST_N + 11/04$	۰/۷۴	۴/۸
۳	$Ta_{Max} = 0/54 LST_D + 7/51$	۰/۷۲	۵/۰۲

جدول ۵. مدل‌های برآوردی برای تخمین کمینه دمای روزانه هوا

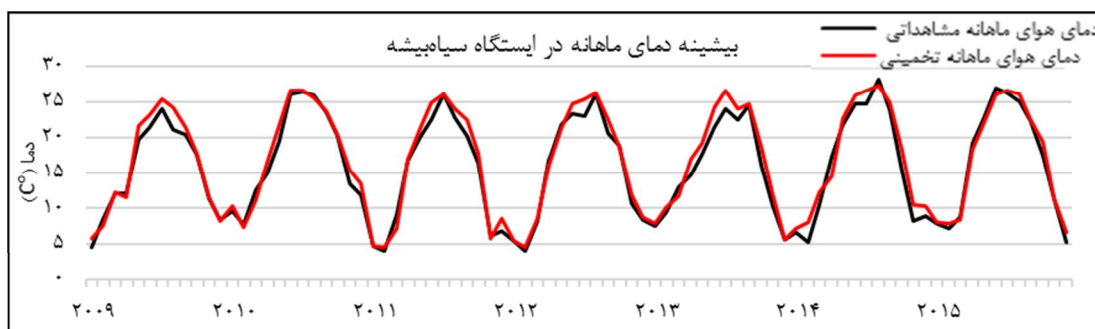
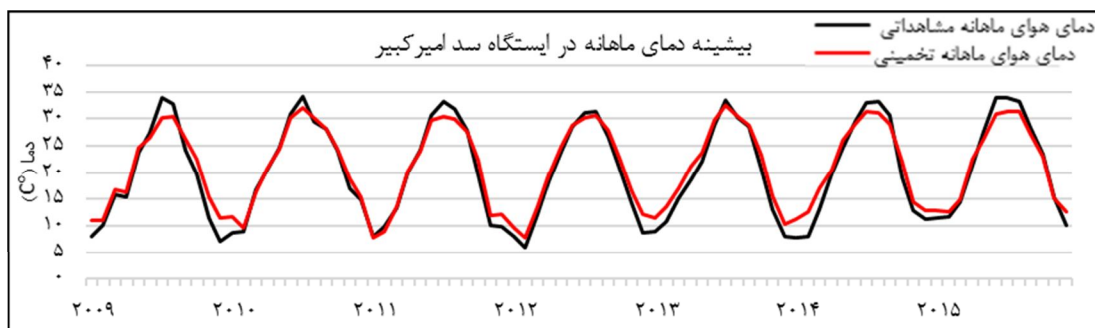
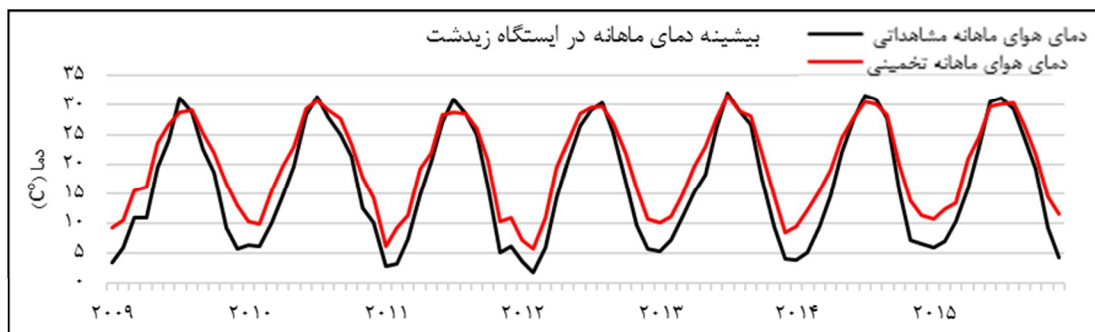
مدل	معادلات	R^2	RMSE
۴	$Ta_{Min} = 0/22 LST_D + 0/26 LST_N + 10/08 NDVI - 0/71$	۰/۷۱	۲/۹
۵	$Ta_{Min} = 0/2 LST_D + 0/32 LST_N + 1/95$	۰/۷	۴/۰۹
۶	$Ta_{Min} = 0/58 LST_D + 5/19$	۰/۶۷	۴/۲۸

جدول ۶. نتایج اعتبارسنجی مدل منتخب به‌تفکیک ایستگاه

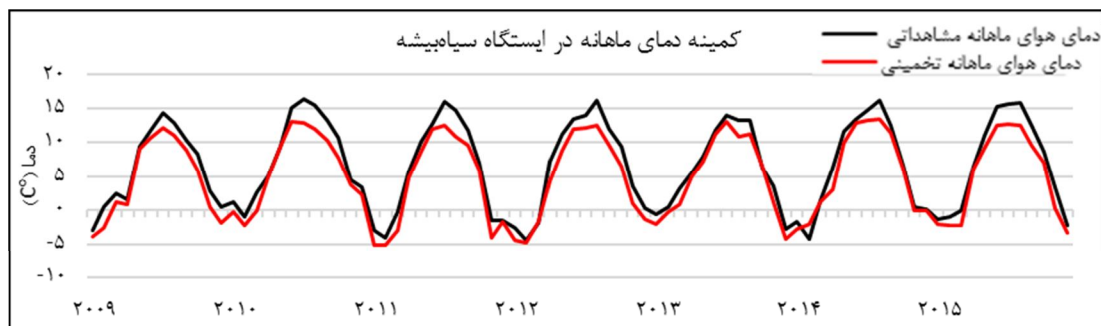
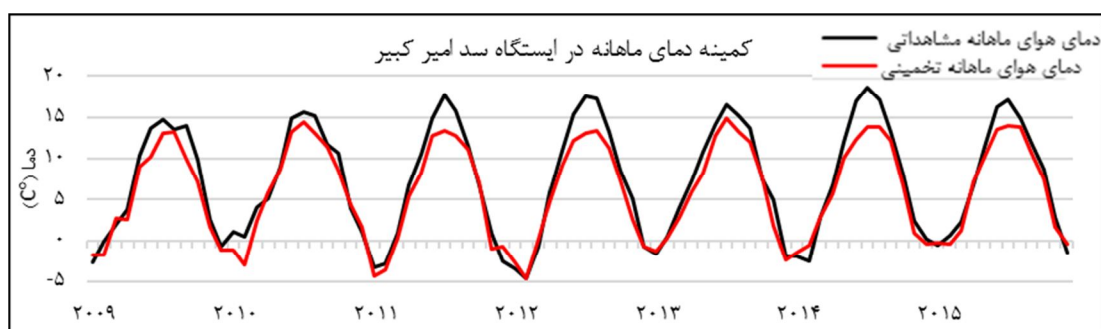
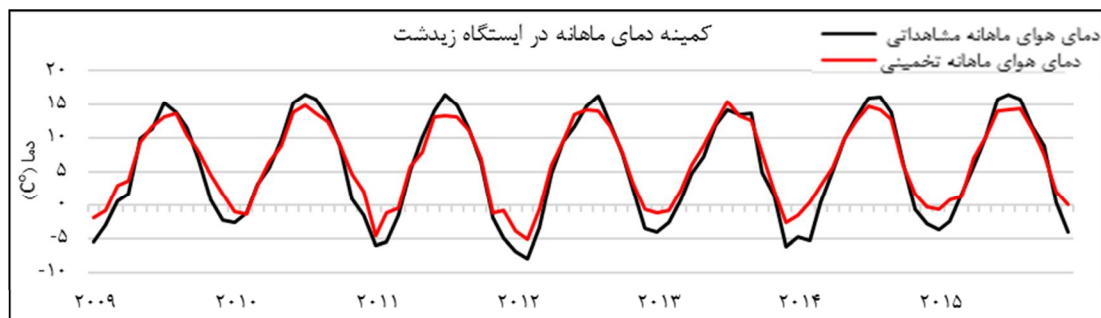
ایستگاه	دمای بیشینه هوا			دمای کمینه هوا		
	R^2	RMSE	NSE	R^2	RMSE	NSE
زیدشت	۰/۸۹	۴/۷۶	۰/۷۷	۰/۸۳	۳/۵۱	۰/۸۱
سد امیرکبیر	۰/۹	۳/۲۲	۰/۸۸	۰/۸۳	۳/۲۱	۰/۸
سیاه بیشه	۰/۸۱	۳/۶۴	۰/۸۱	۰/۸۱	۳/۵۷	۰/۸۱

در ماه‌های تابستان، دارای کم‌تخمینی است. علت این امر، طبق پژوهش نوئی و همکاران (۲۰۱۶)، تأثیرات تابش خورشیدی است که به مطالعات بیشتر نیاز دارد اما، به‌طور کلی، اثر فصل در تخمین دمای هوا محسوس نیست. در بیشینه دمای ماهیانه هوا، بهترین ارتباط بین مقادیر مشاهداتی و تخمینی به سد امیرکبیر بازمی‌گردد و در مورد کمینه دمای ماهیانه هوا، هر سه ایستگاه با دقت تقریباً یکسان عمل کرده‌اند.

همچنین سری زمانی بیشینه و کمینه دمای هوای ماهیانه تخمینی و مشاهداتی، در هر ایستگاه، در شکل‌های ۴ و ۵ نمایش داده شده است. همان‌طور که مشخص است، ارتباط مطلوبی بین دمای هوای ماهیانه تخمینی و مشاهداتی وجود دارد. اما در هر سه ایستگاه، مقادیر بیشینه دمای ماهیانه هوا طی ماه‌های زمستان، دارای بیش تخمینی و مقادیر کمینه دمای ماهیانه هوا،



شکل ۴. سری زمانی بیشینه دمای هوای ماهیانه تخمینی و مشاهداتی، در محل ایستگاه‌های زمینی



شکل ۵. سری زمانی کمینه دمای هوای ماهیانه تخمینی و مشاهداتی، در محل ایستگاه‌های زمینی

۴- نتیجه‌گیری

دسترسی به داده‌های ایستگاه‌های زمینی مشکل باشد (Benali et al., 2012). پیشرفت‌های سنجش از دور و دریافت تصاویر ماهواره‌ای سبب شده است بسیاری از اطلاعات مورد نیاز در اختیار پژوهشگران قرار گیرد. در پژوهش حاضر، به تحلیل و بحث درباره ارتباط بین بیشینه و کمینه دمای هوا و متغیرهای گوناگون شامل LST روز و LST شب سنجنده مادیس و NDVI، ارتفاع و طول و عرض جغرافیایی پرداخته شد تا مدلی

استفاده از ایستگاه‌های زمینی در محاسبه و بررسی داده‌های هواشناسی، با وجود دقت مناسب آنها، محدودیت‌هایی به همراه دارد؛ از جمله می‌توان به گسسته بودن این اطلاعات اشاره کرد که باعث می‌شود، در محاسبه متغیری همچون دما، خطای درون‌بایی در مورد بخش‌هایی که از ایستگاه‌ها فاصله دارند به بیش از ۵ درجه سانتی‌گراد برسد. علاوه بر آن ممکن است، در مناطقی، ایستگاه زمینی وجود نداشته باشد و یا

۵- منابع

- Ahmadi, M., Dadashi Roudbari, A. & Ahmadi, H. 2018a, **Analysis of Daytime Land Surface Temperature in Iran Based on the MODIS Sensor Output**, Environmental Sciences, 16(1), PP. 47-68.
- Ahmadi, M., Kaviani, A., Daneshkar, P. & Faraji, Z., 2018b, **Estimation of Air Temperature and Land Surface Using GLDAS and NCEP/NCAR**, Iranian Irrigation and Drainage Journal, 13(4), PP. 931-944.
- Benali, A., Carvalho, A.C., Nunes, J.P., Carvalhais, N. & Santos, A., 2012, **Estimating Air Surface Temperature in Portugal Using MODIS LST Data**, Remote Sensing of Environment, 124, PP. 108-121.
- Bustos, E. & Meza, F.J., 2015, **A Method to Estimate Maximum and Minimum Air Temperature Using MODIS Surface Temperature And Vegetation Data: Application to the Maipo Basin, Chile**, Theoretical and Applied Climatology, 120(1-2), PP. 211-226.
- Chen, Y., Sun, H. & Li, J., 2016, **Estimating Daily Maximum Air Temperature with MODIS Data and a Daytime Temperature Variation Model in Beijing Urban Area**, Remote Sensing Letters, 7(9), PP. 865-874.
- Czajkowski, K.P., Goward, S.N., Stadler, S.J. & Walz, A., 2000, **Thermal Remote Sensing of Near Surface Environmental Variables: Application over the Oklahoma Mesonet**, The Professional Geographer, 52(2), PP. 345-357.
- Didari, S., Norouzi, H., Zand-Parsa, S. & Khanbilvardi, R., 2017, **Estimation of Daily Minimum Land Surface Air Temperature Using MODIS Data in Southern Iran**, Theoretical and Applied Climatology, 130(3-4), PP. 1149-1161.
- برای تخمین بیشینه و کمینه دمای هوا در حوضه آبخیز طالقان، مطرح شود. بدین منظور ابتدا همبستگی متغیرهای یادشده با دمای هوای ثبت شده در ایستگاه‌های زمینی تعیین شد. به دلیل فقدان همبستگی طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع با دمای هوا، این سه متغیر از فرایند مدل سازی حذف شدند و سایر متغیرها با استفاده از روش رگرسیون خطی چندگانه، سه مدل برای تخمین بیشینه دمای روزانه هوا و سه مدل برای تخمین کمینه دمای روزانه هوا تعیین شد. به منظور اعتبارسنجی مدل‌ها، از شاخص‌های آماری خطا استفاده شد؛ شامل نمایه نش-سانتکیف، ضریب تبیین و میانگین ریشه مربعات خطا. نتایج نشان داد، در تخمین بیشینه و کمینه دمای روزانه هوا، مدلی بیشترین کارایی را دارد که از همه متغیرهای مؤثر استفاده کند. بهترین مدل، در تخمین بیشینه دمای روزانه هوا، مدل اول با مقادیر R^2 NSE و RMSE برابر با ۰/۷۴، ۰/۷۴ و ۴/۷+ درجه سانتی‌گراد است. در مورد مدل چهارم، به منزله بهترین تخمین از کمینه دمای روزانه هوا، مقادیر این شاخص‌ها به ترتیب ۰/۷۱، ۰/۷۲ و ۲/۹+ درجه سانتی‌گراد برآورد شد. در محل سه ایستگاه زمینی نیز، بهترین مدل برآوردی آزمون شد و نتایج آن حاکی از دقت بالای مقادیر برآوردی بیشینه و کمینه دمای روزانه هوا بود؛ به گونه‌ای که نمایه کارایی نش-سانتکیف، در هر سه ایستگاه، بیش از ۰/۷ برآورد شد. مقایسه سری تخمینی و مشاهداتی بیشینه و کمینه دمای ماهیانه هوا نیز تطابق مناسبی را در هر ایستگاه نشان داد. به طور کلی نتایج حاصل از اعتبارسنجی، در هر دو مقیاس زمانی روزانه و ماهیانه، حاکی از آن است که چه بسا با استفاده از روابط رگرسیونی به وجود آمده، مبتنی بر دماهای سطح زمین مستخرج از تصاویر سنجنده مادیس، و با متغیرهای مؤثر شامل NDVI، LST روز و LST شب، بتوان بیشینه و کمینه دمای هوا را در حوضه آبخیز طالقان، با دقت مناسب و مورد قبول، برآورد کرد؛ بنابراین می‌توان، با تبدیل دمای سطح زمین حاصل از تصاویر سنجنده مادیس، دمای هوا را با دقت بالا برای استفاده در پژوهش‌های متفاوت، تخمین زد.

- Fattahi, A. & Vazifehdoust, M., 2011, **Estimation of Snow Cover Area and Land Surface Temperature Using MODIS Satellite (A Case Study of Golestan Watershed)**, Geographical Research, 26(102), PP. 149-168.
- Georgiou, A.M. & Varnava, S.T., 2019, **Evaluation of Modis-Derived Lst Products With Air Temperature Measurements in Cyprus. Geoplanning**, Journal of Geomatics and Planning, 6(1), P. 1.
- Goldblatt, R., Addas, A., Crull, D., Maghrabi, A., Levin, G.G. & Rubinyi, S., 2021, **Remotely Sensed Derived Land Surface Temperature (Lst) as a Proxy for Air Temperature and Thermal Comfort at a Small Geographical Scale**, Land, 10(4), P. 410.
- Hatami Jarabad, C., Erfanian, M. & Babaei Hesar, S., 2018, **Estimation of Daily Net Radiation in the Urmia Lake Basin under Clear-Sky Conditions Based on MODIS Data**, Physical Geography Research Quarterly, 50(4), PP. 669-684.
- 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).
- Höskuldsson, A., 1988, **PLS Regression Methods**, Journal of Chemometrics, 2(3), PP. 211-228.
- Huang, F., Ma, W., Wang, B., Hu, Z., Ma, Y., Sun, G., Xie, Z. & Lin, Y., 2017, **Air Temperature Estimation with MODIS Data over the Northern Tibetan Plateau**, Advances in Atmospheric Sciences, 34(5), PP. 650-662.
- Huang, R., Zhang, C., Huang, J., Zhu, D., Wang, L. & Liu, J., 2015, **Mapping of Daily Mean Air Temperature in Agricultural Regions Using Daytime and Nighttime Land Surface Temperatures Derived from Terra and Aqua MODIS Data**, Remote Sensing, 7, PP. 8728-8756.
- Ismaili, S., Khoshkho, Y. & Abdolhi, M., 2017, **Estimation of Daily and Monthly Air Temperature Parameters in Kurdistan Province Using MODIS Sensor Images**, Iran Water and Soil Research (Agricultural Sciences of Iran), 49(2), PP. 423-413.
- Janatian, N., Sadeghi, M., Sanaeinejad, S.H., Bakhshian, E., Farid, A., Hasheminia, S.M. & Ghazanfari, S., 2017, **A Statistical Framework for Estimating Air Temperature Using MODIS Land Surface Temperature Data**, International Journal of Climatology, 37(3), PP. 1181-1194.
- Jang, K., Kang, S., Kim, J., Lee, C.B., Kim, T., Kim, J., Hirata, R. & Saigusa, N., 2010, **Mapping Evapotranspiration Using MODIS and MM5 Four-Dimensional Data Assimilation**, Remote Sensing of Environment, 114(3), PP. 657-673.
- Jin, M. & Dickinson, R.E., 2010, **Land Surface Skin Temperature Climatology: Benefitting from the Strengths of Satellite Observations**, Environmental Research Letters, 5(4), P. 044004.
- Kazempour Choursi, S., Erfanian, M. & Ebadi Nehari, Z., 2019, **Evaluation of MODIS and TRMM Satellite Data for Drought Monitoring in the Urmia Lake Basin**, Geography and Environmental Planning, 30(2), PP. 17-34.
- Kutner, M.H., Kutner, M.H., Nachtsheim, C. & Neter, J., 2004, **Student Solutions Manual for Use with Applied Linear Regression Models**, McGraw-Hill/Irwin.
- Lin, S., Moore, N.J., Messina, J.P., DeVisser, M.H. & Wu, J., 2012, **Evaluation of Estimating Daily Maximum and Minimum Air Temperature with MODIS Data in East Africa**, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 18, PP. 128-140.
- 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), PP. 1-15.
- Marzban, F., 2020, **Estimation of Near-Surface Air Temperature during Day and Night-**

- Time from MODIS over Different LC/LU Using Machine Learning Methods in Berlin**, PQDT - Global, June, 167.
- 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(9).
- Mohammadi, Ch., Farajzadeh, M., Qavidel Rahimi, Y. & Ali Akbar Bidakhti, A., 2017, **Estimation of Air Temperature Based on Environmental Parameters Using Remote Sensing Data**, Applied Research Journal of Geographical Sciences, 18(48), PP. 131-152.
- Nabizadeh Balkhanloo, A., hejazizadeh, Z. & Zeaiean Firoozabadi, P., 2018, **Assessment of Vegetation Temperature Status (VTCl) for Monitoring Drought in the Watershed of Lake Urmia by Using MODIS Satellite Imagery**, Journal of Geographical Sciences, 18(50), PP. 129-139.
- Nieto, H., Sandholt, I., Aguada, I., Chuvieco, E. & Stisen, S., 2011, **Air Temperature Estimation with MSG-SEVIRI Data: Calibration and Validation of the TVX Algorithm for the Iberian Peninsula**, Remote Sensing of Environment, 115, PP. 107-116
- 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), P. 1002.
- Noor H., Vafakhah, M. & Moghadasi, M., 2016, **Backup Tool to Determine the Optimal Spatial Pattern of Watershed Management Measures (Case Study: Taleghan Dam Watershed)**, Watershed Researches, 113, PP. 70-80.
- Nosrati, K., Mohseni Saravi, M., Ahmadi, H. & Aghighi, H., 2015, **Evapo-Transpiration Estimation in Taleghan Drainage Basin Using MODIS Images and SEBAL Model**, Journal of Range and Watershed Management, 68(2), PP. 385-398.
- Parviz, L., Kholghi, M. & Valizadeh, K.H., 2011, **Estimation of Air Temperature Using Temperature-Vegetation Index (TVX) Method**, Iranian Journal of Water and Soil Science, 15(56), PP. 21-34.
- Phan, T.N., Kappas, M., Nguyen, K.T., Tran, T.P., Tran, Q.V. & Emam, A.R., 2019, **Evaluation of MODIS Land Surface Temperature Products for Daily Air Surface Temperature Estimation in Northwest Vietnam**, International Journal of Remote Sensing, 40(14), PP. 5544-5562.
- Prihodko, L. & Goward, S.N., 1997, **Estimation of Air Temperature from Remotely Sensed Surface Observations**, Remote Sensing of Environment, 60(3), PP. 335-346.
- Rajani, S.V., 2021, **Estimation and Validation of Land Surface Temperature by Using Remote Sensing & GIS for Chittoor District, Andhra Pradesh**, Turkish Journal of Computer and Mathematics Education (TURCOMAT), 12(5), PP. 607-617.
- Ruiz-Álvarez, M., Alonso-Sarria, F. & Gomariz-Castillo, F., 2019, **Interpolation of Instantaneous Air Temperature Using Geographical and MODIS Derived Variables with Machine Learning Techniques**, ISPRS International Journal of Geo-Information, 8(9).
- Serra, C., Lana, X., Martínez, M.D., Roca, J., Arellano, B., Biere, R., Moix, M. & Burgueño, A., 2020, **Air Temperature in Barcelona Metropolitan Region from MODIS Satellite and GIS Data**, Theoretical and Applied Climatology, 139(1-2), PP. 473-492.
- Shamir, E. & Georgakakos, K.P., 2014, **MODIS Land Surface Temperature as an Index of Surface Air Temperature for Operational Snowpack Estimation**, Remote Sensing of Environment, 152, PP. 83-98.
- Sheather, S.J., 2009, **Multiple Linear regression**, In A Modern Approach to Regression with R (PP. 125-149), Springer, New York, NY.
- Vancutsem, C., Ceccato, P., Dinku, T. & Connor, S.J., 2010, **Evaluation of MODIS Land Surface to Estimate Air Temperature in**

- Different Ecosystems over Africa**, Remote Sensing of Environment, 114, PP. 449-465.
- Wang, K., Li, Z. & Cribb, M., 2006, **Estimation of Evaporative Fraction from a Combination of Day and Night Land Surface Temperatures and NDVI: A New Method to Determine the Priestley-Taylor Parameter**, Remote Sensing of Environment, 102(3-4), PP. 293-305.
- Willmott, C.J. & Robeson, S.M., 1995, **Climatologically Aided Interpolation (CAI) of Terrestrial Air Temperature**, International Journal of Climatology, 15(2), PP. 221-229.
- Xu, Y., Qin, Z. & Shen, Y., 2012, **Study on the Estimation of Near-Surface Air Temperature from MODIS Data by Statistical Methods**, International Journal of Remote Sensing, 33(24), PP. 7629-7643.
- Yang, Y.Z., Cai, W.H. & Yang, J., 2017, **Evaluation of MODIS Land Surface Temperature Data to Estimate Near-Surface Air Temperature in Northeast China**, Remote Sensing, 9(5), PP. 1-19.
- Yoo, C., Im, J., Park, S. & Quackenbush, L.J., 2018, **Estimation of Daily Maximum and Minimum Air Temperatures in Urban Landscapes Using MODIS Time Series Satellite Data**, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 137, PP. 149-162.
- Zhang, Y. & Wegehenkel, M., 2006, **Integration of MODIS Data into a Simple Model for the Spatial Distributed Simulation of Soil Water Content and Evapotranspiration**, Remote Sensing of Environment, 104, PP. 393-408.
- Zhang, W., Huang, Y., Yu, Y. & Sun, W., 2011, **Empirical Models for Estimating Daily Maximum, Minimum and Mean Air Temperatures with MODIS Land Surface Temperatures**, International Journal of Remote Sensing, 32, PP. 9415-9440.
- Zhu, W., Lu, A. & Jia, S., 2013, **Estimation of Daily Maximum and Minimum Air Temperature Using MODIS Land Surface Temperature Products**, Remote Sensing of Environment, 130, PP. 62-73.



نیشن از دور

GIS ایران



سنجش از دور و GIS ایران سال چهاردهم، شماره چهارم، زمستان ۱۴۰۱
VoL.14, No. 4, Winter 2023 Iranian Remote Sensing & GIS

53-70

Estimation of Maximum and Minimum Daily Air Temperature Using MODIS Surface Temperature Products

Tavosi M.¹, Vafakhah M.^{2*}, Moosavi V.³

1. M.Sc. Student, Dep. of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modarres University, Noor, Mazandaran
2. Prof. of Dep. of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modarres University, Noor, Mazandaran
3. Assistant Prof., Dep. of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modarres University, Noor, Mazandaran

Abstract

Due to the importance of meteorological data and limitations of data gathering from ground stations, remote sensing can play an important role in the preparation of these data. The purpose of this study was to quantitatively evaluate the Land Surface Temperature (LST) obtained from Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) sensor images for estimating the maximum and minimum daily air temperature in the Taleghan watershed. For this purpose, the maximum and minimum daily air temperature data of three existing ground stations for the period 2009 to 2015 were obtained. Day and night LST and Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) values of MODIS were also prepared. The relationships between each of the effective variables and maximum and minimum daily air temperature in ground stations have been extracted using multiple linear regression method. The results showed that there was a significant correlation between maximum and minimum daily temperature of ground stations with day and night LST and NDVI from MODIS sensor. Therefore, these variables were used in regression relationships. The results of validation showed that the established relationships with all effective variables had the most accuracy. Therefore, the best model for estimating the maximum daily air temperature had R^2 , NSE and RMSE values of 0.74, 0.74, and +4.7, respectively and for estimating the minimum daily air temperature had 0.71, 0.72 and +2.9, respectively. Therefore, by converting the surface temperature obtained from MODIS sensor images, the air temperature can be estimated with high accuracy on a daily and monthly scales for various studies.

Keywords: Air temperature, Aqua and Terra satellites, Land Surface Temperature, Vegetation index.

* Correspondence Address: Dep. of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modarres University, Noor, Mazandaran. Tel: 09123179699- 01144999120
Email: vafakhah@modares.ac.ir