

Using the multivariate linear regression method to model the 2-meter air temperature from MODIS sensor data

Mohammadi Ahoei, M. A.¹  | Sam-Khaniani, A.¹  

1. Department of Surveying Engineering, Faculty of Civil Engineering, Babol Noshirvani University of Technology, Babol, Iran.

Corresponding Author E-mail: ali.sam@nit.ac.ir

(Received: 25 May 2024, Revised: 8 July 2024, Accepted: 11 Aug 2024, Published online: 5 Oct 2024)

Summary

The air temperature near the earth's surface is one of the influential variables in various climate studies, hydrology and weather forecasting. In many areas, this parameter is usually measured with the help of weather stations located on the ground. Due to the lack of uniform spatial distribution of weather stations in areas with the different topography, in many inaccessible or unpopulated places, enough ground stations are not available to observe and record surface air temperature data. On the other hand, remote sensing satellite images are used as a potential alternative to describe temperature patterns with appropriate spatial details in large areas. Land Surface Temperature (LST) is prepared with the help of satellite observations. Although the LST product is related to the temperature of the air near surface (T_{2m}), they have different behavior and characteristics. Therefore, many researchers, in order to overcome the limitation of ground-based air temperature data spatial resolution, try to establish a relationship between near surface air temperature and satellite LST.

The provinces along the Caspian Sea, such as Gilan and Mazandaran, are very important from various climatic, economic and agricultural aspects. Due to the vastness and diverse topography of these areas, the number of synoptic stations available in these areas is limited. On the other hand, so far, 2m air temperature modeling using satellite data has not been done in this region.

The main goal of this study is to create a suitable model for estimating this parameter using satellite LST data. For this purpose, using multivariate linear modeling method, a model was created between MODIS sensor LST and T_{2m} air temperature in Gilan and Mazandaran region. The parameters used in this model include LST obtained from MODIS sensor, height, Normalized Vegetation Index (NDVI), slope and curvature. The data collected between 2000 and 2017 were used to estimate the coefficients of the model, and the data from 2018 to 2020 were used to evaluate the model. In each province, separate models were estimated for night and day data and two different height categories. The comparison of the provincial model with the single-station model in terms of error statistics showed that the provincial model has little difference with the model constructed for each station. The results showed that the RMSE values in the provincial model are on average in the range of 2.60-3.11 degrees Celsius. The correlation coefficient of the T_{2m} values obtained from the model with real observations was estimated to be more than 90%. In addition, the data of different seasons were separated and a separate model was presented for each season. On average, the use of the seasonal model led to an improvement in the estimation of T_{2m} data in Gilan and Mazandaran provinces with RMSE of 2.72 and 2.55 degrees Celsius, respectively.

Keywords: LST, T_{2m}, MODIS, MLR model.

Cite this article: Mohammadi Ahoei, M. A., & Sam-Khaniani, A. (2024). Using the multivariate linear regression method to model the 2-meter air temperature from MODIS sensor data. *Journal of the Earth and Space Physics*, 50(3), 803-821. DOI: <http://doi.org/10.22059/jesphys.2024.376789.1007609>

E-mail: (1) maahoei@stu.nit.ac.ir



Publisher: University of Tehran Press.
DOI: <http://doi.org/10.22059/jesphys.2024.376789.1007609>

Print ISSN: 2538-371X
Online ISSN: 2538-3906

استفاده از روش رگرسیون خطی چند متغیره به منظور مدل سازی دمای تراز دو متر از طریق داده های سنجنده مودیس

محمد امین محمدی آهوئی^۱ | علی سام خانیانی^۱✉

۱. گروه مهندسی نقشه برداری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، بابل، ایران.

رایانامه نویسنده مسئول: ali.sam@nit.ac.ir

(دریافت: ۱۴۰۳/۳/۵، بازنگری: ۱۴۰۳/۴/۱۸، پذیرش نهایی: ۱۴۰۳/۵/۲۱، انتشار آنلاین: ۱۴۰۳/۷/۱۴)

چکیده

دمای هوا در نزدیکی سطح زمین، یکی از متغیرهای تأثیرگذار در مطالعات مختلف اقلیمی، هیدرولوژی و پیش بینی وضع آب و هوا می باشد. هدف اصلی این مطالعه ایجاد مدلی مناسب برای برآورد این پارامتر به کمک داده های LST ماهواره ای است. برای این منظور، با استفاده از روش مدل سازی خطی چند متغیره، مدلی بین LST سنجنده مودیس و دمای تراز دو متر در منطقه گیلان و مازندران ایجاد شد. پارامترهای مورد استفاده در این مدل شامل LST به دست آمده از سنجنده مودیس، شاخص نرمال شده پوشش گیاهی، شیب و انحناء، ساعت و روز از سال می باشند. برای برآورد ضرایب مدل از داده های جمع آوری شده بین سال های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۷ و به منظور ارزیابی مدل از داده های ۲۰۱۸ و ۲۰۱۹ استفاده شد. در هر استان، برای داده های شب و روز، و دو دسته ارتفاعی مختلف، مدل های مجزا برآورد شد. مقایسه مدل استانی با مدل تک ایستگاهی بر حسب آماره های خطا نشان داد که مدل استانی اختلاف کمی با مدل ارائه شده برای هر ایستگاه دارد. نتایج نشان داد که مقادیر RMSE در مدل استانی به طور میانگین در محدوده ۲/۶۰ تا ۳/۱۱ درجه سانتی گراد قرار دارد. ضریب همبستگی دمای تراز دو متر به دست آمده از مدل با مشاهدات واقعی بیشتر از ۹۰ درصد برآورد شد. علاوه بر این، داده های فصل های مختلف جدا شدند و برای هر فصل مدلی مجزا ارائه شد. به طور میانگین بکارگیری مدل فصلی منجر به بهبود برآورد دمای تراز دو متر در استان گیلان و مازندران با RMSE به ترتیب ۲/۷۲ و ۲/۵۵ درجه سانتی گراد شد.

واژه های کلیدی: LST، دمای تراز دو متر، MODIS، مدل MLR.

۱. مقدمه

و رابسون، ۱۹۹۵؛ بنالی و همکاران، ۲۰۱۲). همچنین، توزیع مکانی غیریکنواخت موقعیت ایستگاه های آب و هواشناسی باعث ایجاد یک چالش برای به دست آوردن این داده مهم در تمامی مناطق شده است.

از طرفی دیگر، سنجنده های تصویربرداری روی ماهواره ها به عنوان یک جایگزین بالقوه برای توصیف الگوهای دما با جزئیات فضایی مناسب در مناطق بزرگ مورد استفاده قرار می گیرند. سنجنده ماهواره ای به طور معمول دمای سطح زمین (LST) را تهیه می کند. محصولات LST که با ماهواره های سنجنش از دور جمع آوری می شوند، در نظارت بر پویایی سطح زمین در مناطق وسیع بسیار مهم است (ماستوی و همکاران، ۲۰۰۶؛ بنعلی و همکاران، ۲۰۱۲؛ لین

دمای هوای نزدیک به سطح زمین (T2m) نقش مهمی در تعادل انرژی ایفا می کند و یک ورودی کلیدی در مدل ها و کاربردهای مختلف محیطی، مانند هیدرولوژی، آب و هواشناسی، و اقلیمی بوده است (پارتون و لوگان، ۱۹۸۱؛ کوهن و همکاران، ۲۰۰۲؛ اسلینی و پاپاکوستاس، ۲۰۱۶؛ بونکر و همکاران، ۲۰۱۶؛ دزر و همکاران، ۲۰۱۶؛ گازکز و همکاران، ۲۰۱۶). به طور معمول، اندازه گیری های T2m در ایستگاه های هواشناسی در سرتاسر جهان انجام می شوند (زنگ و همکاران، ۲۰۱۵). چنین داده هایی به ثبت نقطه ای در ایستگاه های زمینی با توزیع فضایی پراکنده محدود می شوند. بنابراین، پوشش قابل قبولی از اندازه گیری های T2m مبتنی بر ایستگاه های هواشناسی وجود ندارد (ویلومت

استناد: محمدی آهوئی، محمد امین و سام خانیانی، علی (۱۴۰۳). استفاده از روش رگرسیون خطی چند متغیره به منظور مدل سازی دمای تراز دو متر از طریق داده های سنجنده

مودیس. مجله فیزیک زمین و فضا، ۵۰(۳)، ۸۰۳-۸۲۱. DOI: <http://doi.org/10.22059/jesphys.2024.376789.1007609>

رایانامه: (۱) maahoei@stu.nit.ac.ir



ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

DOI: <http://doi.org/10.22059/jesphys.2024.376789.1007609>

زمینه وجود دارد (ون کاتسم و همکاران، ۲۰۱۰). پژوهشی دیگر در استان فارس در سال ۲۰۱۵، از داده‌های ماهواره‌ای آکوا و ترا برای برآورد حداقل دمای سطح زمین از سال ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۱ استفاده کرد. در این تحقیق یک مدل خطی با استفاده از داده‌های LST ماهواره‌ای، NDVI، ارتفاع و دما ارائه شد. نتایج نشان دادند که داده‌های ماهواره آکوا در دوره شب دقت بیشتری دارند و مدل برای داده‌های سال ۲۰۱۲ با دقت $RMSE=3/08$ درجه سانتی‌گراد و $R^2=87\%$ اعتبارسنجی شد (دیداری و همکاران، ۲۰۱۷). همچنین، مطالعه‌ای دیگر در سال ۲۰۱۵ در بخش‌های شرقی و مرکزی ایران انجام شد که ارتباط بین داده‌های LST از ماهواره‌های آکوا و ترا و دمای تراز دومتری مدل‌سازی شد. در این تحقیق با استفاده از روش MLR و داده‌های LST شب و روز سنجنده MODIS مدلی برای محاسبه دمای تراز دو متر ایجاد شد که مقدار خطا مدل $3/03$ درجه سانتی‌گراد محاسبه شد (واعظ و مختارزاده، ۲۰۱۵).

در ادامه مطالعه دیگری در سال ۲۰۱۸، سری زمانی مشاهدات روزانه دمای سطح زمین از ماهواره‌های ترا و آکوا در بازه زمانی ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۶ در ایران را مورد تحلیل قرار داد. این تحقیق به بررسی رابطه بیشینه دمای سطح زمین با متغیرهای محیطی از جمله جهت، ارتفاع، شیب، عرض جغرافیایی، NDVI و نوع خاک پرداخت. محققان در مطالعه خود از دو روش تحلیل همبستگی و روش آماری جنگل تصادفی (RF) برای ارزیابی تأثیر متغیرهای محیطی در بیشینه LST استفاده کردند. نتایج نشان داد که ارتفاع و NDVI بیشترین همبستگی را با بیشینه LST داشته و در مدل RF، ارتفاع به‌عنوان یکی از مهم‌ترین متغیرها ظاهر شد (خندان و همکاران، ۲۰۱۸).

تحقیقی در سال ۲۰۲۲ در منطقه شبه‌جزیره هرد جزیره لیونگستون در قطب جنوب انجام شد. در آن مطالعه با استفاده از داده‌های LST از سنجنده MODIS و متغیرهای مکانی-زمانی و مدل‌های میانگین روزانه دمای تراز دو متر در تخمین زده شد. آنها از میانگین دمای تراز دو متر شش ایستگاه هواشناسی اسپانیایی و داده‌های دمای LST روزانه و شبانه از ماهواره‌های ترا و آکوا در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا

و همکاران، ۲۰۱۲؛ آرمیده و همکاران، ۲۰۲۰). در عین حال، در بسیاری از مطالعات هواشناسی، برای مدل‌سازی و تحلیل دمای تراز دومتری سطح زمین از LST استفاده می‌شود. به عبارت دیگر، تصاویر سنجنش از دور با پوشش مکانی و تفکیک زمانی مناسب می‌توانند به‌عنوان منبع مکمل برای اندازه‌گیری T2m در ایستگاه‌های هواشناسی مستقر روی زمین در نظر گرفته شوند. دمای تراز دو متر و LST اگرچه به هم مرتبط هستند ولی دو کمیت متفاوت محسوب می‌شوند. با تأکید بر ویژگی‌های منحصر به فرد تصاویر سنجنش از دور، بسیاری از مطالعات رابطه LST مشتق‌شده از ماهواره و دمای تراز دو متر را مطالعه کرده‌اند. ماهواره‌های زمین ثابت و قطبی قادر به ارائه داده‌های LST با قدرت تفکیک زمانی و مکانی بالا با پوشش تقریباً جهانی هستند (غلام‌نیا و همکاران، ۲۰۱۷). از جمله این داده‌ها، محصولات LST سنجنده MODIS مستقر در ماهواره‌های آکوا و ترا می‌باشد که با تفکیک مکانی یک کیلومتر و با دوره تناوب روزانه در دسترس می‌باشند. با توجه به نیاز روز افزون به داده‌های هواشناسی و وجود محدودیت‌هایی در اخذ داده از ایستگاه‌های زمینی، تصاویر ماهواره‌ای می‌تواند به‌خوبی در فراهم‌سازی داده‌های هواشناسی نقش ایفا کند (واعظ و مختارزاده، ۲۰۱۵). با این حال نیاز است که در هر منطقه، ارتباط بین این محصولات ارزشمند ماهواره‌ای و مقادیر T2m مورد مطالعه و مدل‌سازی قرار گیرد.

در ارتباط با به‌دست آوردن دمای سطح زمین به کمک سنجنده‌های ماهواره‌ای و ارتباط بین LST و دمای تراز دو متری تلاش‌های متعددی انجام شده است. در تحقیقی که در سال ۲۰۱۰ در آفریقا انجام شد، از داده‌های دمای سطح زمین از سنجنده MODIS برای بازیابی دمای تراز دو متر با قدرت تفکیک بالا بر روی اکوسیستم‌های مختلف در آفریقا استفاده شد. داده‌ها از مارس ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۸ از ماهواره‌های آکوا و ترا جمع‌آوری شدند. تحقیقات نشان دادند که حداقل دمای هوا از محصولات شب هنگام MODIS می‌تواند به‌خوبی در مناطق مختلف تخمین زده شوند، اما بازیابی دمای بیشینه با استفاده از داده‌های دمای سطح زمین مشکلاتی دارد و نیاز به تحقیقات بیشتر در این

دو متر را بهبود دهند. در اینجا، برای رسیدن از داده‌های ماهواره‌ای LST به دمای تراز دو متر، از متغیرهای شیب، انحنای NDVI، زمان به صورت روز و ساعت برداشت داده و فاصله تا مبدأ زمانی به عنوان مؤلفه‌های کمکی استفاده خواهد شد. به عبارت دیگر این کار منجر به یک مدل خواهد شد که با ورود داده‌های LST سنجنده MODIS و متغیرهای کمکی در آن، دمای تراز دو متر در منطقه مورد مطالعه با دقت مناسب حاصل شود. همچنین مدل برای دو دسته ارتفاعی مجزا از داده‌ها ارائه خواهد شد.

۲. داده‌ها و روش کار

۲-۱. منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در پژوهش حاضر، استان‌های گیلان و مازندران انتخاب شده است. استان گیلان با مساحت ۱۴۷۱۱ کیلومتر مربع، در شمال ایران و تقریباً مابین عرض ۳۶/۵ تا ۳۸/۵ درجه شمالی و طول ۴۸/۹ تا ۵۰/۵ درجه قرار گرفته است (بینش برهمند و همکاران، ۲۰۱۲). در این استان، آب‌وهوا عمدتاً در بیشتر مناطق مرطوب است اما در مناطق مرتفع جنوب شرقی گیلان (منجیل و رودبار) اقلیم نیمه‌خشک حاکم است (دین پاشو و همکاران، ۲۰۱۹). این استان بیشتر توسط درختان بلند جنگلی پوشیده شده است. میانگین دمای ماهانه در ماه‌های گرم ۲۹/۸ درجه سانتی‌گراد و در ماه‌های سرد به ۶/۳ درجه سانتی‌گراد کاهش می‌یابد (عیسی‌زاده و همکاران، ۲۰۱۷). در این تحقیق از ۱۸ ایستگاه هواشناسی واقع در استان گیلان استفاده شده است. همچنین، استان مازندران واقع در شمال کشور ایران با وسعتی حدود ۲۳۷۷۰/۳ کیلومتر مربع، حدود ۱/۵ درصد از مساحت کل کشور را در بردارد. این استان در عرض جغرافیایی مابین عرض ۳۵.۷ تا ۳۷ درجه شمالی و طول جغرافیایی مابین ۵۰/۴ تا ۵۴ درجه شرقی قرار دارد (قربانی و همکاران، ۲۰۲۲). این منطقه از نظر جغرافیایی به دو بخش جلگه‌ای ساحلی و نواحی کوهستانی تقسیم می‌شود. استان مازندران دارای آب‌وهوای معتدل و نیمه‌گرمسیری با میانگین دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد در تابستان و حدود ۶ درجه سانتی‌گراد در زمستان است (شهبازی و اسماعیلی

۲۰۱۶ به منظور مدل‌سازی دمای تراز دو متر و اعتبارسنجی استفاده کردند. ضریب همبستگی به دست آمده برای مدل MLR در این تحقیق برابر با $R^2=0/6$ به دست آمد. پارامترهای استفاده شده در مطالعه آنها شامل زمان (t) و دو هارمونیک زمانی (sine-cosine)، فاصله تا ساحل (d)، شیب (s)، خمیدگی (c)، و ساعت مشاهده (H) است (ریکوندو و همکاران، ۲۰۲۲).

همچنین، در سال ۲۰۲۲ از داده‌های ماهواره‌ای و روش‌های یادگیری ماشین برای تولید محصولات با قدرت تفکیک مکانی و زمانی بالا از دمای هوای نزدیک به سطح (T2m) بر روی یخ‌های منطقه گرینلند استفاده شد. در این تحقیق از داده‌های LST به دست آمده از سنجنده‌های MODIS و مشاهدات T2m از ۲۵ ایستگاه هواشناسی برای برقراری رابطه استفاده شد. آنها در تحقیق خود از چهار روش یادگیری ماشین برای مدل‌سازی T2m استفاده کردند. نتایج نشان داد که روش شبکه‌های عصبی دقت بالاتری در مقایسه با روش‌های دیگر دارد. مقادیر آماری روش شبکه به صورت عصبی $R^2=0/96$ و $RMSE=2/67$ درجه سانتی‌گراد به دست آمد (چه و همکاران، ۲۰۲۲).

استان‌های حاشیه دریای خزر نظیر گیلان و مازندران، از جنبه‌های مختلف اقلیمی، اقتصادی و کشاورزی اهمیت بالایی دارند. با توجه به وسعت و توپوگرافی متنوع این مناطق، تعداد ایستگاه‌های همدیدی موجود در این نواحی محدود می‌باشد. از طرفی دیگر تاکنون مدل‌سازی دمای تراز دو متری به کمک داده‌های ماهواره‌ای در این منطقه انجام نشده است؛ نویسندگان در این تحقیق قصد دارند تا به کمک مدل رگرسیون خطی چند متغیره، مدلی برای برآورد دمای تراز دو متر از طریق محصولات LST سنجنده MODIS در منطقه ایجاد کنند. لازم به ذکر است که در این مطالعه برآورد دمای تراز دو متر در لحظات عبور ماهواره ترا و آکوا می‌باشد در حالی که در بسیاری از مطالعات مدل‌های ارائه شده برای محاسبه دمای کمینه و بیشینه در هر شبانه روز بکار گرفته شدند. علاوه بر این نویسندگان قصد دارند تا در تحقیق حاضر با در نظر گرفتن تفاوت در فصل‌های مختلف سال، دقت برآورد دمای تراز

برای انجام محاسبات شیب و انحنای، از ابزارهای موجود در بخش 3D Analyst Tools از نرم افزار ArcGIS استفاده شد.

۲-۲-۳. شاخص نرمال شده تفاضلی پوشش گیاهی

(NDVI)

شاخص نرمال شده تفاضلی پوشش گیاهی (NDVI) یکی از شناخته شده ترین، ساده ترین، و پر کاربردترین شاخص در سنجش از دور و مطالعات گیاهان است. همچنین، لازم به ذکر است که در چندین مطالعه انجام شده به منظور مدل سازی دمای تراز دو متر از LST ماهواره ای، این شاخص مورد استفاده قرار گرفته است. این شاخص بهترین توان پویایی را نسبت به سایر شاخص ها دارد و با استفاده از معادله زیر محاسبه می شود (یانگ و همکاران، ۲۰۱۷):

$$NDVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED} \quad (1)$$

که در رابطه (۱) NIR بازتاب سطح زمین در ناحیه مادون قرمز نزدیک (Near-Infrared) و RED بازتاب سطح زمین در ناحیه قرمز را نشان می دهد. مقدار این شاخص از ۱- تا ۱+ متغیر است. مقادیر این شاخص برای گیاهان به سمت ۱+ نزدیک می شود، اما آب و برف با مقادیر منفی نشان داده می شوند. همچنین، سنگ ها و خاک لخت با واکنش های طیفی مشابه در دو باند، مقادیر نزدیک به صفر را نشان می دهند (آلیسون و همکاران، ۱۹۸۹).

در این تحقیق با استفاده از داده های ماهواره لندست ۸ لندست ۷ و لندست ۵ کمیت NDVI محاسبه شده است. بازه زمانی استخراج داده از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ می باشد. علت استفاده از ۳ ماهواره لندست این است که بتوان داده های بیشتری در بازه زمانی مورد نظر دریافت کرد. این داده ها از سامانه گوگل ارث انجین (GEE) تهیه شد. در شکل ۲ میانگین NDVI در منطقه مورد مطالعه نمایش داده شده است.

ساری، ۲۰۰۹). در این تحقیق از ۱۰ ایستگاه هواشناسی استان مازندران استفاده شد. در شکل ۱ توزیع موقعیت ایستگاه های همدیدی در محدوده مورد مطالعه نمایش داده شده است.

۲-۲-۲. داده های مورد استفاده

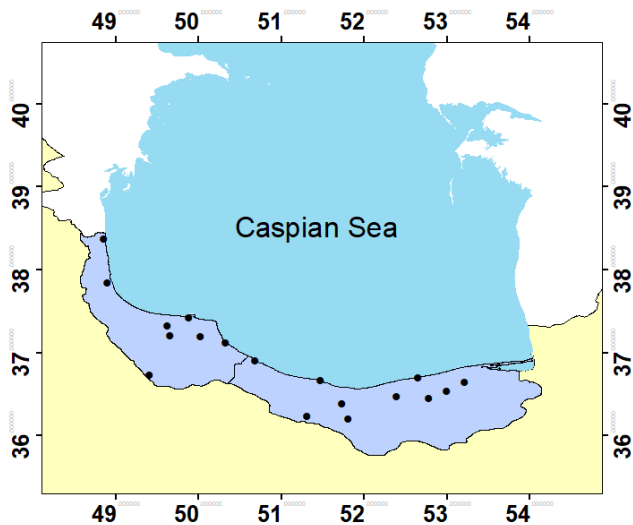
۲-۲-۱. داده های ایستگاه های همدیدی

در این تحقیق، از داده های هواشناسی همدیدی در استان های مازندران و گیلان برای ارزیابی مدل دمای تراز دو متر استفاده شده است. این داده ها شامل اطلاعات گوناگونی می باشند که در جمع آوری و تحلیل وضعیت هوا مورد استفاده قرار می گیرند. اطلاعات اصلی در این مطالعه شامل سال، ماه، روز، ساعت، دمای تراز دو متر، ارتفاع ایستگاه، و طول و عرض جغرافیایی هستند. در هر یک از ایستگاه ها، هر سه ساعت یک داده دمای تراز دو متر برداشت می شود. داده های تهیه شده در این ایستگاه ها در بازه زمانی از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۹ می باشد.

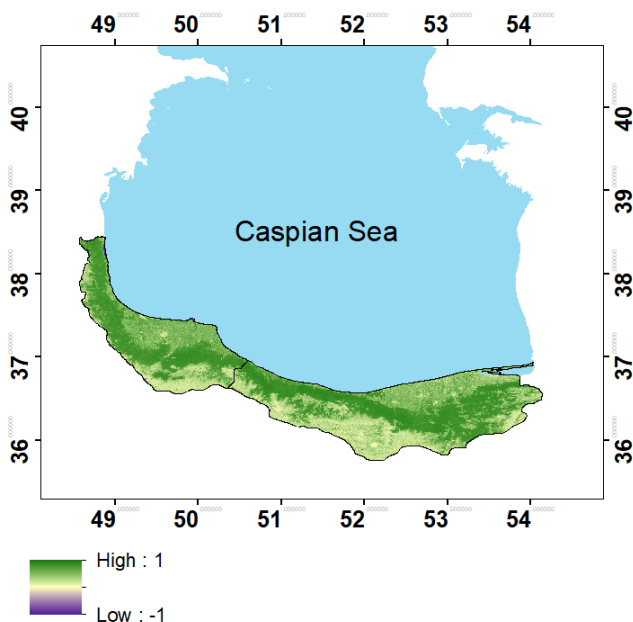
۲-۲-۲. مدل رقومی ارتفاعی

در این مطالعه، برای مدل سازی دمای تراز دو متر، از پارامترهایی نظیر شیب و انحنای (مشتق اول و دوم ارتفاع منطقه) بهره گرفته شده است. این پارامترها به وسیله مدل رقومی ارتفاع (DEM) محاسبه می شوند. DEM مورد استفاده در این تحقیق از داده های SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) به دست آمده است.

پس از پرتاب مأموریت SRTM در ۱۱ فوریه ۲۰۰۰ به فضا، داده های رقومی ارتفاع از سطح زمین بین ۶۰ درجه عرض شمالی و ۵۴ درجه عرض جغرافیایی جنوبی تولید شد (کوشکی و همکاران، ۲۰۲۱؛ ریکوندو و همکاران، ۲۰۲۲). در این تحقیق، از اطلاعات SRTM با تفکیک مکانی ۳۰ متر برای محاسبه مقادیر شیب و مشتق آن استفاده شده است.



شکل ۱. محدوده منطقه مورد مطالعه. نقاط مشکی موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی در استان‌های مازندران و گیلان را نشان می‌دهد.



شکل ۲. نقشه میانگین مقدار NDVI در منطقه مورد مطالعه.

۲-۲-۴. LST ماهواره‌های

در این تحقیق، از داده‌های ماهواره‌های ترا و آکوا که سنجنده MODIS را روی خود دارد، بهره گرفته شد. سنجنده MODIS در دسامبر ۱۹۹۹ بر روی ماهواره ترا و در مه ۲۰۰۲ بر روی ماهواره آکوا نصب شد (زو و همکاران، ۲۰۱۳). آکوا و ترا دو مأموریت ماهواره‌ای هستند که به ترتیب توسط NASA در دسامبر ۱۹۹۹ و مه ۲۰۰۲ به فضا پرتاب شدند. این دو ماهواره مجهز به سنسور MODIS هستند که اطلاعات حاصل از آنها برای تحقیقات مختلف در زمینه‌های محیط‌زیست، اقلیم‌شناسی و مطالعات زمین‌شناسی به کار می‌روند. از محصولات سنجنده

MODIS می‌توان در حوزه‌های متنوعی از جمله مطالعه پوشش ابرها، دمای سطح زمین، شاخص‌های گیاهی و تغییرات در اقلیم بهره‌مند شد. از آنجا که قدرت تفکیک بالایی داده‌های دمای سطح زمین در مدل‌سازی دمای تراز دومتری اهمیت دارد، به همین دلیل از داده‌هایی با تفکیک مکانی یک کیلومتر استفاده شده است. ماهواره ترا داده‌های دمای سطح زمین را در ساعت ۱۰:۳۰ صبح به وقت محلی خورشیدی و همچنین در ساعت ۱۰:۳۰ شب ارائه می‌کند، که این اطلاعات از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند. همچنین، ماهواره آکوا دو مجموعه داده از دمای سطح زمین را در ساعات محلی خورشیدی

ارتفاع ایستگاه‌های همدیدی نیز از داده‌های ایستگاه هواشناسی موجود است. بدین ترتیب، تمامی اطلاعات مکانی مورد نیاز برای مدل سازی فراهم می‌شود و تجمیع دقیق اطلاعات مکانی و زمانی، امکان استفاده بهینه از داده‌ها را در فرایند مدل سازی فراهم می‌کند.

هم‌زمان سازی داده: در این مرحله تمامی داده‌های عنوان شده باید هم‌زمان شوند. بازه مشترک برای تمامی کمیت‌ها در این تحقیق از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۹ می‌باشد. ایستگاه‌های همدیدی در هر روز در صورت وجود داده، حداکثر ۸ اندازه‌گیری سه ساعته دمای تراز دو متر دارند و محصولات LST ماهواره‌ای در صورت وجود، در هر روز ۴ داده دارند که ۲ داده روز هنگام و ۲ داده شب هنگام است. به علت این که زمان داده‌های زمینی و ماهواره‌ای در طول روز با هم متفاوت است و دمای تراز دو متر در زمان گذر ماهواره‌ها از منطقه اندازه‌گیری نمی‌شوند، به این منظور باید داده‌های ایستگاه همدیدی را در بازه زمانی داده‌های ماهواره‌ای درون‌یابی کرد. در این مرحله از درون‌یابی اسپیلاین استفاده می‌شود. به عبارتی دیگر، داده‌های ایستگاه‌های همدیدی به صورت ۳ ساعته در دست است که توسط سازمان هواشناسی جمع‌آوری شده است. از طرفی دیگر، ماهواره‌های ترا و آکوا که سنجنده مودیس را حمل می‌کنند، هر کدام یکبار در روز و یک بار در شب هنگام داده LST در هر ایستگاه به دست می‌دهند. بنابراین درون‌یابی سری زمانی دمای تراز دو متر مشاهده شده در ایستگاه‌های همدیدی، در زمان‌های گذر ماهواره‌ها (زمان‌هایی که داده LST وجود دارد) انجام می‌گیرد. روش اسپیلاین در مطالعات مختلفی برای پرکردن داده‌های از دست رفته و درون‌یابی به منظور هم‌زمان سازی دو سری زمانی غیر همگام استفاده شده است (ونگ و همکاران، ۲۰۲۲؛ وانگ و همکاران، ۲۰۲۳)

یکی دیگر از پارامترهایی که باید در زمان داده‌های ماهواره‌ای درون‌یابی شود NDVI است. برای این کار از درون‌یابی خطی استفاده می‌شود.

انتخاب داده LST با کیفیت مناسب: داده‌های ماهواره‌ای با کیفیت‌های متفاوتی جمع‌آوری می‌شوند و این کیفیت‌ها

۱:۳۰ بعد از ظهر و ۱:۳۰ بامداد ارائه می‌دهد (یو و همکاران، ۲۰۱۸). این دو زمان ارائه داده‌ها این امکان را فراهم می‌کند تا الگوهای گرمایی در طول روز و شب مورد بررسی قرار گیرد.

در این تحقیق، داده‌های مورد نیاز از سامانه GEE استخراج شدند، که شامل اطلاعات آکوا از سال ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۹ در روز هنگام و شب هنگام و همچنین داده‌های ترا از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۹ در روز هنگام و شب هنگام می‌باشند. اطلاعات این داده‌ها شامل سال، ماه، روز، ساعت، دقیقه، دمای سطح زمین به واحد کلونین و متغیر کیفیت است. توجه به این نکته ضروری است که داده‌ها در مناطقی جمع‌آوری شده‌اند که در آن نقاط ایستگاه‌های همدیدی وجود دارد.

۲-۳. روش پژوهش

در این بخش تمامی متغیرهای ماهواره‌ای از جمله شیب، انحنای NDVI و LST در فرایند مدل سازی دمای تراز دو متر به کار گرفته می‌شوند. هدف اصلی این مدل سازی، محاسبه دمای تراز دو متر در مناطقی است که ایستگاه هواشناسی در دسترس نیست. برای ایجاد ارتباط بین دمای تراز دو متر و متغیرهای مذکور، لازم است که در مناطقی که اطلاعات دمای تراز دو متر و LST همزمان در دسترس است، این ارتباط برقرار شود. برای دست‌یابی به این هدف، مراحل زیر باید به دقت دنبال شوند.

۲-۳-۱. آماده سازی داده جهت انجام مدل سازی

هم‌مکان سازی داده: در این مرحله، تمام داده‌ها باید هم‌مکان باشند. در داده‌های همدیدی، اطلاعات طول و عرض جغرافیایی هر ایستگاه موجود است. با استفاده از این اطلاعات می‌توان مقدار هر پارامتر را در ایستگاه‌های همدیدی استخراج کرد. مقادیر پارامترهای NDVI و LST ماهواره‌ای، در طول بازه مطالعاتی به صورت سری زمانی محاسبه و استخراج شدند. در عین حال، پارامترهای شیب و انحنای مدل رقومی ارتفاع در موقعیت ایستگاه‌ها به دست آمده و طی دوره مطالعه ثابت می‌باشند. همچنین، اطلاعات

است که برای مدل‌سازی روابط پیچیده‌تر بین یک متغیر وابسته و چند متغیر مستقل به کار می‌رود. فرض اساسی MLR این است که متغیرهای مستقل به صورت خطی روی متغیر وابسته تأثیر می‌گذارند. به عبارت دیگر، MLR سعی دارد یک مدل خطی بیانگر رابطه بین متغیرهای مستقل و وابسته ایجاد کند. علاوه بر این، MLR یک ابزار قدرتمند در تحلیل و پیش‌بینی روابط بین متغیرهاست و این امکان را فراهم می‌کند تا بهترین مدل خطی برای توصیف داده‌ها ایجاد شود. به طور کلی رابطه MLR به صورت زیر است (اویانیک و گولر، ۲۰۱۳):

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n \quad (2)$$

در این رابطه Y نمایانگر متغیر وابسته و X_1, X_2, \dots, X_n متغیرهای مستقل و β_0 عبارت است از عرض انحراف که نقطه تقاطع با محور Y را نشان می‌دهد و $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$ ضرایب رگرسیون هستند که نشان‌دهنده تأثیر هر متغیر مستقل بر متغیر وابسته است. هدف این است که مقادیر مستقل بر $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$ به نحوی انتخاب شود که مجموع مربعات خطا به حداقل برسد. به عبارت دیگر، مدل MLR تلاش می‌کند خطی بیابد که فاصله بین مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده را به حداقل رساند، و این کار با بهینه‌سازی مقادیر ضرایب انجام می‌شود.

به صورت اعداد نمایش داده می‌شوند. ابتدا این اعداد به بیت تبدیل شده و سپس داده‌های با کیفیت مناسب انتخاب می‌شوند. در جدول ۱، میزان کیفیت داده‌های LST به صورت بیت نشان داده شده است.

با توجه به مطالب عنوان شده برای کیفیت داده‌ها و میانگین خطا در ستون توضیحات ارائه شده در جدول ۱، در این تحقیق، دو شرط برای فیلتر کردن داده‌ها انتخاب شده‌اند:

- داده‌هایی که بیت صفر و یک آنها برابر با ۰۰ یا ۰۱ هستند.
- داده‌هایی که بیت چهار و پنج آنها برابر با ۰۰ یا ۰۱ هستند.
مقادیر از دست رفته: گاهی اوقات ممکن است داده‌ها از دست رفته یا از دسترس خارج شده باشند. در صورتی که در یک زمان خاص از کل بازه مطالعاتی یکی از متغیرها موجود نباشد، ضروری است که تمام داده‌های مربوط به آن زمان حذف شود. استفاده از زمان‌هایی که تمام داده‌ها حاضر هستند، امری اساسی در مدل‌سازی است.

۲-۳-۲. نحوه مدل‌سازی دمای تراز دو متر

در این تحقیق به منظور برقراری ارتباط بین دمای تراز دو متر و سایر پارامترها از روش MLR استفاده شده است. رگرسیون خطی چندمتغیره یا MLR یک روش آماری

جدول ۱. جدول نمایش کیفیت داده‌های ماهواره‌ای (وان، ۲۰۰۶).

بیت	عنوان	توضیحات
۱ و ۰	Mandatory QA flags	LST=۰۰ تولید شده، کیفیت خوب، نیازی به بررسی دقیق‌تر QA ندارد. LST=۰۱ تولید شده، کیفیت‌های دیگر، توصیه می‌شود بررسی دقیق‌تر QA صورت گیرد. LST=۱۰ به دلیل اثرات ابر تولید نشده است. LST=۱۱ اصلی به دلایلی غیر از اثرات ابر تولید نشده است.
۳ و ۲	Data quality flag	۰۰=کیفیت داده خوب ۰۱=داده با کیفیت دیگر ۱۰=تعیین نشده ۱۱=تعیین نشده
۵ و ۴	Emis Error flag	۰۰=میانگین خطا در ضریب انتشار >= ۰.۰۱ ۰۱=میانگین خطا در ضریب انتشار >= ۰.۰۲ ۱۰=میانگین خطا در ضریب انتشار >= ۰.۰۴ ۱۱=میانگین خطا در ضریب انتشار < ۰.۰۴
۷ و ۶	LST LST Error flag	۰۰=میانگین خطا در LST >= 1K ۰۱=میانگین خطا در LST >= 2K ۱۰=میانگین خطا در LST >= 3K ۱۱=میانگین خطا در LST < 3K

$$A = \begin{bmatrix} 1 & LST_{t_1} & \sin 2\pi t_{t_1} & \cos 2\pi t_{t_1} & \sin 2\pi h_{t_1} & S_{t_1} & NDVI_{t_1} & K_{t_1} & dt_{t_1} \\ 1 & LST_{t_2} & \sin 2\pi t_{t_2} & \cos 2\pi t_{t_2} & \sin 2\pi h_{t_2} & S_{t_2} & NDVI_{t_2} & K_{t_2} & dt_{t_2} \\ 1 & LST_{t_3} & \sin 2\pi t_{t_3} & \cos 2\pi t_{t_3} & \sin 2\pi h_{t_3} & S_{t_3} & NDVI_{t_3} & K_{t_3} & dt_{t_3} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & LST_{t_n} & \sin 2\pi t_{t_n} & \cos 2\pi t_{t_n} & \sin 2\pi h_{t_n} & S_{t_n} & NDVI_{t_n} & K_{t_n} & dt_{t_n} \end{bmatrix} \quad (5)$$

در نهایت با استفاده از رابطه زیر می توان مقادیر ضرایب مدل را محاسبه کرد.

$$\hat{x} = (A^T A)^{-1} A^T L \quad (6)$$

پس از محاسبه مجهولات به کمک کمترین مربعات خطا، ضرایب مدل محاسبه می شود. که این ضرایب همان $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5, \beta_6, \beta_7, \beta_8$ است. سپس با استفاده از رابطه زیر مقادیر T2m مدل سازی می شود.

$$\hat{L} = A \hat{x} \quad (7)$$

که \hat{L} همان T2m مدل سازی شده در ایستگاه های سینوپتیک می باشد. بنابراین، رابطه مدل دمای تراز دو متر سطح زمین در لحظه t_1 به صورت زیر خواهد شد.

$$T2m_{t_1} = \beta_0 + \beta_1 LST_{t_1} + \beta_2 \sin 2\pi t_{t_1} + \beta_3 \cos 2\pi t_{t_1} + \beta_4 \sin 2\pi h_{t_1} + \beta_5 S_{t_1} + \beta_6 NDVI_{t_1} + \beta_7 K_{t_1} + \beta_8 dt_{t_1} \quad (8)$$

۳. ارزیابی آماری

داده های بین سال های ۲۰۰۰-۲۰۱۷ برای مدل سازی و از ابتدای سال ۲۰۱۸ تا انتهای دسامبر ۲۰۱۹ برای ارزیابی مدل استفاده خواهد شد. همچنین، ارزیابی مدل با استفاده از پارامترهای RMSE، MBE و R^2 انجام خواهد گرفت. روابط این آماره ها به صورت زیر است.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (T2m_{observation_i} - T2m_{Model_i})^2}{n}} \quad (9)$$

$$MBE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (T2m_{observation} - T2m_{Model}) \quad (10)$$

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (T2m_{observation} - T2m_{Model})(T2m_{Model} - T2m_{Model})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (T2m_{observation} - T2m_{observation})^2 \sum_{i=1}^n (T2m_{Model} - T2m_{Model})^2}} \quad (11)$$

در روابط بالا $T2m_{observation}$ برابر است با دمای تراز دو متر مشاهداتی و $T2m_{Model}$ برابر است با دمای تراز دو متر محاسبه شده از مدل می باشد. در بخش نتایج، تمامی این پارامترها، شامل RMSE، MBE و R^2 ، در دوره زمانی مرتبط به آزمون مدل، محاسبه و مورد مطالعه قرار می گیرند. به عبارت دیگر، مقادیر این آماره ها در بازه زمانی سال

مدلی که در این تحقیق ارائه شد به شرح زیر است:

$$T2m = \beta_0 + \beta_1 LST + \beta_2 \sin 2\pi t + \beta_3 \cos 2\pi t + \beta_4 \sin 2\pi h + \beta_5 S + \beta_6 NDVI + \beta_7 K + \beta_8 dt \quad (3)$$

در اینجا T2m متغیر وابسته است. پارامترهای مدل شامل: LST: دمای سطح زمین حاصل از داده های ماهواره ای است.

t: نشان دهنده DOY است. "DOY" مخفف "Day of Year" است، که به روزهای طی شده از شروع هر سال اشاره دارد.

h: نشان دهنده ساعت از روز است. واحد این داده بر حسب ساعت می باشد.

S: نشان دهنده شیب زمین در موقعیت ایستگاه می باشد.

NDVI: نشان دهنده شاخص پوشش گیاهی در منطقه می باشد.

K: نشان دهنده انحنای همان مشتق شیب در موقعیت ایستگاه می باشد.

dt: نمایانگر فاصله از مبدأ تاریخ مورد نظر یعنی ۲۰۰۰/۰۱/۰۱ که واحد آن بر حسب سال است.

به دلیل تأثیرگذاری تغییرات زمانی بر رفتار پارامتر دما، از توابع سینوسی و کسینوسی برای در نظر گرفتن تغییرات زمانی در مدل استفاده می شود.

برای به دست آوردن ضرایب مجهول از روش سرشکنی کمترین مربعات استفاده شود. ضرایب این مدل از روش کمترین مربعات خطا به دست خواهد آمد. برای انجام روش کمترین مربعات دو ماتریس L و A باید ایجاد شوند. بردار مشاهدات که با L نمایش داده می شود و دیگری ماتریس ضرایب مجهولات که با A نمایش داده می شود.

در اینجا، ماتریس L همان مقادیر T2m است که برای نمونه به صورت زیر نمایش داده می شود.

$$L = \begin{bmatrix} T2m_{t_1} \\ T2m_{t_2} \\ T2m_{t_3} \\ \vdots \\ T2m_{t_n} \end{bmatrix} \quad (4)$$

ماتریس A ماتریس ضرایب مجهولات یا مشتق ضرایب مدل است که به صورت زیر نمایش داده می شود.

۲۰۱۸ تا ۲۰۱۹ محاسبه و تحلیل می‌شوند.

هر مدل ضرایب متفاوتی دارند. برای مقایسه دو مدل موردنظر، از ارتفاعات بیشتر از ۵۰۰ و کمتر از ۵۰۰، به صورت تصادفی ۲ ایستگاه انتخاب شده‌اند. در این ایستگاه‌ها، دو نوع مدل به کار گرفته شده و عملکرد هر یک از آنها مورد مقایسه آماری قرار گرفته می‌شود.

به بیان ساده‌تر، فرض کنید یک ایستگاه در ارتفاع بیشتر از ۵۰۰ واقع شده است. با توجه به داده‌های ماهواره‌ای و زمینی استخراج شده در این ایستگاه از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۷ ضرایب مدل، مختص فقط این ایستگاه قابل برآورد است. بنابراین به این مدل اصطلاحاً مدل تک‌ایستگاهی (Site-Specific) اطلاق می‌شود. حال این ایستگاه به همراه تعداد زیادی از ایستگاه‌های در ارتفاعات بیشتر از ۵۰۰ قرار دارند. بنابراین، به کمک داده‌های تمام ایستگاه‌ها از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۷ می‌توان ضرایب مدل خطی چند متغیره را برآورد کرد. در این صورت مدل متعلق به کل محدوده استان مازندران است و مدل استانی (General) نامیده می‌شود. حال در این بخش هدف ارزیابی هر یک از این دو مدل برای ایستگاه‌های انتخابی در بازه زمانی ۲۰۱۸ تا ۲۰۱۹ به‌عنوان بازه ارزیابی است. در شکل‌های ۳ تا ۶، سری زمانی مقادیر مشاهداتی دمای تراز دو متر (رنگ قرمز)، مقادیر برآوردشده به کمک مدل استانی (رنگ آبی) و مدل تک‌ایستگاهی (رنگ مشکی) در کنار سری زمانی LST ماهواره‌ای سنجنده مودیس (رنگ زرد) روی ماهواره‌های آکوا و ترا برای روزهای شنبه و شام در ایستگاه‌های دلخواه از استان‌های مازندران و گیلان برآورد شده است.

۴. نتایج و بحث

با توجه به مدل پیشنهادی، در ابتدا بر اساس داده‌های سری زمانی تمامی ایستگاه‌های موجود در منطقه، همبستگی بین متغیر هدف (دمای تراز دو متر) و هریک از متغیرهای وابسته به همراه مقدار پارامتر p محاسبه و در جدول ۲ آورده شده است. بر اساس این مقادیر می‌توان اثرگذاری پارامترهای وابسته را در مدل‌سازی دمای تراز دو متر درک کرد.

با توجه به مقادیر محاسبه‌شده در جدول ۲، مقادیر پارامتر p برای همه متغیرهای وابسته شامل LST، شیب منطقه، NDVI، مشتق شیب و dt بسیار نزدیک به صفر می‌باشد و به نوعی استفاده از آنها در مدل‌سازی دمای تراز دو متر منطقه مورد مطالعه معنادار است. همچنین، ضریب همبستگی دمای تراز دو متر برآوردشده به کمک مدل و دمای تراز دو متر اندازه‌گیری‌شده در کل ایستگاه‌ها ۰/۹۴۵ به دست آمد.

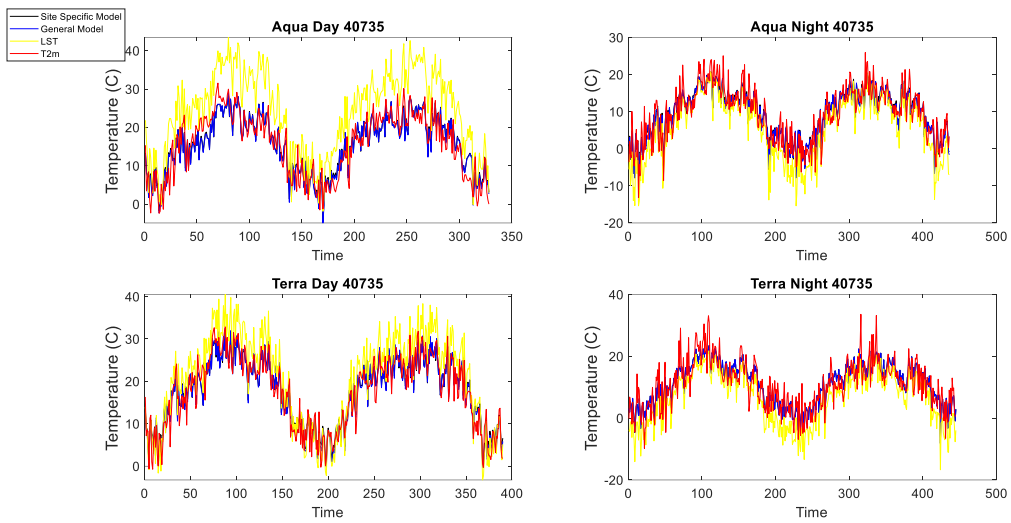
پس از آن که مدل MLR برای برآورد دمای تراز دو متر در استان‌های مازندران و گیلان به صورت تک‌ایستگاهی، استانی و فصلی اجرا شد، کیفیت آماری مدل در این بخش مورد بحث قرار خواهد گرفت.

۴-۱. مقایسه مدل استانی و تک‌ایستگاهی

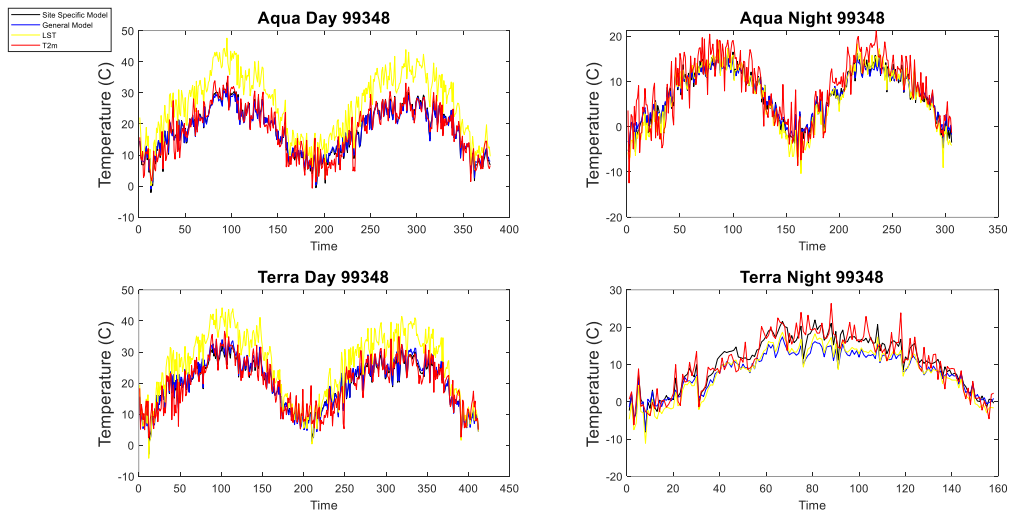
در این بخش، کارایی دو مدل استانی و مدل تک‌ایستگاه مورد مقایسه قرار خواهد گرفت. ضرایب MLR در مدل استانی و تک‌ایستگاه به صورت جداگانه محاسبه می‌شود و

جدول ۲. ضرایب همبستگی بین پارامتر T2m و پارامترهای وابسته در مدل پیشنهادی.

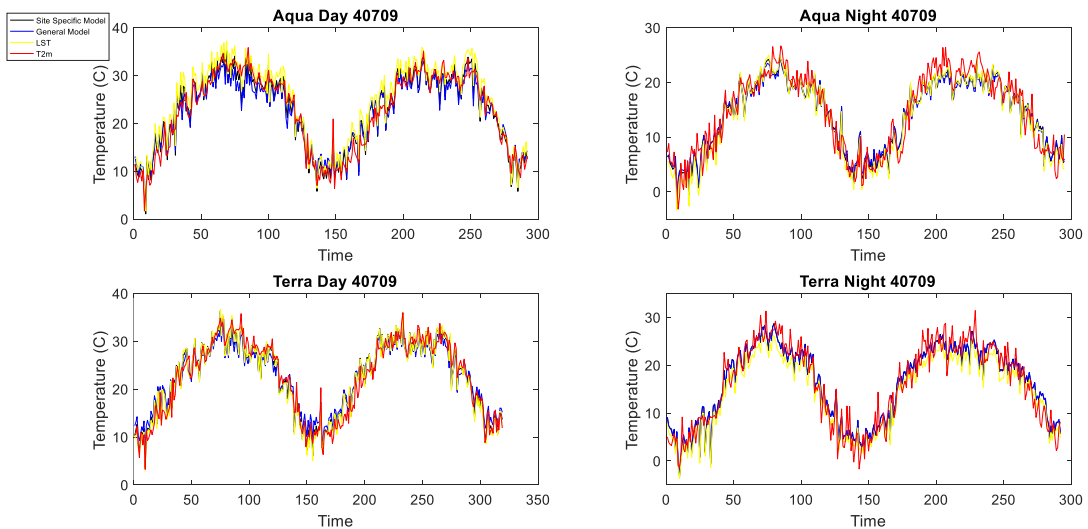
	LST	dt	NDVI	Slope	Curvature	Estimated T2m
	p_value	p_value	p_value	p_value	p_value	R
T2m	۰/۰۰۰۰۰۰۵	۰/۰۰۰۱	۰	۰	۰	۰/۹۴۵



شکل ۳. نمایش مقادیر محاسبه شده از مدل سازی استانی، مدل سازی تک ایستگاهی و مقادیر مشاهداتی در ایستگاه ۴۰۷۳۵ برای ماهواره آکوا و ترا در روز و شب.



شکل ۴. نمایش مقادیر محاسبه شده از مدل سازی استانی، مدل سازی تک ایستگاهی و مقادیر مشاهداتی در ایستگاه ۹۹۳۴۸ برای ماهواره آکوا و ترا در روز و شب.



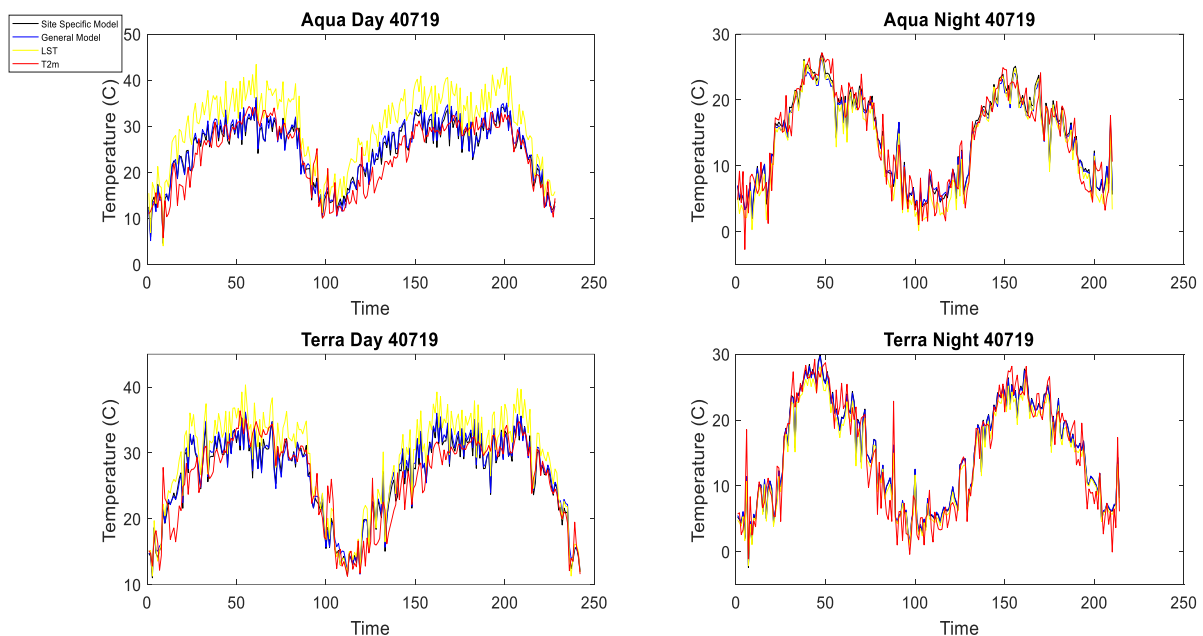
شکل ۵. نمایش مقادیر محاسبه شده از مدل سازی استانی، مدل سازی تک ایستگاهی و مقادیر مشاهداتی در ایستگاه ۴۰۷۰۹ برای ماهواره آکوا و ترا در روز و شب.

در نقطه موردنظر مواجه شد. بنابراین، چون رفتار گراف‌های آبی و مشکی در شکل‌های ۳ تا ۶ بسیار نزدیک هم بوده بنابراین می‌توان از مدل استانی در هر نقطه استفاده کرد. برای ارزیابی آماری مدل تک‌ایستگاهی و مدل استانی و مقایسه کارایی این دو مدل به صورت کمی، در جدول ۳ مقادیر RMSE هر دو مدل برای هر ایستگاه به صورت مجزا آورده شده است.

همانطور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، اختلاف عملکرد بین مدل استانی و مدل تک‌ایستگاه بر حسب RMSE در اکثر نقاط کم است. همچنین، در برخی موارد اختلاف مدل استانی و تک‌ایستگاهی زیاد می‌شود. این حالت بیشتر زمانی اتفاق می‌افتد که تعداد داده‌ها در ایستگاه موردنظر کم است. بر اساس مقادیر خطا برای حالت‌های مختلف آکوا روز و شب و ترا روز و شب در چهار ایستگاه انتخابی، به طور کلی می‌توان عملکرد این دو مدل دمای تراز دو متر را نزدیک به هم در نظر گرفت.

مقادیر مشاهده‌شده در شکل‌های ۳ تا ۶، مقادیری هستند که در طول دوره ارزیابی (۲۰۱۸-۲۰۱۹) اندازه‌گیری شده‌اند. نتایج ارائه‌شده برای ایستگاه‌های مختلف نشان‌دهنده این است که مدل‌های ایجادشده برای دمای تراز دو متر به خوبی با مقادیر دمای دو متری مشاهده‌شده هماهنگ شده و این پارامتر را با موافقت بالایی برآورد کرده‌اند. همان‌طور که در شکل‌ها ملاحظه می‌شود، دو مدل (تک ایستگاهی و استانی) تفاوت زیادی در برآورد دمای تراز دو متر نداشته‌اند.

هدف از این تحقیق ایجاد یک مدل دمای تراز دو متر مبتنی بر داده‌های ماهواره‌ای برای وسعت زیادی از منطقه مورد مطالعه است. بنابراین، مدل‌سازی به صورت تک‌ایستگاهی توجیه‌پذیر نبوده و از طرفی دیگر باید توجه داشته که برای ایجاد یک مدل دمای دو متری نیاز به اندازه‌گیری‌های بلندمدت از متغیرهای مختلف در آن ایستگاه می‌باشد که ممکن است با گپ شدید یا فقدان داده



شکل ۶. نمایش مقادیر محاسبه‌شده از مدل‌سازی استانی، مدل‌سازی تک‌ایستگاهی و مقادیر مشاهداتی در ایستگاه ۴۰۷۱۹ برای ماهواره آکوا و ترا در روز و شب.

جدول ۳. ارزیابی آماری مدل های دمای تراز دو متر به صورت استانی (General) و تک ایستگاهی (Site-Specific) در چهار ایستگاه دلخواه از منطقه مورد مطالعه.

RMSE (C)		ماهواره ها	شماره ایستگاه	محدوده ارتفاعی
مدل استانی	تک ایستگاهی			
۳/۴۶	۳/۴۶	ماهواره آکوا در زمان روز	۴۰۷۳۵	بیشتر از ۵۰۰
۳/۴۶	۳/۴۳	ماهواره آکوا در زمان شب		
۲/۸۲	۲/۸۱	ماهواره ترا در زمان روز		
۳/۹۳	۳/۹۳	ماهواره ترا در زمان شب		
۲/۸۶	۲/۷۶	ماهواره آکوا در زمان روز	۹۹۳۴۸	
۳/۵۵	۳/۵۲	ماهواره آکوا در زمان شب		
۳/۱۸	۳/۰۷	ماهواره ترا در زمان روز		
۳/۹۰	۲/۶۶	ماهواره ترا در زمان شب		
۲/۵	۲/۲۳	ماهواره آکوا در زمان روز	۴۰۷۰۹	کمتر از ۵۰۰
۲/۷۵	۲/۶۸	ماهواره آکوا در زمان شب		
۲/۴۲	۲/۰۸	ماهواره ترا در زمان روز		
۲/۹۱	۲/۸۹	ماهواره ترا در زمان شب		
۳/۳۳	۳/۰۶	ماهواره آکوا در زمان روز	۴۰۷۱۹	
۲/۵۲	۲/۵۱	ماهواره آکوا در زمان شب		
۲/۹۲	۲/۷۶	ماهواره ترا در زمان روز		
۲/۶۱	۲/۵۸	ماهواره ترا در زمان شب		

۸ دسته از ضرایب مورد نیاز برآورد شد. این روش در دو استان اجرا شده و مدل استانی برای هر استان شامل ۱۶ مجموعه ضرایب مختلف است. جدول ۴ مقادیر میانگین RMSE و MBE و ضریب همبستگی را در ارتفاعات مختلف برای دو استان مورد مطالعه نمایش می دهد. همان طور که از جدول ۴ پیداست، به طور کلی برای منطقه مورد مطالعه مقادیر RMSE در ارتفاعات زیر ۵۰۰ متر کمتر بوده است. همچنین، باید توجه داشت که در جدول ۴ برای استان گیلان، هیچ ایستگاهی وجود ندارد که ارتفاع آن بیشتر از ۵۰۰ متر باشد. ضریب همبستگی مدل ارائه شده برای دمای تراز دو متر از ۹۱ تا ۹۵ درصد می باشد. علاوه بر این، مقادیر MBE در تمامی ایستگاه ها در بازه ۰.۶۲- تا ۰/۰۸ قرار دارد.

همچنین کارایی مدل استانی ارائه شده به طور میانگین برای همه ایستگاه های هر استان فارغ از دسته بندی ارتفاعی در جدول ۵ آورده شده است. نتایج ارائه شده نشان می دهد که میزان RMSE مدل استانی به صورت میانگین در استان مازندران از گیلان کمتر بوده و خطا RMSE در استان مازندران زیر ۳ درجه سانتی گراد می باشد. ضریب

۴-۲. ارزیابی مدل پیشنهادی در استان های مازندران و گیلان پس از این که کارایی مدل استانی در مقایسه با مدل تک ایستگاهی برای تعدادی از ایستگاه های دلخواه مورد بررسی قرار گرفت، مشخص شد که RMSE مدل استانی تفاوت چشمگیری با مدل تک ایستگاهی ندارد. در این قسمت، ارزیابی عملکرد مدل ساخته شده بر اساس تمامی داده های ایستگاه های هر استان با استفاده از شاخص های RMSE و MBE و ضریب همبستگی برآورد و مورد بحث قرار خواهد گرفت. برای بررسی بهتر این ارزیابی، ایستگاه های موجود در دو استان بر اساس ارتفاع تقسیم بندی شده اند چرا که رفتار دمای تراز دو متر به ارتفاع منطقه مرتبط است. ایستگاه ها از لحاظ ارتفاعی به دو دسته کمتر از ۵۰۰ متر و بیشتر از ۵۰۰ متر تقسیم بندی شده و سپس مدل سازی دمای دو متری در هر تقسیم بندی به صورت مجزا انجام گرفته است. بنابراین به منظور مدل سازی دمای تراز دو متر، ایستگاه های هواشناسی در هر استان به دو دسته ارتفاعی و بالای ۵۰۰ متر تقسیم شدند و برای هر گروه، ضرایب مدل MLR محاسبه شد. با در نظر گرفتن روز و شب و ماهواره های مختلف، برای هر استان،

و گیلان با مدل استانی مقایسه می‌شود. برای هر استان، داده‌ها بر اساس فصول و ارتفاع‌ها تقسیم شده و ضرایب مدل MLR برای هر دسته محاسبه می‌شود. برای مثال، بر اساس داده‌های روز هنگام ماهواره آکوا در فصل تابستان و ایستگاه‌های زیر ۵۰۰ متر ارتفاع، ضرایب مدل جداگانه برآورد می‌شود. مدل فصلی، با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای آکوا و ترا در حالت شب و روز، هشت مدل مختلف با ضرایب متفاوت در چهار فصل مختلف و دو تفکیک ارتفاعی را ارائه می‌دهد. این روش با در نظر گرفتن هر دو استان و ۸ دسته ارتفاعی و فصلی، ۶۴ مجموعه از ضرایب را ارائه می‌دهد که قابل استفاده برای هر استان و شرایط فصلی و ارتفاعی مورد نظر است. بنابراین، قبل از استفاده عملی از این مدل که موسوم به مدل فصلی است، ضرایب مربوطه به‌عنوان ورودی کاربرد مورد نظر از قبل وارد برنامه خواهد شد.

همبستگی مدل ارائه شده برای دمای تراز دو متر بیشتر از ۹۰ درصد است. خطا RMSE در مازندران در بازه ۲/۶۰ تا ۲/۹۰ درجه سانتی گراد و در گیلان در بازه ۲/۸۲ تا ۳/۱۶ درجه سانتی گراد می‌باشد. همچنین میانگین بایاس مدل در مازندران در بازه ۰/۲۴- تا ۰/۴ درجه سانتی گراد و در گیلان در بازه ۰/۱۴- تا ۰/۲۹ درجه سانتی گراد می‌باشد.

۳-۴. مدل فصلی برآورد دمای تراز دو متر

در بخش قبل، با استفاده از داده‌های تمامی ایستگاه‌ها در هر استان، ضرایب مدل MLR برای برآورد دمای تراز دو متری استفاده شد و مدل ایجاد شده با نام مدل استانی مورد ارزیابی قرار گرفت. علاوه بر مدل استانی، با در نظر گرفتن فصل‌های مختلف در این بخش، مدل فصلی ساخته خواهد شد و برای پیش‌بینی دمای تراز دو متر در مناطق مازندران

جدول ۴. مقادیر میانگین RMSE و MBE دمای تراز دو متر مدل کلی بر حسب درجه سانتی‌گراد در استان‌های گیلان و مازندران بر اساس داده‌های LST ماهواره‌های آکوا و ترا برای شب و روز هنگام.

R ²		MBE		RMSE		ماهواره‌ها	شهرها
۵۰۰ > H	۵۰۰ < H	۵۰۰ > H	۵۰۰ < H	۵۰۰ > H	۵۰۰ < H		
۰/۹۴	۰/۹۳	۰/۰۸	-۰/۰۷	۲/۷۱	۳/۲۷	ماهواره آکوا در زمان روز	مازندران
۰/۹۳	۰/۹۳	-۰/۰۶	-۰/۶۵	۲/۶۲	۳/۵۳	ماهواره آکوا در زمان شب	
۰/۹۵	۰/۹۴	۰/۰۵	۰/۰۶	۲/۵۹	۲/۸۲	ماهواره ترا در زمان روز	
۰/۹۵	۰/۹۵	۰/۰۱	۰	۲/۴۱	۳/۹۳	ماهواره ترا در زمان شب	
۰/۹۴	-	۰/۲۹	-	۳/۰۳	-	ماهواره آکوا در زمان روز	گیلان
۰/۹۱	-	-۰/۱۴	-	۳/۱۶	-	ماهواره آکوا در زمان شب	
۰/۹۴	-	۰/۰۸	-	۲/۸۲	-	ماهواره ترا در زمان روز	
۰/۹۴	-	۰/۰۱	-	۳/۱۱	-	ماهواره ترا در زمان شب	

جدول ۵. مقادیر میانگین RMSE، MBE بر حسب درجه سانتی‌گراد و R² در استان‌های گیلان و مازندران در ماهواره‌های آکوا و ترا برای شب و روز.

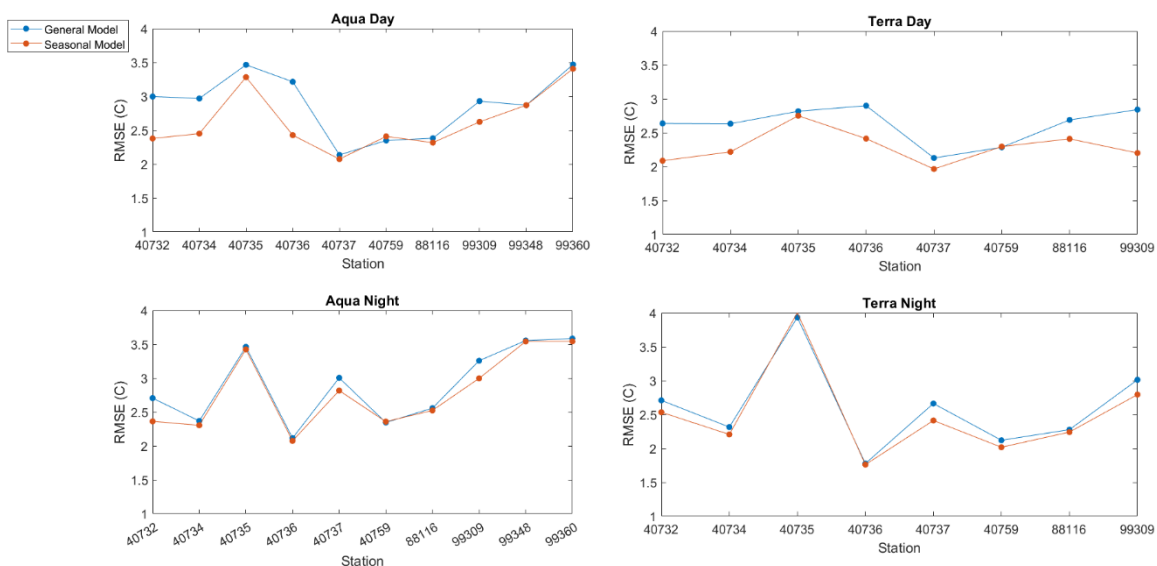
R ²	MBE	RMSE	ماهواره‌ها	شهرها
۰/۹۳	۰/۰۴	۲/۸۸	ماهواره آکوا در زمان روز	مازندران
۰/۹۳	-۰/۲۴	۲/۹۰	ماهواره آکوا در زمان شب	
۰/۹۴	۰/۰۳	۲/۶۲	ماهواره ترا در زمان روز	
۰/۹۵	۰/۰۱	۲/۶۰	ماهواره ترا در زمان شب	
۰/۹۴	۰/۲۹	۳/۰۳	ماهواره آکوا در زمان روز	گیلان
۰/۹۱	-۰/۱۴	۳/۱۶	ماهواره آکوا در زمان شب	
۰/۹۴	۰/۰۸	۲/۸۲	ماهواره ترا در زمان روز	
۰/۹۴	۰/۰۱	۳/۱۱	ماهواره ترا در زمان شب	

دریافت، کارایی مدل فصلی نسبت به مدل استانی در طول روز نسبت به شب بیشتر می باشد. شایان ذکر است که، در برخی از ایستگاه ها در زمان روز، میزان بهبود RMSE مدل فصلی نسبت به مدل استانی به یک درجه سانتی گراد می رسد. با در نظر گرفتن نتایج برای ماهواره های مختلف و در روز و شب، به طور کلی می توان استنباط کرد که مدل فصلی با دقت بالاتری نسبت به مدل استانی دمای تراز دو متر را در منطقه مورد نظر برآورد کرده است.

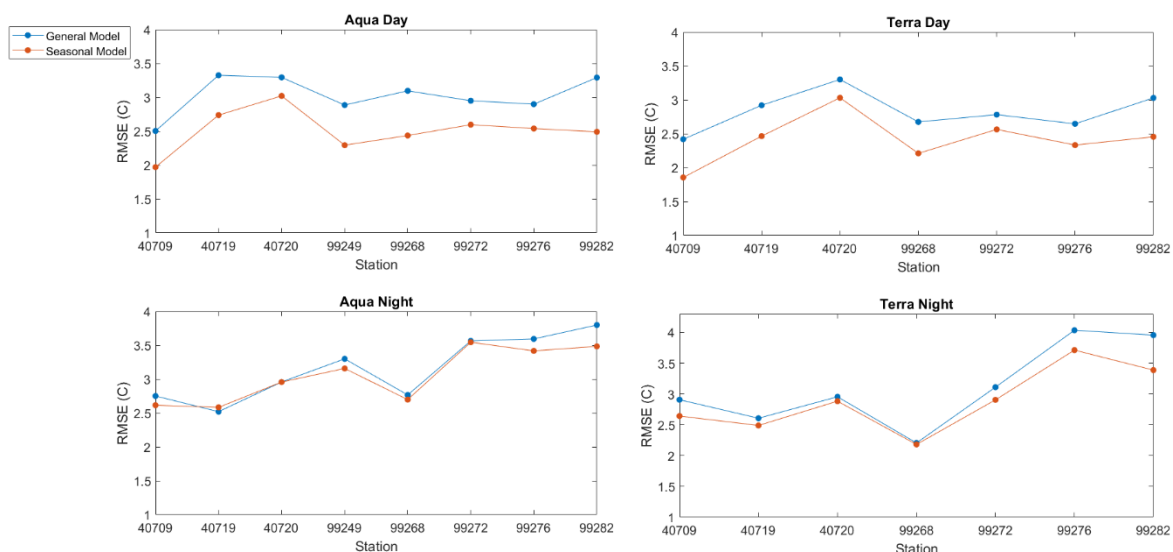
در شکل ۸ برای استان گیلان همانند استان مازندران، به مقایسه خطای مدل فصلی نسبت به مدل استانی در ده ایستگاه پرداخته شده است. همان طور که در شکل ۸ مشاهده می شود استفاده از مدل فصلی در زمان روز و شب منجر به کاهش خطا نسبت به مدل استانی شده است. با این حال لازم به ذکر است که در زمان روز خطا به میزان بیشتری نسبت به شب هنگام کاهش پیدا کرده است. با توجه به شکل ۸، برای منطقه گیلان هم در مدل فصلی نسبت به مدل استانی خطا در زمان شب تغییر کمی داشته و مقدار بهبود کمتر بوده است.

هدف مهم در این بخش، بررسی میزان اثرگذاری در نظر گرفتن فصل ها در مدل سازی نسبت به حالتی که برای همه داده های سال به طور کلی یک مدل استانی ارائه شود، می باشد. در شکل های ۷ و ۸، کارایی مدل استانی نسبت به مدل فصلی را بر اساس میزان RMSE در برآورد دمای تراز دو متر در ایستگاه های استان مازندران و گیلان برای داده های روز و شب هنگام و ماهواره های آکوا و ترا در بازه زمانی ارزیابی (از سال ۲۰۱۸-۲۰۱۹) مقایسه شده اند. با توجه به شکل های ۷ و ۸، تعداد ایستگاه ها در زمان روز و شب و در ماهواره های آکوا و ترا متفاوت است. علت این تفاوت این است که در زمان عبور ماهواره ها، داده های دمای دو متری مشاهداتی در برخی از ایستگاه ها در دسترس نیست. برای مثال، در شکل ۷، مشاهدات شب هنگام ماهواره ترا در دو ایستگاه از مازندران در دسترس نبوده است.

همانطور که در شکل ۷ مشاهده می شود، خطای مدل فصلی (نمودار قرمز) در استان مازندران در زمان روز و شب در اکثر ایستگاه ها نسبت به مدل استانی (نمودار آبی) کمتر می باشد. همچنین، با توجه به نتایج می توان



شکل ۷. نمایش مقدار RMSE در مدل سازی استانی و مدل سازی فصلی برای استان مازندران برای ماهواره های آکوا و ترا در شب و روز.



شکل ۸. نمایش مقدار RMSE در مدل‌سازی استانی و مدل‌سازی فصلی برای استان گیلان برای ماهواره‌های آکوا و ترا در شب و روز.

زمان روز برای ماهواره آکوا و ترا مقادیر خطا به ترتیب ۰/۵ و ۰/۴ درجه بهبود یافته است. همچنین، در استان مازندران در زمان روز ماهواره آکوا و ترا مقادیر خطا به ترتیب ۰/۲۶ و ۰/۳۳ درجه بهبود یافته است. ضرایب همبستگی به طور کلی ۱٪ بهبود یافته است. به طور میانگین، پس از اعمال مدل فصلی میتوان بیان کرد که RMSE دمای تراز دو متر برآوردشده در استان‌های مازندران و گیلان به ترتیب ۰/۲ و ۰/۳۱ درجه سانتی‌گراد بهبود یافته است.

در ادامه، مقادیر میانگین خطا برای دو مدل استانی و فصلی برای هر ماهواره در هر استان، به تفکیک زمان شب و روز، در جدول ۶ با یکدیگر مقایسه شده است. همان‌طور که از گراف‌های ارائه در شکل‌های ۷ و ۸ انتظار می‌رفت استفاده از مدل فصلی نسبت به مدل استانی باعث شده تا خطا در ساعات روز به میزان معناداری در هر استان کاهش یابد. این نتیجه نشان از توانایی مناسب مدل فصلی در شرایط روز است. نتایج جدول ۶ نشان می‌دهد که در استان گیلان در

جدول ۶. مقایسه میانگین مقادیر RMSE، MBE بر حسب درجه سانتی‌گراد و R^2 در مدل‌سازی استانی و مدل‌سازی فصلی برای ماهواره‌های آکوا و ترا در شب و روز.

شهرها	ماهواره‌ها	RMSE		MBE		R^2	
		مدل فصلی	مدل استانی	مدل فصلی	مدل استانی	مدل فصلی	مدل استانی
مازندران	ماهواره آکوا در زمان روز	۲/۶۲	۲/۸۸	۰/۰۴	-۰/۰۶	۰/۹۴	۰/۹۳
	ماهواره آکوا در زمان شب	۲/۷۹	۲/۹۰	-۰/۲۴	-۰/۲۵	۰/۹۳	۰/۹۳
	ماهواره ترا در زمان روز	۲/۲۹	۲/۶۲	۰/۰۳	-۰/۰۶	۰/۹۵	۰/۹۴
	ماهواره ترا در زمان شب	۲/۵۰	۲/۶۰	۰/۰۱	۰/۱۰	۰/۹۵	۰/۹۵
گیلان	ماهواره آکوا در زمان روز	۲/۵۱	۳/۰۳	۰/۲۹	۰/۱۷	۰/۹۴	۰/۹۲
	ماهواره آکوا در زمان شب	۳/۰۶	۳/۱۶	-۰/۱۴	-۰/۱۳	۰/۹۱	۰/۹۰
	ماهواره ترا در زمان روز	۲/۴۲	۲/۸۲	۰/۰۸	-۰/۰۴	۰/۹۴	۰/۹۳
	ماهواره ترا در زمان شب	۲/۸۹	۳/۱۱	۰/۰۱	۰/۰۸	۰/۹۴	۰/۹۳

۵. نتیجه گیری

به صورت کلان و اجمالی در سراسر منطقه مورد مطالعه است. از این رو، مدل کلی با حفظ اعتبار و دقت مناسب، توانایی پیش بینی دما را در سطح گسترده تری ارائه می دهد. - تحلیل انجام شده بر روی مدل های استانی نشان می دهد که به طور کلی، مقادیر RMSE دمای هوای برآورد شده برای ایستگاه ها با ارتفاع زیر ۵۰۰ متر کمتر از ایستگاه ها در ارتفاعات بالاتر است. همچنین، ضریب همبستگی مدل برای دمای تراز دو متر در منطقه مورد مطالعه بیشتر از ۹۰ درصد به دست آمد که نشان از کارایی مدل در تطبیق با ویژگی های مختلف استان های مازندران و گیلان دارد.

- با توجه به نتایج به دست آمده، استفاده از مدل استانی ارائه شده در زمان روز و شب تغییری در عملکرد آن به وجود نیاورده است و کارایی مدل در زمان روز و شب بر حسب پارامترهای خطا، اختلاف چندانی ندارد. به عبارت دیگر نتایج نشان داد عملکرد مدل از لحاظ آماری در شب و روز برای استان های مازندران و گیلان، اختلاف زیادی نداشته است.

- همچنین، بر اساس یافته های این تحقیق، مدل سازی بر اساس ویژگی های فصلی موجب کاهش میزان خطا در برآورد دمای تراز دو متر می شود و تأثیر مثبتی بر بهبود عملکرد مدل MLR پیشنهادی دارد. آنالیز نتایج حاصل از مدل در حالت فصلی نشان داد که این مدل می تواند خطا را به طور قابل ملاحظه ای در زمان روز، کاهش داده و کارایی مدل بهبود یافته است. با استفاده از مدل فصلی، به طور میانگین مقادیر RMSE، برای استان مازندران ۰/۲ درجه سانتی گراد و برای استان گیلان ۰/۳۱ درجه سانتی گراد کاهش یافته است.

مراجع

- Allison, E. W., Brown, R. J., Press, H. E., & Gairns, J. G. (1989). Monitoring Drought Affected Vegetation With Avhrr. *12th Canadian Symposium on Remote Sensing Geoscience and Remote Sensing Symposium*, 4, 1965-1967.
<https://doi.org/10.1109/IGARSS.1989.577746>
 Benali, A., Carvalho, A. C., Nunes, J. P., Carvalhais, N., & Santos, A. (2012).

در این پژوهش با بهره گیری از داده های ماهواره ای به مدل سازی دمای تراز دو متر از سطح زمین در استان های گیلان و مازندران پرداخته شد. هدف اصلی این مطالعه توسعه یک مدل برای محاسبه دمای تراز دو متر در مناطقی است که ایستگاه های زمینی در آنها در دسترس نمی باشد. برای این منظور، از روش MLR به عنوان یک ابزار تحلیلی برای ایجاد مدل استفاده شد. پارامترهای اصلی این مدل شامل داده های LST سنجنده مودیس روی ماهواره های آکوا و ترا، NDVI، شیب، انحناء، ساعت و روز برداشت داده (DOY) می باشد. در این پژوهش، مدل های MLR متنوعی شامل مدل تک ایستگاهی، استانی با تفکیک ارتفاعی (کمتر از ۵۰۰ متر و بیشتر از ۵۰۰ متر)، استانی با تفکیک ارتفاعی و فصلی برای برآورد دمای هوای نزدیک به سطح زمین ساخته شدند و برای هر یک ضرایب رابطه MLR برآورد شد. در هر کدام از مدل های ذکر شده، با استفاده از مجموعه داده های زمینی و ماهواره ای استخراج شده از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۷ پارامترهای مدل برآورد شد و سپس با استفاده از داده های ۲۰۱۸ تا ۲۰۲۰ مدل های پیشنهادی مورد ارزیابی قرار گرفتند. مهم ترین نتایج به دست آمده از این تحقیق عبارتند از:

- تحلیل مقایسه ای بین مدل تک ایستگاهی و مدل استانی نشان داد که اختلاف های کمی در عملکرد این دو مدل وجود دارد. نتایج نشان دادند که مدل استانی، در مقایسه با مدل تک ایستگاهی برای هر نقطه، با دقت قابل قبولی در برآورد دمای تراز دو متر عمل کرده است. تفاوت های اندک در عملکرد مدل تک ایستگاهی و مدل کلی نشان دهنده قابلیت مدل استانی در انتقال الگوهای دما

- Estimating air surface temperature in Portugal using MODIS LST data. *Remote Sensing of Environment*, 124, 108-121.
<https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.04.024>
 Binesh Barahmand, M., Nabizadeh, R., Nadafi, K., & Medzaghi nia, A. (2012). Qualitative Analysis of Coastal Waters in the Caspian Sea in Guilan Province: Determining the Environmental Health Indicators in Swimming

- Areas. *Journal of Mazandaran University of Medical Sciences*, 22(88), 41–52.
- Bunker, A., Wildenhain, J., Vandenberg, A., Henschke, N., Rocklöv, J., Hajat, S., & Sauerborn, R. (2016). Effects of Air Temperature on Climate-Sensitive Mortality and Morbidity Outcomes in the Elderly; a Systematic Review and Meta-analysis of Epidemiological Evidence. *EBioMedicine*, 6, 258–268.
<https://doi.org/10.1016/j.ebiom.2016.02.034>
- Che, J., Ding, M., Zhang, Q., Wang, Y., Sun, W., Wang, Y., Wang, L., & Huai, B. (2022). Reconstruction of Near-Surface Air Temperature over the Greenland Ice Sheet Based on MODIS Data and Machine Learning Approaches. *Remote Sensing*, 14(22), 5775.
<https://doi.org/10.3390/rs14225775>
- Deser, C., Terray, L., & Phillips, A. S. (2016). Forced and Internal Components of Winter Air Temperature Trends over North America during the past 50 Years: Mechanisms and Implications. *Journal of Climate*, 29(6), 2237–2258. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-15-0304.1>
- 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), 1149–1161.
<https://doi.org/10.1007/s00704-016-1945-0>
- Dinpashoh, Y., Singh, V. P., Biazar, S. M., & Kavehkar, S. (2019). Impact of climate change on streamflow timing (case study: Guilan Province). *Theoretical and Applied Climatology*, 138(1), 65–76.
<https://doi.org/10.1007/s00704-019-02810-2>
- Ermida, S. L., Soares, P., Mantas, V., Göttsche, F.-M., & Trigo, I. F. (2020). Google Earth Engine Open-Source Code for Land Surface Temperature Estimation from the Landsat Series. *Remote Sensing*, 12(9), Article 9.
<https://doi.org/10.3390/rs12091471>
- Gázquez, F., Calaforra, J. M., & Fernández-Cortés, A. (2016). Flash flood events recorded by air temperature changes in caves: A case study in Covadura Cave (SE Spain). *Journal of Hydrology*, 541, 136–145.
<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.10.059>
- Gholamnia, M., Alavipanah, S. K., Darvishi Boloorani, A., Hamzeh, S., & Kiavarz, M. (2017). Diurnal Air Temperature Modeling Based on the Land Surface Temperature. *Remote Sensing*, 9(9), 915.
<https://doi.org/10.3390/rs9090915>
- Isazadeh, M., Biazar, S., & Ashrafzadeh, A. (2017). Support vector machines and feed-forward neural networks for spatial modeling of groundwater qualitative parameters. *Environmental Earth Sciences*, 76, <https://doi.org/10.1007/s12665-017-6938-5>
- Kashki, A., Karami, M., Zandi, R., & Roki, Z. (2021). Evaluation of the effect of geographical parameters on the formation of the land surface temperature by applying OLS and GWR, A case study Shiraz City, Iran. *Urban Climate*, 37, 100832.
<https://doi.org/10.1016/j.uclim.2021.100832>
- Khandan, R., Gholamnia, M., Duan, S.-B., Ghadimi, M., & Alavipanah, S. K. (2018). Characterization of maximum land surface temperatures in 16 years from MODIS in Iran. *Environmental Earth Sciences*, 77(12), 450.
<https://doi.org/10.1007/s12665-018-7623-z>
- Kuhn, K. G., Campbell-Lendrum, D. H., & Davies, C. R. (2002). A continental risk map for malaria mosquito (Diptera: Culicidae) vectors in Europe. *Journal of Medical Entomology*, 39(4), 621–630. <https://doi.org/10.1603/0022-2585-39.4.621>
- Lin, S., Moore, N., Messina, J., DeVisser, M., & 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, 128–140.
<https://doi.org/10.1016/j.jag.2012.01.004>
- Mostovoy, G., King, R., Reddy, K., Kakani, V., & Filippova, M. (2006). Statistical Estimation of Daily Maximum and Minimum Air Temperatures from MODIS LST Data over the State of Mississippi. *GIScience & Remote Sensing*, 43, 78–110.
<https://doi.org/10.2747/1548-1603.43.1.78>
- Parton, W. J., & Logan, J. A. (1981). A model for diurnal variation in soil and air temperature. *Agricultural Meteorology*, 23, 205–216.
[https://doi.org/10.1016/0002-1571\(81\)90105-9](https://doi.org/10.1016/0002-1571(81)90105-9)
- Qorbani, samira, Shaygan, M., J karami, J., & Ghasempouri, S. M. (2022). Spatial prioritization of protected areas using Annealing simulation algorithm (Study area: Mazandaran province). *Mdrsjrns*, 26(3), 152–183. <https://doi.org/10.2022/hsmssp.26.3.7>
- Shahbazi, A., & Esmacili-Sari, A. (2009). Groundwater Quality Assessment in North of Iran: A Case Study of the Mazandaran Province.
- Slini, T., & Papakostas, K. (2016). 30 Years Air Temperature Data Analysis in Athens and Thessaloniki, Greece. *In Green Energy and Technology* (pp. 21–33).
https://doi.org/10.1007/978-3-319-30127-3_3
- Uyanik, G. K., & Güler, N. (2013). A Study on Multiple Linear Regression Analysis. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 106, 234–240.
<https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.12.027>
- Vaez, A., & Mokhtarzade, M. (2015). Estimation

- of surface air temperature using LST data of MODIS sensor. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3751.3125>.
- Wan, Z. (2006). MODIS land surface temperature products users' guide. Institute for Computational Earth System Science, University of California: Santa Barbara, CA, USA, 805. https://lpdaac.usgs.gov/documents/447/MOD11_User_Guide_V4.pdf
- Wang, L., Hui, F., & Suo, F. (2022). Usage and Analysis of Interpolation Methods in Time Series Forecasting. *Software development and application*, 13-15.
- Wang, N., Tian, J., Su, S., & Tian, Q. (2023). A Downscaling Method Based on MODIS Product for Hourly ERA5 Reanalysis of Land Surface Temperature. *Remote Sensing*, 15(18), 4441.
- Willmott, C., & Robeson, S. (1995). Climatologically Aided Interpolation (CAI) of Terrestrial Air Temperature. *International Journal of Climatology*, 15, 221-229. <https://doi.org/10.1002/joc.3370150207>
- Yang, Y., Cai, W., & Yang, J. (2017). Evaluation of MODIS Land Surface Temperature Data to Estimate Near-Surface Air Temperature in Northeast China. *Remote Sensing*, 9(5), 410. <https://doi.org/10.3390/rs9050410>
- 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, 149-162. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2018.01.018>
- Zeng, L., Wardlow, B., Tadesse, T., Shan, J., Hayes, M., Li, D., & Xiang, D. (2015). Estimation of Daily Air Temperature Based on MODIS Land Surface Temperature Products over the Corn Belt in the US. *Remote Sensing*, 7(1), 951-970. <https://doi.org/10.3390/rs70100951>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.10.034>.