دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر فصلنامه ی
علمی فضای جغرافیایی

دوره بیست و پنجم، شماره ی۹۰
تابستان ۱۴۰۴، صفحات ۲۳۱-۲۱۱

سیده محبوبه ابن حجازی[۱]
حجت اله یزدان پناه[۲*]
محمدعلی نصر اصفهانی[۳]

ارزیابی عملکرد مدل WRF برای پیش بینی یخبندان دیررس بهاره (مطالعه موردی: استان های اردبیل و زنجان)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/ ۱۱/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۱۵

چکیده

پیش بینی های میان مقیاس و منطقه ای دمای هوا نقش مهمی در کاهش خسارت های ناشی از یخبندان بویژه در بخش کشاورزی دارد. هدف این مقاله ارزیابی عملکرد مدل WRF در شبیه سازی ۲٤ و ٤۸ ساعته دمای حداقل در استان های اردبیل و زنجان است. داده های دمای دو متری در منطقه مطالعاتی با تفکیک ۳ کیلومتر بوسیله مدل WRF در زمان وقوع یخبندان های دیررس بهاره شبیه سازی شد. سپس داده های شبیه سازی شده ۲٤ و ٤۸ ساعته در ساعت UTC ۳ برای ۸ ایستگاه سینوپتیک در استان زنجان و ۱۱ ایستگاه سینوپتیک در استان اردبیل با داده های حداقل مشاهداتی در ایستگاه ها مقایسه شد. نتایج نشان داد برای هر دو استان شبیه سازی های دمای حداقل ۲٤ ساعته دقت بیشتری نسبت به شبیه سازی ٤۸ ساعته داشته است. هرچند عامل توپوگرافی و کوهستانی بودن منطقه باعث شده تا میزان دقت مدل در حد بالایی نباشد با این حال با توجه به مقدار شاخص های ارزیابی MAE، RMSE، MBE و R که برای شبیه سازی ۲٤ ساعته در استان اردبیل به ترتیب ۲/۳، ۳، ۱/٤ و ۰/۸ بوده، کارایی مدل WRF برای شبیه سازی دمای حداقل و پیش بینی وقوع یخبندان در استان اردبیل بهتر بوده است.

کلید واژه ها: راستی آزمایی، شبیه سازی دمای حداقل، مدل WRF، یخبندان دیررس بهاره

۱- گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم جغرافیایی و برنامه ریزی محیطی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران.
۲- گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه کاپیلانو، ونکوورشمالی، بریتیش کلمبیا، کانادا (نویسنده مسئول)Hojatyazdanpanah@capilanou.ca
۳- گروه مهندسی منابع آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

[DOI: 10.83252/geospa.2025.2.4120]

مقدمه

بلایای طبیعی هر نوع مخاطره ای است که بوسیله عوامل اقلیم شناسی، هواشناسی یا نیروهایی در سطح زمین بدون دخالت انسان بوجود می آید (Singh et al., 2019). این رخدادهای فرین باعث مرگ و یا صدمه به انسان ها و نیز خسارت به ساختمان ها، سیستم های ارتباطی، زمین های کشاورزی، جنگلها و منابع طبیعی می شوند (Van Westen, 2000). مخاطرات هواشناسی وقایع کوتاه مدت با تداوم چند دقیقه تا چند روز هستند که در شرایط جوی کوچک مقیاس تا میان مقیاس ایجاد می شوند (Chaudhary et al., 2021). در میان مخاطرات جوی، یخبندان عامل مهمی در وارد آمدن خسارت های جدی به تولیدات کشاورزی است. وارد شدن خسارت به محصول به عوامل مختلفی مانند حداقل دمای ثبت شده، مدت زمان تداوم یخبندان و مرحله ای از رشد که گیاه در آن در معرض دماهای پایین قرار می گیرد، بستگی دارد (Papagiannaki et al., 2014). در سال های اخیر تعداد دوره های گرم در زمستان و دوره های سرد در بهار افزایش داشته است. که این امر به یخبندان های دیررس بهاره و در نتیجه کاهش عملکرد باغات منجر می شود (Cebulj et al., 2022). یخبندان بهاره تهدید مهمی برای تولید محصول در باغات مناطق معتدل است (Dzebre et al., 2021). هرچند بنابر آمارها در سال ۱۴۰۱، ۲۶۷۶۴۴ تن محصولات باغی در استان اردبیل و ۵۵۴۶۳۳ تن نیز در استان زنجان تولید شده است (Statistics, Information and Communication Technology Center, 2023)، اما با این حال سرمازدگی از عوامل مهمی است که خسارت زیادی را به محصولات کشاورزی این مناطق وارد می کند به طوری که در سال ۱۳۹۷ بر اثر سرمازدگی، ۳۱۰ هزار تن محصول از سطح ۳۱ هزار هکتار از باغات استان اردبیل به ارزش ۷۵۴۰ میلیارد ریال و در استان زنجان نیز ۲۸۸/۷۹ هزار تن محصول از سطح ۴۱/۳۶ هزار هکتار از باغات به ارزش ۶۹۳۶ میلیارد ریال دچار خسارت شد (Agricultural Mechanization Development Center, 2019). با توجه به اهمیت سرمازدگی در میزان تولید محصولات کشاورزی، یکی از راه های کاهش خسارت های ناشی از سرمازدگی، پیش بینی دمای کمینه است (Sabziparvar and Khoshhal Jahromi, 2018). به دلیل آنکه تغییر اقلیم می تواند گستردگی و شدت یخبندان دیررس بهاره را تغییر دهد پیش بینی چنین رویدادهایی اهمیت زیادی دارد (Chamberlain et al., 2019). پیش آگاهی عاملی مهم در پیشگیری از بلایا است زیرا تصمیم گیری فوری برای بلایای طبیعی نقش مهمی را در بهبود توانایی واکنش به بلایا ایفا می کند (Zhou et al., 2018) پیش بینی مخاطره اطلاعاتی پیرامون مشخصات رخدادهای طبیعی، مانند مکان، زمان و بزرگی خسارت های احتمالی را ارائه می دهد. البته باید به عدم قطعیت ذاتی پیش بینی نیز توجه داشت (Merz et al., 2020). یکی از عوامل مؤثر در آمادگی در برابر بلایا وجود یک سیستم پیش آگاهی با عملکرد خوب است که بتواند اطلاعات صحیح، قابل اعتماد و به موقع را ارائه دهد (Tuzyak, 2021). تاکنون الگوریتم های مختلفی از یادگیری ماشین مانند GP، ANN، ANFIS، RF و رگرسیون برای پیش بینی متغیرهای هواشناسی به کار گرفته شده است (Jorenoosh and Sepaskhah, 2018)، (Omidvar and Nabavi zadeh, 2015)، (Ildoromi et al., 2013)، (Amirabadyzadeh et al., 2018)، (Skok et al., 2021)، (Tahir et al., 2021)، (Zeng et al., 2021)، (Ovando et al., 2022). مدل های عددی پیش بینی وضع هوا نیز از دیگر روش های پیش بینی است؛ از جمله این مدل ها که امروزه بسیار مورد توجه قرار گرفته است، مدل WRF است. به کمک مدل عددی میان مقیاس WRF می توان از چند ساعت تا چند روز قبل از وقوع رخداد هواشناسی را پیش بینی و در صورت لزوم اطلاعیه های لازم را صادر

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

[DOI: 10.83252/geospa.2025.2.4120]

کرد (Maddah and Parhizkar, 2021). البته باید توجه داشت که وجود عدم قطعیت در شرایط اولیه و مرزی مدل، فرایندهای فیزیکی، داده های ایستایی سطحی و تعریف ریاضی ساختار مدل باعث ایجاد خطا در مدل عددی و پیش بینی های خروجی مدل می شود (Liu et al., 2021)؛ به همین دلیل ارزیابی های مدل برای تشخیص توانایی مدل های عددی در تولید داده های معتبر ضروری است (Dzebre et al., 2021) و بر همین اساس پژوهش های زیادی در این زمینه صورت گرفته است؛ به عنوان مثال در تحقیق Nasr Esfahani et al. (2018) میزان خطای RMSE نشان داد شبیه سازی ۲٤ ساعته دمای دو متری در حوضه آبریز زاینده رود با استفاده از مدل WRF عملکرد بهتری نسبت به شبیه سازی ٤۸ ساعته دارد. Zhang et al. (2019) پیش بینی های ۱۲، ۲٤، ۳٦ و ٤۸ ساعته دما، رطوبت و سرعت باد مدل WRF در ژوئیه و دسامبر ۲۰۱۵ در شمال غرب چین را ارزیابی کردند که بر اساس نتایج، در هر سه متغیر مورد بررسی خطاهای پیش بینی با افزایش زمان پیش بینی افزایش می یابد. Naveena et al. (2021) در پژوهش خود موج گرمایی ۲۲-۲٤ مه ۲۰۱۳، در جنوب شرق هند را ۷۲ ساعت قبل از وقوع بوسیله مدل WRF پیش بینی کردند. مقادیر آماره ها نشانگر تشابه زیاد پیش بینی های مدل با داده های مشاهداتی در هر سه مدت زمان ۲٤، ٤۸ و ۷۲ ساعته بود. Politi et al. (2021) با ارزیابی شبیه سازی های بارش، دمای حداکثر و دمای حداقل در یونان بوسیله مدل WRF، برای دوره ۱۹۸۰-۲۰۰٤ به این نتیجه رسیدند که مدل WRF به خوبی داده های دمای حداکثر، حداقل و بارش را بازتولید کرده است. Bhimala et al. (2021) در مطالعه ای توانایی مدل WRF برای شبیه سازی بارش و دمای دو متری در کلان شهر بنگلور هند را بوسیله سنجه های آماری تشخیص دادند. آن ها توانایی مدل در اکثر ایستگاه های واقع در داخل کلانشهر را خوب ارزیابی کردند. Maddah et al. (2021) پیش بینی رخداد بارش سنگین در ۳۱ مارس ۲۰۱۹ را در حوضه رودخانه کرخه بوسیله مدل WRF بررسی کردند. نتایج نشان داد بین مدت زمان پیش بینی و مقدار بارش پیش بینی شده وابستگی معکوس وجود دارد. Nooni et al. (2022) در تحقیق خود قابلیت مدل WRF در شبیه سازی هفت بارش سنگین متفاوت در شرق آفریقا در تابستان ۲۰۲۰ را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد مدل WRF به درستی الگوی مکانی بارش ها را بازتولید کرده است. Tedla et al. (2022) پیش بینی های ۱ تا ۵ روزه بارش مدل WRF برای حوضه آبریز آکاکی اتیوپی در ژوئن تا سپتامبر ۲۰۲۰ را بررسی کردند. ارزیابی ها نشان داد صحت پیش بینی بارش برای مدت زمان ۱ تا ۳ روز بالا است. Lin et al. (2023) عملکرد مدل WRF در شبیه سازی بارش برف، باران و دمای دو متری در ٤ تا ۱۸ اکتبر ۲۰۱۸ بر روی فلات تبت را با مقایسه داده های خروجی مدل WRF با داده های ایستگاهی بوسیله شاخص های آماری ارزیابی کردند. نتایج تحقیق آن ها نشان داد مدل عملکرد خوبی داشته است. Castorina et al. (2023) رخداد طوفان V-shaped در تاریخ ۱۱-۱۲ نوامبر ۲۰۱۹ در جنوب ایتالیا را بوسیله مدل WRF پیش بینی نمودند که در نهایت مشخص شد مدل WRF ابزاری معتبر برای پیش بینی های دقیق شامل رخدادهای آب و هوایی محلی و فرین است. Ghassabi et al. (2023) عملکرد مدل WRF در پیش بینی ۱ تا ۵ روزه بارش سنگین رخ داده به دلیل امواج مانسون در ایران را طی روزهای ۲٦-۲۸ و ۳۰ ژوئیه بررسی کرده و نتیجه گرفتند که مدل منطقه ای WRF در پیش بینی بارش ناشی از مانسون در ایران، عملکرد بهتری نسبت به مدل های تمام کره GFS و CFS دارد. همچنین مقدار RMSE نشان داد پیش بینی ٤۸ ساعته مدل WRF نسبت به دیگر پیش بینی ها دقت بالاتری داشته

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

[DOI: 10.83252/geospa.2025.2.4120]

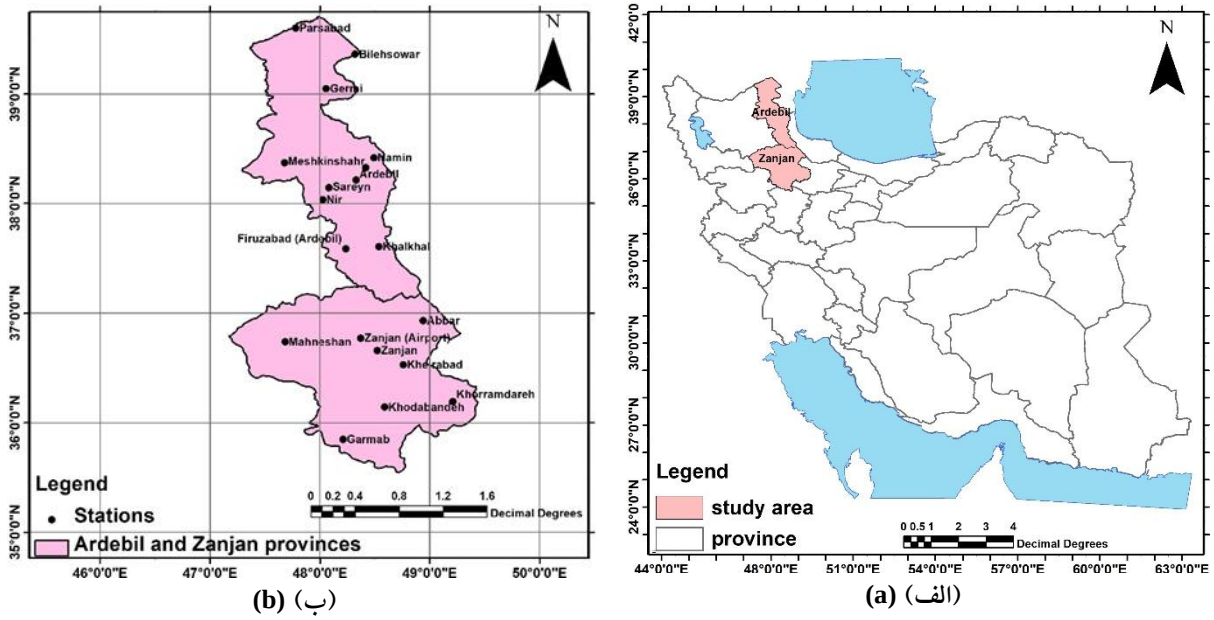
است. در این پژوهش نیز هدف، ارزیابی میزان دقت و صحت شبیه سازی های ۲٤ و ٤۸ ساعته دما به وسیله مدل WRF برای پیش بینی رخداد یخبندان بهاره در استان های اردبیل و زنجان است.

مواد و روشها

منطقه مطالعاتی

استان اردبیل با وسعتی معادل ۱۷٦۲٤/۱ کیلومتر مربع در شمال فلات ایران بین ٦′ ۳۷° تا ٤۲′ ۳۹° عرض شمالی از خط استوا و ۱۷′ ٤۷° تا ۵۵′ ٤۸° طول شرقی از نصف النهار گرینویچ در شمال غرب ایران واقع شده است. این استان از دو بخش کوهستانی سرد و جلگه ای معتدل و به تبع آن عوامل طبیعی و جغرافیایی متنوع تشکیل شده است و دارای تنوعات اقلیمی قابل توجه می باشد. توزیع دمای هوا در استان متناسب با توپوگرافی و سایر ویژگی های طبیعی آن است و نواحی پست واقع در دره رودخانه ارس و دشت مغان گرمترین و ارتفاعات سبلان سردترین مناطق استان می باشند (Management and Planning Organization of Ardabil Province, 2023). (

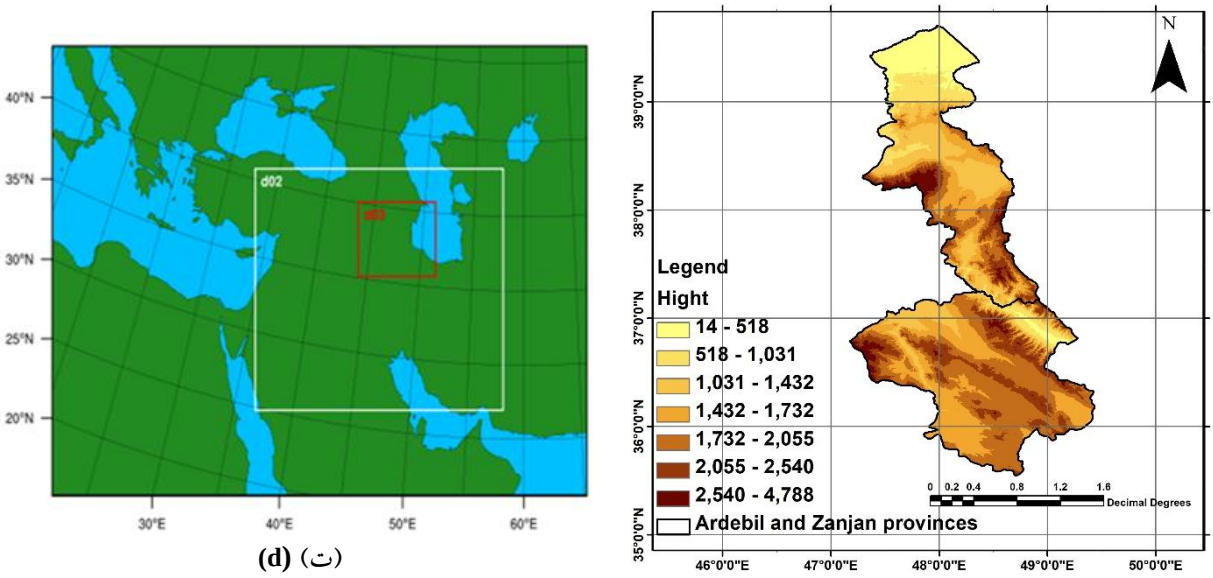
استان زنجان با وسعت ۲۲۱٦٤ کیلومتر مربع در منطقه شمال غرب کشور بین ۳۵° و ۳۵′ تا ۳۷° و ۱۵′ عرض شمالی از خط استوا و ٤۷° و ۱۱′ تا ٤۹° و ۲۵′ طول شرقی از نصف النهار گرینویچ قرار دارد. میانگین ارتفاع آن بیش از ۱۵۰۰ متر از سطح دریاست. پست ترین نقطه داخل استان با ارتفاع ۳۰۰ متر در منطقه طارم و بلندترین قله آن با ارتفاع ۳۲۰۰ متر در کوه های تخت سلیمان از ارتفاعات شهرستان ماهنشان قرار دارد. براساس طبقه بندی اقلیمی به روش آمبرژه سه نوع اقلیم زیر را می توان مشخص نمود: الف: نیمه خشک سرد ب: خشک سرد ج: معتدل. تغییرات دمای سالیانه استان بین کمینه مطلق ۳۰ - درجه سلسیوس در گرماب و بیشینه مطلق ٤۹ درجه سلسیوس در آبیر بوده است (Management and Planning Organization of Zanjan Province, 2023). در این مطالعه به منظور ارزیابی شبیه سازی های ۲٤ و ٤۸ ساعته از داده های دمای حداقل ۸ ایستگاه هواشناسی سینوپتیک در استان زنجان و ۱۱ ایستگاه هواشناسی سینوپتیک در استان اردبیل- که داده‌های آن از سازمان هواشناسی کشور (IRIMO) اخذ گردید- استفاده شد. شکل ۱ الف و ۱ ب موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و ایستگاه های سینوپتیک آن و شکل ۱ پ مدل رقومی ارتفاع استان های زنجان و اردبیل را نشان می دهد.



(الف) (a) (ب) (b)

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

[DOI: 10.83252/geospa.2025.2.4120]



(ت) **(d)** (پ) **(c)**

شکل ۱: الف و ب) موقعیت جغرافیایی استان های اردبیل و زنجان و ایستگاه های سینوپتیک آن ها که برای ارزیابی شبیه سازی مدل WRF استفاده شدند. پ) مدل رقومی ارتفاع استان های زنجان و اردبیل به واحد متر (https://girs.ir). ت) شبکه های محاسباتی مدل WRF.

Fig. 1: a and b) Location of Ardabil and Zanjan provinces and their synoptic stations used to assess simulation of WRF model. c) Ardabil and Zanjan provinces digital elevation model in meters (https://girs.ir). d) Computational grids of WRF model.

داده ها

مدل پیش‌بینی و تحقیق وضع هوا (WRF) یک سیستم پیش بینی عددی آب و هوا در مقیاس متوسط است که برای تحقیقات و پیش بینی های جوی طراحی شده است. مدل، دامنه وسیعی از کاربردهای هواشناسی در مقیاس هایی از ده ها متر تا هزاران کیلومتر را دارا می باشد (NCAR/UCAR).

در این مطالعه هدف پژوهش ارزیابی کارایی مدل WRF در شبیه سازی های ۲۴ و ۴۸ ساعته دمای حداقل جهت پیش بینی یخبندان دیررس بهاره است. به این منظور با در نظر گرفتن اینکه در استان اردبیل ماه های فروردین و اردیبهشت (Sobhani et al., 2017)، (Akbary and Mozaffari, 2019) و در استان زنجان نیز به طور میانگین ۲۰ فروردین تا ۳۰ اردیبهشت زمان خاتمه یخبندان دیررس بهاره است (MirMousavi and Hosseinbabai, 2011) و نیز با توجه به اینکه دمای حداقل عامل اقلیمی مهمی در پیش بینی یخبندان است، شبیه سازی ۱ و ۲ روزه (۲۴ و ۴۸ ساعته) دمای دو متری با مدل WRF-ARW، برای ۱۹ روز نمونه از ساعت ۱۲ روز ۲۸ مارس تا ۱۶ آوریل ۲۰۱۲ در ساعت UTC ۳ انجام شد. ۱۲ ساعت اول برای زمان تنظیم (spin-up) در نظر گرفته شد. شبکه محاسباتی برای شبیه سازی دمای ۲ متری به وسیله مدل عددی WRF، متشکل از سه شبکه تودرتو (لانه‌ای) است (شکل ۱ ت) که مشخصات آن به شرح زیر است:

شبکه بزرگ دارای تفکیک افقی ۲۷ کیلومتر است و محدوده ۵۰–۲۰ درجه شمالی و ۶۱–۲۰ درجه شرقی را پوشش می‌دهد. تعداد نقاط این شبکه ۱۲۲×۱۶۷ نقطه است که مساحتی بالغ بر ۳۲۹۴km ×۴۵۰۹km را شامل می‌شود. شبکه

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

[DOI: 10.83252/geospa.2025.2.4120]

متوسط دارای تفکیک افقی ۹ کیلومتر است و محدوده ۴۲-۲۶ درجه شمالی و ۵۵-۳۶ درجه شرقی را پوشش می‌دهد. تعداد نقاط این شبکه ۱۹۶×۲۳۳ نقطه است که مساحتی بالغ بر ۱۷۶۴ km × ۲۰۸۸km را فرامی‌گیرد. شبکه کوچک دارای تفکیک افقی ۳ کیلومتر است و محدوده ۴۰-۳۵ درجه شمالی و ۵۰-۴۴ درجه شرقی را پوشش می‌دهد. تعداد نقاط این شبکه ۱۸۱×۲۱۷ نقطه است که مساحت آن بالغ بر ۵۴۹km × ۶۶۰km است. تفکیک افقی داده‌های ناهمواری و کاربری زمین برابر ۳۰ ثانیه (حدود ۱ کیلومتر) است. شرایط اولیه و مرزی از داده‌های سامانه مدل سازی تمام کره‌ای موسوم به GFS در بازه‌های ۳ ساعته و با تفکیک افقی نیم درجه از مرکز ملی داده‌های محیطی (NCEI) گرفته شد. بر پایه پژوهش های پیشین پیش‌بینی عددی وضع هوا در ایران (Azadi et al., 2012)، (Zoljoodi et al., 2013)، (Ghafarian and Barakati, 2013)، (Zakeri et al., 2014)، Nasr Esfahani et al. (2018) از طرح واره‌های فیزیکی پیکربندی KFMYJ برای مدل WRF در این تحقیق استفاده شد (جدول۱).

جدول ۱- طرح واره های فیزیکی انتخاب شده جهت مدل سازی با مدل WRF

Table 1- Selected physical schemes for modeling by WRF

فیزیک مدل **physical scheme**	KFMYJ
طرح‌واره میکرو فیزیک **Microphysic**	Lin et al. scheme
طرح‌واره تابش طول موج بلند **longwave radiation**	RRTM scheme
طرح‌واره تابش طول موج کوتاه **shortwave radiation**	Goddard Shortwave scheme
طرح‌واره لایه سطحی **surface-layer**	Eta Similarity scheme
طرح‌واره سطح زمین **land-surface model**	Noah
طرح‌واره لایه مرزی سیاره‌ای **Planet boundary-layer**	Mellor Yamada
طرح‌واره همرفت **cumulus convection**	Kain-Fritsch
گام زمانی **time step**	160s
تعداد ترازهای قائم **Number of vertical levels**	27
طبقه‌بندی کاربری اراضی **Land cover classification**	USGS

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

[DOI: 10.83252/geospa.2025.2.4120]

ارزیابی مدل

برای تشخیص دقیق تر میزان تطابق داده های دمای حداقل شبیه سازی ۲٤ و ٤۸ ساعته با داده های مشاهده شده از نمودار پراکندگی و برای مقایسه مقادیر پیش یابی شده بوسیله مدل WRF با مقادیر مشاهداتی متناظر با آن از شاخص های آماری مانند میانگین قدر مطلق خطا (MAE)، مجذور خطای میانگین مربعات (RMSE)، شاخص میانگین اریبی (MBE) و ضریب همبستگی (R) استفاده شد (معادله‌های ۱ تا ٤):

$$MAE = \frac{1}{n} \times \sum_{t=1}^{n} |O_t - F_t| \quad (۱$$

$$\mathrm{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^{n}(O_t - F_t)^2}{n}} \quad (۲$$

$$MBE = \frac{1}{n}\left(\sum_{t=1}^{n} F_t - \sum_{t=1}^{n} O_t\right) \quad (۳$$

$$R = \frac{\sum_{t=1}^{n}[(O_t - \overline{O_t}) \times (F_t - \overline{F_t})]}{\sqrt{[\sum_{t=1}^{n}(O_t - \overline{O_t})^2 \times \sum_{t=1}^{n}(F_t - \overline{F_t})^2]}} \quad (٤$$

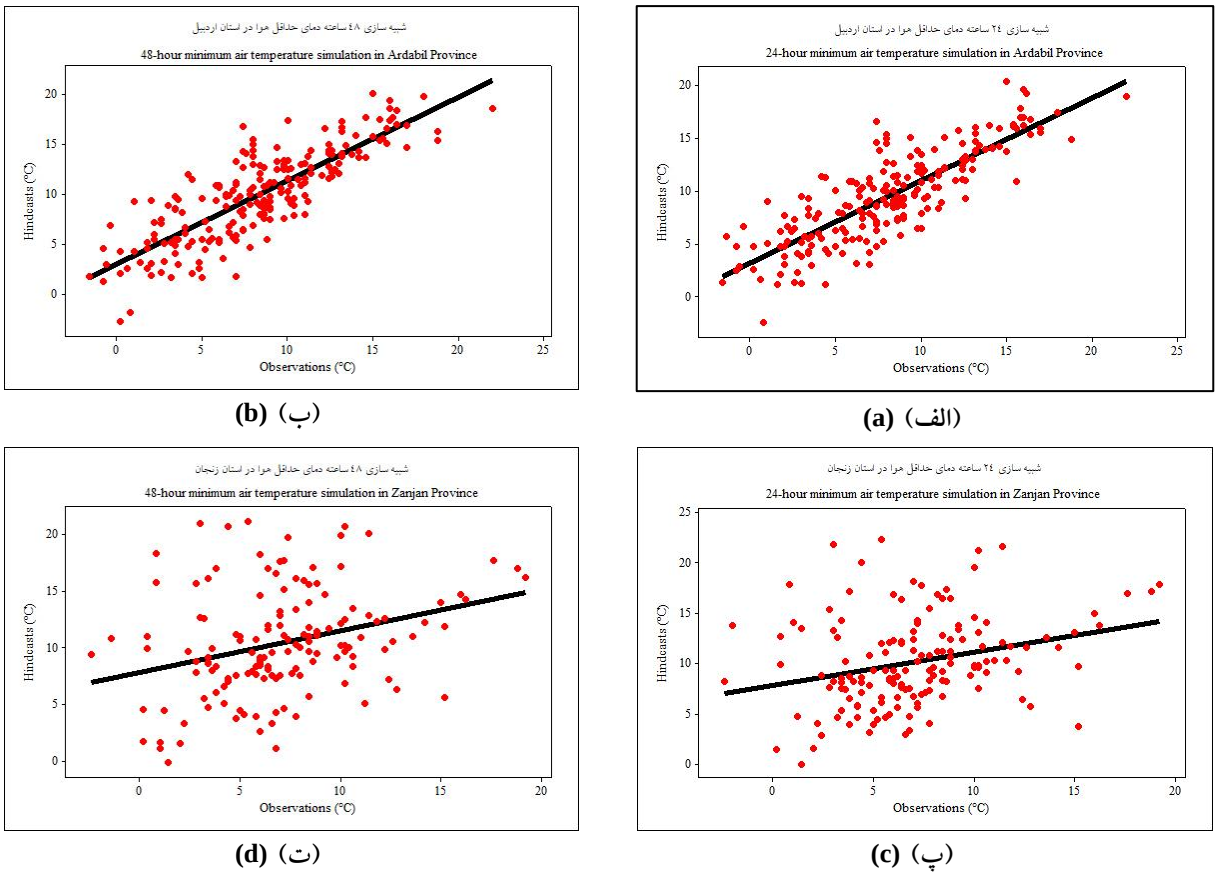
در معادله های فوق O_t مقادیر دیده بانی شده و F_t مقادیر پیش یابی شده و n تعداد داده‌ها است. $\overline{O_t}$ میانگین مقادیر مشاهداتی و $\overline{F_t}$ میانگین مقادیر شبیه سازی شده است.

نتایج و بحث

ضریب همبستگی تعیین می کند که تا چه حد داده های مشاهده شده (متغیر وابسته) با داده های خروجی مدل WRF (متغیر مستقل) مطابقت دارند. در استان اردبیل مقدار ضریب همبستگی پیرسن ۰/۸۲۷ و ۰/۸۲۸ به ترتیب در شبیه سازی های ۲٤ و ٤۸ ساعته نشان دهنده آن است که در مجموع همبستگی بالایی بین داده های مشاهداتی ایستگاه های استان اردبیل و داده های شبیه سازی شده مدل WRF وجوداردد؛ میزان ضریب همبستگی در هر دو شبیه سازی مذکور بالا است و اختلاف جزئی بین مقادیر همبستگی وجود دارد. اما در استان زنجان مقادیر ضرایب همبستگی دمای حداقل مشاهداتی و داده های بدست آمده از مدل در شبیه سازی های ۲٤و ٤۸ ساعته به ترتیب ۰/۲۸۱ و ۰/۳۱ است که نشانگر آن است که بین متغیرهای مذکور در هر دو شبیه سازی همبستگی کمی وجود دارد. نمودار پراکندگی برای استان اردبیل (شکل ۲ الف و ب) نشان می دهد پراکندگی نقاط در هر دو شبیه سازی کم است و نقاط تقریباً در امتداد خط رگرسیون قرار دارند؛ این امر بیانگر وابستگی زیاد دو متغیر داده های دمای حداقل مشاهداتی و پیش یابی است ولی نمودار پراکندگی برای استان زنجان (شکل ۲ پ و ت) پراکندگی زیاد داده ها و در نتیجه همبستگی ضعیف بین داده های دو متغیر را در هر دو شبیه سازی نشان می دهد.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

[DOI: 10.83252/geospa.2025.2.4120]



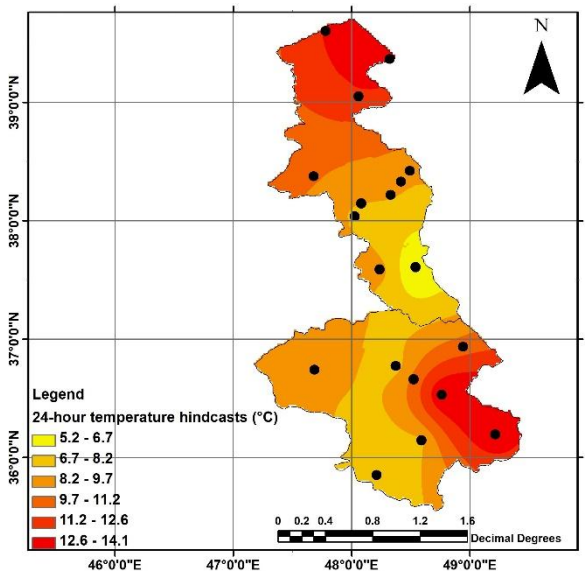
شکل ۲:نمودارهای پراکندگی داده های دمای حداقل مشاهده شده در برابر داده های پیش یابی شده مدل WRF برای شبیه سازی های ۲٤ و ٤۸ ساعته در (الف و ب) استان اردبیل؛ (پ و ت) استان زنجان.

Figure 2: Scatter plots of observed minimum temperature data versus hindcast data of WRF model for 24 and 48 hour simulations in (a, b) Ardabil Province; (c,d) Zanjan Province

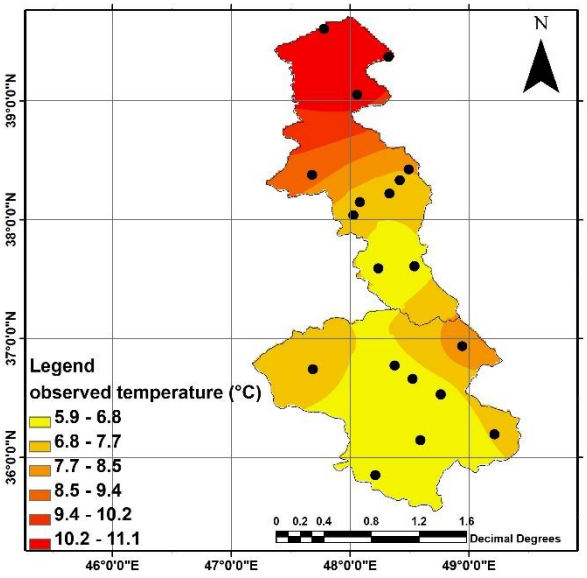
نقشه های توزیع فضایی دمای حداقل مشاهده شده و دمای حداقل شبیه سازی شده ۲٤ و ٤۸ ساعته بوسیله مدل WRF در استان های اردبیل و زنجان (شکل ۳ الف۱، ب۱، پ۱، ت۱) حاکی از آن است که هرچند در برخی از ایستگاه ها مانند خلخال، نیر، نمین، مشکین شهر، پارس آباد و بیله سوار مقادیر دمای مشاهده شده با مقادیر شبیه سازی شده در هر دو شبیه سازی اختلاف چندانی ندارد، اما در اکثر ایستگاه ها شبیه سازی دارای بیش برآوردی است که این امر در نمودارهای هیستوگرام مربوط به هر دو شبیه سازی نیز قابل تشخیص است، به طوری که در نمودار هیستوگرام داده های مشاهداتی در ۲٤ ساعت اول بیشترین فراوانی داده های حداقل مربوط به بازه ٦/۲ تا ۷/۵ درجه است در حالی که در نمودار مربوط به شبیه سازی ۲٤ ساعته بیشترین فراوانی در بازه ۷/۵ تا ۸/۷ درجه قرار دارد (شکل ۳ الف۲، ب۲). در ۲٤ ساعت دوم میزان بیش برآوردی دما توسط مدل افزایش داشته به نحوی که بیشترین فراوانی دما در هیستوگرام داده های مشاهداتی در بازه های ٦/۲ تا ۷/۵ درجه بوده که این میزان در شبیه سازی ٤۸ ساعته در بازه ۸/۷ تا ۱۰ درجه قرار گرفته است (شکل ۳ پ۲، ت۲) البته همان گونه که در نقشه های توزیع فضایی دمای حداقل دیده می شود بیشترین مقدار این بیش برآوردی مربوط به ایستگاه های زنجان، خیرآباد و خرمدره است.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

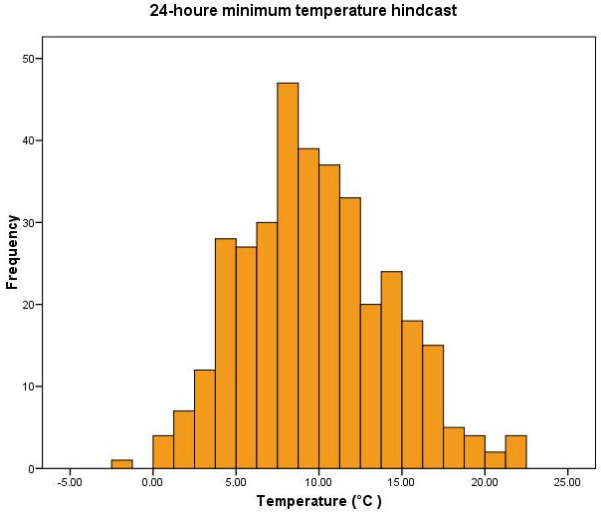
[DOI: 10.83252/geospa.2025.2.4120]



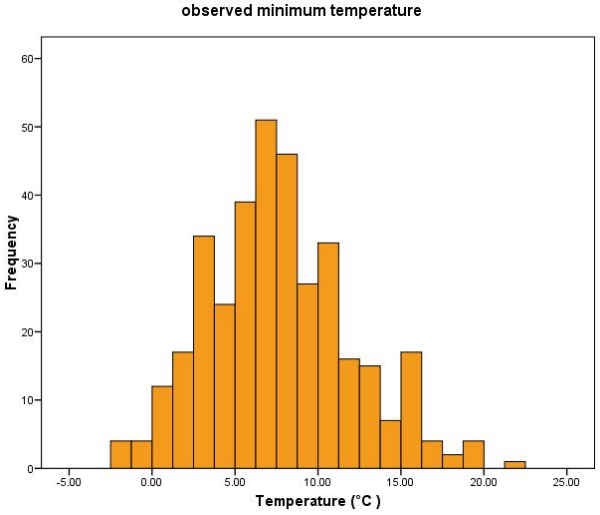
(b1) (ب)



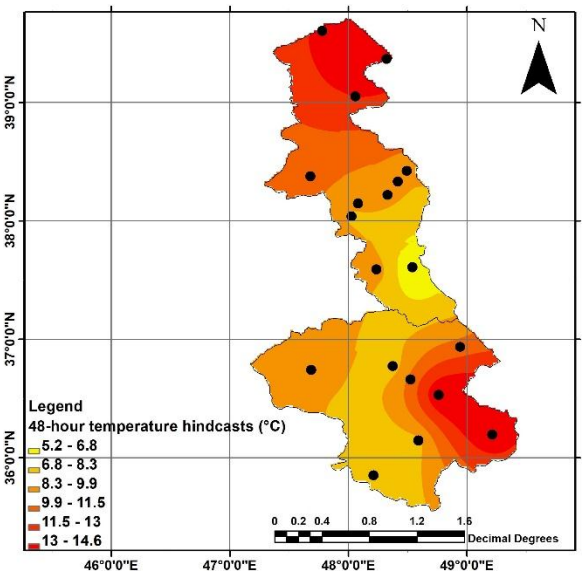
(a1) (الف)



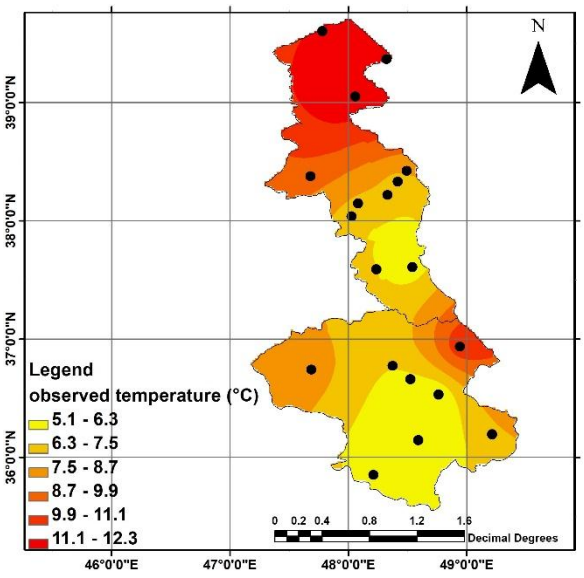
(b2) (ب)



(a2) (الف)



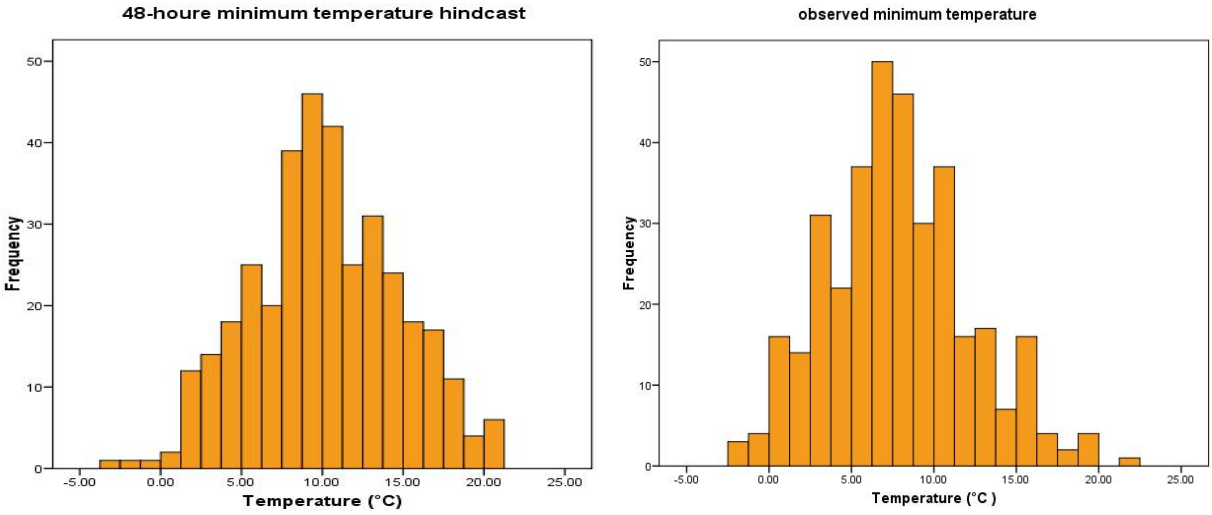
(d1) (ت۱)



(c1) (پ۱)

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

[DOI: 10.83252/geospa.2025.2.4120]



(ت۲) (d2) (پ۲) (c2)

شکل ۳: نقشه های توزیع جغرافیایی دمای حداقل مشاهده شده و دمای حداقل شبیه سازی شده و نمودارهای هیستوگرام آن ها: الف۱، الف۲ و ب۱ ،ب۲) توزیع دمای حداقل مشاهده شده در ۲٤ ساعت اول و دوم؛ پ۱، پ۲ و ت۱، ت۲) توزیع دمای حداقل شبیه سازی شده ۲٤ و ٤۸ ساعته.

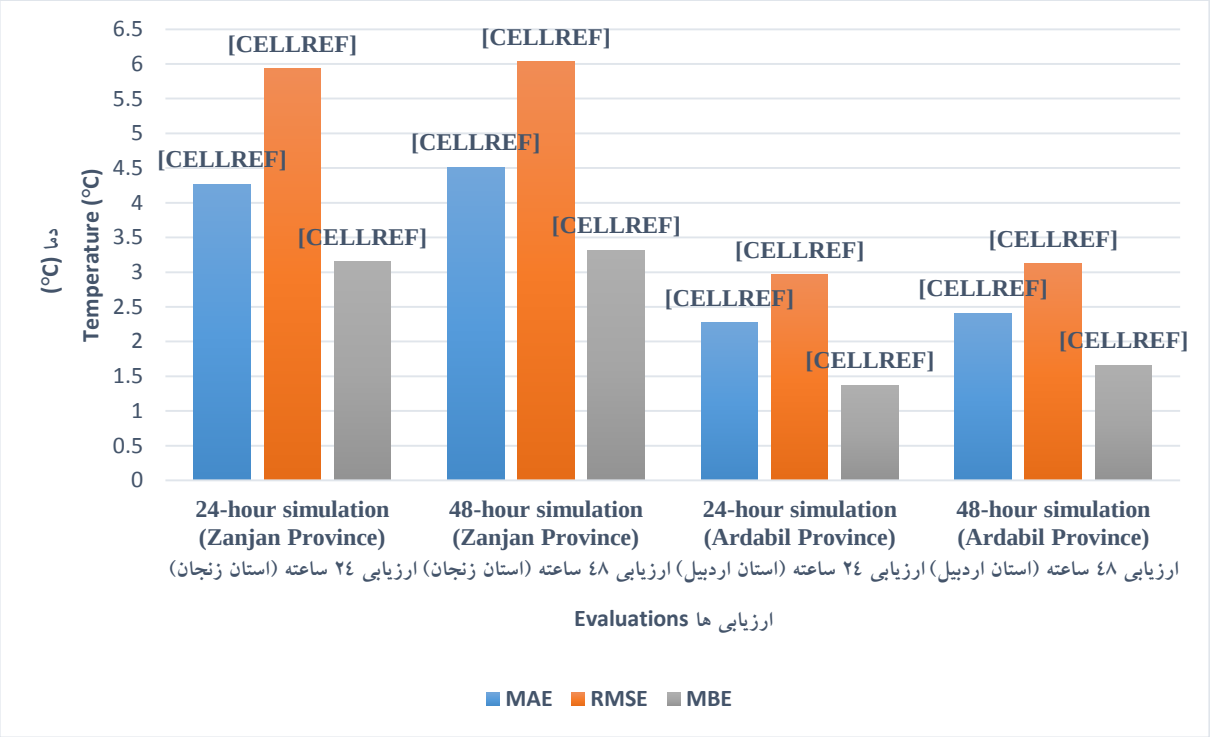
Figure 3 :Geographical distribution maps of observed and simulated minimum temperature with their respective histograms: (a1, a2 and b1, b2) Distribution of the minimum temperature observed in the first and second 24 hours; (c1, c2 and d1, d2) distribution of 24 and 48 hour simulated minimum temperature.

همان طور که در شکل ٤ دیده می شود میزان این بیش برآوردی در شبیه سازی های ۲٤ و ٤۸ ساعته برای استان اردبیل به ترتیب ۱/٤ و ۱/۷ درجه سلسیوس و در استان زنجان به ترتیب ۳/۱ و ۳/۳ درجه سلسیوس بوده است.

شاخص های MAE و RMSE، برای محاسبه میزان خطای داده های دمای حداقل مشاهده شده ایستگاهی در مقایسه با داده های بدست آمده از مدل WRF در پیش بینی های ۲٤ و ٤۸ ساعته در استان های اردبیل و زنجان مورد استفاده قرار گرفته اند. مقادیر سنجه های مذکور (شکل ٤) حاکی از آن است که در هر دو استان دقت مدل در شبیه سازی دمای حداقل ۲٤ ساعته بیشتر از شبیه سازی ٤۸ ساعته بوده است به نحوی که شاخص های MAE و RMSE در شبیه سازی ۲٤ ساعته برای استان زنجان به ترتیب ٤/۳ و ۵/۹ درجه سلسیوس و برای استان اردبیل به ترتیب ۲/۳ و ۳ بوده است، در حالی که مقادیر شاخص های مذکور در شبیه سازی ٤۸ ساعته برای استان زنجان به ترتیب به ٤/۵ و ٦ درجه و برای استان اردبیل به ۲/٤ و ۳/۱ درجه سلسیوس رسیده است. به طور کلی مقادیر خطا و همبستگی بین داده های مشاهداتی و داده های خروجی مدل و نیز مقدار بیش برآوردی مدل در شبیه سازی های ۲٤ و ٤۸ ساعته نشان از عملکرد ضعیف مدل در شبیه سازی دقیق دمای حداقل در استان زنجان دارد. اما بر اساس مقادیر سنجه های ارزیابی، مدل WRF عملکرد بهتری در شبیه سازی دمای حداقل برای استان اردبیل داشته است.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

[DOI: 10.83252/geospa.2025.2.4120]



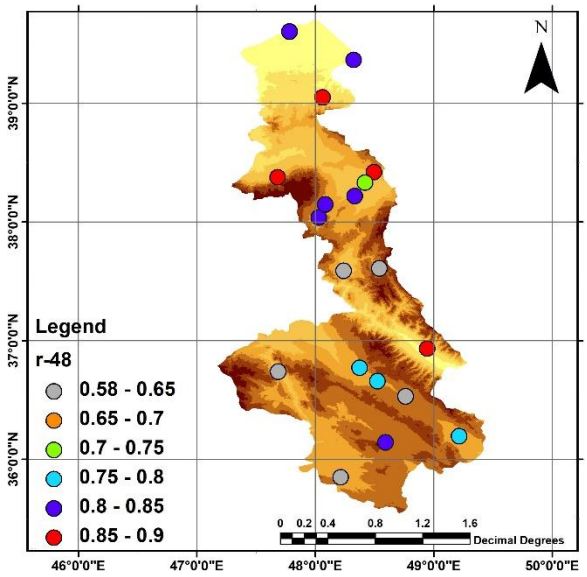
شکل ٤: مقادیر شاخص های مورد استفاده در ارزیابی شبیه سازی های مدل WRF در کل ایستگاه های استان های اردبیل و زنجان

Figure 4:L The values of indices used in evaluating of WRF model simulations in all stations of Ardabil and Zanjan provinces

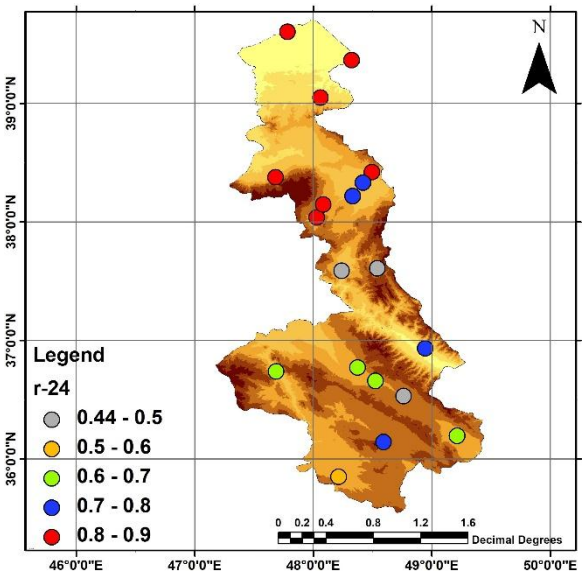
این امر در نقشه های توزیع جغرافیایی مقادیر بدست آمده از شاخص های ارزیابی مدل در شبیه سازی های ٢٤ و ٤٨ ساعته نیز مشهود است (شکل ٥) و تعداد ایستگاه های هواشناسی استان اردبیل که خطای کمتری دارند نسبت به استان زنجان بیشتر است. در شبیه سازی ٢٤ ساعته ایستگاه های گرمی، مشکین شهر، نمین، اردبیل، نیر، فرودگاه زنجان، خدابنده، ماهنشان و پارس آباد همبستگی بالای ٠/٦، MAE کمتر از ٢ درجه و RMSE کمتر از ٢/٥ درجه دارند و در ایستگاه های فرودگاه اردبیل، فیروزآباد، زنجان، خیرآباد و خرمدره مقادیر خطا به بالای ٣/٥ درجه می رسد. در شبیه سازی ٤٨ ساعته ایستگاه های گرمی، مشکین شهر، نیر، نمین، فرودگاه زنجان و خدابنده ایستگاه هایی هستند که MAE و RMSE آن ها به ترتیب کمتر از ٢ و ٢/٥ درجه است که البته نسبت به شبیه سازی ٢٤ ساعته تعداد کمتری را شامل می شود. همچنین شاخص های مذکور در ایستگاه های بیله سوار، فرودگاه اردبیل، فیروزآباد، زنجان، خیرآباد و خرمدره مقدار خطای بیش از ٣/٥ درجه را دارند.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

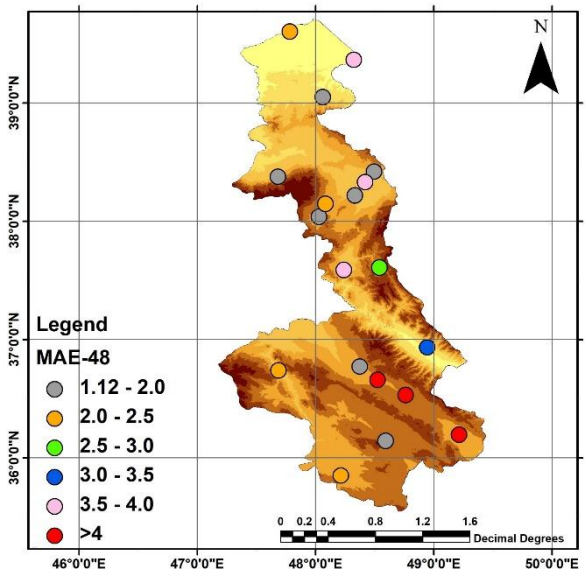
[DOI: 10.83252/geospa.2025.2.4120]



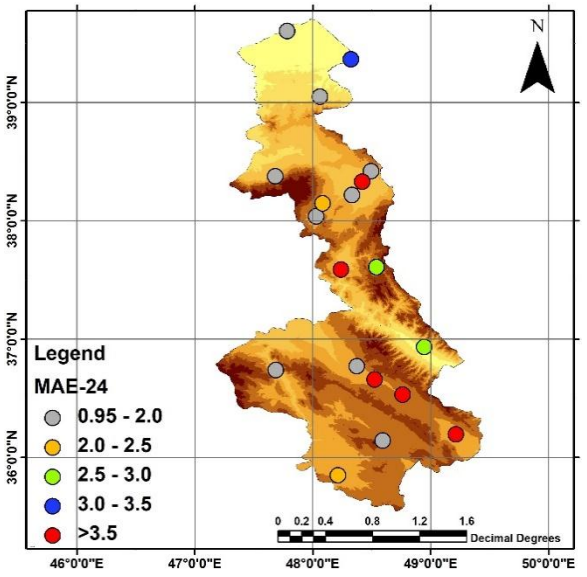
(a2) (الف۲)



(a1) (الف۱)



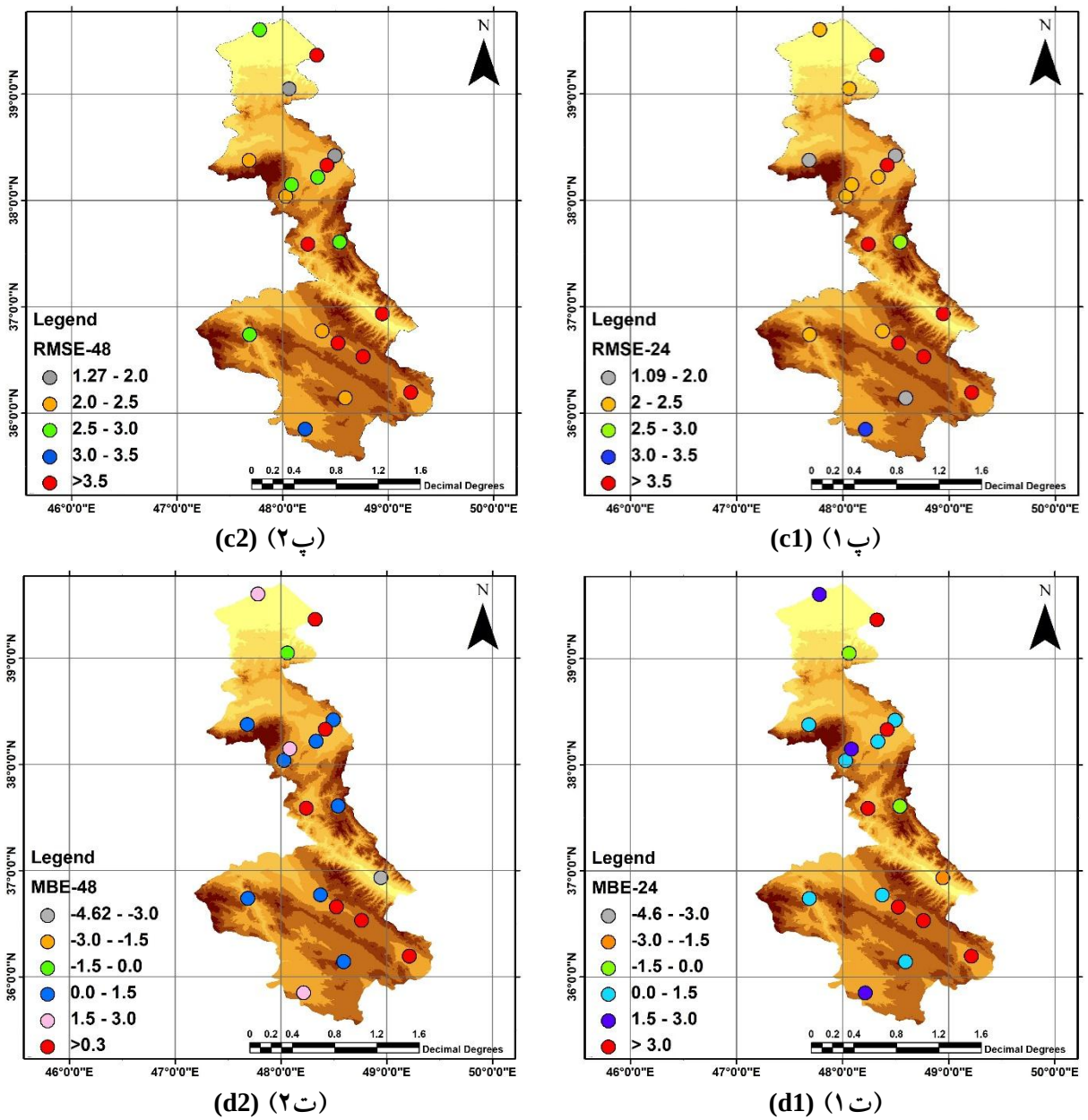
(b2) (ب۲)



(b1) (ب۱)

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

[DOI: 10.83252/geospa.2025.2.4120]



شکل ۵: نقشه های توزیع جغرافیایی شاخص های محاسبه شده در ارزیابی شبیه سازی های ۲۴ و ۴۸ ساعته مدل WRF: الف۱،۲) R؛ ب۱،۲) MAE؛ پ۱،۲) RMSE؛ ت۱،۲) MBE.

Figure 5: Geographical distribution maps of the indices calculated in evaluation of 24 and 48 hour simulations of the WRF model: a1,2) R; b1,2) MAE; c1,2) RMSE; d1,2) MBE.

به طور کلی میزان خطای مدل WRF در منطقه مطالعاتی بالاست. علت این امر آن است که دما به شدت به ارتفاع وابسته است و استان های اردبیل و زنجان نیز استان هایی کوهستانی هستند که کوه ها و قله های متعددی آن ها را فراگرفته است. قله کوه بلقیس با ارتفاع ۳۳۵۰ متر بلندترین نقطه استان زنجان و قله کوه سبلان با ارتفاع ۴۸۱۱ متر بلندترین نقطه استان اردبیل است. وجود این شرایط اوضاع جوی را در این مناطق متنوع و متغیر کرده است. این در حالی است که در مناطق مرتفع داده های توپوگرافی مدل WRF با شرایط واقعی مطابقت ندارد و عوارض به درستی در مدل تعریف نشده است به همین دلیل داده های دمای دو متری خروجی مدل با داده های دیده بانی شده اختلاف

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

[DOI: 10.83252/geospa.2025.2.4120]

زیادی دارد و در نتیجه دقت مدل در مناطق مرتفع پایین است (Zhang et al., 2013)، (Duan et al., 2018)، (Suárez-Molina et al., 2021). اما با وجود این شرایط عملکرد مدل WRF برای شبیه سازی دما و پیش بینی یخبندان دیررس بهاره در استان اردبیل بهتر از استان زنجان بوده است. هرچند هر دو استان از لحاظ توپوگرافی و عوارض جغرافیایی وضعیت مشابهی دارند ولی با توجه به اینکه مبنای ارزیابی خطا مقایسه داده های برونداد مدل و داده های ایستگاهی است مسلماً موقعیت و تراکم ایستگاه ها از لحاظ توپوگرافی و اقلیم منطقه در دو استان متفاوت است و به همین دلیل نتایج بدست آمده از مدل WRF برای دو استان متفاوت شده است. علاوه بر این استان زنجان بیشتر تحت تأثیر جریانات شمالی که از سواحل دریای خزر به سوی جنوب روانه می شود قرار می گیرد و پدیده فون در این استان به ویژه در محدوده زمانی مورد بررسی در این تحقیق برای دمای کمینه تعیین کننده است و مدل را با خطا مواجه می کند.

نتیجه گیری

در این مقاله به ارزیابی عملکرد شبیه سازی های ۲٤ و ٤۸ ساعته دمای دو متری مدل WRF به منظور پیش بینی یخبندان بهاره در استان های زنجان و اردبیل پرداخته شد. مقادیر حداقل دمای دو متری بدست آمده از مدل با داده های دمای حداقل مشاهداتی ۱۱ ایستگاه هواشناسی سینوپتیک در استان اردبیل و ۸ ایستگاه در استان زنجان مقایسه شد. مقادیر شاخص های ارزیابی MAE، RMSE و MBE شبیه سازی ۲٤ ساعته که در استان اردبیل به ترتیب ۲/۳، ۳ و ۱/٤ و در استان زنجان به ترتیب ٤/۳، ۵/۹ و ۳/۱ درجه سلسیوس بوده، نشان می دهد شبیه سازی ۲٤ ساعته دمای دو متری نسبت به شبیه سازی ٤۸ ساعته در هر دو استان از دقت بالاتری برخوردار است ولی مقادیر ضریب همبستگی در شبیه سازی های ۲٤ و ٤۸ ساعته در استان اردبیل و نیز در استان زنجان تفاوت چندانی با یکدیگر ندارد. همچنین بر اساس مقادیر شاخص های مذکور عملکرد مدل WRF برای شبیه سازی دما و پیش بینی یخبندان دیررس بهاره در استان اردبیل بهتر از استان زنجان بوده است. در استان زنجان همبستگی ضعیف بین داده های مدل و داده های مشاهداتی و مقادیر بالای خطا باعث شده تا عملکرد مدل WRF در شبیه سازی دمای دو متری قابل قبول نباشد که با وجود شرایط توپوگرافی تقریباً مشابه این دو استان علت این امر را باید در متفاوت بودن موقعیت ایستگاه ها از لحاظ توپوگرافی و اقلیم و نیز متأثر بودن استان زنجان از جریانات شمالی از ناحیه دریای خزر و بروز پدیده فون در زمان مورد بررسی در این تحقیق دانست. تحقیق Bhimala et al. (2021) نیز برای شبیه سازی داده های دمای ۲ متری در کلان شهر بنگالور به مانند تحقیق حاضر نشان داد مدل WRF در تمام منطقه مطالعاتی عملکرد یکسانی ندارد. همچنین مقادیر خطای محاسبه شده در پژوهش Politi et al. (2021) برای شبیه سازی دماهای حداقل روزانه در یونان بوسیله مدل WRF نیز تقریباً با نتایج بدست آمده برای استان اردبیل در این تحقیق مشابهت دارد. در این پژوهش مشخص شد با افزایش مدت زمان شبیه سازی، میزان دقت مقادیر پیش یابی کمتر می شود که این یافته با نتایج مطالعات Tedla et al. (2022) و Nasr Esfahani et al. (2018) همخوانی دارد. اما یافته های پژوهش Naveena et al. (2021) با نتایج این تحقیق متفاوت است؛ در بررسی آن ها مدل WRF با مقدار RMSE ۱/٤٤ و MAE ۰/۵۹ درجه سلسیوس در پیش بینی زمان وقوع موج گرمایی سال ۲۰۱۳ در جنوب شرق هند عملکرد بهتری نسبت به تحقیق حاضر داشته است. Maddah et al. (2021) رخداد بارش سنگین در ۳۱

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

[DOI: 10.83252/geospa.2025.2.4120]

مارس ۲۰۱۹ در حوضه رودخانه کرخه را بوسیله مدل WRF پیش بینی کردند و مدت زمان پیش بینی ۷۸ تا ۱۰۲ ساعت قبل از وقوع رخداد را بهترین مدت زمان برای پیش بینی بارش سنگین تشخیص دادند که این یافته با نتایج این تحقیق که نشان داد با توجه به میزان خطاهای مدل در شبیه سازی دمای حداقل، در هر دو استان دقت شبیه سازی ٢٤ ساعته بیشتر است، همسو نیست. نتایج پژوهش Ghassabi et al. (2023) نیز با یافته های این تحقیق همخوانی ندارد زیرا آن ها با ارزیابی عملکرد مدل WRF در پیش بینی بارش های مربوط به مانسون تابستانه هند در ایران چنین نتیجه گرفتند که میزان RMSE در پیش بینی ٤٨ ساعته نتایج دقیق تری را ارائه داده است ولی در این تحقیق شبیه سازی ٢٤ ساعته میزان خطای کمتری داشته است. البته به طور کلی بالا نبودن دقت داده های دمای دو متری بدست آمده از مدل WRF در استان های مذکور را باید ناشی از وضعیت توپوگرافی کوهستانی و پیچیده این مناطق دانست که این نتیجه گیری با نتایج پژوهش های (Gómez-Navarro et al., 2015; Suárez-Molina et al., 2021; Zhang et al., 2013; Duan et al., 2018) همخوانی دارد.

این تحقیق قابلیت مدل WRF در شبیه سازی دمای حداقل ٢٤ و ٤٨ ساعته در استان های اردبیل و زنجان را به منظور پیش بینی رخداد یخبندان دیررس بهاره نشان داد؛ پیش بینی یخبندان های بهاره راهکاری مؤثر در کاهش خسارت به محصولات کشاورزی است و از این رو بررسی و ارزیابی روش های مختلف برای پیش بینی یخبندان های دیررس بهاره نقش مهمی در به‌کارگیری دقیق ترین روش برای پیش بینی این مخاطره دارد.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

[DOI: 10.83252/geospa.2025.2.4120]

References

- Agricultural Mechanization Development Center. (2019). Frost and hail damage reduction plan using new mechanization technologies. ***Ministry of Agriculture-Jahad, Agricultural Mechanization Development Center***: 10 p. Available at http://www.agmdc.ir (visited 22 December 2020).
- Akbary, M., & Mozaffari, S. (2019). Determining the Calendar of Frost on the basis of Probability of Occurrence (Case Study: Ardabil Province). ***Journal of Environmental Science and Technology***, 21(7), 137-148. Doi: 10.22034/jest.2020.26525.3554. [In Persian].
- Amirabadyzadeh, M., Nazeri Tahroudi, M., & Zeynali, M. (2018). Evaluation of the Accuracy of Artificial Intelligence and Regression Models in Simulation the Daily Temperature. ***Journal of Meteorology and Atmospheric Science***, 1(1), 65-76. [In Persian].
- Azadi M., Taghizadeh E., & Memarian MH. (2012). Verification of WRF precipitation forecast over IRAN country during NOV.2008-JUN.2009. ***Iran-Water Resources Research***, 8(2): 48-59. [In Persian].
- Bhimala, K. R., Gouda, K. C., & Himesh, S. (2021). Evaluating the spatial distribution of WRF-simulated rainfall, 2-m air temperature, and 2-m relative humidity over the urban region of Bangalore, India. ***Pure and Applied Geophysics***, *178*(3), 1105-1120. https://doi.org/10.1007/s00024-021-02676-4.
- Castorina, G., Semprebello, A., Insinga, V., Italiano, F., Caccamo, M. T., Magazù, S., Morichetti, M., & Rizza, U. (2023). Performance of the WRF Model for the Forecasting of the V-Shaped Storm Recorded on 11–12 November 2019 in the Eastern Sicily. ***Atmosphere***, *14*(2), 390. https://doi.org/10.3390/atmos14020390.
- Cebulj, A., Mikulič-Petkovšek, M., Veberič, R., & Jakopic, J. (2022). Effect of spring frost damage on apple fruit (Malus domestica Borkh.) inner quality at harvest. ***Agriculture***, *12*(1), 14. https://doi.org/10.3390/agriculture12010014.
- Chamberlain, C. J., Cook, B. I., García de Cortázar-Atauri, I., & Wolkovich, E. M. (2019). Rethinking false spring risk. ***Global Change Biology***, *25*(7), 2209-2220. Doi:10.1111/gcb.14642.
- Chaudhary, M. T., & Piracha, A. (2021). Natural disasters—origins, impacts, management. ***Encyclopedia***, 1(4), 1101-1131. https://doi.org/10.3390/encyclopedia1040084.
- Duan H., Li Y., Zhang T., PU Z., ZHAO C., & LIU Y. (2018). Evaluation of the forecast accuracy of near-surface temperature and wind in northwest China based on the WRF model. ***Journal of Meteorological Research***, 32: 469–490. http://dx.doi.org.10.1007.s13351-018-7115-9.
  Dynamics of Atmospheres and Oceans, *103*, 101386. https://doi.org/10.1016/j.dynatmoce.2023.101386.
- Dzebre, D. E., Ampofo, J., & Adaramola, M. S. (2021). An assessment of high-resolution wind speeds downscaled with the Weather Research and Forecasting Model for coastal areas in Ghana. ***Heliyon***, *7*(8). https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07768.
- Ghafarian P., & Barekati SM. (2013). Verification of the weather research and forecasting model (WRF) for the heavy precipitation forecasting in the Karun basin. A case study (8-9 February 2006). ***Journal of Climate Research***, 4(15): 129-149. [In Persian].
- Ghassabi, Z., Karami, S., Vazifeh, A., & Habibi, M. (2023). Investigating the unprecedented summer 2022 penetration of the Indian monsoon to Iran and evaluation of global and regional model forecasts.
- Gómez-Navarro, J. J., Raible, C. C., & Dierer, S. (2015). Sensitivity of the WRF model to PBL parametrisations and nesting techniques: evaluation of wind storms over complex terrain. ***Geoscientific Model Development***, *8*(10), 3349-3363. Doi:10.5194/gmd-8-3349-2015.
- Ildoromi, A. R., Zareabyaneh, H., & Bayatvarkeshy, M. (2013). Rainfall Estimation with Artificial Neural Network Based on Non-Rainfall Weather Data in Shiraz, Mashhad and Kerman Regions. ***Geography and Planning***, 17(43), 21-40. [In Persian].
- Jorenoosh, M. H., & Sepaskhah, A. R. (2018). Prediction of frost occurrence by estimating daily minimum temperature in semi-arid areas in Iran. ***Iran Agricultural Research***, 37(1), 19-32. Doi: 10.22099/iar.2018.4689.
- Lin, Q., Chen, J., Ou, T., Lai, H. W., Prein, A. F., & Chen, D. (2023). Performance of the WRF Model at the Convection- Permitting Scale in Simulating Snowfall and Lake- Effect Snow Over the

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

[DOI: 10.83252/geospa.2025.2.4120]

Tibetan Plateau. ***Journal of Geophysical Research: Atmospheres***, *128*(16), e2022JD038433. https://doi.org/10.1029/2022JD038433.
- Liu, J., Zhang, H., Li, H., & Mamtimin, A. (2021). Improving Forecast Accuracy with an Auto Machine Learning Post-Correction Technique in Northern Xinjiang. ***Applied Sciences***, *11*(17), 7931. https://doi.org/10.3390/app11177931.
- Maddah, M. A., & Parhizkar, F. (2021). A review of the WRF-ARW numerical model's performance as a tool for precipitation simulations over Iran. ***Water and Irrigation Management***, 11(3), 561-573. Doi: 10.22059/jwim.2021.327499.904. [In Persian].
- Maddah, M. A., Akhoond-Ali, A. M., Ahmadi, F., Ghafarian, P., & Rusin, I. N. (2021). Forecastability of a heavy precipitation event at different lead-times using WRF model: the case study in Karkheh River basin. ***Acta Geophysica***, *69*, 1979-1995. https://doi.org/10.1007/s11600-021-00669-4.
- Management and Planning Organization of Ardabil Province. 2023. Statistical Year book of Ardabil Province-2021. First edition. Tehran: Plan and Budjet Organization of the Country.
- Management and Planning Organization of Zanjan Province. 2023. Statistical Year book of Zanjan Province-2021. Zanjan: Management and Planning Organization of Zanjan Province.
- Merz, B., Kuhlicke, C., Kunz, M., Pittore, M., Babeyko, A., Bresch, D. N., ... & Wurpts, A. (2020). Impact forecasting to support emergency management of natural hazards. ***Reviews of Geophysics***, *58*(4), e2020RG000704. https://doi.org/10.1029/2020RG000704.
- MirMousavi, S., & Hosseinbabai, M. (2011). Study of frost tempo_spatial probability distribution in Zanjan province. ***Geography and Environmental Planning***, 22(3), 167-184. [In Persian].
- Nasr Esfahani M., Yazdanpanah H., & Nasr Esfahani MA. (2018). Evaluation of WRF model for temperature forecast and frosting occurrence in Zayandeh Rud Basin. ***Physical Geography Research*** Quarterly, 51(1): 163-182. https://dx .doi.org.10.22059.JPHGR.2019.262062.1007258. [In Persian].
- Naveena, N., Satyanarayana, G. C., Raju, A. D., Umakanth, N., Srinivas, D., Rao, K. S., & Suman, M. (2021). Prediction of Heatwave 2013 over Andhra Pradesh and Telangana, India using WRF Model. ***Asian Journal of Atmospheric Environment***, *15*(3), 33-44. doi: https://doi.org/10.5572/ajae.2020.117.
- Nooni, I. K., Tan, G., Hongming, Y., Saidou Chaibou, A. A., Habtemicheal, B. A., Gnitou, G. T., & Lim Kam Sian, K. T. (2022). Assessing the performance of WRF Model in simulating heavy precipitation events over East Africa using satellite-based precipitation product. ***Remote Sensing***, *14*(9), 1964. https://doi.org/10.3390/rs14091964.
- Omidvar, K., & nabavi zadeh, M. (2015). Daily Precipitation Forcasting Using Artifical Neural Networks in the Province of Kerman, A Case Studies for Stations of Kerman, Baft, Miandeh Jiroft.. ***Journal of Geography and Regional Development***, 12(2), -. Doi: 10.22067/geography.v12i23.26991
- Ovando, G., Sayago, S., & Bocco, M. (2022). Development 0f machine learning models for air temperature estimation using MODIS data. ***AgriScientia***, *39*(1), 15-28. DOI: 10.31047/1668.298x.v39.n1.33225.
- Papagiannaki, K., Lagouvardos, K., Kotroni, V., & Papagiannakis, G. (2014). Agricultural losses related to frost events: Use of the 850 hPa level temperature as an explanatory variable of the damage cost. ***Natural Hazards and Earth System Sciences***, 14(9), 2375-2386. Doi:10.5194/nhess-14-2375-2014.
- Politi, N., Vlachogiannis, D., Sfetsos, A., & Nastos, P. T. (2021). High-resolution dynamical downscaling of ERA-Interim temperature and precipitation using WRF model for Greece. ***Climate Dynamics***, *57*(3-4), 799-825. https://doi.org/10.1007/s00382-021-05741-9.
- Sabziparvar, A. A., & Khoshhal Jahromi, F. (2018). Comparison of Multi-Layer Perceptron artificial neural network and Linacre regression model performance for predicting daily minimum temperature (Case study: Kerman, Shiraz, Rasht and Hamedan). ***Iranian Journal of Geophysics***, 12(3), 107-121. [In Persian].
- Singh, D., Pandey, D., & Mina., U. (2019) Earthquake-a natural disaster, prediction, mitigation, laws and government policies, impact on biogeochemistry of Earth crust, role of remote sensing and GIS in management in India-an overview. ***J Geosci*** 7(2):88–96. DOI:10.12691/jgg-7-2-5.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

[DOI: 10.83252/geospa.2025.2.4120]

- Skok, G., Hoxha, D., & Zaplotnik, Ž. (2021). Forecasting the Daily Maximal and Minimal Temperatures from Radiosonde Measurements Using Neural Networks. ***Applied Sciences***, *11*(22), 10852. https://doi.org/10.3390/app112210852.
- Sobhani, B., Ganji, M., & Goldoust, A. (2017). Determination and Investigation about Beginning and End Dates of Early and Late Freezes and Possibility of its Continuity, Intensity and Succession in Ardabil Province. ***Physical Geography Research Quarterly***, *49*(1), 39-53. https://doi.org/10.22059/JPHGR.2017.61578. [In Persian].
- Statistics, Information and Communication Technology Center of Ministry of Agriculture-Jahad. (2023). Amarnameh Keshavarzi 2022- 3: Horticultural and greenhouse products. ***Ministry of Agriculture-Jahad, Deputy of Economic Planning, Statistics, Information and Communication Technology Center***, Tehran: 400 p. Available at https://www.maj.ir (visited 24 December 2023).
- Suárez-Molina, D., Fernández-González, S., Montero, G., Oliver, A., & González, J. C. S. (2021). Sensitivity analysis of the WRF model: Assessment of performance in high resolution simulations in complex terrain in the Canary Islands. ***Atmospheric Research***, *247*, 105157. https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2020.105157.
- Tahir, A., Ashraf, M., Akhter, M., Uddin, Z., & Sarim, M. (2021). New Regression models for Estimation daily temperature of Karachi and its Neural Network analysis. ***Global NEST Journal***, *23*(4), 519-525. https://doi.org/10.30955/gnj.003953.
- Tedla, H. Z., Taye, E. F., Walker, D. W., & Haile, A. T. (2022). Evaluation of WRF model rainfall forecast using citizen science in a data-scarce urban catchment: Addis Ababa, Ethiopia. ***Journal of Hydrology: Regional Studies***, *44*, 101273. https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2022.101273.
- Tuzyak, Y. (2021). Comparative analysis of global and national systems for observing, monitoring and forecasting natural disasters and hazards with a view to reducing risk. ***Technology audit and production reserves***, *6*(2), 62. DOI: 10.15587/2706-5448.2021.245825.
- Van Westen, C. J. (2000). Remote sensing for natural disaster management. ***International archives of photogrammetry and remote sensing***, *33*(B7/4; PART 7), 1609-1617.
- Zakeri Z., Azadi M., & Sahraeiyan F. (2014). Verification of WRF forecasts for precipitation over Iran in the period Feb-May 2009. ***Nivar***, 38(87-86): 3-10. [In Persian].
- Zeng, L., Hu, Y., Wang, R., Zhang, X., Peng, G., Huang, Z., Zhou, G., Xiang, D., Meng, R., Wu, W., & Hu, S. (2021). 8-Day and daily maximum and minimum air temperature estimation via machine learning method on a climate zone to global scale. ***Remote Sensing***, *13*(12), 2355. https://doi.org/10.3390/rs13122355.
- Zhang, H., Pu, Z., & Zhang, X. (2013). Examination of errors in near-surface temperature and wind from WRF numerical simulations in regions of complex terrain. ***Weather and Forecasting***, *28*(3), 893-914. DOI: 10.1175/WAF-D-12-00109.1.
- Zhang, T., Li, Y., Duan, H., Liu, Y., Zeng, D., Zhao, C., Gong, C., Zhou, G., Song, L., & Yan, P. (2019). Development and evaluation of a WRF-based mesoscale numerical weather prediction system in northwestern China. ***Atmosphere***, *10*(6), 344. Doi:10.3390/atmos10060344
- Zhou, L., Wu, X., Xu, Z., & Fujita, H. (2018). Emergency decision making for natural disasters: An overview. ***International journal of disaster risk reduction***, *27*, 567-576. http://dx.doi.org/10.1016/j.ijdrr.2017.09.037.
- Zoljoodi M., Ghazi Mirsaeed M., & Seifari Z. 2013. Verification of WRF model on accuracy and precision of various schemes and evaluation of precipitation forecast in Iran. ***Geographical Research***, 28(2): 187-194. [In Persian].

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

[DOI: 10.83252/geospa.2025.2.4120]

Evaluation of WRF Model's Performance to Predict Late-Spring Frost (Case Study: Ardabil and Zanjan Provinces)

Seyedeh Mahboubeh Ebnehejazi [1], Hojjatollah Yazdanpanah[2*], Mohamad Ali Nasr-Esfahani[3]

[1] Department of Natural Geography, Faculty of Geographical Sciences and Environmental Planning, University of Isfahan, Isfahan, Iran

[2] Geography Department, School of Social Sciences, Capilano Universality, North Vancouver, BC, Canada

[3]Department of Water Resources Engineering, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran

*** Corresponding Author**

Abstract

Medium- and regional-scale air temperature forecasts play a crucial role in reducing frost-related damages, especially in the agricultural sector. The aim of this study is to evaluate the performance of the WRF model in simulating 24-hour and 48-hour minimum temperatures in Ardabil and Zanjan provinces. The 2-meter air temperature data over the study area were simulated by the WRF model with a spatial resolution of 3 km during the occurrence of late spring frosts. The simulated 24- and 48-hour temperature data at 03:00 UTC were then compared with the observed minimum temperature data from 8 synoptic stations in Zanjan province and 11 synoptic stations in Ardabil province. The results indicated that, for both provinces, the 24-hour minimum temperature simulations were more accurate than the 48-hour simulations. Although the complex topography and mountainous nature of the region reduced the overall accuracy of the model, the evaluation indices MAE, RMSE, MBE, and R for the 24-hour simulation in Ardabil province were 2.3, 3.0, 1.4, and 0.8, respectively, demonstrating that the WRF model performed better in simulating minimum temperature and predicting frost occurrence in Ardabil province.

Key words: Late-Spring Frost, Minimum temperature simulation, Verification, WRF model

Introduction

Mesoscale and regional forecasts of temperature play an important role in decreasing the damage caused by frost, especially in the agricultural sector. Among atmospheric hazards, frost is an important cause of serious damages to agricultural products. Due to the important influence of frostbite on production of agricultural products, a solution which can help decrease the potential damage of frostbite is prediction of minimum temperature (Sabziparvar and Khoshhal Jahromi, 2018). Since climate changes can affect the extent and intensity of late-spring frostbite, prediction of such events is of utmost importance (Chamberlain et al., 2019). One of the methods of prediction is numerical weather prediction (NWP), an example of which is WRF model (Weather Research & Forecasting Model) which has drawn much attention to itself nowadays. Assessment of models to determine the capacity of numerical weather prediction systems to generate accurate data is essential (Dzebre et al., 2021). Indeed, much research has been conducted on this basis. In these studies, performance of WRF model in predicting various meteorological variables like rainfall and 2m temperature in various regions has been assessed by using statistical indicators (Bhimala et al., 2021, Nooni et al., 2022, Lin et al., 2023, and Castorina et al., 2023). Furthermore, in some other studies the accuracy of WRF model's predictions in various predicting periods of e.g. 24, 48, and 72 hours was evaluated. In such studies, for each prediction period, obtained data from model were compared with observed data from statistical indicators and, ultimately, through comparison of indicators, the best period for prediction of variables was determined (Zhang et al., 2019, Naveena et al., 2021, Tedla et al., 2022, Ghassabi et al.,

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

[DOI: 10.83252/geospa.2025.2.4120]

2023). In this study, we also aim to assess the accuracy of 24 and 48-hour simulations of temperature through WRF model in predicting the incidence of late-spring frost in Ardabil and Zanjan provinces.

Materials and Methods

In order to evaluate the 24 and 48-hour simulations of minimum temperature through WRF model in Ardabil and Zanjan provinces, with regards to the end of frost time in these two provinces, 1 and 2-day, 2m temperature simulations were conducted for 19 days from March 28th to April 16th, 2012 at 3 UTC. The computational network for simulation included three nested domains with grid resolutions of 3, 9, and 27 kilometers. Horizontal resolutions of land roughness data and land use data equaled 30 seconds. Initial and boundary conditions from Global Forecast System (GFS) data in time periods of 3 hours with horizontal resolutions of 0.5 degree were obtained from National Center for Environmental Information (NCEI). Temperature data of at least 8 synoptic stations from Zanjan province and 11 synoptic stations from Ardabil province were obtained from Iran Meteorological Organization (IRIMO). For a more precise determination of data match rate of minimum temperature data of 24 and 48-hour simulations with observed data in synoptic stations of Zanjan and Ardabil, a scatter plot was used. Also, in order to compare predicted values through WRF model and observed values in stations, statistical indicators like MAE, RMSE, MBE and R were made use of.

Results and Discussion

By comparing data obtained from WRF model and data observed through statistical indicators, we concluded that compared to 48-hour simulation, 24-hour simulation of 2m temperature was more accurate in both provinces. In addition, regarding the statistical indicators, performance of WRF model in simulating the temperature and predicting late-spring frost was better in Ardabil Province than in Zanjan Province. It should of course be noted that the complex mountainous topography can account for the low accuracy of 2m data obtained from WRF model in these two provinces. Correlation coefficient (R) in Ardabil in both 24 and 48-hour simulations was about 0.8 while it was about 0.3 in Zanjan for both simulations. Assessment indicators of MAE, RMSE, and MBE of 24-hour simulation in Ardabil Province equaled 2.3, 3, and 1.4, respectively. In Zanjan Province, they were 4.3, 5.9, and 3.1, respectively. These results show that compared to 48-hour simulation, 24-hour simulations of 2m temperature in both provinces were more accurate. Also, based on the values of the above-mentioned indicators, performance of WRF model in simulating the temperature and predicting late-spring frost has been better in Ardabil Province than in Zanjan Province. In Zanjan Province, the weak correlation between the data of the model and the observed data and high error rate prove WRF model performance in 2m temperature simulation unacceptable. Of course, considering the results of this research and other researches done on accuracy of WRF predictions, it can be inferred that overall, the low accuracy of 2m data obtained from WRF model in Ardabil and Zanjan provinces results from uneven, complicated, mountainous topography of these regions.

Conclusion

This study illustrated the capacity of WRF model in 24 and 48-hour simulations in Ardabil and Zanjan provinces in predicting the incidence of late-spring frost. Spring-frost prediction is an efficient method in reducing the damage to agricultural crops. Therefore, examining and evaluating various methods of late-spring frost prediction plays an important role in selecting the most accurate method to predict this hazard.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-10-31]

[DOI: 10.83252/geospa.2025.2.4120]