



Spring Frost Early Warning for Apple Orchards Using WRF Model

S.M. Ebnehejazi¹, H. Yazdanpanah^{2*}, S. Movahedi³, M.A. Nasr-Esfahani⁴, M. Moradizadeh⁵

Received: 11-11-2021

Revised: 13-12-2021

Accepted: 28-02-2022

Available Online: 20-05-2022

How to cite this article:

Ebnehejazi SM., Yazdanpanah H., Movahedi S., Nasr Esfahani MA., and Moradizadeh M. 2022. Spring Frost Early Warning for Apple Orchards Using WRF Model. Journal of Water and Soil 36(1): 127-144. (In Persian with English abstract)

DOI: [10.22067/JSW.2022.73254.1107](https://doi.org/10.22067/JSW.2022.73254.1107)

Introduction

Agricultural products frost in spring imposes heavy financial losses to agriculture particularly in northwest of Iran's orchards. Not only temperature is one of the most important climate parameters but also it is a very crucial element in the agricultural sector. Untimely temperature fluctuations and rise and fall which are usually unexpected will cause shock and heavy damages. Therefore taking into consideration the agricultural products frost and offering an approach would be of great importance for reducing relevant damages. In studies carried out by Omidvar and Dehghan Banadoki (2012) and Hesari et al. (2015) characteristics and different types of frosts have been considered in relation to the agricultural products. Different models were introduced to predict flowering date in different investigated regions. In more studies, in addition to determining the best model for predicting the date of occurrence of flowering stage, probable date of last frost has been estimated as well. Investigating long term temperature changes is a method which applied by Martínez-Lüscher (2017) and Vitasse et al. (2018) to find out about established changes in flowering date and also changes in the last frost date. Nasr Esfahani and Yazdanpanah (2019) realized that 48-hour early warning for frost occurrence can be performed with adequate precision. Despite all studies in the field of products frost particularly during flowering date, it seems a rapid frost warning system must be established and provided to make early warning for each orchard. In this essay, since our goal is to make such early warning three days before frosting, so we have to investigate accuracy and validity of 72-hour minimum temperature simulation using WRF model. On the other hand, we must know phenological stage of each product in each orchard to inform the farmer about frost hazards based on critical temperature, therefore the second goal of this research is to detect phenological stages through Landsat 7 and Landsat 8 images.

Materials and Methods

In order to achieve the aim of current study, 72-hour minimum temperature simulation through the Weather Research and Forecasting (WRF) model was investigated and values of vegetation index were derived for a 30 meters pixel at an experimental orchard in Kahriz, West Azerbaijan Province, in 2016-2107. Computational grid for 2 meters temperature simulation using WRF model contains of three nested grid with horizontal resolution of 27, 9 and 3 kilometers. Horizontal resolution of terrain height and land use data is equal to 30 second (about 1 km). The initial and 3-h boundary conditions with 0.5° horizontal resolution from the Global Forecast System (GFS) were obtained from National Centers for Environmental Information (NCEI). Based on the previous research KFMJY physical scheme configuration for WRF model were used in this research. Model's hindcasts at 03:00 UTC hour for each of 51 synoptic weather stations of northwest of Iran in internal computational grid were interpolated by MATLAB software with interp 3 function using linear method, then the obtained values

1, 2 and 3- Ph.D. Student of Agricultural Climatology and Associate Professors, Department of Physical Geography, Faculty of Geographical Sciences and Planning, University of Isfahan, Isfahan, Iran, respectively.

(*- Corresponding Author Email: h.yazdan@geog.ui.ac.ir)

4- Assistant Professor, Department of Irrigation, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran

5- Assistant Professor, Department of Geomatics, Faculty of Civil and Transportation Engineering, University of Isfahan, Isfahan, Iran

were compared to minimum temperature observed in the stations by using MAE, MSE, RMSE and MSSS indicators. Phenological statistics, the time of beginning and end of growth stages were obtained from Iran Meteorological Organization. Besides, 77 Landsat 7 satellite images of ETM+ sensor, and 41 Landsat 8 images of OLI sensor were downloaded from United States Geological Survey website from March to September 2007-2016 with a spatial resolution of 30 meters. In this research, atmospheric and radiometric correction were performed with the FLAASH method on the metadata file in the ENVI software environment and then vegetation index was calculated using NDVI index.

Results and Discussion

Examining the evaluation indicators of the WRF model, results revealed a significant correlation and regression model between 2 meters temperature variable from WRF model output and minimum temperature variable observed in the entire stations for 72-hour simulation. As a result WRF model can be applied in 72-hour temperature simulation in the area of study. Another finding of this research indicated that in comparison to the field-recorded data, NDVI values gained from Landsat images properly indicates changes of phenology stages in the relevant apple orchard. In this study, the indicators used to evaluate the model error showed model hindcasts are more accurate for 24-hour and then 48-hour simulations than for 72-hour simulation, but the 72-hour simulation accuracy is not much different from 24-hour and 48-hour simulations. In northwestern Iran, which is a mountainous region, it is very difficult to simulate airflow in areas with complex topography, therefore the total correlation coefficient of all stations in all three simulations is in the range of 0.5, and the error rates of MAE and RMSE, respectively reaches about 2.8 and 3.8 Celsius. According to the second finding of this research, the NDVI indicator obtained from Landsat 7 and Landsat 8 satellite images can show the progress and changes in the phenological stages of apple trees.

Conclusion

This study showed the efficiency of the WRF model for 72-hour simulation of the minimum temperature as well as the potential of Landsat 7 and Landsat 8 images in detecting apple phenological stages in the study area. Therefore, by using the WRF model for 72-hour minimum temperature simulation and recognizing the phenological stages from Landsat images, if the temperature in any orchard reaches a critical level in the next 72 hours due to the phenological stage, frost warning can be announced and then frost mitigation should be done by the farmer.

Keywords: Early warning system, Identification of phenological stages, NDVI, Spring frost, WRF model

مقاله پژوهشی

جلد ۳۶، شماره ۱، فروردین- اردیبهشت ۱۴۰۱، ص ۱۲۷-۱۴۴

پیش‌آگاهی سرمازدگی بهاره باغات سیب با استفاده از مدل WRF

سیده محبوبه ابن حجازی^۱ - حجت اله یزدان پناه^{۲*} - سعید موحدی^۳ - محمدعلی نصر اصفهانی^۴ - مینا مرادی زاده^۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۸/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۰۹

چکیده

سرمازدگی محصولات کشاورزی در فصل بهار، همه‌ساله زیان‌های سنگین مالی را به بخش کشاورزی به‌ویژه در باغات شمال غرب ایران وارد می‌کند. هدف این مقاله، ارزیابی سیستمی برای پیش‌آگاهی سرمازدگی با استفاده از شبیه‌سازی دمای حداقل ۷۲ ساعته به‌وسیله مدل WRF و تشخیص مراحل فنولوژی سیب از تصاویر لندست است تا با شناخت مراحل فنولوژی محصول و دمای بحرانی در آن مرحله چنانچه دمای حداقل در ۷۲ ساعت آینده به دمای بحرانی برسد پیش‌آگاهی سرمازدگی صورت گیرد. داده‌های دمای ۲ متری خروجی مدل WRF برای شبکه محاسباتی داخلی، در ۵۱ ایستگاه سینوپتیک با دمای حداقل مشاهداتی در ایستگاه‌ها مقایسه شد. مقادیر شاخص NDVI نیز با استفاده از تصاویر لندست ۷ و ۸ سنجنده‌های ETM+ و OLI در سال‌های ۲۰۱۶-۲۰۰۷ برای باغ سیب واقع در ایستگاه تحقیقات هواشناسی کشاورزی کهرزی ارومیه محاسبه و با زمان مراحل فنولوژی ثبت‌شده در محل مقایسه شد. نتایج نشان داد که معنی‌داری همبستگی و مدل رگرسیونی بین متغیر دمای ۲ متری خروجی مدل WRF و متغیر دمای حداقل مشاهداتی در مجموع کل ایستگاه‌ها برای شبیه‌سازی ۷۲ ساعته وجود دارد. در نتیجه می‌توان از مدل WRF در شبیه‌سازی ۷۲ ساعته دما در منطقه مورد مطالعه بهره برد. یافته دیگر این تحقیق نشان داد که در مقایسه با داده‌های زمینی ثبت‌شده در منطقه، مقادیر NDVI به‌دست‌آمده از تصاویر لندست به‌خوبی گویای تغییرات مراحل فنولوژی در باغ سیب مورد مطالعه است.

واژه‌های کلیدی: تشخیص مراحل فنولوژیکی، سرمازدگی بهاره، سیستم هشدار سریع، مدل WRF، NDVI

مقدمه

دما علاوه بر آن که یکی از پارامترهای مهم اقلیمی است عنصری بسیار تأثیرگذار در بخش کشاورزی نیز می‌باشد. نوسانات و افت‌وخیزهای ناهمگام دمایی که اغلب دور از انتظار است باعث غافلگیری و بروز خسارت سنگین می‌شود (Khosravi et al., 2008). هرگاه در فصل بهار که زمان رویش برگ‌های جدید و

پرطراوت است دما به زیر نقطه انجماد برسد خسارت سرمازدگی بهاره رخ می‌دهد (Hiratsuka and Zalasky, 1993). در بیشتر مواقع این حالت در شب یا صبح، در اثر ریزش هوای سرد (اغلب قطب شمال) بر روی آسمان بدون ابر یا به دلیل سرد شدن لایه هوای نزدیک به سطح زمین در نتیجه تابیدن گرما از سطح زمین به جو اتفاق می‌افتد. ماهیت خسارت سرمازدگی به مرحله‌ای از رشد گیاه بستگی دارد که سرمازدگی در آن رخ می‌دهد. به‌طور کلی در ابتدای رشد و نمو گیاه مقاومت آن به سرمازدگی بسیار کم است (Graczyk and Szwed, 2020). یکی از مراحل فنولوژیکی بحرانی در درختان میوه خزان‌کننده مرحله شکوفه دهی است زیرا در این مرحله گیاه به تنش‌های محیطی به‌ویژه سرما و یخبندان بسیار حساس است؛ بنابراین چنانچه دمای محیط در مرحله شکوفه‌دهی کمتر از مقدار بحرانی گردد، بسته به تداوم سرما (طول مدتی که دما کمتر از آستانه تحمل است) محصول دچار صدمه شده و گاهی خسارت ناشی از سرما اقتصاد کشاورزی یک منطقه را به‌شدت تحت تأثیر قرار می‌دهد (Kamali et

۱، ۲ و ۳- به‌ترتیب دانشجوی دکتری آب و هواشناسی کشاورزی و دانشیاران، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم جغرافیایی و برنامه‌ریزی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

*- نویسنده مسئول: (Email: h.yazdan@geog.ui.ac.ir)

۴- استادیار، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

۵- استادیار، گروه مهندسی نقشه‌برداری، دانشکده مهندسی عمران و حمل و نقل، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

DOI: 10.22067/JSW.2022.73254.1107

(al., 2007).

در ایران اگرچه آمار دقیقی از میزان خسارت سرمازدگی در سال‌های مختلف در دست نیست ولی با تحلیل گرامت‌هایی که هر ساله توسط صندوق بیمه کشاورزی پرداخت می‌شود می‌توان برآوردی از حداقل زیان‌های وارده به کشاورزی کشور از این رهگذر را به دست آورد. از بین ۱۲ محصول استراتژیک که زیر پوشش بیمه بوده‌اند بیشترین خسارت مربوط به سرمازدگی است که به‌طور متوسط ۳۴/۸ درصد کل گرامت پرداختی بوده است (Khalili, 2014). بر اساس گزارش معاونت باغبانی در اثر پدیده سرمازدگی در سال ۹۶ بالغ‌بر ۷۱۰۰ میلیارد تومان (در سطح ۶۶۱ هزار هکتار) و در سال ۹۷ بیش از ۱۱۰۰۰ میلیارد تومان خسارت (در سطح ۶۳۵ هزار هکتار) به باغات کشور وارد گردیده است به طوری که ۴۷۳۰ تن محصول باغی کشور از بین رفته است (Agricultural Mechanization Development Center 2018). در سال ۱۳۹۸ در ایران بیشترین میزان تولید در بین محصولات باغی مربوط به سیب با تولید حدود ۴ میلیون تن و سهم ۱۷/۱ درصد از کل میزان تولید محصولات باغی بوده که استان آذربایجان غربی با سهم ۲۷/۵ درصدی در رتبه اول تولیدکنندگان سیب کشور قرار داشته است (Ahmadi et al., 2020). میزان خسارت سرمازدگی در سال ۹۷ در استان آذربایجان غربی ۷۹۸۱ میلیارد ریال (در سطح ۱۱ هزار و ۳۹۰ هکتار) بوده است (Agricultural Mechanization Development Center 2018). بنابراین پرداختن به موضوع سرمازدگی محصولات کشاورزی و ارائه راهکاری برای کاهش خسارت‌های ناشی از آن اهمیت زیادی دارد. به دلیل اهمیت موضوع در پژوهش‌هایی که به‌عنوان مثال توسط امیدوار و دهقان بنادکی (Omidvar and Dehghan Banadoki, 2012) و حصارى و همکاران (Hesari et al., 2015) صورت گرفته به تحلیل ویژگی‌ها و انواع یخبندان در ارتباط با محصولات کشاورزی پرداخته شده و یخبندان‌ها از لحاظ شدت در ارتباط با محصولات کشاورزی دسته‌بندی و بر مبنای آن تحلیل مکانی - زمانی سرمازدگی انجام شده و نقشه‌های وقوع سرمازدگی برای مناطق مورد مطالعه تهیه شده است. با توجه به اهمیت پیش‌بینی تاریخ‌های فنولوژیکی برای پیشگیری از خسارت‌های ناشی از متغیرهای هوا، مدل‌سازی پیش‌بینی زمان وقوع مراحل فنولوژیکی محصول از اقداماتی است که مورد توجه قرار گرفته است و از روش‌های مختلفی مانند روش شبکه عصبی مصنوعی (Yazdanpanah et al., 2010)، (Safa et al., 2014) و روش تشخیص مراحل فنولوژیکی محصولات از طریق تصاویر ماهواره‌ای و شاخص‌های پوشش گیاهی (Shuai et al., 2013)، (Von Bennwitz Alvarez et al., 2018) استفاده شده است. پیش‌بینی تاریخ دقیق رخداد گلدهی نیز نقش مهمی در کاهش خسارت ناشی از دماهای پایین دیررس بهاره دارد. تاکنون محققان مدل‌هایی مانند M1، M2 (Chmielewski et al., 2011) و

دینامیکی (Fallah Ghalhari and Ahmadi, 2017) را برای پیش‌بینی زمان گلدهی ارائه داده‌اند. هور و آهن (Hur and Ahn, 2015) نیز با تلفیق دو مدل فنولوژی و هواشناسی (مدل WRF)، تاریخ اولین گلدهی گیلاس، هلو و گلابی را در کره جنوبی پیش‌بینی کردند. نتایج تحقیقات آن‌ها نشان داد که روش مذکور نمی‌تواند تاریخ شروع گلدهی را در منطقه مورد مطالعه به‌درستی پیش‌بینی کند.

در مطالعات دقیق‌تر، علاوه بر تعیین بهترین مدل برای پیش‌بینی گلدهی، تاریخ احتمال وقوع آخرین یخبندان نیز برآورد شده است (Kamali et al., 2007)، (Farajzadeh et al., 2010)، (Valashedi and Sabziparvar, 2016). بررسی روند تغییرات درجه حرارت در بلندمدت، روشی است که برای پی بردن به تغییرات ایجادشده در تاریخ وقوع گلدهی و نیز تغییرات در تاریخ وقوع آخرین یخبندان توسط مارتینز - لوسچر (Martínez-Lüscher, 2017) و ویتاسه و همکاران (Vitasse et al., 2018) استفاده شده است. نصر اصفهانی و یزدان پناه (Nasr Esfahani and Yazdanpanah, 2019) دریافتند که می‌توان با کمک مدل فنولوژی و شبیه‌سازی دما به‌وسیله مدل WRF، هشدار سریع ۴۸ ساعته رخداد سرمازدگی در باغات منطقه مورد مطالعه را با دقت کافی انجام داد. هدف اصلی و نهایی همه تحقیقاتی که در زمینه سرمازدگی صورت گرفته کم کردن خسارت ناشی از سرمازدگی است این تحقیق نیز در راستای همین هدف انجام شده است. باوجود پژوهش‌های زیادی که در زمینه سرمازدگی به محصولات به‌ویژه در زمان گلدهی صورت گرفته است اما همچنان لزوم ایجاد یک سیستم هشدار سریع وجود دارد تا برای هر باغ بتوان پیش‌آگاهی را انجام داد پس چون می‌خواهیم پیش‌آگاهی از سه روز قبل انجام شود یکی از اهداف این پژوهش ارزیابی دقت و صحت شبیه‌سازی‌های ۷۲ ساعته دما به‌وسیله مدل WRF است. از طرف دیگر باید بدانیم در هر باغ محصول در کدام مرحله فنولوژیکی قرار دارد تا بر اساس دمای بحرانی هر مرحله اعلان خطر سرمازدگی به کشاورز انجام شود. بنابراین دومین هدف این پژوهش تشخیص مراحل فنولوژیکی از طریق تصاویر ماهواره‌ای لندست ۷ و ۸ است.

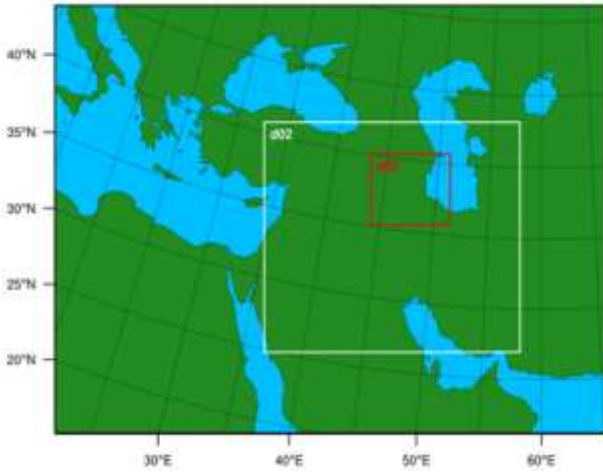
مواد و روش‌ها

مناطق مطالعاتی

منطقه مطالعاتی در ارزیابی مدل WRF

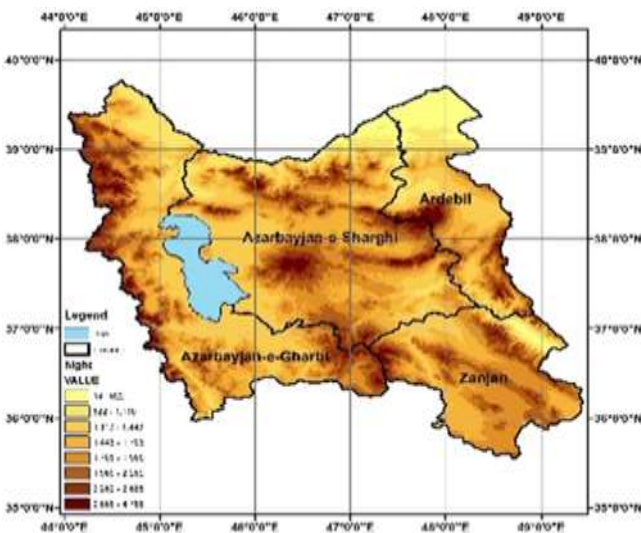
این مطالعه کارایی مدل WRF را در منطقه شمال غرب ایران (کوچک‌ترین شبکه مدل) مورد بررسی قرار می‌دهد. این منطقه شامل استان‌های آذربایجان شرقی، آذربایجان غربی، اردبیل و زنجان است. در این مطالعه از ۵۱ ایستگاه هواشناسی سینوپتیک واقع در شمال غرب ایران استفاده شد.

ب) شبکه‌های محاسباتی انتخابی برای پیش‌بینی وضع هوا
b) Selective computational grids for numerical weather prediction (NWP)

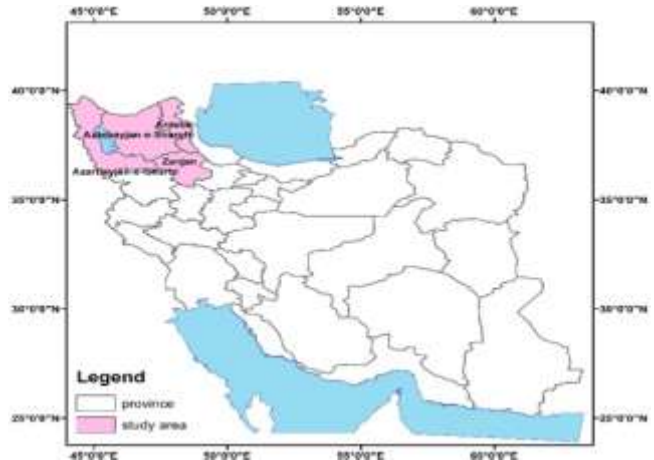


د) مدل رقومی ارتفاع

d) Digital Elevation Model (DEM)



الف) موقعیت جغرافیایی کوچک‌ترین شبکه مدل
a) Geographical location of the smallest model's grid



ج) موقعیت ایستگاه‌های سینوپتیک

c) Synoptic stations location



شکل ۱- الف) موقعیت جغرافیایی کوچک‌ترین شبکه محاسباتی - شمال غرب ایران - که ارزیابی شبیه‌سازی مدل WRF در محدوده این شبکه انجام شد. ب) شبکه‌های محاسباتی مدل WRF. ج) موقعیت ایستگاه‌های سینوپتیک که برای ارزیابی شبیه‌سازی‌های مدل WRF استفاده شدند. د) مدل رقومی ارتفاع شمال غرب ایران (<https://girs.ir>).

Figure 1- a) Computational grids of WRF model, b) Geographical location of the smallest computational grid, northwest of Iran, in which hindcast assessment of WRF model carried out. c) Northwest of Iran digital elevation model, d) Location of synoptic stations were used to assess simulation of WRF model (<https://girs.ir>).

در مرکز باغ آزمایشی سیب در اداره تحقیقات کشاورزی کهرزی استان آذربایجان غربی در شمال غرب ایران (37° 53' 30.80"N, 45° 00' 5.72"E) برای سال‌های ۲۰۱۶-۲۰۱۷ استخراج شد (شکل ۲). بر اساس آمار بلندمدت ایستگاه تحقیقات هواشناسی کشاورزی کهرزی ارومیه طی سال‌های ۱۳۹۵-۱۳۶۵ میانگین بیشینه دما ۱۷/۴ درجه سلسیوس، میانگین حداقل دما ۷/۳ درجه سلسیوس، میانگین رطوبت

شکل‌های ۱ الف، ۱ ج و ۱ د موقعیت جغرافیایی، موقعیت شبکه ایستگاه‌های سینوپتیک و نقشه مدل رقومی ارتفاع شمال غرب ایران مورد استفاده برای ارزیابی مدل را نشان می‌دهد.

منطقه مطالعاتی در ارزیابی تصاویر لندست

مقادیر شاخص پوشش گیاهی برای یک پیکسل ۳۰ متری واقع

عددی WRF، متشکل از سه شبکه تودرتو (لانه‌ای) است (شکل ۱ الف) 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 ۱۶۷×۱۲۲ نقطه است که مساحتی بالغ بر ۳۲۹۴km^۲×۴۵۰۹km را شامل می‌شود. شبکه 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 ۲۳۳×۱۹۶ نقطه است که مساحتی بالغ بر ۱۷۶۴ km^۲×۲۰۸۸km 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^۲×۶۶۰km است. تفکیک افقی داده‌های ناهمواری و کاربری زمین برابر ۳۰ ثانیه (حدود ۱ کیلومتر) است. شرایط اولیه و مرزی از داده‌های سامانه مدل‌سازی تمام کره‌ای موسوم به GFS در بازه‌های ۳ ساعته و با تفکیک افقی نیم درجه از مرکز ملی داده‌های محیطی (NCEI) گرفته شد. مدل GFS (The Global Forecast System)، یک مدل پیش‌بینی است که توسط مراکز ملی پیش‌بینی محیطی (NCEP) تهیه می‌شود. تعداد زیادی از متغیرهای جوی و زمین - خاک در این مجموعه داده موجود است، از دماها، بادها و بارش تا خاک، رطوبت و غلظت ازن اتمسفری (NOAA). بر پایه پژوهش‌های پیشین پیش‌بینی عددی وضع هوا در ایران (Zoljoodi et al., 2013)، (Ghafarian and Barakati, 2013)، (Zakeri et al., 2014)، (Azadi et al., 2012) از طرح‌واره‌های فیزیکی پیکربندی KFMYJ برای مدل WRF در این تحقیق استفاده شد (جدول ۱).

نسبی ۵۵ درصد و مجموع بارش سالانه ۲۸۹/۶ میلی‌متر است (http://www.azmet.ir/in/station/station.htm). نوع خاک آن سیلتی لومی است. این منطقه یک ناحیه کوهستانی با فرورفتگی وسیع و شیب ملایم است. تراکم باغ سیب رقم مالینگ ۸۳۳ اصله در هکتار (فاصله ردیف‌های کاشت ۴ متر و فاصله درختان روی ردیف ۳ متر) و تاریخ کاشت درختان در سال ۱۳۸۰ بوده است (مرکز تحقیقات هواشناسی کشاورزی کهریز ارومیه، ۱۳۹۵).

داده‌ها

داده‌ها و مدل WRF

مدل پیش‌بینی و تحقیق وضع هوا (WRF) نسل بعدی سیستم پیش‌بینی عددی میان‌مقیاس آب و هوایی برای کاربردهای تحقیق و پیش‌بینی جوی است. WRF می‌تواند شبیه‌سازی‌ها را بر مبنای شرایط جوی واقعی (به عبارت دیگر بر پایه مشاهدات و تحلیل‌ها) و شرایطی که به صورت ایده آل و دلخواه ایجاد شده است، تولید کند (NCAR/UCAR).

این مطالعه توانایی شبیه‌سازی دمای حداقل به وسیله مدل WRF را در شمال غرب ایران مورد بررسی قرار داد. با توجه به هدف پژوهش که پیش‌آگاهی سرمازدگی است، ارزیابی پیش‌بینی مدل برای دمای ۲ متری در ساعت ۳ UTC انجام گرفت. به دلیل اینکه درختان سیب در فصل بهار و در طول دوره گلدهی در معرض دماهای پایین و خطر یخبندان قرار دارند شبیه‌سازی ۳ روزه (۷۲ ساعته) دما با مدل WRF-ARW نسخه ۴، برای ۱۹ روز نمونه از یک هفته قبل از شروع دوره گلدهی از ساعت ۱۲ روز ۲۸ مارس تا ۱۶ آوریل ۲۰۱۲ انجام شد. ۱۲ ساعت اول برای زمان تنظیم (spin-up) در نظر گرفته شد. شبکه محاسباتی برای شبیه‌سازی دمای ۲ متری به وسیله مدل



شکل ۲- تصویر سمت چپ: باغ آزمایشی سیب اداره تحقیقات هواشناسی کشاورزی کهریز استان آذربایجان غربی منبع تصویر: Google Earth. تصویر سمت راست موقعیت جغرافیایی باغ مطالعاتی در نقشه ایران

Figure 2- On the left: apple experimental orchard of Kahriz, West Azerbaijan Province Agricultural Weather Research Center. Image source: Google Earth. On the right: geographical location of the apple experimental orchard in Iran's map

جدول ۱- طرح‌واره‌های فیزیکی انتخاب‌شده جهت مدل‌سازی با مدل WRF
Table 1- Selected physical schemes for modeling by WRF

فیزیک مدل	KFMYJ
Physical scheme	
طرح‌واره میکرو فیزیک	Lin et al. scheme
Microphysics	
طرح‌واره تابش طول موج بلند	RRTM scheme
Longwave radiation	
طرح‌واره تابش طول موج کوتاه	Goddard Shortwave scheme
Shortwave radiation	
طرح‌واره لایه سطحی	Eta Similarity scheme
Surface-layer	
طرح‌واره سطح زمین	Noah
Land-surface model	
طرح‌واره لایه مرزی سیاره‌ای	Mellor Yamada
Planet boundary-layer	
طرح‌واره همرفت	Kain-Fritsch
Cumulus convection	
گام زمانی	160s
Time step	
تعداد ترازهای قائم	27
No of vertical levels	
طبقه‌بندی کاربری اراضی	USGS
Land cover classification	

معادله‌های ۲ تا ۷ تعریف می‌شوند:

$$MSE = \frac{\sum_{t=1}^n (O_t - F_t)^2}{n} \quad (۳) \quad MAE = \frac{1}{n} \times \sum_{t=1}^n |O_t - F_t| \quad (۲)$$

$$MSSS = 1 - \frac{RMSE_F}{RMSE_O} \quad (۵) \quad RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (O_t - F_t)^2}{n}} \quad (۴)$$

$$MBE = \frac{1}{n} \left(\sum_{t=1}^n F_t - \sum_{t=1}^n O_t \right) \quad (۶)$$

$$R = \frac{\sum_{t=1}^n [(O_t - \bar{O}_t) \times (F_t - \bar{F}_t)]}{\sqrt{[\sum_{t=1}^n (O_t - \bar{O}_t)^2 \times \sum_{t=1}^n (F_t - \bar{F}_t)^2]}} \quad (۷)$$

در معادله‌های فوق O_t مقادیر دیده‌بانی شده و F_t مقادیر پیش‌یابی شده و n تعداد داده‌ها است. \bar{O}_t میانگین مقادیر مشاهداتی و \bar{F}_t میانگین مقادیر شبیه‌سازی شده است.

MAE، MSE، RMSE و MSSS هرکدام به شیوه‌ای مقدار اختلاف بین شبیه‌سازی مدل و مشاهدات را نشان می‌دهند و هرچه مقادیر کمتر باشد یعنی کارایی مدل بیشتر است. شاخص MBE

با استفاده از پیکربندی منتخب (جدول ۱) شبیه‌سازی دمای ۲ متری با مدل WRF برای ۷۲ ساعت (۳ روز) انجام و مقادیر به‌دست‌آمده در کوچک‌ترین شبکه در ساعت ۳ UTC برای هر یک از ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک شمال غرب ایران - که داده‌های آن از سازمان هواشناسی ایران (IRIMO) اخذ شد- در نرم‌افزار متلب با تابع interp3 و با روش linear درون‌یابی شد (معادله ۱). البته روش‌های دیگری نیز برای درون‌یابی مورد ارزیابی قرار گرفت که روش مذکور بهترین عملکرد را داشت.

$$Vq = \text{interp3}(X, Y, Z, V, Xq, Yq, Zq, \text{method}) \quad (۱)$$

که X عرض جغرافیایی، Y طول جغرافیایی، Z زمان و V متغیری است که درون‌یابی برای آن انجام می‌شود و در این مطالعه منظور دمای ۲ متری است، Xq و Yq طول و عرض جغرافیایی مکان و Zq زمان موردنظر برای درون‌یابی متغیر است. به‌منظور ارزیابی عملکرد مدل از مفاهیم آماری مانند میانگین قدر مطلق خطا (MAE)، خطای میانگین مربعات (MSE)، مجذور خطای میانگین مربعات (RMSE)، شاخص امتیاز مهارتی (MSSS)، شاخص میانگین اریبی (MBE)، ضریب همبستگی (R) استفاده شده که با استفاده از

شاخص نرمال شده تغییرات پوشش گیاهی (NDVI) (معادله ۹) پرکاربردترین شاخص در مطالعات مربوط به پوشش گیاهی است (Shuai *et al.*, 2013)، (Von Bennewitz Alvarez *et al.*, 2018)، (Saheb Jalal and Dashtekian, 2013)، (McFeeters, 1996). شاخص NDVI بر اساس نسبت باندهای مادون قرمز و قرمز محاسبه می‌گردد و دامنه تغییرات آن بین یک و منفی یک است (Fazel Dehkordi *et al.*, 2016). فرمول ذیل برای محاسبه NDVI استفاده می‌شود (۳۰).

$$NDVI = (R_{NIR} - R_{RED}) / (R_{NIR} + R_{RED}) \quad (9)$$

R نشان‌دهنده انعکاس در هر ناحیه مشخص از طیف‌های جمع‌آوری شده است (Raper *et al.*, 2013). در این تحقیق شاخص NDVI با استفاده از داده‌های لندست ۷ سنجنده ETM+ و لندست ۸ سنجنده OLI در طی دوره رشد درخت سیب در ماه‌های مارس تا سپتامبر سال‌های ۲۰۱۶-۲۰۰۷ برای منطقه مطالعاتی در نرم‌افزار ENVI محاسبه شد.

نتایج و بحث

ارزیابی پیش‌یابی دما

با بررسی شاخص‌های ارزیابی مدل WRF چنین نتیجه‌گیری می‌شود که میزان صحت شبیه‌سازی‌های ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعته در مجموع ایستگاه‌های منطقه شمال غرب ایران تفاوت زیادی باهم ندارند ولی به‌طور کلی از نظر صحت، شبیه‌سازی ۲۴ ساعته در رتبه اول و شبیه‌سازی‌های ۴۸ و ۷۲ ساعته در رتبه‌های بعدی قرار دارند (جدول ۳). شکل ۳ نشان می‌دهد هر چه زمان شبیه‌سازی افزایش می‌یابد پراکندگی نقاط حول خط رگرسیون بیشتر می‌شود.

علاوه بر دارا بودن علامت مثبت (بیش برآوردی مدل) یا منفی (کم برآوردی مدل) مقدار انحراف از مقادیر دیده‌بانی شده را نیز نشان می‌دهد (Nasr-Esfahani *et al.*, 2019). R معادله خطی بین شبیه‌سازی مدل و داده مشاهداتی را نشان می‌دهد (Gholami *et al.*, 2017). مقادیر ضریب همبستگی همواره عددی بین ۱ و -۱ است. هر قدر ضریب همبستگی به ۱ نزدیک‌تر باشد عملکرد مدل در شبیه‌سازی تغییرات پارامتر بهتر است.

داده‌ها و ارزیابی تصاویر لندست

در این مطالعه از آمار فنولوژی - زمان شروع و پایان مراحل رشد - که به‌صورت سالانه در باغ سیب اداره تحقیقات هواشناسی کشاورزی به ثبت رسیده (جدول ۲) استفاده شده است. به‌علاوه ۷۷ تصویر ماهواره‌ای لندست ۷ سنجنده ETM+ و ۴۱ تصویر لندست ۸ سنجنده OLI از سایت <https://earthexplorer.usgs.gov> در ماه‌های مارس تا سپتامبر سال‌های ۲۰۱۶-۲۰۰۷ (مطابق با مراحل فنولوژی سیب در ایستگاه کهرئز) با مشخصات شماره گذر و ردیف به ترتیب ۱۶۹ و ۳۴ و قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر دانلود شد. در این تحقیق پیش‌پردازش‌هایی شامل تصحیح اتمسفری و رادیو متریک با روش FLAASH بر روی تصاویر ماهواره‌ای در محیط نرم‌افزار ENVI انجام شد. محاسبه شاخص پوشش گیاهی از طریق شاخص NDVI انجام شد. اغلب شاخص‌ها می‌توانند برای نمایش دادن اشتقاق بازتاب سطحی با توجه به طول موج تعمیم داده شوند. این اشتقاق تابع خصوصیات نوری برگ‌ها و ذرات خاک است (Myneni *et al.*, 1995). علائم بازتاب طیفی، اطلاعاتی را در مورد وضعیت ترکیبات بیوشیمیایی و ساختار برگ و تاج پوشش گیاهی آشکار می‌سازد (Huete, 2012).

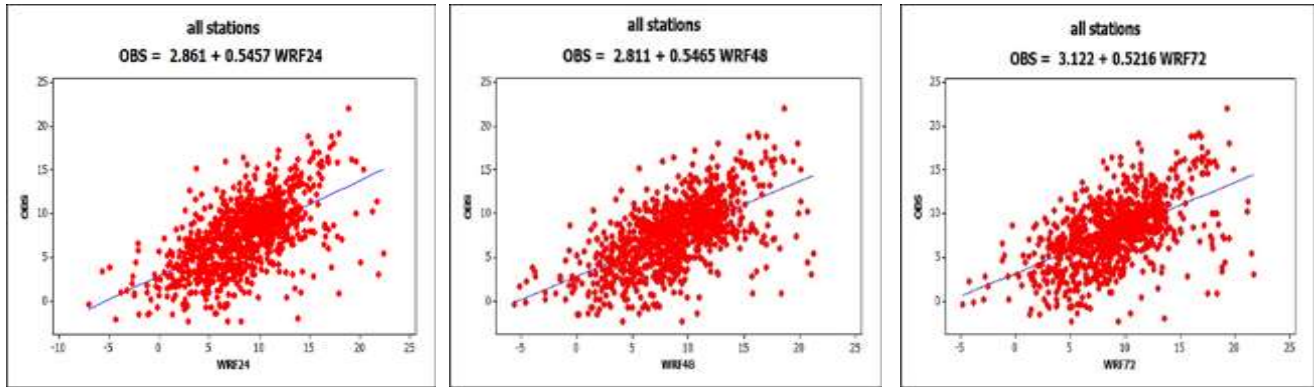
جدول ۲- زمان وقوع مراحل فنولوژیکی باغ سیب ایستگاه تحقیقات هواشناسی کشاورزی کهرئز بر اساس داده‌های زمینی

Table 2- Time of phenological stages of apple orchard of Kahriz Agrometeorological Research Station based on field data

سال Year	روز سال Date of year (DOY)				
	تشکیل جوانه Bud formation	شکفتن جوانه Blossoming	گل دادن Flowering	رشد میوه Fruit growing	رسیدن میوه Fruit ripening
2007	95	109	121	135	251
2008	83	90	97	104	236
2009	89	96	103	124	257
2010	69	76	97	118	258
2011	94	103	115	125	259
2012	97	106	115	132	251
2013	69	84	96	104	259
2014	69	90	97	114	254
2015	73	92	100	118	275
2016	82	93	107	121	272
میانگین (Mean)	82	94	105	120	257

جدول ۳- نتایج شاخص‌های مورداستفاده در ارزیابی شبیه‌سازی مدل WRF
Table 3- Results of indices used in evaluating of WRF model simulations

مدت شبیه‌سازی (Simulation duration)	MAE	MSE	RMSE	MSSS	MBE
۲۴ ساعته (24-hour)	2.848	14.319	3.784	0.548	0.909
۴۸ ساعته (48-hour)	2.882	14.385	3.792	0.554	1.167
۷۲ ساعته (72-hour)	2.878	14.708	3.835	0.558	1.211



شکل ۳- معادله و نمودار خط رگرسیون داده‌های مدل WRF و داده‌های مشاهده‌شده در منطقه شمال غرب ایران در شبیه‌سازی‌های ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعته

Figure 3- Equation and regression line diagram of WRF model minimum temperature data hindcast and minimum temperature data observed in synoptic stations in northwestern Iran in 24, 48 and 72 hour simulations

جدول ۴- خلاصه مدل

Table 4- Model Summary

Model Summary خلاصه مدل	R	P-Value مقدار p-	R Square ضریب تعیین	Adjusted R Square ضریب تعیین تعدیل‌شده	Std. Error of the Estimate خطای استاندارد برآورد
wrf 24	0.588 ^a	0.000	0.346	0.345	3.12655
wrf 48	0.599 ^b	0.000	0.359	0.359	3.06821
wrf 72	0.553 ^c	0.000	0.306	0.305	3.11100

a. Predictors (پیش‌بینی کننده‌ها) (Constant) (ثابت), wrf 24 b. Predictors (پیش‌بینی کننده‌ها) (Constant) (ثابت), wrf 48 c. Predictors (پیش‌بینی کننده‌ها) (Constant) (ثابت), wrf 72

تغییرات متغیر وابسته است.

جدول ۶ ضرورت وجود هر یک از متغیرها و به عبارت دیگر معنی‌داری ضرایب متغیرهای مستقل در مدل‌های رگرسیونی برای شبیه‌سازی‌های مختلف را نشان می‌دهد. همان‌گونه که در ستون Significant جدول مذکور مشاهده می‌شود ضریب ثابت (constant) و ضریب متغیر هر دو برای پیش‌بینی متغیرهای وابسته معنادار هستند و می‌توان از آن‌ها در معادله رگرسیون استفاده کرد. با توجه به اینکه هدف اصلی در این تحقیق ارزیابی شبیه‌سازی دمای حداقل ۷۲ ساعته است، توزیع جغرافیایی شاخص‌های محاسبه‌شده برای ارزیابی شبیه‌سازی متغیر مذکور در ایستگاه‌های منطقه شمال غرب ایران در شکل ۴ نشان داده‌شده است. الگوی نقشه شاخص‌های خطا مطابق با کوهستانی بودن منطقه است و با تحلیل نقشه‌ها به صورت استانی این نتایج به دست آمد:

میزان ضریب همبستگی و ضریب تعیین بین متغیرهای مقادیر دمای حداقل به دست آمده از مدل WRF در کل ایستگاه‌ها و مقادیر مشاهده‌شده در جدول ۴ نشان داده‌شده است. منطقه شمال غرب ایران یک منطقه کوهستانی است و مدل WRF در مناطق کوهستانی در شبیه‌سازی کارایی کمتری دارد، این امر باعث شده تا در مجموع مقدار ضریب همبستگی در روزهای مورد مطالعه در حد بالایی نباشد، با این حال معیار معنی‌دار بودن یا نبودن میزان همبستگی، مقدار احتمال آن است که باید با سطح خطای ۰/۰۵ مقایسه شود با توجه به اینکه در جدول ۴ مقدار P-Value از ۰/۰۵ کمتر است در نتیجه میزان همبستگی شبیه‌سازی‌های ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعته با دمای مشاهداتی معنی‌دار است. همچنین در جدول ۵ با توجه به اینکه مقدار P-Value یا همان Significant کمتر از ۰/۰۵ است می‌توان گفت مدل رگرسیونی ارائه‌شده معنی‌دار است و مدل به خوبی قادر به شبیه‌سازی

جدول ۵- تحلیل واریانس^(a)

Table 5- ANOVA^(a)

Model ANOVA مدل تحلیل واریانس	Sum of Squares مجموع مربعات پراکندگی	df	Mean Square میانگین مربعات	F	Sig. سطح معنی داری
Regression WRF 24 رگرسیون WRF 24	4954.502	1	4954.502	506.839	0.000 ^(b)
Residual WRF 24 باقیمانده WRF 24	9374.503	959	9.775		
Total WRF 24 کل WRF 24	14329.005	960			
Regression WRF 48 رگرسیون WRF 48	5069.033	1	5069.033	538.461	0.000 ^(c)
Residual WRF 48 باقیمانده WRF 48	9037.373	960	9.414		
Total WRF 48 کل WRF 48	14106.406	961			
Regression WRF 72 رگرسیون WRF 72	4097.111	1	4097.111	423.329	0.000 ^(d)
Residual WRF 72 باقیمانده WRF 72	9291.183	960	9.678		
Total WRF 72 کل WRF 72	13388.294	961			

a. Dependent Variable (متغیر مستقل): observed (مشاهده شده) b. Predictors (پیش‌بینی کننده‌ها) (Constant) (ثابت), wrf 24 c. Predictors (پیش‌بینی کننده‌ها) (Constant) (ثابت), wrf 48 d. Predictors: (Constant) (ثابت), wrf 72

جدول ۶- جدول ضرایب^(a)

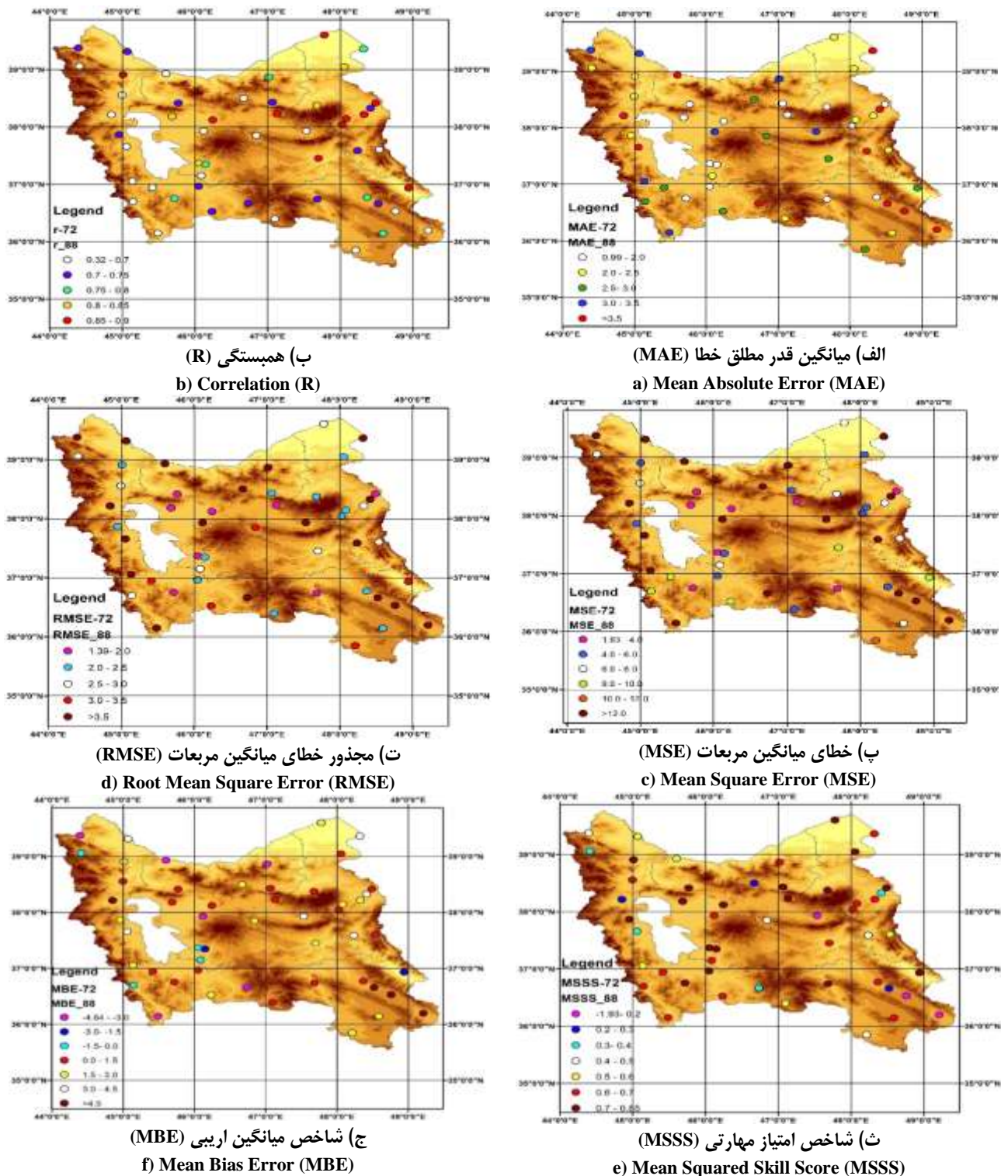
Table 6- Coefficients^(a)

Model Coefficients ضرایب مدل	Unstandardized Coefficients (ضرایب استاندارد نشده)		Standardized Coefficients (ضرایب استاندارد شده)		Sig. سطح معنی داری
	B	Std. Error خطای استاندارد	Beta	t	
(Constant) (ثابت)	2.861	0.227		12.619	0.000
WRF 24	0.546	0.024	0.588	22.513	0.000
(Constant) (ثابت)	2.811	0.229		12.270	0.000
WRF 48	0.547	0.024	0.599	23.205	0.000
(Constant) (ثابت)	3.122	0.251		12.461	0.000
WRF 72	0.522	0.025	0.553	20.575	0.000

a. Dependent Variable (متغیر مستقل): observed (مشاهده شده)

در شرق و سه‌پند در مرکز از میزان همبستگی کاسته شده و خطای شبیه‌سازی بالا می‌رود. به‌نحوی که در ایستگاه جلفا که بلندترین قله رشته کوهستانی قره داغ در آن قرار دارد میزان همبستگی به ۰/۶۴ و میزان خطای MAE مدل به بیش از ۳/۵ درجه سلسیوس می‌رسد. در استان اردبیل، در اکثر ایستگاه‌ها ضریب همبستگی بالای ۰/۷۵ و خطای MAE مدل تا ۲/۵ درجه سلسیوس است. در استان زنجان در ایستگاه‌های بین کوه‌های طارم و سلطانیه خطای MAE مدل بالای ۳/۵ درجه سلسیوس است.

ناهمواری‌های عمده در استان آذربایجان غربی در قسمت غربی آن یعنی در نواحی مرزی ایران با ترکیه و عراق واقع گردیده است. ارتفاعات عمده این ناحیه را کوه‌های مرزی ماکو، قطور، خوی در شمال استان و کوه‌های غرب ارومیه، اشنویه، پیرانشهر و سردشت در جنوب استان تشکیل می‌دهند ([Plan and Budget Organization, 2018](#)). به سمت نواحی کوهستانی مذکور همبستگی اغلب به کمتر از ۰/۷ و خطای MAE مدل به بیش از ۲/۵ درجه سلسیوس می‌رسد. در استان آذربایجان شرقی به سمت کوه‌های قره داغ در شمال تا سبلان



شکل ۴- نقشه توزیع جغرافیایی شاخص‌های محاسبه‌شده در ارزیابی پیش‌یابی ۷۲ ساعته: (الف) MAE، (ب) R، (پ) MSE، (ت) RMSE، (ث) MSSS، (ج) MBE

Figure 4- Geographical distribution map of the indices calculated in the WRF model 72-hour hindcast evaluation: a) MAE, b) R, c) MSE, d) RMSE, f) MBE, e) MSSS

سنجنده OLI به دست آمد. به طور کلی در منطقه مورد مطالعه مقدار NDVI در مرحله خواب به حدود ۰/۲، با شکفتن جوانه به ۰/۳، در حین گل دادن به ۰/۴ و ۰/۵ و در دوره رشد میوه به بیشترین مقدار می‌رسد (جدول ۷ و ۸). با توجه به مقادیر NDVI می‌توان نتیجه گرفت که مراحل فنولوژی ثبت شده از باغ سیب ایستگاه کهریز با داده‌های شاخص پوشش گیاهی تطابق دارد. همان گونه که انتظار می‌رفت بعد از پایان دوره گلدهی با توجه به رشد برگ و نیز بالا رفتن مقدار کلروفیل در ماه‌های گرم سال مقادیر بالاتری از شاخص NDVI را نسبت به دوره‌های خواب، شکفتن جوانه و گلدهی شاهد هستیم.

توزیع مقادیر خطای RMSE در ایستگاه‌های مختلف، با خطای MAE هماهنگی دارد ولی به طور کلی مقدار خطای بیشتری را نسبت MAE نشان می‌دهد. در ایستگاه‌هایی که خطای مدل کمتر باشد شاخص MSSS به ۱ نزدیک‌تر است همچنین هر چه مقدار خطای مدل کمتر باشد شاخص MBE به صفر نزدیک‌تر و در نتیجه پیش‌بینی واقعی‌تر است.

تشخیص مراحل فنولوژی باغ سیب از تصاویر ماهواره‌ای

مقادیر شاخص NDVI برای یک پیکسل ۳۰ متری در مرکز باغ سیب ایستگاه هواشناسی کشاورزی ارومیه، مطابق با آمار مراحل فنولوژی ثبت شده در ایستگاه در سال‌های ۲۰۱۶-۲۰۰۷ و با استفاده از تصاویر ماهواره‌های لندست ۷ سنجنده ETM+ و لندست ۸

جدول ۷- مراحل فنولوژی سیب ثبت شده در باغ سیب ایستگاه مرکز تحقیقات هواشناسی کشاورزی کهریز ارومیه و شاخص پوشش گیاهی ndvi

به دست آمده از تصاویر Landsat 7 ETM+

Table 7- Recorded apple phenological stages in apple orchard of Kahriz Station and NDVI vegetation index gained from Landsat 7 ETM+ images

تاریخ Date	مراحل رشد Growth stages	NDVI (Landsat 7 ETM+)	تاریخ Date	مراحل رشد Growth stages	NDVI (Landsat 7 ETM+)	تاریخ Date	مراحل رشد Growth stages	NDVI (Landsat 7 ETM+)
20.4.2007	شکفتن جوانه Blossoming	0.304	1.4.2012	خواب Dormancy	0.292	26.4.2015	گل دادن Flowering	0.650
6.5.2007	گل دادن Flowering	0.381	3.5.2012	گل دادن Flowering	0.553	12.5.2015	رشد میوه Fruit growing	0.566
22.5.2007	رشد میوه Fruit growing	0.391	4.6.2012	رشد میوه Fruit growing	0.657	13.6.2015	رشد میوه Fruit growing	0.534
7.6.2007	رشد میوه Fruit growing	0.467	20.6.2012	رشد میوه Fruit growing	0.690	29.6.2015	رشد میوه Fruit growing	0.497
23.6.2007	رشد میوه Fruit growing	0.627	6.7.2012	رشد میوه Fruit growing	0.709	15.7.2015	رشد میوه Fruit growing	0.451
25.7.2007	رشد میوه Fruit growing	0.724	22.7.2012	رشد میوه Fruit growing	0.743	31.7.2015	رشد میوه Fruit growing	0.405
10.8.2007	رشد میوه Fruit growing	0.632	7.8.2012	رشد میوه Fruit growing	0.718	16.8.2015	رشد میوه Fruit growing	0.39
11.9.2007	رسیدن میوه Fruit ripening	0.626	23.8.2012	رشد میوه Fruit growing	0.654	17.9.2015	رشد میوه Fruit growing	0.415
5.3.2008	خواب Dormancy	0.237	8.9.2012	رسیدن میوه Fruit ripening	0.684	14.5.2016	رشد میوه Fruit growing	0.432
24.5.2008	رشد میوه Fruit growing	0.552	6.5.2013	رشد میوه Fruit growing	0.559	30.5.2016	رشد میوه Fruit growing	0.544
9.6.2008	رشد میوه Fruit growing	0.448	7.6.2013	رشد میوه Fruit growing	0.686	15.6.2016	رشد میوه Fruit growing	0.499
25.6.2008	رشد میوه Fruit growing	0.536	23.6.2013	رشد میوه Fruit growing	0.728	17.7.2016	رشد میوه Fruit growing	0.486
27.7.2008	رشد میوه Fruit growing	0.572	9.7.2013	رشد میوه Fruit growing	0.691	2.8.2016	رشد میوه Fruit growing	0.440
11.7.2008	رشد میوه Fruit growing	0.598	25.7.2013	رشد میوه Fruit growing	0.669	18.8.2016	رشد میوه Fruit growing	0.461

28.8.2008	رسیدن میوه Fruit growing	0.525	10.8.2013	رشد میوه Fruit growing	0.643
13.9.2008	رسیدن میوه Fruit growing	0.567	26.8.2013	رشد میوه Fruit growing	0.622
27.5.2009	رشد میوه Fruit growing	0.46	11.9.2013	رشد میوه Fruit growing	0.624
28.6.2009	رشد میوه Fruit growing	0.548	27.9.2013	رسیدن میوه Fruit ripening	0.667
14.7.2009	رشد میوه Fruit growing	0.643	22.3.2014	تشکیل جوانه Bud formation	0.427
30.7.2009	رشد میوه Fruit growing	0.55	7.4.2014	گل دادن Flowering	0.414
15.8.2009	رشد میوه Fruit growing	0.574	25.5.2014	رشد میوه Fruit growing	0.685
31.8.2009	رشد میوه Fruit growing	0.567	10.6.2014	رشد میوه Fruit growing	0.733
14.5.2010	رشد میوه Fruit growing	0.46	26.6.2014	رشد میوه Fruit growing	0.627
30.5.2010	رشد میوه Fruit growing	0.411	12.7.2014	رشد میوه Fruit growing	0.650
15.6.2010	رشد میوه Fruit growing	0.466	13.8.2014	رشد میوه Fruit growing	0.659
1.7.2010	رشد میوه Fruit growing	0.588	29.8.2014	رشد میوه Fruit growing	0.610
17.7.2010	رشد میوه Fruit growing	0.609	14.9.2014	رسیدن میوه Fruit ripening	0.570
18.8.2010	رشد میوه Fruit growing	0.549			
3.9.2010	رشد میوه Fruit growing	0.6			
19.9.2010	رسیدن میوه Fruit ripening	0.659			
30.3.2011	خواب Dormancy	0.299			
15.4.2011	شکفتن جوانه Blossoming	0.345			
17.5.2011	رشد میوه Fruit growing	0.581			
21.8.2011	رشد میوه Fruit growing	0.673			
6.9.2011	رشد میوه Fruit growing	0.704			
22.9.2011	رسیدن میوه Fruit ripening	0.718			

جدول ۸- مراحل فنولوژی سیب ثبت شده در باغ سیب ایستگاه مرکز تحقیقات هواشناسی کشاورزی کهرئز ارومیه و شاخص پوشش گیاهی ndvi

به دست آمده از تصاویر Landsat 8 OLI

Table 8- Recorded apple phenological stages in apple orchard of Kahriz Station and NDVI vegetation index gained from Landsat 8 OLI images

تاریخ Date	مراحل رشد Growth stages	NDVI	تاریخ Date	مراحل رشد Growth stages	NDVI
2.4.2013	شکفتن جوانه Blossoming	0.450	18.4.2015	گل دادن Flowering	0.555
12.4.2013	گل دادن Flowering	0.546	20.5.2015	رشد میوه Fruit growing	0.608
28.4.2013	رشد میوه Fruit growing	0.569	5.6.2015	رشد میوه Fruit growing	0.712
30.5.2013	رشد میوه Fruit growing	0.721	21.6.2015	رشد میوه Fruit growing	0.560
15.6.2013	رشد میوه Fruit growing	0.757	7.7.2015	رشد میوه Fruit growing	0.513
1.7.2013	رشد میوه Fruit growing	0.727	23.7.2015	رشد میوه Fruit growing	0.451
17.7.2013	رشد میوه Fruit growing	0.719	8.8.2015	رشد میوه Fruit growing	0.417
2.8.2013	رشد میوه Fruit growing	0.706	24.8.2015	رشد میوه Fruit growing	0.374
18.8.2013	رشد میوه Fruit growing	0.669	9.9.2015	رشد میوه Fruit growing	0.502
3.9.2013	رشد میوه Fruit growing	0.635	25.9.2015	رسیدن میوه Fruit ripening	0.463
19.9.2013	رسیدن میوه Fruit ripening	0.712	20.4.2016	گل دادن Flweing	0.581
1.5.2014	رشد میوه Fruit growing	0.754	6.5.2016	رشد میوه Fruit growing	0.640
17.5.2014	رشد میوه Fruit growing	0.767	22.5.2016	رشد میوه Fruit growing	0.598
18.6.2014	رشد میوه Fruit growing	0.714	7.6.2016	رشد میوه Fruit growing	0.501
4.7.2014	رشد میوه Fruit growing	0.727	23.6.2016	رشد میوه Fruit growing	0.529
20.7.2014	رشد میوه Fruit growing	0.701	9.7.2016	رشد میوه Fruit growing	0.534
5.8.2014	رشد میوه Fruit growing	0.685	25.7.2016	رشد میوه Fruit growing	0.424
21.8.2014	رشد میوه Fruit growing	0.667	10.8.2016	رشد میوه Fruit growing	0.472
6.9.2014	رشد میوه Fruit growing	0.645	26.8.2016	رشد میوه Fruit growing	0.426
22.9.2014	رسیدن میوه Fruit growing	0.616	11.9.2016	رشد میوه Fruit growing	0.431
			27.9.2016	رشد میوه Fruit growing	0.439

از خسارت سرمازدگی در منطقه ارزیابی شد پیش آگاهی به کشاورز از طریق شبیه سازی دمای کمینه برای سه روز آینده با استفاده از مدل WRF، قبل از زمان جوانه زنی بود که در نتیجه آن کشاورز بتواند با

در تحقیقات مرتبط با سرمازدگی محصولات، بر اساس آمار و احتمال و داده های دوره آماری بلندمدت، تاریخ احتمال وقوع آخرین یخبندان برآورد شده است اما روشی که در این مقاله برای پیشگیری

در مجموع کل ایستگاه‌ها ضریب همبستگی در هر سه شبیه‌سازی در حد ۰/۵ و مقدار خطای MAE و RMSE به ترتیب به حدود ۲/۸ و ۳/۸ درجه سلسیوس می‌رسد.

محققین دیگری نیز در تحقیقات خود به نتیجه مشابه فوق رسیده‌اند به‌عنوان مثال لی یو و همکاران (Liu *et al.*, 2019) نیز حساسیت دمای هوای نزدیک سطح را به فیزیک سطح زمین نسبت به شرایط اولیه و مرزی بیشتر دانسته‌اند. نتیجه تحقیق آن‌ها نشان داد که عملکرد مدل در پیش‌بینی دمای نزدیک سطح به پیچیدگی توپوگرافی محلی هر ایستگاه بستگی دارد. دوآن و همکاران (Duan *et al.*, 2018) نیز نتیجه گرفتند که ارتفاعات و انواع کاربری اراضی به همراه تغییرات فصلی به شدت بر پیش‌بینی متغیرهای نزدیک به سطح زمین تأثیر می‌گذارد. باین‌حال در تحقیق حاضر، طبق جدول ۴ و ۵ در هر سه شبیه‌سازی ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعته، معنی‌داری همبستگی و معنی‌داری مدل رگرسیونی بین متغیر دمای حداقل خروجی مدل WRF و متغیر دمای حداقل مشاهداتی در مجموع کل ایستگاه‌ها وجود دارد. البته با در نظر گرفتن شاخص‌های بررسی شده برای ارزیابی پیش‌بینی مدل WRF در هر ایستگاه، ایستگاه‌هایی هم هستند که ضریب همبستگی در آن‌ها به بیش از ۰/۸۵ و مقدار خطاهای MAE و RMSE به کمتر از ۱/۵ درجه سلسیوس می‌رسد (شکل‌های ۴ الف، ب و ت).

بر طبق دومین یافته این تحقیق، شاخص NDVI به‌دست‌آمده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۷ و ۸ قادر است پیشرفت و تغییرات در مراحل فنولوژیکی سیب را نشان دهد. رشد برگ هم‌زمان با شکفتن جوانه در درخت سیب آغاز می‌شود و تا مرحله رشد میوه ادامه می‌یابد. شاخص نرمال شده تغییرات پوشش گیاهی (NDVI) که از انعکاس تابش قرمز و مادون قرمز محاسبه می‌شود، به ویژگی‌های پوشش گیاهی شامل شاخص سطح برگ، ظرفیت جذب نور و پتانسیل فتوسنتز ارتباط دارد. به‌طور کلی مقدار NDVI با افزایش LAI یا غلظت کلروفیل افزایش می‌یابد (Yoder and Waring, 1994). نکته‌ای که در روند مقادیر NDVI در این پژوهش دیده می‌شود این است که از سال ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۲ در اواخر ژوئن تا اواخر سپتامبر مطابق با فصل تابستان در ایران مقادیر بالاتری از شاخص NDVI به‌دست‌آمده است ولی از سال ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۶ بیشترین مقادیر در فصل بهار (اواخر مارس تا اواخر ژوئن) بوده است. مطالعات دیگری نیز به نتایج مشابهی رسیده‌اند به‌عنوان مثال نتایج تحقیق خیر و همکاران (Khare *et al.*, 2019) پتانسیل ماهواره سنچس از دور برای تعیین زمان درست رخدادهای فنولوژیکی جوانه با استفاده از سری‌های زمانی NDVI واسنجی شده در مناطق وسیعی که دور هستند یا دسترسی محدودی دارند را نشان داد. ژنگ و همکاران (Zheng *et al.*, 2016) با ترکیب شاخص NDVI تصاویر SPOT5 و مودیس، نتیجه گرفتند که پارامترهای فنولوژیکی به میزان زیادی با داده‌های

توجه به دمای بحرانی، فرصت کافی برای مدیریت وضعیت پیش‌رو داشته باشد. همچنین در مطالعات پیشین، بیشترین تمرکز بر روی تشخیص و پیش‌بینی مراحل فنولوژی به‌ویژه گلدهی بوده که نقش مهمی در پیش‌آگاهی سرمازدگی دارد این در حالی است که در ایران ایستگاه‌های هواشناسی کشاورزی اندک است و تاریخ دقیق مراحل فنولوژی محصولات مختلف در همه باغات ثبت نشده و در نتیجه آماری وجود ندارد تا بر مبنای آن مدلی برای پیش‌بینی گلدهی و سایر مراحل فنولوژی ارائه شود لذا در این تحقیق استفاده از تصاویر ماهواره‌ای برای تشخیص مراحل فنولوژی سیب در ایستگاه هواشناسی کشاورزی کهریز ارومیه مورد بررسی قرار گرفت تا بتوان از تصاویر ماهواره‌ای برای تشخیص مراحل فنولوژی در مناطق فاقد ایستگاه هواشناسی کشاورزی در محدوده شهرستان ارومیه استفاده کرد.

بنابراین این مقاله به بررسی امکان به کار بردن شبیه‌سازی ۳ روزه دمای حداقل با استفاده از مدل WRF و نیز تصاویر ماهواره‌ای لندست برای پیش‌آگاهی سرمازدگی دیررس بهاره باغات سیب شهرستان ارومیه پرداخته است. یافته‌های پژوهش حاضر نشان داد که همبستگی و معادله رگرسیونی معنی‌داری بین دو متغیر دمای حداقل به‌دست‌آمده از مدل WRF در کل ایستگاه‌ها و مقادیر مشاهده‌شده در ایستگاه‌ها وجود دارد. یافته دیگر این پژوهش، قابلیت تصاویر ماهواره‌ای لندست ۷ و ۸ در تشخیص تغییر مراحل فنولوژیکی درختان سیب را تأیید نمود.

هرچه پیش‌آگاهی سرمازدگی زودتر انجام شود کشاورز بهتر می‌تواند برای مقابله با آن آماده شود به همین دلیل در این مقاله شبیه‌سازی ۳ روزه دمای حداقل مدنظر قرار گرفت و ارزیابی برای کل منطقه شمال غرب ایران انجام شد. معمولاً به دلیل اینکه ویژگی‌های سینوپتیکی دائماً در حال تغییر هستند، پیش‌بینی‌ها با افزایش مدت‌زمان پیش‌بینی صحت کمتری پیدا می‌کنند (Yáñez-Morroni *et al.*, 2018) در این تحقیق نیز شاخص‌های مورد استفاده برای ارزیابی خطای مدل نشان داد پیش‌بینی‌های مدل ابتدا برای شبیه‌سازی ۲۴ ساعته و سپس ۴۸ ساعته دقت بیشتری نسبت به شبیه‌سازی ۷۲ ساعته دارد ولی با این حال دقت آن با شبیه‌سازی‌های ۲۴ و ۴۸ ساعته اختلاف چندانی ندارد. مولر و همکاران (Müller *et al.*, 2016) نیز هرچند کارایی مدل WRF را برای شبیه‌سازی هوای ۷ روز آینده تأیید کردند ولی به این نتیجه رسیدند که همبستگی و خطای مدل از پیش‌بینی ۱ روزه به سمت پیش‌بینی ۷ روزه کاهش می‌یابد. نصر اصفهانی و همکاران (Nasr Esfahani *et al.*, 2019) نتیجه‌گیری مشابهی داشتند آن‌ها به این نتیجه رسیدند که صحت پیش‌بینی ۲۴ ساعته نسبت به ۴۸ ساعته بیشتر است. در شمال غرب ایران که یک منطقه کوهستانی است، شبیه‌سازی جریان هوا در نواحی با توپوگرافی پیچیده بسیار مشکل است و به همین دلیل

شاخص‌های ارزیابی، کارایی مدل WRF را برای شبیه‌سازی دمای حداقل در منطقه شمال غرب ایران نشان داد. در گام دوم قابلیت تصاویر ماهواره‌های لندست ۷ و ۸ در تشخیص مراحل فنولوژی سیب مورد بررسی قرار گرفت. با مقایسه NDVI به‌دست‌آمده از تصاویر با مراحل فنولوژی ثبت‌شده در ایستگاه هواشناسی کشاورزی کهریز مشخص شد که تصاویر مذکور می‌تواند مراحل فنولوژی سیب در ایستگاه کهریز ارومیه را شناسایی کند.

این تحقیق کارایی مدل WRF برای شبیه‌سازی ۷۲ ساعته دمای حداقل و نیز پتانسیل تصاویر لندست ۷ و ۸ در تشخیص مراحل فنولوژی سیب در محدوده مورد مطالعه را نشان داد؛ بنابراین با به‌کارگیری خروجی شبیه‌سازی دمای حداقل ۷۲ ساعته مدل WRF و تشخیص مراحل فنولوژی از تصاویر لندست، چنانچه در هر باغی با توجه به مرحله فنولوژی، دما در ۷۲ ساعت آینده به حد بحرانی برسد می‌توان هشدار سرمازدگی را اعلام کرد تا اقدامات مربوط به پیشگیری از سرمازدگی توسط کشاورز انجام شود. البته به‌منظور کسب نتایج بهتر و دقیق‌تر پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آتی از روش استفاده‌شده در این پژوهش در باغ‌هایی با مساحت خیلی بزرگ‌تر استفاده شود.

زمینی همبستگی دارد. برخلاف نتایج گفته‌شده ون بنویتز آلوارز و همکاران (Von Bennewitz Alvarez *et al.*, 2018) به این نتیجه رسیدند که شاخص‌های پوشش گیاهی به‌دست‌آمده از Landsat ETM+ نمی‌تواند بین مراحل فنولوژیکی متوالی که در آن اندازه برگ فقط کمی متمایز است تفاوت قائل شود. البته در تحقیق حاضر سعی شده تا با استفاده از تعداد تصاویر و سال‌های مطالعاتی بیشتر دقت بررسی مراحل فنولوژی و نتیجه‌گیری در مورد قابلیت تصاویر ماهواره‌ای لندست افزایش یابد.

نتیجه‌گیری

این مقاله در پی ارزیابی یک سیستم هشدار سریع سرمازدگی در باغات سیب شهرستان ارومیه بر مبنای شبیه‌سازی ۳ روزه دمای حداقل و نیز تشخیص مراحل فنولوژی سیب از طریق تصاویر ماهواره‌ای در سال‌های گذشته است. در اولین گام توانایی مدل WRF در شبیه‌سازی دمای حداقل ۷۲ ساعته بررسی شد. مدل برای شمال غرب ایران با تفکیک ۳ کیلومتر مطابق با زمان گلدهی سیب اجرا و برونداد دمای حداقل مدل با مشاهدات ۵۱ ایستگاه سینوپتیک شمال غرب ایران مقایسه شد. با وجود کوهستانی بودن منطقه

منابع

1. 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).
2. Ahmadi K., ebadzadeh HR., Hatami F., Hoseinpour R., and Abdshah H. 2020. Amarnameh Keshavarzi 2019- 3: Horticultural products. Ministry of Agriculture-Jahad, Deputy of Planning and Economy, Information and Communication Technology Center, Tehran: 156 p. Available at <https://www.maj.ir> (visited 10 November 2020).
3. Azadi M., Taghizadeh E., and 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 with English abstract)
4. Chmielewski F., Blumel K., Henniges Y., Blanke M., Weber R., and Zoth M. 2011. Phenological models for the beginning of apple blossom in Germany. *Meteorologische Zeitschrift* 20(5): 487-496. <https://doi.org.10.1127.0941-2948.2011.0258>.
5. Duan H., Li Y., Zhang T., PU Z., ZHAO C., and 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>.
6. Fallah Ghalhari GA., and Ahmadi H. 2017. Trend analysis of phenological stages length and chilling requirements of apple tree (Case study: Karaj station). *Journal of Agricultural Meteorology* 5(1): 57-70. (In Persian with English abstract)
7. Farajzadeh M., Rahimi M., Kamali GA., and Mavrommatis T. 2010. Modelling apple tree bud burst time and frost risk in Iran. *Meteorological Applications* 17(1): 45-52. <https://doi.org.10.1002.met.159>.
8. Fazel Dehkordi L., Azarnivand H., Zare Chahouki M., Mahmoudi Kohan F., and Khalighi Sigaroudi S. 2016. Drought Monitoring Using Vegetation Index (NDVI) (Case study: Rangelands of Ilam Province). *Journal of Range and Watershed Management*, 69(1): 141-154. (In Persian with English abstract). <http://dx.doi.org.10.22059/jrwm.2016.61739>.
9. Ghafarian P., and 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 with English abstract)
10. Gholami S., Ghader S., Khaleghi Zavareh H., and Ghafarian P. 2018. Verification of WRF wind field hindcast forced by different initial and boundary conditions over the Persian Gulf: Comparison with synoptic data and

- QuikSCAT and ASCAT satellites data. *Journal of the Earth and Space Physics*, 44(1): 227-243. (In Persian with English abstract)
11. Graczyk D., and Szwed M. 2020. Changes in the occurrence of late spring frost in Poland. *Agronomy* 10(11): 2-14. <https://doi.org.10.3390.agronomy10111835>.
 12. Hesari B., Rezaee R., Nikanfar R., and Tayefe Neskili N. 2015. Study and preparation of frost maps for field and orchard crops in West Azerbaijan. *Journal of Geography and Environmental Hazards* 4(14): 117-135. (In Persian with English abstract)
 13. Hiratsuka Y., and Zalasky H. 1993. Frost and other climate-related damage of forest trees in the prairie provinces. Forestry Canada, Northwest Region, Northern Forestry Centre, Edmonton, Alberta. Information Report NOR-X-331: 25 p. Available at <https://doi.org.10.1111.j.1749-8198.2012.00507.x>.
 14. Huete AR. 2012. Vegetation indices, remote sensing and forest monitoring. *Geography Compass* 6(9): 513-532. <https://doi.org.10.1111.j.1749-8198.2012.00507.x>.
 15. Hur J., and Ahn JB. 2015. Seasonal prediction of regional surface air temperature and first-flowering date over South Korea. *International Journal of Climatology* 35: 4791-4801. <https://doi.org.10.1002.joc.4323>.
 16. Kamali Gh., Rahimi M., Mohammadian N., and Mahdavian A. 2007. Prediction of flowering time of Golden apple cultivar based on cumulative chilling requirements for preventing frost damage in Golmakan area of Khorasan. *Journal of Humanities the University of Isfahan* 1(22): 171-182. (In Persian with English abstract)
 17. Khalili A. 2014. Quantitative evaluation of spring frost risk to agricultural and horticultural crops in Iran and modeling. *Journal of Agricultural Meteorology* 2(1): 17-31. (In Persian with English abstract)
 18. Khare S., Drolet G., Sylvain JD., Paré MC., and Rossi S. 2019. Assessment of Spatio-Temporal Patterns of Black Spruce Bud Phenology across Quebec Based on MODIS-NDVI Time Series and Field Observations. *Remote Sensing* 11(23): 2745. [https://doi.org.10.3390.rs11232745](https://doi.org.10.3390/rs11232745).
 19. Khosravi M., Habibi No Khandan M., and Esmaeli R. 2008. Zonation of late chilblain risk impacts on orchards case study: Mahvalat region. *Geography and Development Iranian Journal* 6(12): 145-162. (In Persian with English abstract)
 20. Liu L., Ma Y., Menenti M., Zhang X., and Ma W. 2019. Evaluation of WRF Modeling in Relation to Different Land Surface Schemes and Initial and Boundary Conditions: A Snow Event Simulation Over the Tibetan Plateau. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 124: 209-226. <https://doi.org.10.1029/2018JD029208>.
 21. Martínez-Lüscher J., Hadley P., Ordidge M., Xu X., and Luedeling E. 2017. Delayed chilling appears to counteract flowering advances of apricot in southern UK. *Agricultural and Forest Meteorology* 237-238: 209-218. <https://doi.org.10.1016/j.agrformet.2017.02.017>.
 22. McFeeters SK. 1996. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International Journal of Remote Sensing* 17(7): 1425-143. <https://doi.org.10.1080/01431169608948714>.
 23. Müller OV., Lovino MA., and Berbery EH. 2016. Evaluation of WRF model forecasts and their use for hydroclimate monitoring over southern south America. *Weather and Forecasting* 31(3): 1001-1017. <https://doi.org.10.1175/WAF-D-15-0130.1>.
 24. Myneni RB., Hall FG., Sellers PJ., and Marshak AL. 1995. The interpretation of spectral vegetation indexes. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 33(2): 481-486.
 25. Nasr Esfahani M., and Yazdanpanah H. 2019. Prognosis of frosting occurrence almond orchards in Najafabad region. *Physical Geography Research Quarterly* 51(3): 497-512. (In Persian with English abstract). <http://dx.doi.org.10.22059.JPHGR.2019.281346.1007380>.
 26. Nasr Esfahani M., Yazdanpanah H., and 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. (In Persian with English abstract). <https://dx.doi.org.10.22059.JPHGR.2019.262062.1007258>.
 27. Omidvar K., and Dehghan Banadoki Z. 2013. Studying and Analyzing Strong Spring Frostbite Phenomenon of Pistachio Orchards in Yazd Province. *Journal Of Geography and Regional Development Reseach* 10(19): 237-253. (In Persian with English abstract)
 28. Plan and Budget Organization, Management and Planning Organization of Azerbaijan-e-Gharbi Province, Statistical Year book of West Azerbaijan Province-2018. Available at <https://azgharbi.mporg.ir> (visited 11 October 2020).
 29. Raper TB., Varco JJ., and Hubbard KJ. 2013. Canopy-based normalized difference vegetation index sensors for monitoring cotton nitrogen status. *Agronomy Journal* 105(5): 1345-1354. <https://doi.org.10.2134.agronj2013.0080>.
 30. Rouse JW., Haas RH., Schell JA., and Deering DW. 1974. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. NASA Specefic Publication 351: 309-317.
 31. Safa B., Khalili A., Teshnehlab M., and Liaghat A. 2014. Artificial Neural Networks (ANNs) application to predict occurrence of phenological stages in wheat using climatic data. *International Journal of Agricultural Policy and Research* 2(10): 352-361. <http://dx.doi.org.10.15739.IJAPR.007>.
 32. Sahebjalal E., and Dashtekian K. 2013. Analysis of land use-land covers changes using normalized difference

- vegetation index (NDVI) differencing and classification methods. *African Journal of Agricultural Research* 8(37): 4614-4622. <https://doi.org.10.5897.AJAR11.1825>.
33. Shuai Y., Schaaf C., Zhang X., Strahler A., Roy D., Morisette J., Wang Z., Nightingale J., Nickeson J., Richardson AD., Xie D., Wang J, Li X., Strabala K., and Davies JE. 2013. Daily MODIS - 500 m reflectance anisotropy direct broadcast (DB) products for monitoring vegetation phenology dynamics. *International Journal of Remote Sensing* 34(16): 5997-6016. <https://doi.org.10.1080.01431161.2013.803169>.
 34. Valashedi RN., and Sabziparvar AA. 2016. Evaluation of winter chill requirement models using the observed apple tree phenology data in Kahriz (Urmia, Iran). *Iranian Horticultural Science* 47(3): 561-570.. (In Persian with English abstract). <https://doi.org.10.22059.IJHS.2016.59818>.
 35. Vitasse Y., Schneider L., Rixen C., Christen D., and Rebetez M. 2018. Increase in the risk of exposure of forest and fruit trees to spring frosts at higher elevations in Switzerland over the last four decades. *Agricultural and Forest Meteorology* 248: 60-69. <https://doi.org.10.1016.j.agrformet.2017.09.005>.
 36. Von Bennewitz Alvarez E., Cazanga-Solar R., and Carrasco-Benavides M. 2018. Studying phenological stages of cherry (*Prunus avium* L.) using field observations and satellite-derived vegetation indexes. *IDESIA* 36(1): 65-71. <http://dx.doi.org.10.4067.S0718-34292018000100065>.
 37. Yáñez-Morrón G., Gironás J., Caneo Marta., Delgado R., and Garreaud R. 2018. Using the Weather Research and Forecasting (WRF) Model for Precipitation Forecasting in an Andean Region with Complex Topography. *Atmosphere* 9(8): 304. <https://doi.org.10.3390.atmos9080304>.
 38. Yazdanpanah H., Ohadi D., and Soleimanitabar M. 2010. Forecasting different phenological phases of apple using artificial neural network. *Journal of Research in Agricultural Science* 6(2): 97-106. (In Persian with English abstract)
 39. Yoder BJ., and Waring RH. 1994. The normalized difference vegetation index of small Douglas-Fir canopies with varying chlorophyll concentrations. *Remote Sensing of Environment* 49: 81-91. [https://doi.org.10.1016.0034-4257\(94\)90061-2](https://doi.org.10.1016.0034-4257(94)90061-2).
 40. Zakeri Z., Azadi M., and 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 with English abstract)
 41. Zheng Y., Wu B., Zhang M., and Zeng H. 2016. Crop Phenology Detection Using High Spatio-Temporal Resolution Data Fused from SPOT5 and MODIS Products. *Sensors*, 16(12), 2099. <https://doi.org.10.3390.s16122099>
 42. Zoljoodi M., Ghazi Mirsaeed M., and 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 with English abstract)