

## سخن نخست

### هو، اقلیم و آب، میراث نسل‌های آینده

#### چکیده

شعار روز جهانی هواشناسی سال ۲۰۲۳ «آینده وضع هو، اقلیم و آب در گذر نسل‌ها» انتخاب شده و ناظر بر وضعیتی است که آیندگان با آن روبرو خواهند بود. یادداشت حاضر بیان می‌کند که گرچه تغییرات کمی و کیفی نامطلوب این سه مؤلفه که به انضمام مؤلفه خاک پایه‌های اصلی امنیت غذایی را تشکیل می‌دهند ابعاد جهانی داشته و بسیاری از مناطق را در بر گرفته است ولی آنچه درجه آسیب کشورها را در مقابل این تغییرات از یکدیگر متمایز می‌سازد نحوه مدیریت و تعامل بخشی بین منابع و مصارف آب و همچنین شیوه اجرای برنامه‌های تقابل، تاب‌آوری و سازگاری در مقابل بحران‌هاست. بررسی حاضر در سه محور یاد شده، به آسیب‌های واردہ بر وضع هو، آب و اقلیم در ایران پرداخته و تأکید می‌نماید که تغییر اقلیم و خشکسالی به تنها یکی مسبب بحران‌های زیست محیطی نیستند و به خصوص نقش خشکسالی و تغییر اقلیم در بروز بحران آب در مقایسه با نقش مدیریت منابع و مصارف آب، بسیار کمتر ارزیابی می‌شود و نتیجه‌گیری شده است که خشکسالی همانند ترسالی یک پدیده اقلیمی طبیعی، قابل انتظار و تکرار شدنی است. از تحلیل داده‌های ۱۲۰ ساله بارندگی چهار ایستگاه قدیمی ایران (اصفهان، بوشهر، تهران و مشهد) چنین نتیجه شده است که در ایران خشکسالی‌ها با دوام حداقل یک، دو، سه، چهار و پنج سال متوالی، صرف‌نظر از شدت آن‌ها، به طور میانگین هر چهار، هشت، ۱۷، ۳۳ و ۴۰ سال یکبار رخ می‌دهند. حقیقت این است که ثروت آبی کشور همین بارشی است که میانگین مکانی آن در گستره کشور بین ۱۴۰ تا ۳۵۰ میلی‌متر در سال‌های مختلف نوسان دارد و لازم است این محدودیت به عنوان پیش‌فرض اصلی چالش‌های هو، اقلیم، آب و خاک نسل حاضر و آینده در مد نظر قرار گیرد.

**واژه‌های کلیدی:** روز جهانی هواشناسی، چالش آب، چالش هو، چالش اقلیم، آینده محیط زیست

#### ورود به سخن

سازمان هواشناسی جهانی همه ساله بیست و سوم ماه مارس (سوم فروردین) را به مناسبت اجرایی شدن کنوانسیون تأسیس خود گرامی می‌دارد. شعار روز جهانی هواشناسی سال ۲۰۲۳ «آینده وضع هو، اقلیم و آب در گذر نسل‌ها»<sup>۱</sup> انتخاب شده و ناظر بر وضعیتی است که آیندگان با آن روبرو خواهند بود. شعاری که در بطن خود ارتباط بین پوسته زمین و انسان را یادآور می‌شود و توجه کشورهای عضو را به شرایط شکننده این ارتباط و مسئولیتی که نسل حاضر برای محافظت از هو و آب و اقلیم در قبال آیندگان دارد جلب می‌نماید. سه مؤلفه مرتبط که در این شعار آورده شده به انضمام مؤلفه خاک پایه‌های اصلی امنیت غذایی را تشکیل می‌دهند و متأسفانه شبیه تند تغییرات کمی و کیفی منفی آن‌ها داغده مردم، مدیران جامعه، دانشمندان و برنامه‌ریزان آینده‌نگر را تشکیل می‌دهد. واقعیت این است که حیطه اثر این مؤلفه‌ها که مستقل از یکدیگر نیز نیستند محدود به سرزمین خاصی نیست و ابعاد جهانی دارد و به عبارت دیگر این شکنندگی پدیده‌ای زمینی است نه سرزمینی ولی آنچه درجه آسیب کشورها را در مقابل این تغییرات از یکدیگر متمایز می‌سازد نقش مدیریت منابع آب و کارایی برنامه‌های تقابل، تاب‌آوری و سازگاری در مقابله با بحران‌هاست.

نگاهی گزرا به موارد بیان شده در شعار سازمان هواشناسی جهانی اهمیت هشدارهای مکنون در آن را آشکار می‌سازد. یکم، درباره هو: بررسی‌های روندیابی آماری و دینامیکی وضع هو، نشان می‌دهند که فراوانی انحراف زمانی و مکانی پدیده‌های هواشناسی از سیر طبیعی و نرمال وقوع آن‌ها افزایش یافته است. این انحراف در تاریخ و شدت وقوع پدیده‌های حدی همچون امواج گرمایی یا سرمایی شدید، تغییر تاریخ وقوع سرماهای زیان‌بخش فصلی، افزایش فراوانی تعداد رگبارهای سیل‌آسا، خاکبادها، و ریزگردها، کاهش روزهای هوای پاک و نظایر آن در مطالعات متعدد تأیید شده و ردگیری روند آن‌ها در ایران با همین آمار شصت ساله هواشناسی موجود امکان پذیراست و بعضی در قالب رساله‌ها و پایان‌نامه‌های تحصیلات تکمیلی دانشگاهی

<sup>1</sup> The future of weather, climate and water across generations

ایران با محوریت موضوعی «آشکارسازی تغییرات پارامترهای اقلیمی در ایران» درباره بسیاری از عوامل هواشناسی انجام شده است.

**دوم، اقلیم آینده:** تصویر اقلیم جهان در صورت ادامه روند کنونی نحوه تعامل انسان با محیط، بسیار شفافتر و پیامدهای آن در گذر زمان مستندتر است. اثرات تخریبی تغییر اقلیم که عمدتاً ناشی از افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای و پس از آن مربوط به کاهش پوشش‌های سبز کره زمین است در مقیاس ملی و جهانی بر همگان آشکار و بسیار به آن پرداخته شده است. همه کوشش‌ها در جهت این است که افزایش دمای آتمسفر زمین مهار شود و برای این منظور، انتشار گازهای گلخانه‌ای کاهش یابد و دست درازی به زمین‌های سبز محدود گردد. ولی عملأ نتایج تفاهمنهای بین‌المللی و آنچه در کاپ ۲۲ گذشت در حد «بهتراز هیچ» بود. متأسفانه در پژوهش‌های انجام شده نشانه‌ای از بهبود اقلیم یا توقف تخریب اقلیمی چه در مقیاس جهانی و چه در مقیاس ملی دیده نمی‌شود. به عنوان مثال میانگین ضریب خشکی سال به سال دمازن برای گستره ایران که در طول دوره اقلیمی (۱۹۶۰-۲۰۱۰) نوسانات نامنظمی بین ۴/۹ (اقلیم فراخشک) تا ۱۳/۳ (نیمه خشک) داشته است بطور متوسط با شبیه سه صدم میلیمتر بر درجه در سال روند کاهشی را نشان می‌دهد<sup>۱</sup> که نمایانگر رو به خشکی رفتن آب و هوای ایران در این دوره است. گفتنی است که این کاهش بیشتر ناشی از روند گرم شدن معنی دار آتمسفر زمین است نه تغییرات بدون روند بارندگی. به عنوان شاهدی دیگر در مطالعات آینده‌نگری تغییر پنهانه‌های اقلیمی ایران در طی قرن حاضر، افزایش اقلیمی‌های فراخشک ایران زیر سناریوهای A1B و A2 سال ۲۰۵۰ به ترتیب ۱۰/۵ و ۱۰/۲ درصد سطح فعلی آن‌ها برآورد شده است.<sup>۲</sup>

**سوم، درباره آب:** سازمان هواشناسی جهانی هشدار داده است که تقریباً نیمی از جمعیت جهان در حال حاضر حداقل برای بخشی از سال با کمبود شدید آب مواجه هستند و انتظار می‌رود که این وضعیت بدتر شود. این هشدار از آن رو شایسته توجه است که سرمنشأ همه آب‌ها بارندگی است و این که آب اساسی ترین و در عین حال محدودترین ثروت هر سرزمین به حساب می‌آید. ثروتی که چه کم و چه زیاد چنانچه در هزینه کردن آن رعایت اعتدال نشود زیان‌های چند بعدی آن قابل جبران نخواهد بود. سیمای اقلیمی بارندگی در ایران در سال‌های گذشته توسط کارشناسان حوزه آب تقریباً بطور واضح ترسیم شده است. میانگین پنجاه ساله بارش سالانه‌ی سطح کشور بر اساس برآورد دفتر مطالعات پایه منابع آب ایران حدود ۲۵۰ میلی‌متر گزارش شده که بین ۱۴۰ تا ۳۵۰ میلی‌متر در سال‌های مختلف نوسان داشته است. تصویر تقریبی‌ای از وضعیت بارش در طی دوره درازمدت (۲۰۱۴-۱۸۹۴) نیز بر اساس آمار چهار ایستگاه قدیمی بوشهر، اصفهان، تهران و مشهد که معرف اقلیمی‌های خشک و یا نیمه خشک ایران می‌باشند نیز در دسترس است و به کمک روابط همبستگی گسترش سری بارش‌های ۶۰-۵۰ ساله ایستگاه‌های هواشناسی سینوبیتیک فعلی به ۱۲۱ ساله قابل تعمیم و برآورد است. تحلیل این داده‌ها نشان می‌دهد که بطور میانگین در ۲۳٪ سال‌ها (تقریباً هر چهار سال یکبار) نوعی از خشکسالی‌ها با شدت (SIAP $\leq$ 0.5)<sup>۳</sup> و در همین حدود تراسی (اعم از نسبتاً مرطوب تا خیلی مرطوب با شدت (SIAP $\geq$ +0.5) را تجربه کرده‌ایم. همچنین به طور میانگین خشکسالی‌های متوالی دو ساله یا بیشتر ایران در هر ۱۰۰ سال ۱۳ بار، سه ساله یا بیشتر ۶ بار و ۴ ساله یا بیشتر ۳ بار رخ می‌دهند و تنها یک مورد یک خشکسالی که ده سال متوالی ادامه داشته در اواسط قرن بیستم به وقوع پیوسته است. البته به علت گستردگی جغرافیایی و تنوع اقلیمی کشور وسعت و شدت پنهانه‌های تحت تاثیر خشکسالی‌ها و تراسالی‌های متفاوت‌اند.<sup>۴</sup> پیگیری انتزاعی آماری تغییرات بارش سالانه در شبکه جامع ایستگاه‌های هواشناسی ایران، فرض تصادفی بودن پدیده تراسال یا خشکسال بودن یک سال معین در سری‌های زمانی مربوط، چه در شرایط تغییر اقلیم و چه در شرایط پیشین را مردود نمی‌شمارد. فرضی که از نظر تاریخی در نیایش کورش و ترانه‌های باران‌خواهی ملل و ادعیه ادیان مختلف در طی اعصار نیز منعکس است و بنابراین

<sup>1</sup> Climate change impacts in Iran: Assessing our current knowledge; Theoretical and applied climatology, 2019, 135, 545-564

<sup>2</sup> Climate of Iran; Chapter3 in The Soils of Iran.; Springer Nature, 2018, 25 pages.

[https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-69048-3\\_3](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-69048-3_3)

<sup>3</sup> SIAP: Standard index of annual precipitation:  $(P_{\text{year}} - P_{\text{mean}}) / SD_p$  with  $P = \text{Annual precipitation}$ .

<sup>4</sup> Spatial analysis of meteorological drought in Iran from 1965 to 2003. Desert:2013 18: 63-71.

خشکسالی یک حادثه اقلیمی معمولی است و بر این اساس ساده‌انگاری است که همه یا حتی بخش مهمی از مسایل بحران آب را به گردن خشکسالی‌ها یا تغییر اقلیم بیندازیم و قویاً چنین به نظر می‌رسد که نقش تغییر اقلیم یا خشکسالی در بحران آب بسیار کم‌رنگ‌تر از نقش مدیریت در تعادل بخشی بین منابع و مصارف آب است.

حقیقت این است که موجودی اقلیمی آب کشور در گذر زمان همواره در همین حدود که هست، بوده است و در طول اعصار همین مقدار آب، برکه‌ها و تالاب‌های ما را پرآب، رودخانه‌هایمان را جاری و آبخوان‌هایمان را پرمرق و اکوسیستم‌های ما را تا همین چند دهه پیش سرپا و سرفراز نگه داشته بود. اینک چرا چنین در تنگنای معیشت آبی قرار گرفته‌ایم؟ پاسخ این است که دانسته و ندانسته در بهره‌گیری و حفاظت از سرمایه‌های خدادادی زیست‌بومان هم برای خود و هم برای آینده‌گان مراقبت و امانت‌داری لازم و مدیریت کارساز نداشته‌ایم. نظم طبیعی توزیع آب‌های سطحی را به هم زده‌ایم و فشاری فراتر از تاب‌آوری آبخوان‌ها بر آب‌های زیرزمینی وارد کرده‌ایم. مسلم است که ادامه روش کنونی در بهره‌گیری از منابع آب، به خصوص منابع لاغر آب زیرزمینی و تخصیص نامتوارزن مصرف آن در بخش‌های مختلف کشاورزی، محیط زیست، صنعت، و شرب و شهری و نیازهای وابسته به جمعیت رو به رشد و بسیاری دیگر، خدماتی به کشور وارد خواهد ساخت که جبران آن زمان بر، پرهزینه، دیربازد و گاه‌اً غیرممکن خواهد بود. بی‌انصافی نیست که بگوییم «بحran آب قهر طبیعت نیست، جهالت انسان است».

**چهارم، راه دشوار برونو رفت:** به نظر می‌رسد که گام اصلی برای فایق آمدن بر دشواری‌های موجود آسیب‌شناسی اقدامات انجام شده و پذیرش نگاه‌های انتقادی به روش‌ها، قوانین و عملکرددهایی است که مستقیم یا غیرمستقیم در ایجاد این شرایط اثرگذار بوده‌اند. این نگرش به تکرار در نوشه‌های کارشناسان مستقل و دانشگاهی و در محصولات اتاق‌های فکر و در گروه‌های فنی فضای مجازی به طور انتزاعی منعکس شده ولی جمع‌بندی، قانون‌مند و گاه‌اً شنیده نشده‌اند. از جمله در رهنمودهایی که تاکنون در مورد آب کشاورزی و اقلیم دیده شده موضوعاتی محوری همچون مدیریت تلفیقی جریان‌های زیست محیطی و کشاورزی آب، اصلاح قانون آب، کاهش تدریجی مصرف آب کشاورزی، برنامه‌ریزی قانونمند برای سازگاری با کم آبی، مشارکت دادن کاربران در برنامه‌ریزی مدیریت آب، توسعه فناوری‌های جدید بوم‌سازگار، فرهنگ‌سازی استفاده صحیح از آب، ارزیابی اقتصادی زیست محیطی تکنیک‌های شیرین کردن آب دریاهای آزاد و پیشنهادهای سازنده دیگر مطرح شده است که امید است خوانده شود و با استفاده از تجربیات بدنه کارشناسی قوی و مستقل کشور و تجربه‌های جهانی مورد استفاده مدیران و تصمیم‌سازان قرار گیرد.

سردبیر: علی خلیلی

استاد دانشگاه تهران

[akhalili@ut.ac.ir](mailto:akhalili@ut.ac.ir)



## Editorial Topic

### Weather, Climate, and water; the heritage of future generations

#### Abstract

The World Meteorological Day 2023's theme is "The Future of Weather, Climate and Water across Generations" and it refers to the situation that the future will face. These three components together with the soil element form the main fundamentals of food security. The current note states that although the quantitative and qualitative unfavorable variations of these three components have global dimensions and covers many regions of the world , but what differentiates countries from each other in terms of the degree of damages due to these changes is the ways of managing and balancing water resources and water consumptions, as well as the implementation of resistance, resilience and adaptation programs in the face of crises. This study deals with the damages caused to the weather, water and climate in Iran and emphasizes that climate change and drought alone are not the cause of environmental crises. Especially, the effects of drought and climate change in the occurrence of water crisis are much less compared to the effect of water resources management. It has been concluded that drought like wet year is a natural, expectable and repeatable climatic phenomenon. Based on the 120 years rainfall data analysis of four old stations in Iran (Isfahan, Bushehr, Tehran and Mashhad) it has been concluded that the one, two, three, four and five consecutive years lasting droughts in Iran, regardless of their severity, occur once every four, eight, 17, 33 and 40 years in average. In fact, the water wealth of the country is the rainfall that the spatial average of which fluctuates between 140 and 350 millimeters in different years and it is necessary to consider this limitation as fundamental assumption in weather climate, water and soil challenges of the present and future generations.

**Keywords:** World Meteorological Day, water challenge, climate challenge, weather challenge, future of the environment

Ali Khalili

Chief Editor

Prof. Emeritus; Univ. of Tehran

akhalili@ut.ac.ir

## ارزیابی روش‌های نگاشت چندکی در تصحیح اریبی برآوردهای بارش ماهواره TRMM در دوره رشد پوشش گیاهی (آوریل تا اکتبر) در استان کرمانشاه

سعیده کمالی<sup>۱</sup>، جواد بذرافشان<sup>۲\*</sup>، زهرا آقاشریعتمداری<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۳/۲۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۰۴

### چکیده

پوشش جهانی ماهواره TRMM امکان مناسبی برای استفاده از بارش برآوردهای ماهواره مذکور در کشور فراهم نموده است. در ایران، مطالعات اندکی کارایی روش‌های پسپردازش را در تصحیح دادهای بارش TRMM مورد بررسی قرار داده‌اند. هدف از این مطالعه، ارزیابی کارایی روش‌های نگاشت چندکی در بهبود داده‌های بارش TRMM در مقایسه با داده‌های زمینی است. برای این منظور، ۱۰ روش نگاشت چندکی بر شبکه بارش TRMM در پهنه استان کرمانشاه در مقیاس زمانی ماهانه (ماه‌های آوریل تا اکتبر) طی دوره آماری ۵۰۰۰-۱۲۰۰۰ اعمال گردید. مبنای مقایسه، داده‌های بارش اندازه‌گیری شده در دوره زمانی مذکور در ۱۳ ایستگاه همدید و ۸۲ ایستگاه باران‌ستجی بود. نتایج نشان داد که قبل از اعمال روش‌های تصحیح، برآوردهای بارش TRMM در مناطق مرتفع بیشتر و در مناطق پست و کمارتفاع کمتر از مقادیر مشاهداتی در ایستگاه‌های زمینی است. به علاوه، مشخص شد که اختلاف بین بارش ماهواره‌ای و ایستگاه‌های زمینی در ماه‌های با بارش بیشتر (ماه آوریل و اکتبر) بسیار بیشتر از ماه‌های با بارش کمتر است. روش پارامتری تبدیل مقیاس با کمترین خطای عنوان مناسب‌ترین روش تصحیح معروفی شد. نتایج پسپردازش داده‌ها نشان داد که روش مذکور توانسته است دقت داده‌های بارش TRMM را بهبود دهد. به علاوه، ضریب همبستگی بین داده‌های زمینی و ماهواره‌ای بارش در محدوده ۰/۷۳ تا ۰/۹۴ (معنی‌دار در تراز ۵ درصد) تغییر نمود، که بالاترین همبستگی‌ها در مقایسه بارش ایستگاه‌های همدیدی و TRMM به دست آمد.

### واژه‌های کلیدی: بارش، نگاشت چندکی، ماهواره TRMM، تصحیح اریبی، کرمانشاه

مکانی این پدیده، استفاده از روش‌های مختلف در تحلیل فضایی بارش ممکن است نتایج مناسبی عاید نسازد. به علاوه ممکن است به خاطر تأخیر زمانی در ارائه داده‌ها و نقصان و خطای داده‌های اندازه‌گیری، امکان کاربرد آن‌ها در تحلیل‌های منطقه‌ای به‌هنگام وجود نداشته باشد. دیگر اینکه، اندازه‌گیری بارش به صورت نقطه‌ای انجام می‌شود و بنابراین امکان استفاده از آن‌ها برای تعیین مقدار بارش در مقیاس مکانی بزرگ وجود ندارد. از این‌رو، استفاده از روش‌های نوین (مثل روش‌های سنجش از دور) برای شناسایی الگوهای بارش و تخمین بارش

### مقدمه

بارش یکی از عناصر پیچیده و تعیین‌کننده اقلیم جهانی محسوب می‌شود که به ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک دارای تغییرات زمانی و مکانی زیادی است. اندازه‌گیری دقیق بارش عامل مهمی در ارزیابی موجودی آب این مناطق (خشک و نیمه‌خشک) برای پاسخ‌گویی به نیاز بخش‌های مختلف کشاورزی، صنعت و شرب است (Katirai Borujerdi, 2013). به دلیل تراکم کم ایستگاه‌های اندازه‌گیری بارش و ناپیوستگی

<sup>۱</sup> دانشجوی دکترای هواشناسی کشاورزی، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشگاه تهران

<sup>۲</sup> دانشیار، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشگاه تهران

نحوه ارجاع مقاله:

کمالی، س.، بذرافشان، ج.، آقاشریعتمداری، ز. ۱۴۰۱. ارزیابی روش‌های نگاشت چندکی در تصحیح اریبی برآوردهای بارش ماهواره TRMM در دوره رشد پوشش گیاهی (آوریل تا اکتبر) در استان کرمانشاه. نشریه هواشناسی کشاورزی، ۱۰(۲): ۱۶-۴۰. DOI: 10.22125/agmj.2022.289694.1117  
Kamali, S., Bazrafshan, J., Aghashariatmadari, Z. 2023. Evaluation of quantile mapping methods in bias correction of the TRMM satellite's estimated precipitation data during vegetation growth period (Apr-Oct) in Kermanshah province. Journal of Agricultural Meteorology, 10(2): 4-16. DOI: 10.22125/agmj.2022.289694.1117

که در فصل‌های پرباران، ماهواره مذکور مقدار بارش را بیشتر برآورد می‌کند. به علاوه، مشخص شد که در مقیاس زمانی ماهانه (در مقایسه با روزانه) همبستگی بسیار زیادی بین داده‌های ایستگاهی و ماهواره وجود دارد. البته، در مطالعه مذکور هیچگونه تحلیلی روی خطاها و اصلاح شبکه انجام نشده است. Nastos et al., (2016) ۹۶ ایستگاه هواشناسی یونان اقدام به ارزیابی داده‌های بارش شبکه نقاط TRMM در دوره آماری ۱۹۹۸-۲۰۰۸ نمودند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که در فصل زمستان همبستگی بالایی بین دو مجموعه داده وجود دارد و در فصل تابستان بی‌نظمی‌هایی از نظر نتایج در ارتفاعات مختلف مشاهده می‌شود. به عبارت دیگر، ماهواره مقدار بارش را در مناطق با ارتفاع بالا کمتر و در مناطق هموار مثل دشت‌ها بیشتر برآورد می‌کند. Ward et al., (2011) ۱۲ ایستگاه همدیدی طی یک دوره ۱۵ ساله مقایسه کردند. از PERSIANN و TRMM اطلاعات بارش روزانه ماهواره‌های TRMM و PERSIANN در دامنه‌های جنوبی کوه‌های البرز، ایران پرداختند. برای این منظور، داده‌های بارش ماهواره‌ای را با داده‌های بارش PERSIANN و TRMM مقایسه کردند نتایج نشان داد که بین داده‌های بارش سنجه‌های آماری MAE و RMSE و Bias برای ارزیابی خطا استفاده کردند. Hirpa et al., (2010) ۰/۴۲۷ برای PERSIANN وجود دارد. ۰/۴۰۲ تا ۰/۲۲۸ برای CMORPH<sup>۳</sup> را با داده‌های بارش ایستگاه های زمینی در مناطق پیچیده اتوپی مقایسه کرده و نتیجه گرفتند که هر سه محصول، مقدار بارش را در مناطق مرتفع بیشتر از مقدار مشاهداتی برآورد می‌کنند. Sharifi et al., (2016) با ارزیابی

در بزرگ‌مقیاس ضروری خواهد بود (Turso et al., 2013). امروزه داده‌های ماهواره‌ای توجه محققان زیادی را در برآورد بارش در مقیاس منطقه‌ای به خود جلب کرده است زیرا این داده‌ها بهخصوص برای مناطقی که دارای ایستگاه‌های هواشناسی نیستند نیز قابل دسترس می‌باشند (Ghajarnia et al., 2015). ماهواره‌ها با بهره‌گیری از امواج مایکروویو فعال و غیرفعال رادار و سنجنده‌های فعال در نور مرئی و مادون قرمز، قادر به تخمین بارش در مقیاس زمانی کوتاه‌مدت برای کل دنیا می‌باشند. از جمله ماهواره‌هایی که در زمینه اندازه‌گیری بارش استفاده می‌شود ماهواره (TRMM)<sup>۱</sup> است. ماهواره TRMM اولین ماهواره‌ای است که بارش را در سه بعد (۱) اندازه‌گیری شدت و توزیع باران، (۲) تخمین عمق طوفان و (۳) اندازه‌گیری آب معادل ذوب برف بررسی می‌کند (Shirvani and Fakhari Zade Shirazi, 2014). قبل از استفاده کاربردی از داده‌های ماهواره‌ای لازم است این داده‌ها با داده‌های زمینی مقایسه شده و در صورت لزوم تا حد ممکن تصحیح شوند. محققان زیادی به بررسی دقیق داده‌های بارش ماهواره TRMM پرداخته‌اند که در ادامه، به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود. Javanmard et al., (2010) دقیق داده‌های بارش روزانه ماهواره TRMM را در گستره ایران مورد ارزیابی قرار دادند و نتیجه گرفتند که اگرچه TRMM مقدار بارش را کمتر برآورد می‌کند، اما دارای تطابق خوبی با داده‌های ایستگاهی از نظر الگوها و میزان بارش در مناطق با بارش زیاد است. Mohammadi and Vazifeh Doust (2014) داده‌های بارش ماهانه TRMM و داده‌های ایستگاه‌های زمینی در استان خراسان رضوی نمودند و نتیجه گرفتند که TRMM از توان قابل قبولی در تعیین مقدار بارش در ماههای پرباران برخوردار است اما در اکثر موارد مقدار بارش توسط ماهواره TRMM بیش از میانگین ایستگاه‌های زمینی بوده است. Darand et al., (2017) دقیق داده‌های TRMM در تخمین مقدار بارش روزانه و ماهانه اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های هواشناسی ایران را برای دوره‌ی آماری ۱۶ ساله ۱۹۹۸-۲۰۱۳ ارزیابی کردند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد

<sup>۳</sup>. Climate Prediction Center Morphing Algorithm

<sup>۱</sup> Tropical Rainfall Measuring Mission

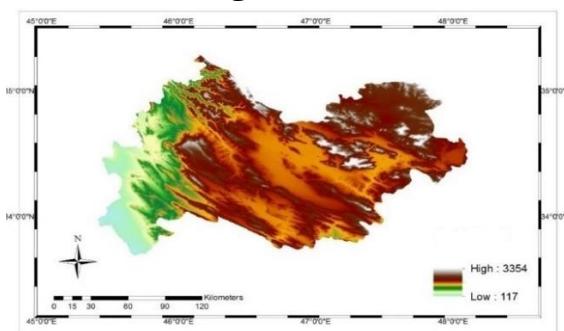
<sup>۲</sup> Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information using Artificial Neural Networks

ماهواره‌ای از روش تصحیح اربی نگاشت چندکی بر مبنای طبقه‌بندی هیدرواقلیمی در گوانا استفاده کردند. در این مطالعه از داده‌های بارش ۹۳ باران‌سنج در مقیاس روزانه و همچنین داده‌های بارش ماهواره TRMM طی دوره ۲۰۱۲-۲۰۰۱ استفاده کردند. در این تحقیق برای بررسی صحت داده‌ها از سنجه‌های آماری RMSE و MBE استفاده کردند. همچنین در نهایت نتیجه گرفتند که استفاده از این روش تصحیح باعث بهبود کیفیت داده‌های بارش TRMM می‌شود و می‌توان از این روش برای تصحیح داده‌های TRMM در مقیاس بزرگ‌تر استفاده کرد. از دیگر تحقیقات انجام شده در زمینه اعتبارسنجی داده‌های بارش ماهواره TRMM در مقایسه با شبکه‌های اندازه‌گیری زمینی، می‌توان به Karasva et al., (2007) Ghafourian et al., (2016) Shirvani and et al., (2007) Fakhari Zade Shirazi (2014) Ha et al., (2012) و Mahdiha et al., (2013) اشاره کرد. تمامی این مطالعات نشان داده‌اند که هرچند همبستگی‌های مثبت و معنی‌داری بین داده‌های مشاهداتی و داده‌های ماهواره TRMM وجود دارد اما داده‌های خام TRMM خطای زیادی داشته و استفاده از آن‌ها نیازمند واسنجی است. همچنین، اکثر پژوهش‌های انجام شده در زمینه واسنجی داده‌های بارندگی TRMM اغلب در خارج از کشور انجام شده است و تعداد محدودی مطالعات در این زمینه در ایران انجام شده است از جمله به مطالعه Erfanian et al., (2016) می‌توان اشاره کرد در این مطالعه نتیجه گرفتند هرچند که روش رگرسیون خطی باعث بهبود کیفیت داده‌های TRMM شده است اما در بعضی مناطق نتوانسته خطای داده‌های TRMM را کاهش دهد. بنابراین نیاز است دیگر روش‌های واسنجی استفاده شوند تا بتوان در مورد تاثیر ضرایب تصحیح و واسنجی قضاوت کرد. همچنین با توجه به اینکه بارش یکی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار در تغییرات پوشش گیاهی، بهخصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک، است. بنابراین هدف از این مطالعه ارزیابی دقت داده‌های بارش ماهواره TRMM و تصحیح آن با روش‌های مختلف نگاشت چندکی در استان کرمانشاه در دوره رشد پوشش گیاهی (آوریل تا اکتبر) هدف‌گذاری شده است. ذکر این نکته لازم است که تاکنون مهارت روش‌های نگاشت چندکی برای تصحیح داده‌های بارش TRMM در کشور آزموده نشده است.

و مقایسه داده‌های روزانه GPM با چهار منطقه اقلیمی ایران بیان کردند که هرچند در مقیاس روزانه هر سه پایگاه داده مقادیر بارش را کمتر از مقدار واقعی برآورد می‌کنند. با وجود این، داده‌های سنجنده GPM از عملکرد بهتری نسبت به TRMM و Era-Enterim بروخوردار است. همچنین (Mirri et al., 2019) به ارزیابی دقت برآورد بارش روزانه پایگاه داده‌های TRMM و GPM در مقابل داده‌های مشاهده‌ای در ایران پرداختند. داده‌های مورد استفاده آن‌ها شامل داده‌های بارش روزانه ۷۱ ایستگاه همدیدی منتخب و داده‌های شبکه‌بندی شده بارش TRMM با قدرت تفکیک مکانی  $0.25 \times 0.25$  درجه جغرافیایی طی دوره زمانی ۲۰۱۴-۲۰۱۶ بود. نتایج به دست آمده نشان داد که در حالت کلی مقادیر بارش روزانه سنجنده‌های نام برده شده از دقت مناسبی در سطح ایران بروخوردار نیستند و میزان خطای بارش برآورده برای بیشتر ایستگاه‌ها قبل توجه است. همچنین دقت داده‌های روزانه سنجنده GPM در سطح ایران نسبت به داده‌های TRMM بیشتر است. (Zulkafli et al., 2018) به تجزیه و تحلیل عملکرد داده‌های بارش TRMM با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های باران‌سنجی در حوضه رودخانه پانگ پرداختند. نتایج سنجه‌های خطای نشان داد که ارتفاع منطقه بر عملکرد داده‌های TRMM تاثیر می‌گذارد؛ به طوریکه مقدار خطای در مناطق مرتفع و دارای ارتفاع متوسط بیشتر است. همچنین، TRMM مقدار بارش را در فصول مرطوب بیشتر و در فصول خشک کمتر از مقدار مشاهداتی برآورد می‌کند. نتایج به کارگیری روش اصلاح اربی برای تصحیح داده‌های بارش TRMM نشان داد که اصلاح اربی میانگین باعث بهبود داده‌های TRMM می‌شود. (Erfanian et al., 2016) به ارزیابی صحت داده‌های بارش ماهواره TRMM در ۸۷ ایستگاه همدیدی ایران در ۶ ناحیه اقلیمی مختلف پرداختند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که داده‌های TRMM دارای خطای قابل توجهی هستند. بنابراین، از روش رگرسیون خطی برای تصحیح این داده‌ها استفاده کردند. بعلاوه، مشخص شد که داده‌های واسنجی شده TRMM در بیشتر نواحی و ایستگاه‌ها، مشابه مقادیر مشاهداتی است و در نواحی اقلیمی شمال ایران خطای داده‌های ماهواره‌ای کاهش یافته است. (Ringard et al., 2015) در تحقیقی برای تصحیح تولیدات بارندگی

### منطقه مورد مطالعه

استان کرمانشاه با مساحتی معادل ۴۳۴۲۴ کیلومتر مربع که در میانه ضلع باختری ایران بین ۳۳ درجه و ۳۶ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۱۵ دقیقه شمالی و ۴۵ درجه و ۲۴ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۳۰ دقیقه طول شرقی واقع شده است. ارتفاع استان در دامنه ۱۱۷ تا بیش از ۳۰۰۰ متر تغییر می‌کند (شکل ۲). به دلیل موقعیت خاص اقلیمی و بارش بهموقوع و کافی از مناطق شمال غربی تا جنوب شرقی یعنی از ارتفاعات اورامانات تا منطقه زردهان و هلیلان، دارای دره‌های پوشیده از جنگل و مراع است. میانگین بارش سالانه بین ۳۰۰ تا ۸۰۰ میلی متر متغیر است، به طوری که نیمه غربی آن مقدار بیشتری از ریزش‌های جوی استان را دریافت می‌کند.



شکل ۲- نقشه مدل رقومی ارتفاع (DEM) استان کرمانشاه (www.earthexplorer.usgs.gov) (متر)

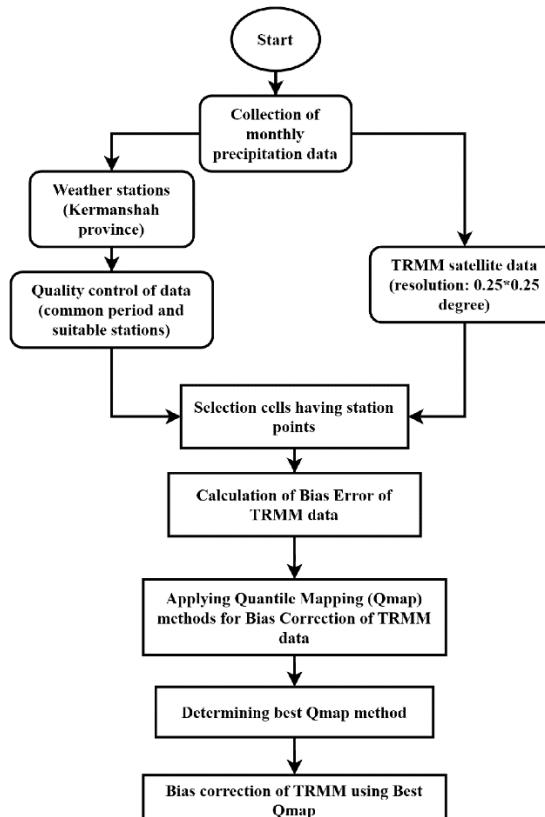
Figure 2- Digital Elevation Model (DEM) of the Kermanshah province (in m)

### داده‌های مورد استفاده

در این مطالعه، سه مجموعه داده بارش در مقیاس ماهانه (ماه‌های دوره رشد: آوریل-اکتبر) در منطقه مطالعاتی مورد استفاده قرار گرفت. ۱) داده‌های ماهانه بارش مشاهده شده مربوط به ۱۳ ایستگاه هواشناسی همدیدی در استان کرمانشاه که از سازمان هواشناسی کشور تهیه شد. طولانی‌ترین دوره آماری مربوط به ایستگاه کرمانشاه است که دوره زمانی ۸۲-۱۹۵۱ را پوشش می‌دهد. ۲) داده‌های ماهانه ۱۹۵۱-۲۰۱۶ را پوشش می‌دهند. ۳) داده‌های ماهانه بارش ایستگاه باران‌سنگی در استان کرمانشاه که از سازمان مدیریت منابع آب ایران تهیه شد، که طولانی‌ترین آن‌ها دوره زمانی ۱۹۵۱-۲۰۱۲ را پوشش می‌دهند. ۴) داده‌های ماهانه بارش نسخه ۷ ماهواره TRMM که از پایگاه سازمان فضایی و

### مواد و روش‌ها

مراحل اجرای این تحقیق در روند نمای شکل ۱ ارائه شده است. با توجه به شکل ۱، فرایند تحقیق با گردآوری داده‌های مرجع زمینی در استان مورد مطالعه (کرمانشاه) و همچنین اطلاعات بارش شبکه نقاط ماهواره TRMM در مقیاس ماهانه آغاز می‌شود. پس از کنترل‌های اولیه از نظر کیفیت آمار، دوره آماری مشترک داده‌های زمینی و شبکه ماهواره تعیین می‌شود. در مرحله بعد، با توجه به هدف تحقیق، مناسب‌ترین ایستگاه زمینی (نزدیک به مرکز سلول‌های شبکه) انتخاب می‌شود. در نهایت، به کمک روش نگاشت چندکی<sup>۱</sup>، تصحیح اربیبی داده‌های بارش شبکه در مقایسه با نقاط مرجع زمینی انجام شده و عملکرد روش‌های مختلف نگاشت چندکی در تصحیح اربیبی داده‌های شبکه با استفاده از شاخص‌های خطای ارزیابی می‌شود. نتیجه این مطالعه، ارائه روش مناسب نگاشت چندکی برای تصحیح اربیبی شبکه بارش TRMM خواهد بود.



شکل ۱- مراحل انجام تحقیق

Figure 1- Flowchart of the study

<sup>1</sup> Quantile Mapping

شکل ۳، از مجموع ۳۷ سلول شبکه در سطح استان که ایستگاه زمینی در آن‌ها قرار داشت، مشخص شد که ۲۶ سلول دارای ایستگاه‌های مناسب زمینی هستند و روش نگاشت چندکی براین ۲۶ سلول اعمال شد. جدول ۱ شماره سلول‌های مورد بررسی را به همراه نزدیک‌ترین ایستگاه منتخب در هر یک از سلول‌ها نشان می‌دهد. باید ذکر شود که سلول‌هایی که ایستگاه زمینی فاصله زیادی از مرکز سلول داشت، عملأ در تحلیل چندکی مورد استفاده قرار نگرفتند.

جدول ۱- ایستگاه‌های زمینی موجود در هر یک از سلول‌های شبکه TRMM

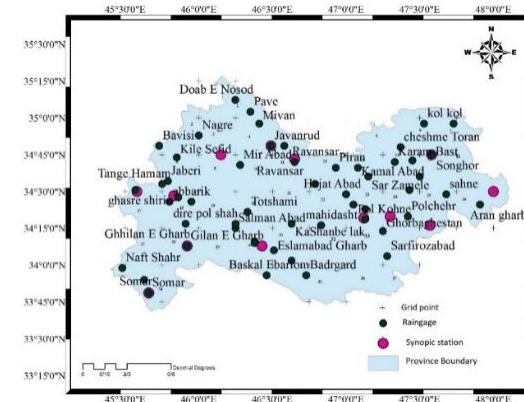
Table 1 - Ground stations in each of the cells of the TRMM network

Station	Cell number
Doab E Nosod- Pave*	1
Nagre*	2
Bon chele* - Mivan- Javanroud- Javanroud Sinoptik	4
Cheshme E Toran*	5
Kol Kol*- Songhor- Songhor Ghelyayi	6
Khosro Abad Songhor*	7
Kile Sefid*- Jaber- Tange Hamam	8
Kamal Abad*- Sarzamele	9
Mir Abad*- Taze Abad	10
Doab Mark*- Ravansar- Ravansar (Sinoptik)	12
Kamal Abad*- Piran	13
Sarzamele- Karam Bast*	14
Pire Salman- Cheragh Abad*- Biston Heydar Abad	15
Ghasre Shirin- Ghasre Shirin (Sinoptik)	17
Abbarik*- Sarpol E Zahab- Sarpol E Zahab (Sinoptik)	18
Mahaki Habibvand*- Dire Pol Shah	19
Totshami*- Mokhaberat Kerend	20
Kashanbe Lak*	21
Mahidasht*	22
Hojat Abad- Markaze Pazhoheshi*- Taghbostan- Kermanshah- Pol Kohne	23
Sararud	24
Pol Chehr*- Harsin	25
Sahne	26
Ghelangharb- Ghilangharb (Sinoptik)*	28
Khosro Abad Kerend- Firoz Abad Kerend	29
Eslam Abad- Eslam Abad (Sinoptik) * - Kale Chon Chamrvand	30
Ghorbaghestan- Sarfiroz Abad*	33
Somar- Somar (Sinoptik)*	34
Badrgard*	35

ایستگاه زمینی مناسب در هر سلول با علامت \* مشخص شده است. در برخی سلول‌ها هیچ ایستگاهی انتخاب نشده است. موقعیت جغرافیایی هر یک از سلول‌ها در شکل ۲ آورده شده است.

The appropriate ground station in each cell is marked with a \* sign. In some cells no station is selected. The geographical location of each cell is shown in Figure 2.

هوانوردی آمریکا استخراج گردید. این داده‌ها دارای قابلیت تفکیک  $0.25 \times 0.25$  درجه طول و عرض جغرافیایی هستند و فاصله زمانی ۱۹۹۸-۲۰۱۲ را پوشش می‌دهند. پوشش مکانی ایستگاه‌های هوشناسی، باران‌سنجی و شبکه نقاط ماهواره در شکل ۳ ارائه شده است. قبل از مقایسه داده‌های شبکه و نقاط ایستگاهی زمینی، کنترل‌های کیفی اولیه از نظر طول دوره آماری، خلاصه‌های داده‌ای و آزمون‌هایی برای تحلیل همگنی و تصادفی بودن داده‌ها انجام شد. بررسی‌ها نشان داد که دوره مشترک ۸ ساله ۲۰۱۲-۲۰۰۵ می‌تواند به عنوان دوره مناسب برای ارزیابی داده‌های ماهواره انتخاب شود. در مجموع، در این مطالعه، مشخص شد از بین ۹۵ ایستگاه زمینی، ۶۷ ایستگاه واجد آمار با کیفیت مناسب هستند که از این تعداد ۱۰ ایستگاه مربوط به ایستگاه‌های هوشناسی همدیدی می‌باشد (شکل ۳).



شکل ۳- شبکه نقاط  $0.25 \times 0.25$  درجه طول و عرض

جغرافیایی داده‌های TRMM همراه با ایستگاه‌های زمینی در استان کرمانشاه

Figure 3- Grid points of  $0.25 \times 0.25$ -degree latitude and longitude related to TRMM data along with ground stations in Kermanshah province

### انتخاب ایستگاه‌های مرجع زمینی

به منظور مقایسه داده‌های بارش شبکه TRMM با داده‌های زمینی در روش‌های نگاشت چندکی، باید ایستگاه‌های مرجع زمینی مناسب انتخاب شود. به طور معمول، نزدیک‌ترین ایستگاه زمینی به مرکز هر یک از سلول‌های شبکه به عنوان ایستگاه مرجع انتخاب می‌شود. پراکنش نقاط ایستگاهی و توزیع سلول‌های شبکه در شکل ۳ آورده شده است. طبق

سلول‌های واحد ایستگاه زمینی تعیین می‌شود. سپس، به کمک یک رابطه مناسب بین چندک‌های بارش مشاهده‌ای و بارش TRMM می‌توان داده‌های شبکه بارش TRMM را اصلاح نمود. روابط چندکی مورد بررسی در این مطالعه در جدول ۲ آورده شده است. در این مطالعه، برای اجرای روش‌های مختلف نگاشت چندکی از بسته نرم‌افزاری qmap نسخه ۱.۰-۴ (۲۰۱۶) در محیط نرم‌افزار R استفاده شد (Package qmap, 2016).

### نگاشت چندکی

روش نگاشت چندکی از دسته روش‌های تصحیح اریبی<sup>۱</sup> داده‌های بزرگ‌مقیاس است که توزیع احتمال داده‌های بزرگ‌مقیاس را بر مبنای اطلاعات مشاهده‌ای ایستگاهها اصلاح کند. هدف از این روش، در واقع، نزدیک نمودن توزیع احتمال داده‌های بزرگ‌مقیاس به توزیع احتمال داده‌های ایستگاهی است. برای این منظور، ابتداتابع توزیع تجمعی (CDF) داده‌های مشاهده‌ای و داده‌های بزرگ‌مقیاس TRMM در

### جدول ۲- روش‌های مختلف نگاشت چندکی

Table 2- Different methods of quantile mapping

Calculation form	Method
$p_o = F_o^{-1}(F_m(p_m))$	distribution derived transformations (DIST)
$p_o = bp_m^c$	(Power)
$p_o = (a + b.p_m)$	(Liner)
$p_o = (a + b.p_m)(1 - \exp(-p_m/\tau))$	(expasympt)
$p_o = b.p_m$	(Scale)
$p_o = b(p_m - X_0)^c$	(power.x0)
$p_o = (a + b.p_m)(1 - \exp(-(p_m - X_0)/\tau))$	(expasympt. x0)
Non-parametric quantile mapping using empirical quantiles	QUANT
Non-parametric quantile mapping using robust empirical quantiles	RQUANT
Quantile mapping using a smoothing spline	SSPLINE

.(Package qmap, 2016) \*

$$r = S_{x,y} / S_x S_y \quad (4)$$

که در آن  $r$  مقدار متغیر اندازه‌گیری شده در زمان  $t_i$  مقدار متغیر برآورد شده از ماهواره در زمان  $t_i$  طول سری زمانی،  $S_x$  و  $S_y$  به ترتیب کواریانس بین  $x$  و  $y$ ، انحراف معیار  $x$  و انحراف معیار  $y$  می‌باشند. ضریب همبستگی پیرسون ( $r$ ) در صورتی معنی‌دار است که در شرط معادله ۵ کند.

$$\left| \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}} \right| > t_{\alpha/2, (n-2)} \quad (5)$$

که  $t_{\alpha/2, (n-2)}$  مقدار آماره  $t$ -student در سطح معنی‌داری  $\frac{\alpha}{2}$  درجه آزادی  $n-2$  (طول دوره آماری) است. مقدار خطای به دست آمده از سنجه‌های ۱ تا ۳ به واحد متغیر مورد اندازه‌گیری بیان می‌شود. سنجه RMSE اطلاعاتی را درباره کارایی کوتاه‌مدت مدل از طریق مقایسه جمله به جمله مقادیر برآورده شده و اندازه‌گیری شده می‌دهد. هرچه مقدار RMSE

### سنجه‌های ارزیابی داده‌ها

برای ارزیابی دقت داده‌های بارش TRMM و همچنین تعیین میزان کارایی روش‌های مختلف نگاشت چندکی و مقایسه آن‌ها با یکدیگر از سنجه‌های آماری متعددی استفاده می‌شود. رایج‌ترین سنجه‌های آماری میانگین خطای اریبی (MBE)<sup>۲</sup>، میانگین مطلق خطا (MAE)<sup>۳</sup>، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)<sup>۴</sup> و ضریب همبستگی پیرسون ( $r$ ) هستند که بر اساس معادله‌های ۱ الی ۴ محاسبه می‌شوند.

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |o_i - m_i| \quad (1)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (o_i - m_i)^2}{n}} \quad (2)$$

$$MBE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (o_i - m_i) \quad (3)$$

<sup>3</sup> Mean Absolute Error

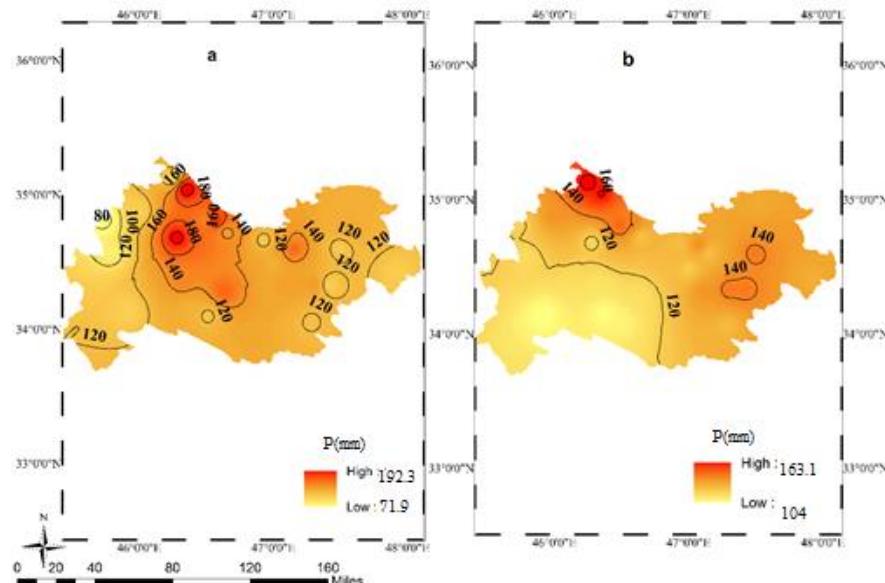
<sup>4</sup> Root Mean Square Error

<sup>1</sup> Bias Correction

<sup>2</sup> Mean Bias Error

### مقایسه مجموع بارش (آوریل-اکتبر) TRMM و ایستگاهی قبل از تصحیح اریبی

قبل از استفاده از داده‌های بارش TRMM، به منظور بررسی صحت داده‌ها، ابتدا نقشه‌های توزیع مکانی داده‌های میانگین مجموع بارش دوره رشد (ماه‌های آوریل تا اکتبر) بر اساس نقاط ایستگاهی و سلول‌های شبکه TRMM ترسیم گردید (شکل ۴). سپس مقدار سنجه میانگین خطای اریبی در ۲۶ سلول انتخابی (واجد ایستگاه زمینی) محاسبه و نقشه توزیع مکانی آن در سطح استان ترسیم گردید (شکل ۵).

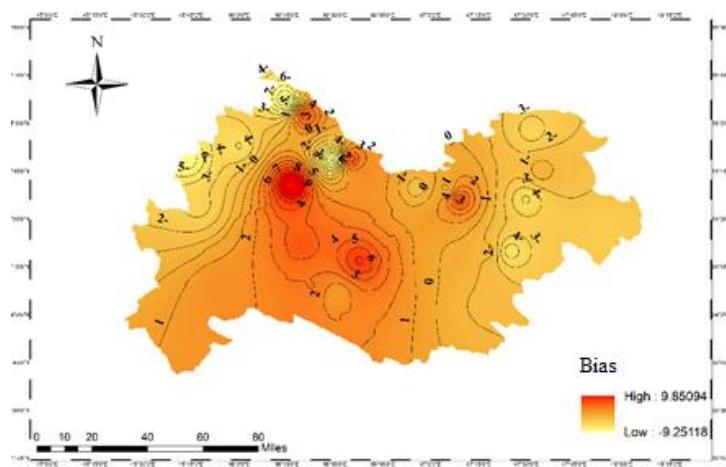


شکل ۴- توزیع مکانی میانگین مجموع بارش (میلی متر) دوره رشد (ماه‌های آوریل تا اکتبر) ایستگاهی (a) و ماهواره TRMM (b) در دوره آماری ۲۰۱۲-۲۰۰۵ طبق روش درون‌بابی وزنی عکس فاصله.

Figure 4- Spatial distribution of average total precipitation (mm) of growth period (April to October) based on stations data (a) and TRMM satellite data (b) over the statistical period of 2005-2012 according to Kriging interpolation method.

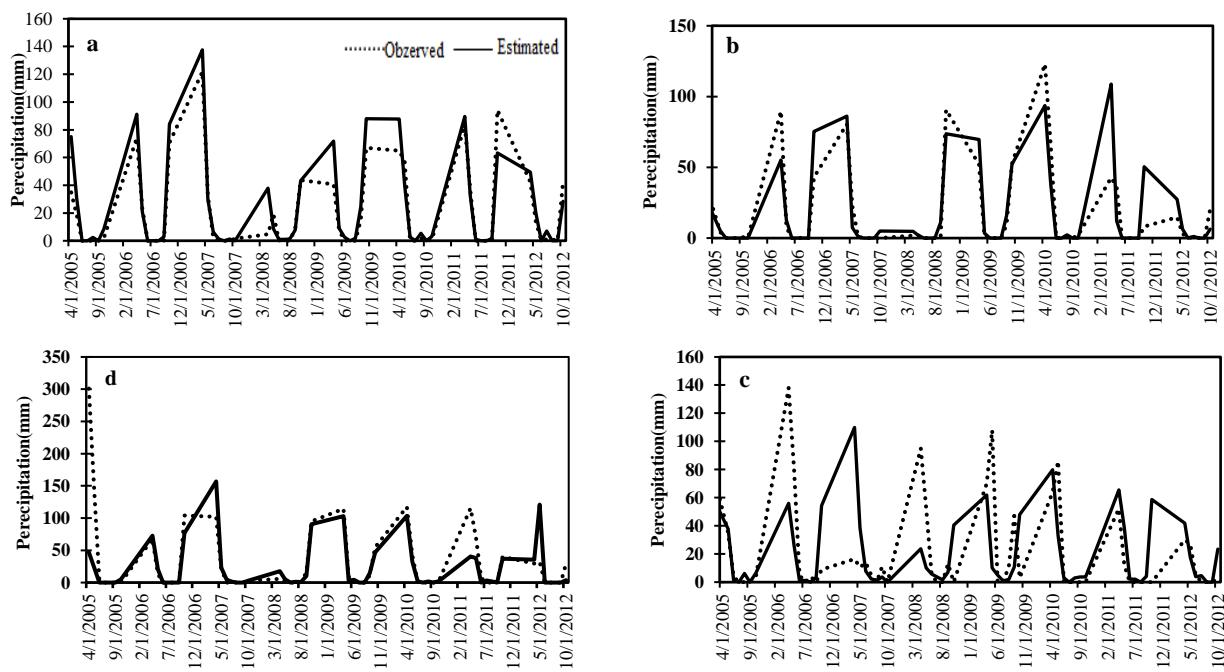
به عنوان نمونه، در چهار تراز ارتفاعی مختلف برای ایستگاه‌های سرپل ذهاب (ارتفاع ۵۴۸ متر)، سرارود (ارتفاع ۱۳۶۲ متر)، جوانرود (ارتفاع ۱۶۵۰ متر) و خسروآباد سنقر (ارتفاع ۲۱۰۰ متر) رسم گردید (شکل ۶). نتایج نشان داد در هر چهار تراز ارتفاعی مذکور، همبستگی بین داده‌ها در سطح ۵ درصد معنی‌دار بوده که بیشترین همبستگی مربوط به ایستگاه سرپل ذهاب (۷۶٪) و سرارود (۹۰٪) است. مقدار همبستگی در ایستگاه جوانرود، که در سلولی با تغییرات ارتفاعی شدید قرار گرفته است (۶۱٪) کاهش یافته است.

کمتر باشد کارایی مدل بالاتر است. این سنجه هیچ‌گونه قضاوی در مورد بیش‌برآوردها یا کم‌برآوردها نمی‌کند. سنجه MBE بیان‌گر کارایی بلندمدت مدل است و مقدار منفی آن بیش‌برآوردها نسبت به داده‌های اندازه‌گیری شده را نشان می‌دهد و بر عکس هرچه مقدار MBE به صفر نزدیک‌تر باشد کارایی مدل بیشتر است. سنجه MAE مقدار میانگین مطلق خطاهای را بدون در نظر گرفتن علامت خطاهای محاسبه می‌کند و هر چه مقدار آن کمتر باشد، بهتر است (Badescu, 2008).



شکل ۵- توزیع مکانی خطای اربی مجموع بارش دوره رشد ماهواره TRMM (قبل از تصحیح) در مقایسه با بارش ایستگاهی

Figure 5 - Spatial distribution of Bias error of total precipitation of TRMM satellite growth period (before correction) compared to station precipitation



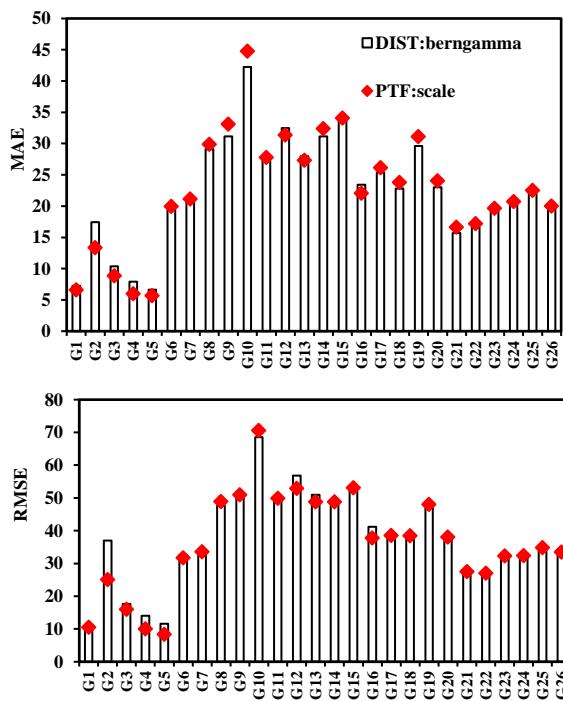
شکل ۶- نمودار سری زمانی بارش ماهانه مشاهده‌ای و تخمینی TRMM در ایستگاه سرارود (a)، سرپل ذهاب (b)، خسروآباد سنقر (c) و جوانرود (d) طی دوره رشد (آوریل-اکتبر)

Figure 6- Observation and estimated monthly rainfall time series chart of TRMM in Sararud (a), Sarpol-e-Zahab (b), Khosroabad Songhor (c), and Javanrood (d) stations during growth period (April-October)

به علاوه، ایستگاه خسروآباد سنقر در ارتفاعی بیش از ۲۰۰۰ متر قرار گرفته و میزان همبستگی بین داده‌ها در ایستگاه مذکور نیز کم است (۰/۴۸%). این نتایج با گزارش‌های Nastos et al., 2016; Shirvani and Fakhari Zade Shirazi, 2014; Mahdiha et al., 2013; Zulkafli et al., 2018; Hirpa et al., 2010; Darand et al., 2017 گرفتند ماهواره TRMM مقدار بارندگی را در ماههای پرباران بیشتر و در مناطق کم ارتفاع کمتر برآورد می‌کند و همچنین ارتفاع بر بارش ثبت شده توسط این ماهواره تاثیر دارد، مطابقت دارد. به علاوه، ایستگاه خسروآباد سنقر در ارتفاعی

به علاوه، ایستگاه خسروآباد سنقر در ارتفاعی بیش از ۲۰۰۰ متر قرار گرفته و میزان همبستگی بین داده‌ها در ایستگاه مذکور نیز کم است (۰/۴۸%). این نتایج با گزارش‌های Nastos et al., 2016; Shirvani and Fakhari Zade Shirazi, 2014; Mahdiha et al., 2013; Zulkafli et al., 2018; Hirpa et al., 2010; Darand et al., 2017 گرفتند ماهواره TRMM مقدار بارندگی را در ماههای پرباران بیشتر و در مناطق کم ارتفاع کمتر برآورد می‌کند و همچنین ارتفاع بر بارش ثبت شده توسط این ماهواره تاثیر دارد، مطابقت دارد. به علاوه، ایستگاه خسروآباد سنقر در ارتفاعی

نشان‌دهنده این است که روش پارامتری تبدیل مقیاس با دارا بودن کمترین مقدار سنجه‌های خطای ۲۶ گرید انتخابی در DIST:berngamma دارای عملکرد بهتری نسبت به روش TRMM می‌باشد (شکل ۸). پس از اینکه مشخص شد روش PTF:Scale بهترین روش برای تصحیح داده‌های بارش TRMM است، مقدار ضریب تصحیح داده‌ها (b) در روش PTF:Scale برای ۲۶ گرید انتخابی در محیط برنامه RStudio محاسبه و استخراج شد.



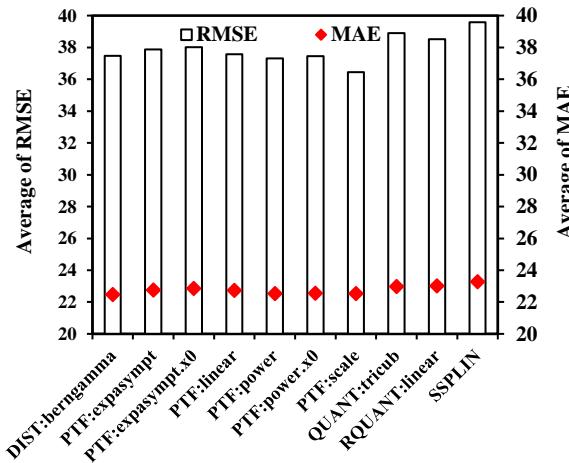
شکل ۸- مقادیر شاخص‌های خطای RMSE و MAE در سلول‌های واحد ایستگاه هواشناسی بر مبنای دو روش نگاشت برتر

Figure 8- Values of MAE and RMSE error indices in Cells with meteorological station based on two Quantile mapping methods

سپس، در محیط نرم‌افزار Arcmap مقدار این ضرایب در سطح استان با استفاده از روش وزنی عکس فاصله درون‌یابی شد (شکل ۹). مطابق شکل ۹، مقدار ضریب تصحیح b در سطح استان بین ۰/۷ تا ۰/۴۴ تغییر می‌کند. حد بالای این ضریب تقریباً منطبق بر مناطق مرتفع و حد پایین آن منطبق بر نواحی کم‌ارتفاع است، که در واقع، حاکی از تاثیر پذیری ضریب تصحیح از تغییرات ارتفاعی در منطقه مطالعاتی است. مقدار ضریب تصحیح (b) برای همه‌ی گریدها در سطح استان

بیش از ۲۰۰۰ متر قرار گرفته و میزان همبستگی بین داده‌ها در ایستگاه مذکور نیز کم است (۰/۴۸). این نتایج با Nastos et al., (2016), Shirvani and Fakhari (2013), Zade Shirazi (2014), Mahdiha et al., (2013), Zulkafli et al., (2018), Hirpa et al., (2010), Darand et al., (2017) که در تحقیقاتشان نتیجه گرفتند ماهواره TRMM مقدار بارندگی را در ماه‌های پریاران بیشتر و در مناطق کم ارتفاع کمتر برآورد می‌کند و همچنین ارتفاع بر بارش ثبت شده توسط این ماهواره تاثیر دارد، مطابقت دارد.

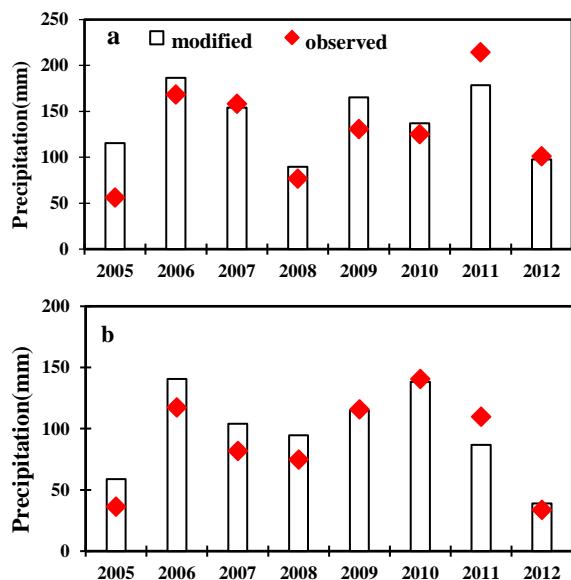
مقایسه روش‌های تصحیح اریبی و انتخاب بهترین روش برای تصحیح خطای داده‌ها از روش‌های مختلف نگاشت چندکی (طبق جدول ۲) استفاده شد. دقیق روش‌های مختلف نگاشت چندکی با استفاده از شاخص‌های خطای MAE و RMSE سنجیده شد. نتایج سنجدهای خطای بر اساس هر یک از روش‌های نگاشت چندکی در شکل‌های (۷) و (۸) نشان داده شده است.



شکل ۷- مقادیر متوسط سنجه‌های خطای تصحیح بارش ماهواره با روش‌های مختلف نگاشت چندکی در سرجمع گریدهای انتخابی

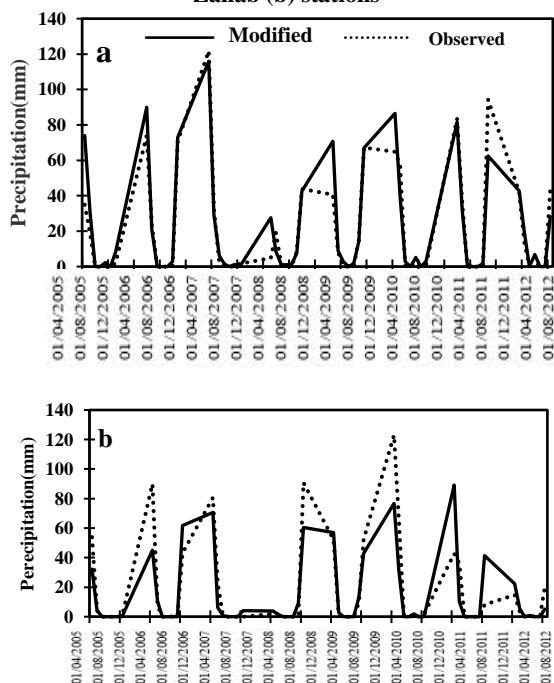
Figure 7- Mean values of satellite precipitation correction error measurements with different Quantile mapping methods selected grades

مطابق شکل ۷، روش پارامتری تبدیل مقیاس (Scale) به طور متوسط با (۳۶/۴) و RMSE (۳۶/۴) همچنین روش DIST:berngamma به طور متوسط با (۳۷/۵) MAE و (۲۲/۵) RMSE دو روش واحد کمترین خطای برای اصلاح داده‌های بارش TRMM می‌باشد. همچنین مقایسه مقدار سنجه‌های خطای این دو روش در ۲۶ گرید انتخابی



شکل ۱۰- نمودار سری زمانی بارش سالانه مشاهده‌ای و اصلاح شده در ایستگاه سرارود (a) و سرپل ذهاب (b) TRMM

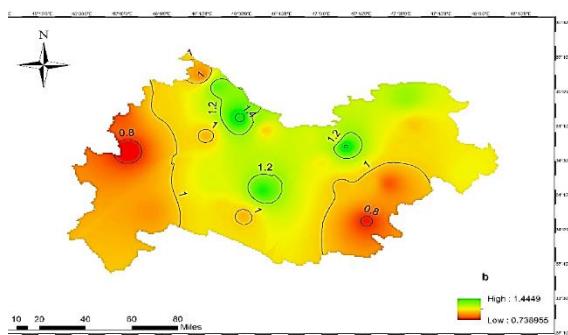
Figure 10- Observed and modified annual rainfall time series chart of TRMM at Sararud (a) and Sarpol-e-Zahab (b) stations



شکل ۱۱- نمودار سری زمانی بارش ماهانه مشاهده‌ای و اصلاح شده در ایستگاه سرپل ذهاب (b) و سرارود (a) TRMM طی دوره رشد (آوریل-اکتبر)

Figure 11 - Monthly observed and modified TRMM time series at Sarrarud (a) and Sarpol-e-Zahab (b) stations during the growing season (April-October)

استخراج شد و داده‌های بارش ماهواره‌ی TRMM به روش PTF: Scale تصحیح شد.



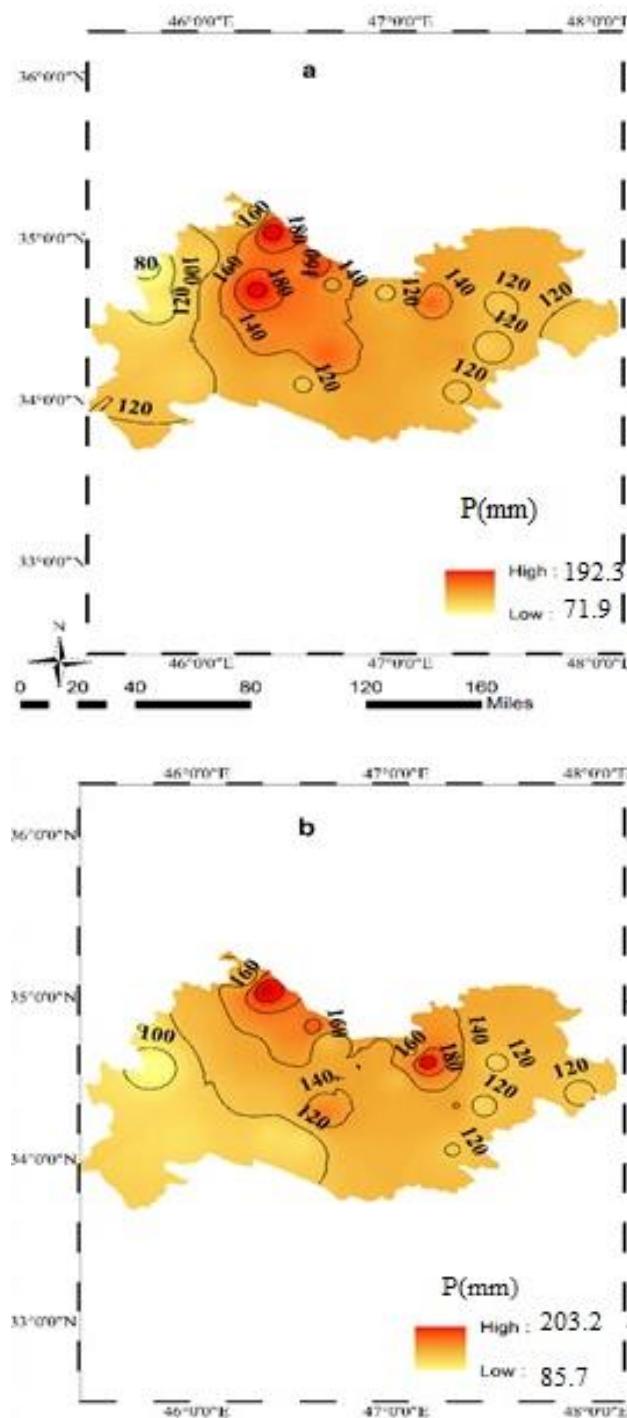
شکل ۹- توزیع مکانی ضریب تصحیح داده‌های بارش TRMM

Figure 9 - Spatial distribution of TRMM precipitation data correction coefficient

### مقایسه داده‌های بارش ایستگاهی و ماهواره TRMM

#### پس از تصحیح اربی

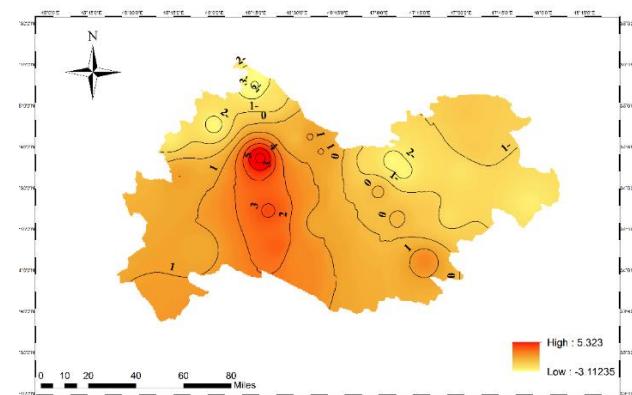
برای نشان دادن میزان تطابق داده‌های ماهواره‌ای (پس از تصحیح) با داده‌های مشاهده‌ای بارش، نمودارهای سری زمانی بارش مشاهده‌ای و ماهواره‌ای در مقیاس کل دوره رشد و ماهانه در دو ایستگاه همدیدی سرپل ذهاب و سرارود (به عنوان نمونه) ترسیم شد (شکل‌های ۱۰ و ۱۱). به علاوه، نقشه توزیع مکانی مجموع بارش ماهواره‌ای بعد از تصحیح و مجموع بارش ایستگاهی، و همچنین توزیع مکانی میانگین خطای اربی داده‌های بارش ماهواره بعد از تصحیح در طی شش ماهه آوریل تا اکتبر نشان داده شده است (شکل ۱۲ و ۱۳). همانطور که در شکل‌های ۱۰ و ۱۱ مشاهده می‌شود روند تغییرات بارش سالانه ایستگاهی و ماهواره‌ای مشابه می‌باشد، به طوری که در سال‌های ۲۰۰۶ و ۲۰۱۱ که بارش ایستگاهی به بیشینه مقدار خود می‌رسد، بارش ماهواره‌ای نیز به بیشینه مقدار خود می‌رسد. همچنین شکل ۱۱ نشان‌دهنده تغییرات بارش دو ایستگاه همدیدی سرارود و سرپل ذهاب در مقایسه با بارش‌های ماهواره‌ای متناظر هر یک از این دو ایستگاه در طی فصل رشد (ماه آوریل تا اکتبر) را نشان می‌دهند. مطابق این نمودارها بیشینه بارش در کل دوره‌ی آماری در ماه آوریل اتفاق افتاده است که این تغییرات در هر دو سری داده‌های مشاهده‌ای و تخمینی به وسیله ماهواره قابل مشاهده است.



شکل ۱۳- توزیع مکانی مجموع بارش (میلی‌متر) دوره رشد بر مبنای داده‌های ایستگاهی (a) و ماهواره TRMM (b) بعد از تصحیح

Figure 13- Spatial distribution of total precipitation (mm) growth period based on station data (a) and TRMM satellite after correction (b)

با توجه به شکل‌های ۱۰ و ۱۱ می‌توان گفت که رفتار هردو سری زمانی در مقیاس‌های سالانه و ماهانه بسیار نزدیک می‌باشد و با افزایش و کاهش بارش ایستگاهی، بارش ماهواره‌ای نیز کاهش و یا افزایش می‌یابد. همچنین مشاهده می‌شود که در برخی از سال‌ها ماهواره مقدار بارش را بیشتر از مقدار مشاهده شده و در برخی سال‌ها کمتر از مقدار مشاهده شده تخمین می‌زند که در ماه‌های با بارش بیشتر (ماه آوریل) ماهواره مقدار بارش را بیشتر از مقدار مشاهده شده نشان می‌دهد. مطابق شکل ۱۲ که نشان‌دهنده توزیع مکانی بارش ایستگاهی و بارش ماهواره‌ای بعد از تصحیح است بارش ایستگاهی که مشاهده می‌شود در قسمت‌های شمال غربی و شرق که منطقه دارای تغییرات ارتفاع است بر بارش ماهواره‌ای تأثیر گذاشته است. مقدار ضریب همبستگی پیرسون بین بارش ماهواره‌ای پس از تصحیح و بارش اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های زمینی محاسبه شد (جدول ۴). طبق جدول ۴، مقدار ضریب همبستگی در مقیاس ماهانه بین ۰/۹۲۶ تا ۰/۵ مقدار می‌کند. مقدار این ضریب در ایستگاه‌های همدیدی بین ۰/۷۳ تا ۰/۹۲۰ و در ایستگاه‌های وزارت نیرو بین ۰/۵ تا ۰/۸۴ تغییر می‌کند که همگی در سطح پنج درصد معنی دار هستند. بنابراین، همبستگی بین بارش ماهواره TRMM و ایستگاه‌های همدیدی بیشتر از ایستگاه‌های وزارت نیرو است.



شکل ۱۲- توزیع مکانی میانگین خطای اربی مجموع بارش دوره رشد ماهواره TRMM (بعد از تصحیح) در مقایسه با ایستگاه‌ها

Figure 12- Spatial distribution of mean Bias error of total precipitation of TRMM satellite growth period (after correction) in comparison with stations

مشاهده شده در ایستگاههای زمینی برآورد می‌کند. بررسی سوابق مطالعات انجام شده داخلی نشان می‌دهد که از روش‌های چندکی برای تصحیح اریبی داده‌های بارش TRMM استفاده چندانی نشده است و کارائی این روش‌ها در پس پردازش بارش TRMM مورد بررسی قرار نگرفته است. برای تصحیح خطای داده‌های بارش TRMM از روش‌های مختلف نگاشت چندکی استفاده شد. با مقایسه کارائی روش‌های مختلف نگاشت چندکی مشخص شد که روش پارامتری تبدیل مقیاس (PTF: Scale) دارای کمترین خطای تصحیح داده‌ها است. پس از تصحیح داده‌ها، دقت داده‌های بارش ماهواره‌ی TRMM در سطح استان مجدداً مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که روش مذکور توانسته است دقت داده‌های بارش TRMM را بهبود دهد. به علاوه، ضریب همبستگی بین داده‌های زمینی و ماهواره‌ای بارش در محدوده ۰/۷۳ تا ۰/۹۴ (معنی‌دار در تراز ۵ درصد) تغییر نمود، که بالاترین همبستگی‌ها در رابطه بارش TRMM و بارش ایستگاههای همدیدی به دست آمد.

## منابع

- Badescu, V. 2008. Modeling solar radiation at the earth surface. Verlag Berlin Heidelberg. Springer.
- Darand, M., Amanollahi, J., Zandkarimi, S. 2017. Evaluation of the performance of TRMM Multi-satellite Precipitation Analysis (TMPA) estimation over Iran. *Atmospheric Research*, 190, 121–127.
- Erfanian, M., Kazempour, S., Heidari, S. 2016. Calibration of TRMM Satellite 3B42 and 3B43 Rainfall Data in Iran's Climate Zones, *Natural Geography Research*, 48(2), 287-303. (In Farsi)
- Ghaforian, H., Sanai nejad, S.H., Davari, K. 2013. Evaluation of TRMM Satellite Data in Drought Monitoring of Khorasan Razavi Province, Second International Conference on Environmental Hazards. (In Farsi)
- Ghajarnia, N., Liaghat, A., Arasteh, P. D. 2015. Comparison and evaluation of precipitation estimation products in Urmia Basin-Iran, *Atmospheric Research*, 158(32), 50-65. (In Farsi)
- Ha, K.-Ja, Jeon, E.-H., Oh, H.-Mi. 2007. Spatial and temporal characteristics of precipitation using an extensive network of ground gauge in the Korean Peninsula *Atmosphere Research*, 86, 330–339.
- Hirpa, F.A., Gebremichael, M., Hopson, T. 2010. Evaluation of high-resolution satellite precipitation products over very complex terrain in

جدول ۴- ضریب همبستگی پیرسون بین داده‌های بارش زمینی و ماهواره‌ای (پس از تصحیح)

Table 4- Pearson correlation coefficient between ground and satellite precipitation data (after correction)

Station	correlation coefficient
Ghasr E Shirin	0.58
Naft Shahr	0.54
Koleghobe Khakhople	0.67
Aran E Gharb	0.65
Sahne	0.63
Pirsalman	0.58
Jaberi	0.74
Mirabad	0.73
Baskale Bariuom	0.5
Nagre	0.52
Sarzamele	0.68
Kile Sefid	0.62
Kamal Abad	0.59
Mivan	0.62
Cheragh Abad	0.73
Pave	0.63
Eslam Abad E Gharb*	0.73
Ravansar*	0.82
Sararud*	0.94
Sar Pol E Zahab*	0.86
Songhor	0.83
Ghasr E Shirin	0.76
Kermanshah*	0.76
Kangavar	0.83
Ghilan E Gharb*	0.81
Totshami	0.84
Bavisi	0.83
Tang E Hamam	0.78
Piran	0.68
Sar Pol E Zahab	0.74
CHeshme Toran	0.63
Dire Epolshah	0.68

## نتیجه‌گیری

در این مطالعه از داده‌های بارش ایستگاههای همدید سازمان هوشناسی کشور و باران‌سنجی وزارت نیرو برای بررسی اعتبار داده‌های بارش ماهواره TRMM در مقیاس زمانی ماهانه (آوریل-اکتبر) در استان کرمانشاه استفاده شد. اعتبار داده‌های TRMM با استفاده از سنجه‌های خطای و همبستگی مورد بررسی قرار گرفت. بررسی‌های اولیه با استفاده از سنجه‌های اریبی و همبستگی نشان داد که ماهواره مقدار بارش را در مناطق کمارتفاع، کمتر و در مناطق مرتفع، بیشتر از مقادیر ایستگاهی برآورد می‌کند. همچنین، مشخص شد که در ماههای پرباران دوره رشد پوشش گیاهی (یعنی، آوریل و اکتبر)، ماهواره مقدار بارش را بیشتر از مقدار

- Conference on Water Crisis (climate change, water and the environment), 9-10 Sep, University of Shahrekord, Iran. (In Farsi)
- Nastos, P.T., Kapsomenakis, J., Philandras, K. M. 2016. Evaluation of the TRMM 3B43 gridded precipitation estimates over Greece. *Atmospheric Research*, 169, 497-514.
- Package qmap. 2016. Statistical Transformations for Post-Processing Climate Model output.
- Ringard, J., Becker, M., Seyler, F., Linguet, L. 2015. Temporal and spatial assessment of four satellite rainfall estimates over French Guiana and North Brazil. *Remote Sensing*, 7(12), 16441-16459.
- Sharifi, E., Steinacker, R., Saghafian, B. 2016. Assessment of GPM-IMERG and other precipitation product against gauge data under different topographic and climate conditions in Iran. *International Journal of Remote Sensing*, 8(2), 135, <https://doi.org/10.3390/rs8020135>
- Shirvani1, A., Fakhari Zade Shirazi, E. 2014. Comparison of ground-based observation of precipitation with TRMM satellite estimations in Fars Province. *Journal of Agricultural Meteorology*, 2(2), 1-15. (In Farsi)
- Turso, S., Paoletta, S., Gabella, M., Perona, G. 2013. MicroRadarNet: a network of weather micro radars for the identification of local high-resolution precipitation patterns, *Atmospheric Research*, 119, 81–96.
- Ward, E., Buytaert, W., Peaver, L., Wheater, H. 2011. Evaluation of precipitation products over complex mountainous terrain: A water resources perspective. *Advances in Water Resources*, 34(10), 1222-1231.
- Zulkafli, Z., Mohd Zad, S. N., Muhamram, F.M. 2018. Satellite Rainfall (TRMM 3B42-V7) Performance Assessment and Adjustment over Pahang River Basin, Malaysia. *Journal of Remote sensing*, 10(3), 38. <https://doi.org/10.3390/rs10030388>
- Ethiopia. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 49(5), 1044-1051.
- Javanmard, S., Yatagai, A., Nodzu, M.I., BodaghJamali, J., Kawamoto, H. 2010. Comparing high-resolution gridded precipitation data with satellite rainfall estimates of TRMM 3B42 over Iran. *Advances in Geosciences*, 25, 119-125. (In Farsi)
- Karaseva, M., Prakash, S., Gairola, R.M. 2012. Validation of High Resolution TRMM-3B43 Precipitation Product Using Rain Gauge Measurements over Kyrgyzstan, *Theoretical and Applied Climatology*, 108(1-2), 147-157.
- Katirai Borujerdi, P. S. 2013. Compare monthly rainfall, satellite and terrestrial data in network with high resolution on Iran, *Geophysical Journal of Iran*, 7(4), 149-160. (In Farsi)
- Khalighi-Sigaroodi, S., Ghaljaee, E., Moghaddam Nia, A., Malekian, A., Zhang, F. 2019. Evaluation of TRMM-3B42V7 and PERSIANN-CDR daily-precipitation products for the southern slopes of Alborz mountains, IRAN. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*. (In Farsi)
- Mahdiha, A., Ghibi, A.H., Kharazmi, S. and Rihani parvari, M. 2013. Case Study variable contrast TRMM satellite rainfall estimate cumulative daily Tehran radar and rain-gauge stations, 18-20th Fifteenth Conference of Fluid Dynamics (Fluid), Bandar Abbass, IRAN.
- Miri, M., Rahimi, M., Noroozo, A. 2019. Evaluation and comparison of GPM and TRMM daily precipitation with observed precipitation across Iran. *Journal of Watershed Engineering and Management*, 11(4), 972-983. (In Farsi)
- Mohammadi, M., Vazifeh Doust, M. 2014. Investigate rainfall changes trend of the ground stations and TRMM satellite data throughout the province of Khorasan Razavi. The second National

## Evaluation of quantile mapping methods in bias correction of the TRMM satellite's estimated precipitation data during vegetation growth period (Apr-Oct) in Kermanshah province

S. Kamali<sup>1</sup>, J. Bazrafshan<sup>2\*</sup>, Z. Aghashariatmadari<sup>3</sup>

Received: 14/06/2021

Accepted: 25/12/2021

### Abstract

Global space coverage of the TRMM satellite imagery has provided a good opportunity to use the precipitation data estimated by this satellite in the country. Various studies have been conducted in the country to evaluate the accuracy of the above data in comparison to the measured data at ground stations. However, few studies have examined the efficacy of postprocessing methods in correcting TRMM precipitation data. The purpose of this study was to evaluate the performance of quantile mapping methods in improving TRMM precipitation data compared to ground data. For this purpose, 10 quantile mapping methods were applied to the gridded TRMM precipitation data in Kermanshah province on a monthly time scale (Apr-Oct) from 2005 to 2012. The ground precipitation data for the same time periods were collected from 13 synoptic weather stations and 82 rain gauges. The results showed that non-corrected estimations of TRMM precipitation data in the elevated (lowland) areas higher (lower) than the ground data. In addition, it was found that the difference between satellite- and ground-based estimates of precipitation in high-precipitation months was much greater than low-precipitation ones. The Parametric transformation of scale method with the least error, among the others, was introduced as the most appropriate quantile correction method. The results of data post-processing showed that the mentioned method could improve the accuracy of TRMM precipitation data. In addition, the correlation coefficient between ground measurements and satellite precipitation data varied in the range of 0.73 to 0.94 (significant at the 5% level), with the highest correlations obtained compared to the precipitation of synoptic and TRMM stations.

**Keywords:** Precipitation, Quantile Mapping, TRMM, Bias Correction, Kermanshah



<sup>1</sup> Ph.D. Student of Agrometeorology, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, University of Tehran

<sup>2</sup> Associate Professor, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, University of Tehran

(\*Corresponding Author Email Address: [jbazr@ut.ac.ir](mailto:jbazr@ut.ac.ir))

<sup>3</sup> Assistant Professor, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, University of Tehran

نحوه ارجاع مقاله:

کمالی، س.، بذرافشان، ج.، آقشاریعتمداری، ز. ۱۴۰۱. ارزیابی روش‌های نگاشت چندکی در تصحیح اریبی برآوردهای بارش ماهواره TRMM در دوره

رشد پوشش گیاهی (آوریل تا اکتبر) در استان کرمانشاه. نشریه هواشناسی کشاورزی، ۱۰(۲): ۱۶-۴. DOI: 10.22125/agmj.2022.289694.1117

Kamali, S., Bazrafshan, J., Aghashariatmadari, Z. 2023. Evaluation of quantile mapping methods in bias correction of the TRMM satellite's estimated precipitation data during vegetation growth period (Apr-Oct) in Kermanshah province. Journal of Agricultural Meteorology, 10(2): 4-16. DOI: 10.22125/agmj.2022.289694.1117

## مقایسه دو شاخص خشکسالی بارش استاندارد در ارزیابی تأثیر خشکسالی بر عملکرد گندم دیم در استان خراسان شمالی

مهندی تیموری<sup>۱\*</sup>، وحید غلامی<sup>۲</sup>، محمدرضا خالقی<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۶/۲۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۷/۰۲

### چکیده

در این مقاله، شاخص خشکسالی بارش استاندارد (SPI) و یک نسخه اصلاح شده آن جهت بررسی اثرات خشکسالی بر عملکرد گندم در استان خراسان شمالی مورد استفاده قرار گرفت. در نسخه اصلاحی بارش مؤثر ماهانه جایگزین شده و به نام شاخص بارش استاندارد کشاورزی محور (شاخص aSPI) استفاده شد. جهت محاسبه متغیر بارش مؤثر، روش تجربی سرویس حفاظت خاک ایالات متحده بکار رفت. شاخص مورد نظر با استفاده از داده‌های بارش و دمای ماهانه دوره ۳۰ ساله (۱۳۶۸ تا ۱۳۹۷) ایستگاه‌های همدیدی خراسان شمالی محاسبه گردید و مقادیر آن در پنجره‌های مختلف زمانی با عملکرد گندم در دوره زمانی ۱۵ ساله (۱۳۸۳ تا ۱۳۹۷) تطبیق داده شد. هر دو شاخص اصلی و اصلاح شده در پنجره‌های زمانی معمول ۱، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸، ۹ و ۱۲ ماهه محاسبه و با استفاده از ضریب همبستگی رابطه آن‌ها با عملکرد استاندارد شده، مورد مقایسه و تحلیل قرار گرفت. نتایج کاربست شاخص بارش استاندارد کشاورزی نشان داد که بارش‌های تأثیرگذار در عملکرد محصول گندم دیم استان در ایستگاه بجنورد، بارش‌های دوره زمانی آبان-اردبیهشت، در ایستگاه شیروان، فاروج و اسفراین دوره زمانی فروردین-خرداد، در ایستگاه مانه و سملقان دوره زمانی آبان تا دی و در ایستگاه جاجرم دوره زمانی مهر-خرداد، هستند.

### واژه‌های کلیدی:

بارش مؤثر، شاخص خشکسالی، عملکرد گندم

مختلف مورد توجه قرار گرفته است و امروزه مشخص شده که زندگی افراد بیشتری را نسبت به سایر خطرات طبیعی تحت تأثیر قرار می‌دهد (Vangelis et al., 2013). این امر با استمرار گرمایش اقلیمی کره زمین و افزایش فراوانی و شدت خشکسالی‌ها که به صورت جدی حیات انسان و توسعه پایدار جوامع را تحت تأثیر قرار می‌دهد، مشهود است (Liu et al., 2021). از آنجاکه غالباً خشکسالی‌ها با وقایع حدی مانند امواج گرمایی (Zscheischler et al., 2018) و خشکی جوی (Zhu et al., 2019) در ارتباط هستند که موجب کاهش میزان تولیدات گیاهی، افزایش آفات گیاهی و همچنین آتش‌سوزی‌های گسترده مناطق جنگلی می‌شود، پایش و تحلیل این وقایع کمک مؤثری در پیش‌بینی وقایع مزبور خواهد نمود (Crocetti et al., 2020). مطالعات متعددی در زمینه تعیین خصوصیات خشکسالی و پایش آن انجام شده

**مقدمه**  
خشکسالی یک پدیده منطقه‌ای است و هنگامی رخ می‌دهد که آب در دسترس منطقه کمتر از میزان متوسط در طی یک دوره مشخص باشد (Beran and Rodier, 1985). اگرچه این پدیده مناطق جغرافیایی مختلف دنیا را تحت تأثیر قرار می‌دهد ولی تأثیر آن در اقالیم خشک و نیمه‌خشک محسوس‌تر است. خشکسالی از گذشته به صورت معمول به عنوان یک واقعه طبیعی در بررسی میزان تغییرپذیری اقلیمی مناطق

<sup>۱</sup> استادیار، گروه مهندسی طبیعت، دانشکده کشاورزی شیروان، دانشگاه بجنورد، بجنورد، ایران

(\*\*نویسنده مسئول: [m.teimouri@ub.ac.ir](mailto:m.teimouri@ub.ac.ir))

<sup>۲</sup> دانشیار، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان

<sup>۳</sup> دانشیار، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تربت جام، گروه کشاورزی و منابع طبیعی، تربت جام، ایران

نحوه ارجاع مقاله:

تیموری، م.، غلامی، و.، خالقی، م.ر. ۱۴۰۱. مقایسه دو شاخص خشکسالی بارش استاندارد در ارزیابی تأثیر خشکسالی بر عملکرد گندم دیم در استان خراسان شمالی. نشریه هواشناسی کشاورزی، ۱۰(۲): ۱۷-۲۷. DOI: 10.22125/agmj.2022.305592.1123

Teimouri, M., Gholami, V., Khaleghi, M.R. 2023. Assesment of drought impacts on rainfed wheat yield using SPI and Agricultural-SPI indices (Case study: North Khorasan province). Journal of Agricultural Meteorology, 10(2): 17-27. DOI: 10.22125/agmj.2022.305592.1123

خشکسالی می‌شود، ظرفیت سازگاری محصولات زراعی با چنین شرایطی ممکن است در بسیاری از نقاط جهان محدود باشد (Vaghefi et al., 2019). شاخص‌های زیادی بر مبنای متغیرهای متفاوت برای تعیین خشکسالی کشاورزی طراحی شده است. یکی از پر استفاده‌ترین متغیرهای مورد استفاده، رطوبت خاک و سلامت گیاه است (AghaKouchak et al., 2015) که توسط داده‌های سنجش از دور قابل استخراج می‌باشند. برخی از مهم‌ترین آن‌ها مانند شاخص پوشش گیاهی تفاضل نرمال شده<sup>۱</sup> و شاخص شرایط پوشش گیاهی<sup>۲</sup>، که هر کدام از آن‌ها در اقلیم‌های متفاوت و با دقت تصاویر ماهواره‌ای از لحاظ رادیومتریکی و طیفی نتایج بسیار متفاوتی را می‌دهند و در نتیجه ارزیابی را مشکل می‌سازند (Hamzeh et al., 2017). سایر شاخص‌های موجود نیز مبتنی بر داده‌های آماری اقلیمی (و گاهی مشخصات فیزیکی خاک و نوع گیاه) هستند که علی‌رغم قدیمی بودن برخی از آن‌ها هنوز هم مورد استفاده بوده و نسخه‌های جدیدتر آن‌ها نیز به روزرسانی می‌شود مانند شاخص بارش استاندارد<sup>۳</sup>، شاخص شدت خشکی پالمر<sup>۴</sup>، شاخص احیای خشکسالی<sup>۵</sup>. دلیل استقبال بیشتر محققان نسبت به این موضوع در دسترس بودن داده‌های موردنیاز، سادگی اصول و درک ساختار آن‌ها است که علیرغم اینکه برخی از آن‌ها مانند شاخص SPI صرفاً برای تعیین خشکسالی هواشناسی طراحی شده ولی به دلیل اینکه مبتنی بر داده‌های بارش است، در تحقیقاتی مثل تغییرپذیری و تحلیل خطر خشکسالی کشاورزی (Zhong et al., 2018)، اثرات خشکسالی بر محصولات کشاورزی (Leng et al., 2019) و تعیین منطقه‌ای خشکی کشاورزی (and Hall, 2019) نیز مورد استفاده قرار گرفته است. (Dikici et al., 2020) Alizadeh et al., (2019) به پایش مکانی و زمانی خشکسالی کشاورزی در اراضی تحت کشت گندم غرب استان گلستان با شاخص SPI پرداخته و همبستگی مثبتی بین شاخص مزبور در مقیاس سه‌ماهه منتهی به اردیبهشت با عملکرد گندم تشخیص دادند. همچنین (Navabi et al., 2021) به بررسی

که منجر به استفاده از شاخص‌های مختلف و در غالب پیش‌بینی‌های اقلیمی شده است. شاخص‌های مختلف با توجه به ساختار، خصوصیات و توانایی آن‌ها در بکارگیری متغیر(های) متعدد، پذیرش و کاربردهای ویژه‌ای یافته‌اند. بخصوص در بخش کشاورزی، استفاده از شاخص‌های مبتنی بر داده‌های سنجش از دوری با توجه به سهولت پایش و در دسترس بودن برخی داده‌ها و اهمیت اقتصادی، اجتماعی آن در زندگی انسان کاربرد ویژه‌ای دارد. اهمیت موضوع وقتی بارزتر می‌شود که در تحقیقی که به موضوع ارزیابی تغییرات خشکسالی در ایران پرداخته شده، مشخص شده است که خشکسالی شدید و بسیار شدید در بخش‌هایی از ایران که از وضعیت بارش نسبتاً مناسب‌تری برخوردار بوده اتفاق افتاده است (Kheyri et al., 2021). خشکسالی (یا کمود آب) بر اساس دو عامل اصلی یعنی برآورد تقاضای آب و تامین آب مورد انتظار ارزیابی می‌شود (Madani et al., 2016). تدوین این عوامل کلیدی برای یک منطقه تا حد زیادی به شرایط آب و هوایی و اقتصادی بستگی دارد. در نظر گرفتن یکی از این عوامل کلیدی، رابطه بین عملکرد محصول و کمود آب در ارزیابی و پیش‌بینی خشکسالی‌های کشاورزی است. ماهیت متفاوت این رابطه از محصولی به محصول دیگر بر پیچیدگی تحلیل خشکسالی کشاورزی می‌افزاید. برای غلبه بر این مشکل در تجزیه و تحلیل خشکسالی‌های کشاورزی یک منطقه، کافی است که بر روی یک محصول شاخص که در سطح وسیعی از منطقه به طور یکنواخت رشد کرده است، تأکید شود. الگوی نیاز آبی در فصل رشد یک محصول شاخص در سال‌های مختلف، نسبتاً ثابت است و تامین آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک عمده‌تاً توسط بارش‌های تصادفی فصلی تامین می‌شود (Bannayan et al., 2011). در یک منطقه، عملکرد دانه محصول شاخص و به نوبه خود، ارزیابی شدت خشکسالی را می‌توان به طور منطقی به عنوان تابعی از زمان کاشت محصول و توزیع بارندگی پیش‌بینی کرد، به شرطی که اثرات زمانی و مکانی سایر عوامل مؤثر بر عملکرد دانه به طور یکنواخت (تنوع محصول، وضعیت باروری خاک، بیماری محصول، کنترل آفات، شیوه‌های کشت و غیره) در نظر گرفته شود (Leng and Huang, 2017). از طرف دیگر با تغییرات آب و هوایی که باعث تشدید وقوع و شدت

<sup>1</sup> Normalized Deviation Vegetation Index (NDVI)<sup>2</sup> Vegetation condition Index (VCI)<sup>3</sup> Standard Precipitation Index (SPI)<sup>4</sup> Palmer Drought Severity Index (PDSI)<sup>5</sup> Reconnaissance Drought Index (RDI)

ایستگاه‌های هواشناسی شهرهای استان خراسان شمالی (طی دوره آماری ۳۰ ساله از ۱۳۶۸ تا ۱۳۹۷) به عنوان استانی با اقلیم‌های متفاوت و مطابقت شاخص جدید با عملکرد گندم دیم به عنوان محصول استراتژیک و با سطح کشت زیاد در استان خواهد پرداخت. با توجه به حساسیت متفاوت عملکرد گندم به میزان رطوبت در دوره‌های مختلف فنولوژیک، تعیین دوره مرجع مناسب زمانی و مقایسه با شاخص SPI از دیگر اهداف مقاله خواهد بود.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

استان خراسان شمالی با وسعت بالغ بر ۲۸ هزار کیلومتر مربع بین ۳۶ درجه و ۴۴ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۱۷ دقیقه عرض شمالی و ۵۵ درجه و ۵۲ دقیقه تا ۵۸ درجه و ۲۰ دقیقه طول شرقی قرار دارد. این استان با اقلیمی متفاوت از نواحی هم‌جوار خود از شمال و جنوب با بیانهای بزرگ هم‌جوار است. اما محدوده آن بدلیل شرایط توپوگرافی خاص و جهت غربی-شرقی رشته‌کوه‌های کپه‌داغ در شمال و آزادگان در جنوب دارای اقلیم‌های متفاوتی است. این استان یکی از قطب‌های مهم کشاورزی در کشور بوده که خشکسالی‌های متعدد سبب کاهش ذخیره مخازن، افت شدید آب‌های زیرزمینی و خسارت به کشت محصولات دیم شده است (Maleki and Torkamani, 2015). حدود ۱۲ درصد مساحت استان را اراضی زراعی تشکیل داده که از این مقدار حدود نیمی از آن زراعت دیم می‌باشد. وجود رودخانه اترک به عنوان تنها رودخانه دائمی شرق ایران و سرشاخه‌های متعدد آن اهمیت ویژه‌ای در تامین منابع آب استان دارد. میزان بارش سالانه از ۱۳۰ تا ۵۰۰ میلی‌متر متغیر بوده و میانگین آن ۲۳۰ میلی‌متر است. بیشینه آن در شهرستان مانه و سملقان (ایستگاه درکش) با مقدار ۴۶۸ میلی‌متر و کمینه آن با مقدار ۱۲۰ میلی‌متر در ایستگاه جاجرم گزارش شده است. متوسط دمای استان حدود ۱۳ درجه بوده و اقلیم آن طبق روش دومارتن نیمه‌خشک تا خشک است (Shamloo et al., 2018). شکل ۱ موقعیت استان در کشور و شهرهای مختلف آن را نشان می‌دهد.

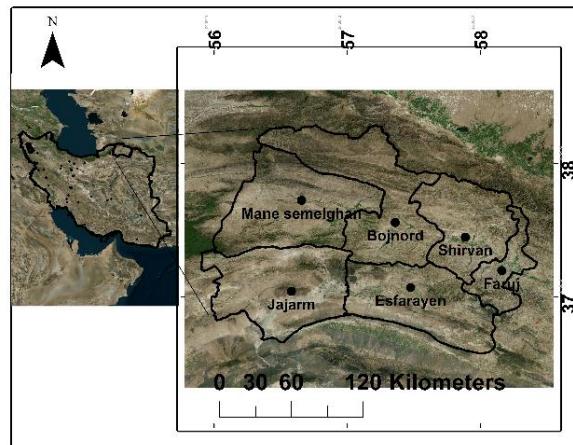
سه شاخص سنجش از دوری در پایش خشکسالی کشاورزی حوزه آبخیز دریاچه ارومیه پرداخته و تطابق خوبی (ضریب همبستگی ۰/۸۶) بین آن‌ها و شاخص SPI مشاهده نمودند. Esmaeili et al., (2021) نیز به بررسی شاخص خشکسالی VCI کشاورزی شهرستان داراب استان فارس با شاخص SPI پرداخته و ضریب همبستگی ۰/۷۶ با شاخص SPI مشاهده نمودند. اما از آنجایی که به لحاظ تجربی در مناطق خشک و نیمه خشک با دما و تبخر بالا، عوامل دیگری نیز در گستره شدت خشکسالی مؤثر است (Gaznavi et al., 2021)، برخی محققین در جهت رفع این نقص و اعمال تبخرتعرق پتانسیل به اصلاح شاخص‌های مزبور از جمله SPI پرداختند. Vicente-Serrano et al., (2010) به عنوان مثال تبخرتعرق استاندارد<sup>۱</sup> و تبخرتعرق پتانسیل، شاخص بارش-تبخرتعرق استاندارد<sup>۱</sup> و Ebrahimpour et al., (2015) با لحاظ نمودن تأثیر بارش مؤثر شاخص بارش مؤثر استاندارد را ابداع نمودند. به دلیل تأثیر بارز تبخرتعرق در فرایند خشکی (Teuling et al., 2013) شاخص‌های مزبور در سال‌های اخیر با موقیت، Liu et al., 2020; Pei et al., 2021; Teweldebirhan et al., (Nikbakht and Hadeli, 2021) آزمایش شد (Tigkas et al., 2019) نیز به مقایسه شاخص‌های SPI و SPEI در کشور اتیوپی پرداخته و نتیجه گرفتند که علیرغم همبستگی خوب دو شاخص، SPI نمی‌تواند تمام تغییرات مکانی را توجیه نموده و برای بیان خشکسالی کشاورزی مناسب نیست. در این پژوهش، نسخه اصلاح شده دیگری از SPI که به منظور کاربرد ویژه در بررسی تغییرات خشکسالی کشاورزی توسط (Tigkas et al., 2019) توسعه داده شده استفاده شده است. در این نسخه که به شاخص بارش استاندارد شده کشاورزی محور<sup>۲</sup> معروف است، مفهوم بارش مؤثر ماهانه جایگزین بارش ماهانه شده است. نسخه اصلاح شده ویژگی‌های نسخه اصلی از جمله سادگی ساختار و نیاز به داده‌های کمتر را دارا بوده و فرض می‌شود که به دلیل استفاده از داده‌های تبخرتعرق برای تعیین بارش مؤثر (که بارش قابل استفاده گیاه است) بتوان شدت خشکسالی کشاورزی را بهتر توجیه نمود. ادامه پژوهش، به مبانی نظری نسخه اصلاح شده و کاربرد آن در

<sup>1</sup> Standardised Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI)

<sup>2</sup> Agriculture-oriented Standardised Precipitation Index (aSPI)

### داده‌های مکانی و زمانی مورد استفاده

در این پژوهش به منظور بررسی پایش خشکسالی از داده‌های بارش و دمای ماهانه شهرهای مختلف استان (جدول ۱) با طول دوره آماری مشترک از ۱۳۶۸ تا ۱۳۹۷ (۱) با طول دوره آماری مشترک از ۱۳۹۷ تا ۱۳۸۳ استفاده شده است. برای تکمیل داده‌های برخی ایستگاه‌های جدیدتر از روش همبستگی در تکمیل و تصحیح و روش آزمون ران برای صحت و همگنی داده‌ها استفاده شد. جهت ارزیابی داده‌های شاخص نیز اطلاعات عملکرد کشت گندم شهرستان‌های مختلف در طی ۱۵ سال و دوره آماری ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۷ از سالنامه‌های آماری سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی و جهاد کشاورزی استان استفاده شد.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی استان خراسان شمالی در ایران

Figure 1- The geographic location of North Khorasan province in Iran

جدول ۱- برخی از مشخصات آماری اقلیمی ایستگاه‌های هواشناسی و عملکرد گندم طی دوره آماری مورد مطالعه

Table1- Some climatic statistical characteristics of stations and wheat yield during the studied period

Station/City	Precipitation Mean (mm)	Temperature Mean (°C)	Climate (De Martenne Classification)		Yield (kg ha⁻¹ y⁻¹)	
			Type	Aridity Index	Mean	Standard Deviation
Bojnord	256.2	13.4	Semi- Arid	10.95	882.9	298.5
Shirvan	226.7	13.1	Arid	9.81	752.3	331.5
Esfarayen	186.2	14.9	Arid	7.48	495.8	240.6
Mane Semelghan	287.1	15.9	Semi- Arid	11.08	884.7	281
Faruj	244.1	13	Semi- Arid	10.61	760.8	346.8
Jajarm	123.4	16.1	Arid	7.09	621.8	387.9

### شاخص بارش استاندارد کشاورزی محور

شاخص بارش استاندارد با برآش توزیع احتمالاتی گاما (یا لوگ‌نرمال) به سری داده‌های بارش در فواصل زمانی مختلف و انتقال احتمال تجمعی به توزیع نرمال استاندارد قابل محاسبه است. نحوه تعیین شاخص و طبقات میزان خشکسالی بر اساس احتمال وقوع در منابع متعددی آورده شده است (مانند Liu et al., 2021) که در اینجا اشاره نمی‌شود. یکی از محدودیت‌های این روش فقدان پارامتر معرف بیلان آب خاک است که کاربرد آن را در شرایط تغییر اقلیم و تعیین خشکسالی کشاورزی محدود می‌سازد (Zarch et al., 2015). بنابراین جایگزینی بارش مؤثر بجای متغیر بارش می‌تواند منجر به بهبود برآورد و ارزیابی اثرات خشکسالی بر پوشش گیاهی شود. برای محاسبه شاخص aSPI توزیع احتمالاتی تجمعی با استفاده از معادله‌های ۲ و ۳ به توزیع نرمال تبدیل می‌شود (Tigkas et al., 2019). آستانه‌های احتمالاتی وقایع مختلف خشکی نیز مشابه جدول SPI است.

### مفهوم بارش مؤثر

با توجه به زمینه مطالعاتی مختلف تعاریف متعددی نیز از بارش مؤثر انجام شده است. Byun and Wilhite (1999) از این اصطلاح برای مقادیر بارش در دسترس کاهش یافته در طی زمان استفاده کردند. از دیدگاه کشاورزی، آن بخشی از بارش (رواناب سطحی) است که پاسخگوی نیاز آبی گیاه بوده یا برای رشد گیاه قابل دسترس باشد و مقدار آن معادل تفاوت بارش نازل یافته و رواناب و تبخیر است (Adnan and hayatkhan, 2008). تعیین بهترین تابعی که معادل آهنگ زمانی این کاهش باشد مشکل بوده و تحت تأثیر عوامل مختلفی از جمله توپوگرافی، خصوصیات خاک، دما، رطوبت، سرعت باد می‌باشد (Roudier and Mahe, 2010) و مقدار آن از طریق اندازه‌گیری مستقیم با لایسیمتر (دقیق‌ترین)، معادله بیلان آب منطقه و یا روش‌های تجربی بدست می‌آید.

## نتایج و بحث

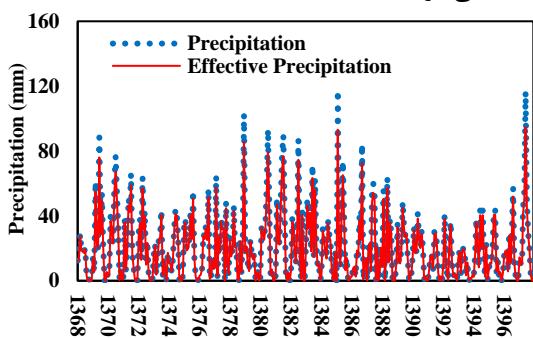
به منظور مقایسه شاخص‌های مختلف در تطابق با عملکرد محصول گندم دیم، جهت محاسبه و برآورد بارش مؤثر ماهانه از روش USDA استفاده شد. روش مذبور به صورت ماهانه به بارش کل اعمال شد تا به شاخص aSPI اعمال شود. در جدول ۲ مقدار آماره T تحلیل زوجی بارش و بارش مؤثر ماهانه در ایستگاه‌های مختلف نشان داده شده است.

جدول ۲- مقدار آماره T بین بارش ماهانه و بارش مؤثر در ایستگاه‌های مورد مطالعه

Table 2- Result of T- Test analysis between monthly total precipitation and effective precipitation in studied stations

Station	T value	Station	T value
Bojnord	9.62	Mane Semelgan	11.89
Shirvan	10.41	Faruj	10.63
Esfarayen	9.61	Jajarm	7.66

نتایج نشان داده که در ایستگاه‌های با شرایط اقلیمی خشکتر، مقدار آماره مذبور کمتر (جاجرم با مقدار ۷/۶۶) و با مرطوب‌تر شدن اقلیم، مقدار آن بیشتر (ماهه و سملقان با مقدار عددی ۱۱/۸۹) می‌شود که با این واقعیت که در ایستگاه‌های با اقلیم خشک، بارش مازاد کمی وجود دارد، منطبق است. در شکل ۲ نیز مقایسه تغییرات بارش و بارش مؤثر در مقیاس ماهانه به صورت نمونه در ایستگاه بجنورد ملاحظه می‌شود.



شکل ۲- میزان تغییرات بارش و بارش مؤثر در ایستگاه بجنورد  
Figure 2- Total precipitation and effective precipitation changes in Bojnord station

همانطور که مشهود است، در مقادیر بالای بارش‌های ماهانه بخش بیشتری از آن به صورت بارش مازاد در می‌آید و بدیهی است که در شرایط مذبور هرچند بارش مازاد باعث افزایش قابل توجه در شاخص SPI می‌شود ولی در شاخص

$$aSPI = \left( t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right), \quad (2)$$

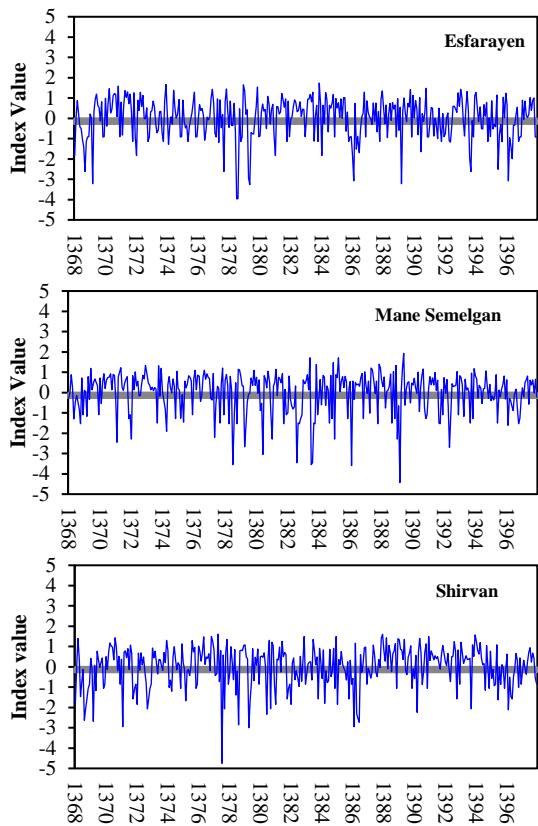
$$0 < H(x) \leq 0.5, \quad t = \sqrt{\ln(1/H(x)^2)} \\ aSPI = \left( t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right), \quad (3)$$

که مقادیر پارامترهای ثابت آن شامل  $C_0 = ۲/۵۱۵۵۱۷$ ،  $d_1 = ۰/۴۳۲۷۸$ ،  $C_1 = ۰/۱۰۳۲۸$ ،  $C_2 = ۰/۰۰۱۳۰۸$  و  $d_2 = ۰/۱۸۹۲۶۹$  است.  $H(x)$  نیز احتمال تجمعی بارش مؤثر در دوره زمانی معین از توزیع گاما است. با توجه به اینکه هدف از شاخص اصلاح شده، کاربرد در زمینه بررسی خشکسالی کشاورزی است، انتخاب دوره‌های مرجع زمانی و گام‌های زمانی محاسباتی مؤثر در رشد گیاه حائز اهمیت است. به دلیل اینکه الگوی رشد پوشش گیاهی از الگوهای فصلی آب و هوایی تعیین می‌کند، استفاده از گام زمانی سالانه برای محاسبه aSPI منطقی است. در مورد گیاهان زراعی، انتخاب دوره مرجع مناسب بر اساس مراحل توسعه و رشد گیاه می‌تواند شامل کل دوره توسعه گیاه یا بخش خاصی از مراحل رشد که به خشکسالی حساس است، باشد. شروع این دوره نیز مصادف با کشت محصول است که اثر تجمعی کمبود آب در دسترس در سایر مراحل رشد گیاه به خوبی منعکس می‌شود. در چارچوب این تحقیق، اثربخشی هر شاخص در نمایش آثار خشکسالی بر تولید کشاورزی از طریق همبستگی شاخص‌ها با عملکرد یک محصول برای یک سری زمانی و معیار مناسب بودن آن‌ها برای شناسایی خشکسالی کشاورزی، ارزیابی می‌شود. از آنجاکه عملکرد گیاهان زراعی هر منطقه به دلیل نوع خاک، مدیریت و غیره قابل مقایسه با یکدیگر نیستند، جهت روندزدایی از داده‌های مذبور از عملکرد استاندارد شده شهرستان مطابق معادله ۴ استفاده شد (Du et al., 2013).

$$S_t Y = (Y_j - \bar{Y}) / \sigma \quad (4)$$

که  $Y_j$  و  $\bar{Y}$  عملکرد محصول سالانه و میانگین هر شهر و انحراف معیار عملکرد در طی دوره آماری ۱۳۸۳ الی ۱۳۹۷ است.

مقیاس ماهانه و در تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه ترسیم شد. نتایج بررسی مقادیر شاخص نشان داد که در طی دوره آماری مورد مطالعه، ایستگاه بجنورد با ۹ ماه کمترین و ایستگاه ماهه و سملقان با ۱۵ ماه بیشترین ماههای خشک (با مقادیر کمتر از -۲) را تجربه کرده‌اند. ایستگاه فاروج، اسفراین، شیروان و جاجرم نیز به ترتیب با ۱۱، ۱۲، ۱۳ و ۱۳ ماه، ماههای خشکی را در همین پنجره زمانی پشت سر گذاشته‌اند.

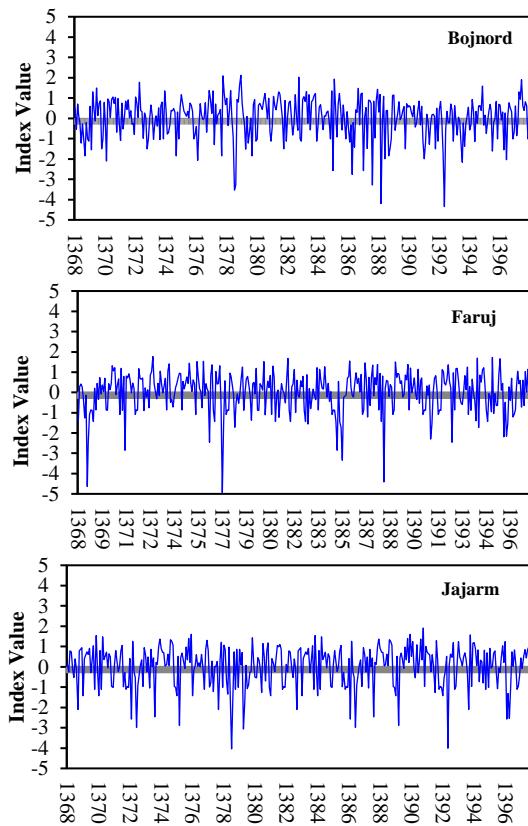


شکل ۳- شاخص aSPI در مقیاس ماهانه در ایستگاه‌های مورد مطالعه

Figure 3- Monthly scale of aSPI index in studied stations

2016). لذا جهت بررسی کارایی و مقایسه شاخص‌ها، مقادیر شاخص‌های مذبور در دوره‌های مرجع زمانی معمول مؤثر بر رشد گندم دیم (Tigkas et al., 2019) محاسبه و همبستگی بین مقادیر مختلف دو شاخص و عملکرد استاندارد شده محصول طی دوره آماری مورد نظر محاسبه گردید که نتایج آن در جدول ۳ آورده شده است. در نگاه کلی می‌توان دریافت که همبستگی بسیار بالایی بین هیچ یک از دو شاخص و عملکرد محصول وجود ندارد. فقط در ایستگاه اسفراین در دو پنجره زمانی ۳ ماهه، معنی‌داری همبستگی در سطح یک درصد

aSPI افزایش فوق کمتر بوده و به صورت منطقی باعث تطبیق بیشتری با میزان عملکرد محصولات کشاورزی می‌شود. زیرا در ماههای خشک، بارش کمتر از ظرفیت نگهداری خاک است ولی در ماههای مرطوب، بخش بیشتری از بارش از طریق رواناب یا نفوذ از دسترس گیاه خارج شده و نمی‌تواند مورد استفاده گیاه قرار بگیرد. به منظور بررسی نتایج شاخص aSPI، در شکل ۳ نمودار شاخص مذبور در



شکل ۳- شاخص aSPI در مقیاس ماهانه در ایستگاه‌های مورد مطالعه

همانطور که ذکر شد اقلیم شهرهای مختلف استان بسیار متغیر است. این تنوع اقلیم باعث شده تا شروع کشت پاییزه گندم در شهرهای مختلف نیز متفاوت و از حدود اوایل آبان تا اوایل آذر باشد و کشاورزان تا شروع بارش‌های پاییزه کشت گندم دیم انجام نمی‌دهند. مطالعات زیادی هم در مورد تأثیر رطوبت خاک بر سرعت پنجه‌زنی و ساقه‌دهی و ظهور سنبله در مراحل مختلف و حساسیت عملکرد گندم به تغییرات رطوبتی دوره‌های جوانه‌زنی، پنجه‌زنی، سنبله‌دهی و پرشدن دانه اشاره داشته‌اند ( Kazemi and Ghorbani.,

بر ضعف ساختاری شاخص، شاید بتوان با گستردگی و تنوع شرایط اقلیمی شدید در سطح یک شهرستان نیز مرتبط دانست.

(دوره زمانی اسفند-اردیبهشت با ضریب ۰/۶۵۱ و فوروردین- خرداد با ضریب ۰/۶۴۸) ملاحظه می‌شود. دلیل آن را علاوه

جدول ۳- ضریب همبستگی بین شاخص‌های SPI و aSPI و عملکرد محصول گندم در دوره‌های مرجع (Tigkas et al., 2019) (شهرهای

مختلف استان خراسان شمالی در دوره آماری ۱۳۹۷-۱۳۸۳)

Table3- Correlation between SPI, aSPI and wheat standardized yield in reference periods (Tigkas et al., 2019) in different cities of North Khorasan province in period of 1383- 1397

Reference Period (Months)	Bojnord		Shirvan		Faruj		Jajarm		Manzeh		Semelgan		Esfarayen	
	SPI	aSPI	SPI	aSPI	SPI	aSPI	SPI	aSPI	SPI	aSPI	SPI	aSPI	SPI	aSPI
12	Oct- Sep	0.43	0.434	0.351	0.36	0.308	0.311	0.423	0.444	0.399	0.414	0.436	0.438	
9	Oct- Jun	0.404	0.409	0.416	0.422	0.408	0.414	0.544*	0.545*	0.39	0.403	0.452	0.454	
8	Nov- Jun	0.429	0.432	0.437	0.441	0.407	0.476	0.498	0.5	0.347	0.355	0.455	0.456	
7	Nov- May	0.543*	0.548*	0.365	0.368	0.347	0.303	0.497	0.499	0.312	0.323	0.427	0.428	
6	Oct- Mar	0.54	0.547	0.287	0.28	0.225	0.217	0.156	0.15	0.307	0.342	0.133	0.142	
6	Nov- Apr	0.563	0.566	0.397	0.399	0.348	0.301	0.156	0.409	0.36	0.377	0.367	0.366	
6	Dec- May	0.498	0.51	0.33	0.336	0.305	0.307	0.483	0.478	0.291	0.3	0.47	0.475	
6	Jan- jun	0.322	0.314	0.428	0.494	0.459	0.499	0.522*	0.524*	0.245	0.239	0.511	0.515*	
5	Nov- Mar	0.59*	0.595	0.275	0.267	0.274	0.262	0.258	0.251	0.249	0.274	0.142	0.152	
4	Nov- Feb	0.485	0.493	0.17	0.156	0.054	0.037	0.23	0.226	0.335	0.35	0.079	0.088	
3	Nov- Jan	0.595	0.603	0.255	0.248	0.249	0.251	0.134	0.13	0.525*	0.528*	0.244	0.248	
3	Dec- Feb	0.399	0.4	0.056	0.039	0.081	0.059	0.181	0.179	0.323	0.345	0.035	0.043	
3	Jan- Mar	0.475	0.487	0.296	0.29	0.24	0.227	0.42	0.419	0.084	0.096	0.112	0.12	
3	Feb- Apr	0.354	0.373	0.372	0.367	0.065	0.108	0.482	0.481	0.163	0.157	0.443	0.441	
3	Mar- May	0.441	0.459	0.315	0.323	0.345	0.342	0.464	0.463	0.208	0.183	0.649**	0.651**	
3	Apr- Jun	0.092	0.091	0.463	0.469	0.473	0.484	0.49	0.492	-0.197	-0.211	0.643**	0.648**	
1	Nov	0.275	0.268	0.358	0.356	0.365	0.361	0.439	0.439	0.232	0.234	0.347	0.348	
1	Dec	0.124	0.125	0.12	0.117	0.119	0.119	-0.57*	-0.57*	0.543*	0.541*	0.205	0.205	
1	Jan	0.432	0.434	0.411	0.415	0.369	0.369	0.268	0.268	0.256	0.254	0.206	0.208	
1	Feb	0.012	0.015	0.053	0.041	0.114	0.125	0.192	0.194	-0.048	-0.045	-0.198	-0.195	
1	Mar	0.543*	0.547*	0.381	0.381	0.386	0.391	0.304	0.303	0.064	0.079	0.37	0.377	
1	Apr	0.122	0.125	0.395	0.401	0.373	0.402	0.381	0.383	-0.14	-0.157	0.5*	0.506*	
1	May	-0.162	-0.16	-0.26	-0.26	0.229	0.228	0.204	0.203	-0.322	-0.325	0.134	0.133	
1	Jun	-0.006	-0.012	0.214	0.218	0.398	0.401	0.063	0.063	0.181	0.181	0.294	0.293	

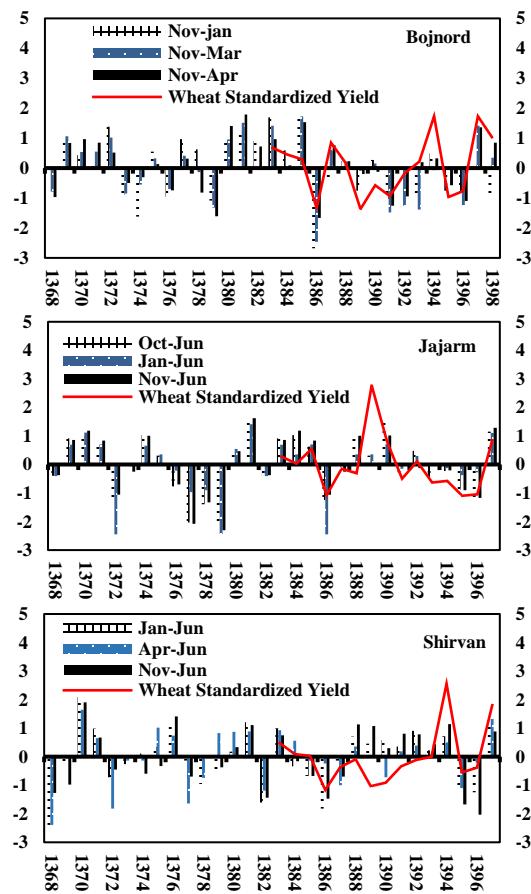
\* and \*\* significant in probability levels of 5% and 1 % respectively

و \*\*\* به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

قضاوی در مورد انتخاب دوره زمانی مناسب جهت توجیه عملکرد محصول تسهیل شود. همانطور که در نمودار بجذور ملاحظه می‌شود هر سه دوره زمانی از آبان شروع شده‌اند ولی علیرغم اینکه دوره ۳ ماهه آبان- دی بیشترین ضریب همبستگی (۰/۶۰۳) را با عملکرد گندم دارد، به لحاظ مقایسه گرافیکی دوره‌های خشک و تر با نوسانات عملکرد متناظر، دوره ۶ ماهه آبان- فوروردین (با ضریب همبستگی ۰/۵۶۶) نتایج مطلوب‌تری را نشان می‌دهد که با مرحله فیزیولوژی رشد گندم در شرایط معمول نیز متناسب‌تر است و بیانگر تأثیرپذیری رشد گندم در بجذور از بارش آبان تا فوروردین است. ضعف تطابق دوره آبان- فوروردین در سال‌های ۱۳۸۷ و ۱۳۹۷ و قوت تطابق در دوره آبان- فوروردین در سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۳۹۴ کاملاً مشهود است. هرچند ضریب همبستگی بالای دوره ۶ ماهه آبان- اردیبهشت (ضریب همبستگی ۰/۵۴۸) نیز موید این مطلب است که بارش ماه

بعنوان مثال ایستگاه کوسه در شهرستان شیروان غالباً در رده سرددربین نقطه کشور در فصل زمستان گزارش می‌شود، در حالی که بخش‌های دیگری از این شهر، شرایط معتدل‌تری را می‌گذرانند. شرایط مشابه آن در سایر شهرهای استان نیز ملاحظه می‌شود. مورد دیگری که از جدول مذبور منتج می‌شود اینست که علیرغم اینکه در اکثر دوره‌های زمانی و شهرها مقدار ضریب همبستگی بین شاخص aSPI نسبت به شاخص SPI بیشتر است، اختلاف اندکی بین این دو وجود دارد. به همین دلیل در ادامه به دلیل پایه منطقی شاخص aSPI به بررسی دوره زمانی منتخب توسط این شاخص پرداخته می‌شود. به دلیل اینکه وجود داده‌های اریب (حتی به تعداد اندک) ضریب همبستگی را به شدت تحت تأثیر خود قرار می‌دهند لذا سه دوره زمانی با ضریب همبستگی بالاتر در هر شهر جهت بررسی بیشتر به صورت گرافیکی ترسیم شد (شکل ۴) تا

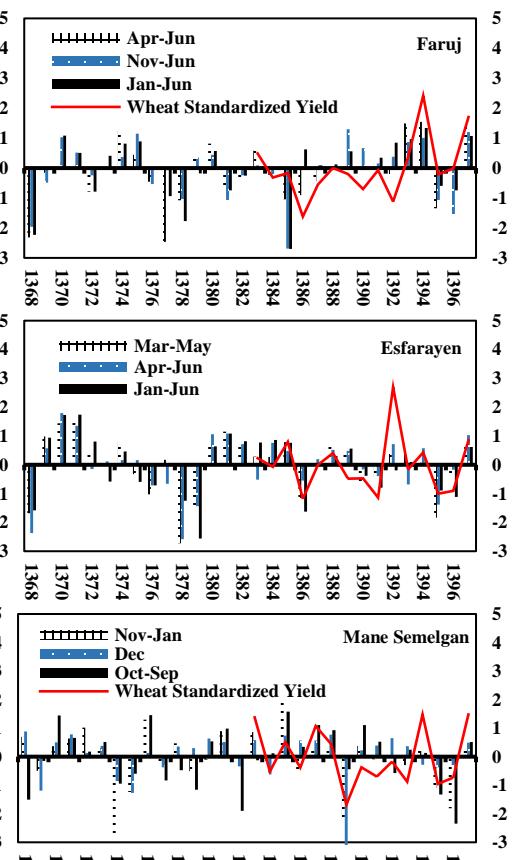
شیروان با توجه به تطابق اقلیمی و مشابهت با بجنورد و فاروج، انتظار نتایج مشابهی وجود دارد و علیرغم عدم معنی-داری همبستگی هیچ یک از دوره‌ها (مشا به فاروج)، دوره زمانی ۸ ماهه دی- خرداد (با ضریب همبستگی  $0.494$ ) و دوره ۳ ماهه فروردین- خرداد ( $0.469$ ) و آبان- خرداد ( $0.441$ ) به ترتیب بیشترین تطابق را با عملکرد محصول داشته‌اند که ضمن تایید نتایج فاروج (به دلیل مجاورت مکانی و شباهت اقلیمی) بیانگر تأثیرپذیری رشد از بارش بهاره به همراه بارش پاییزه می‌باشد. ضعف تطابق در دوره آبان- خرداد و دی- خرداد در سال‌های  $1385$ ،  $1386$  و  $1389$  و قوت تطابق در دوره فروردین- خرداد در سال‌های  $1384$ ،  $1385$  و  $1390$  کاملاً مشهود است.



شکل ۴- تغییرات مقدار دشار شاخص (محور سمت چپ) در دوره‌های زمانی مرجع با الاترین مقدار همبستگی و عملکرد استاندارد شده متناظر تولید گندم (محور سمت راست) در ایستگاه‌های مورد مطالعه

Figure 4- Index changes (left axis) in reference periods with higher correlation and corresponding wheat standardized yield (right axis) in studied stations

اردیبهشت نیز مشابه بارش پاییزه در میزان عملکرد محصول مؤثر است و به لحاظ تجربی و عملی نیز تأثیر زیادی در رشد گندم در شرایط منطقه را دارد. در مورد ایستگاه فاروج دوره گندمی ۶ ماهه دی- خرداد بیشترین ضریب همبستگی زمانی ( $0.476$ ) وجود دارد که با توجه به اینکه دو دوره زمانی ۳ ماهه فروردین- خرداد ( $0.484$ ) و ۶ ماهه آبان- خرداد ( $0.476$ ) نیز به ترتیب رتبه‌های بعدی بالاترین همبستگی را دارند می‌توان تأثیرپذیری عملکرد محصول از بارش بهاره و ماه منتهی به خرداد را دریافت. در نمودار مربوطه نیز ضعف تطابق دوره دی- خرداد در سال‌های  $1386$ ،  $1387$ ،  $1388$  و  $1389$  و قوت تطابق دوره فروردین- خرداد در بقیه سال‌ها بخصوص سال  $1396$  کاملاً مشهود است. در ایستگاه



دوره زمانی، می‌توان نتیجه گرفت که شرایط کل دوره رشد در میزان عملکرد محصول تأثیر بالایی دارد و هر زمانی که در یک دوره، کاهش بارش مؤثر وجود داشته، تأثیر منفی شدیدتری در عملکرد نهایی محصول به وجود آمده است. قوت تطبیق دوره مهر- خرداد با عملکرد محصول در سال ۱۳۹۳ نسبت به سایر دوره‌های زمانی کاملاً مشهود است.

### نتیجه‌گیری

طیف گسترده‌ای از مطالعات کاربردی وجود دارد که در آنها ارزیابی خشکسالی از اهمیت بالایی برخوردار است و ممکن است بر اساس اهداف هر مطالعه، رویکردهای متفاوتی دنبال شود. در حالی که ارزیابی عملکرد مدل‌ها یا شاخص‌ها در نمایش شرایط خشکسالی نیز ممکن است متفاوت باشد. برای توصیف خشکسالی کشاورزی، می‌توان معمولاً نتایج شاخص را با متغیری که نشان دهنده اثرات خشکسالی کشاورزی است، مرتبط نمود. به همین دلیل از شاخص aSPI که نسخه توسعه‌یافته SPI است و از مفهوم بارش مؤثر در محاسبات شاخص استفاده می‌کند، بهمنظور نمایش نوسانات زمانی خشکسالی و مطابقت با عملکرد محصول استراتژیک گندم، در شهرهای مختلف استان خراسان شمالی استفاده شده است. اگرچه چنین روش‌هایی قابلیت عملی سایر مدل‌های پیچیده را ندارند ولی به دلیل سادگی ساختار و نیاز حداقلی به داده‌ها، نتایج قابل قبولی را تاکنون رائه داده‌اند. نتایج اجرای شاخص‌ها در مقیاس زمانی ماهانه نشان داد که غیر از ایستگاه چنین روش‌هایی قابلیت ایستگاه‌ها اختلاف معنی‌داری بین داده‌های دو شاخص وجود دارد که با نتیجه (Tigkas et al., 2019) شاخص اصلاح شده را توصیه نموده بودند مطابقت دارد. نتایج بررسی دوره‌های زمانی مختلف نیز بیانگر تأثیر بارش‌های بهاره و پاییزه در ایستگاه‌های بجنورد (دوره آبان- اردیبهشت)، بارش‌های بهاره در فاروج، اسفراین و شیروان (فروریدین- خرداد)، تأثیر بارش‌های ابتدای فصل رشد در ماهه و سملقان (دوره زمانی آبان- دی) و تأثیرپذیری عملکرد محصول گندم دیم در کل دوره رشد در جاجرم است. (Tigkas et al., 2019) نیز در تحقیق خود اظهار داشتند علیرغم اینکه دوره زمانی ۳ ماهه می‌تواند دوره مناسبی برای پایش خشکسالی کشاورزی

در ایستگاه مانه و سملقان با توجه به بالاترین متوسط بارش (جدول ۱) انتظار نتایج متفاوت‌تری در جدول ۳ وجود دارد. بالاترین مقدار همبستگی در ماه آذر (۰/۵۴۱) و سپس دوره آبان- دی (۰/۵۲۸) و مهر- شهریور (۰/۴۱۴) نیاز به بررسی بیشتر در روند تغییرات و تناسب با عملکرد محصول را مضاعف می‌سازد. هرچند ضعف نسبی تطبیق شاخص با عملکرد در دوره زمانی ماه آذر مشهود است، ولی با توجه به تطبیق مناسب‌تر دوره آبان- دی می‌توان به اثرگذاری بالای بارش ابتدای دوره رشد دست یافت. با توجه به بارش نسبتاً مناسب مانه و سملقان و تعديل دمایی، بارش‌های منظم‌تر بهاره نیز در منطقه وجود دارد که نیاز رشد گندم را مرتفع می‌سازد. لذا بارش ابتدای رشد تأثیر بیشتری را در میزان عملکرد محصول نشان داده است. ضعف تطبیق دوره مهر- شهریور در سال‌های ۱۳۸۳، ۱۳۸۶، ۱۳۸۴ و ۱۳۹۱ و ۱۳۹۳ و ضعف تطبیق دوره ماه آذر در سال‌های ۱۳۸۶، ۱۳۹۱، ۱۳۸۴ و ۱۳۹۲ و ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ مشخص است. در اسفراین با کمتر شدن بارش و ضریب خشکی پایین نسبت به شهرهای بررسی شده قبلی، انتظار تفاوت معنی‌داری در نتایج وجود دارد. همانطور که در جدول ۳ مشخص است، علیرغم اینکه بارش زمانی دوره ۶ ماهه دی- خرداد ضریب همبستگی بالایی (۰/۵۱۵) دارد، دوره زمانی ۳ ماهه اسفند- اردیبهشت (ضریب ۰/۶۵۱) و فروردین- خرداد (ضریب ۰/۶۴۸) با دوره زمانی مشترک فروردین- اردیبهشت ضریب همبستگی معنی‌داری در سطح یک درصد نشان داده‌اند و بیانگر اهمیت بارش بهاره در عملکرد محصول و کاهش معنی‌دار آن در صورت کمبود بارش مؤثر در منطقه خواهد بود. عملکرد تطبیق نیز تقریباً مشابه یکدیگر و غیر از سال ۱۳۸۳ در بقیه سال‌ها تطبیق مناسب‌تری در دوره فروردین- خرداد ملاحظه می‌شود. در ایستگاه جاجرم به عنوان خشک‌ترین شهرستان استان، متفاوت‌ترین نتیجه قابل مشاهده است. دوره زمانی ۹ ماهه مهر- خرداد که تقریباً کل دوره کاشت تا برداشت گندم را شامل می‌شود بیشترین میزان همبستگی (۰/۵۴۵) را عملکرد محصول دارد و در رتبه‌های پایین‌تر همبستگی، دوره‌های ۶ ماهه دی- خرداد (۰/۵۲۴) و ۸ ماهه آبان- خرداد (۰/۵) ملاحظه می‌شود و با توجه به اشتراک‌های سه

- Du, L., Tian, Q., Yu, T., Meng, Q., Jancso, T., Udvardy, P., Huang, Y. 2013. A comprehensive drought monitoring method integrating MODIS and TRMM data. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 23(1): 245- 253.
- Ebrahimipour, M., Rahimi, J., Nikkhah, A., Bazrafshan, J. 2015. Monitoring Agricultural Drought Using the Standardized Effective Precipitation Index. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 141(1) .DOI: 10.1061/(ASCE)IR.1943- 4774.0000771
- Esmaili, H., Mirmousavi, S., Soheili, E. 2021. Investigation of agricultural drought time series in Darab city using remote sensing and Google Earth engine system. Journal of Geography and Environmental Hazards, doi: 10.22067/geoeh.2021.69186.1029. (In Farsi)
- Gaznavi, M., Mosaedi, A., Ghabaei Sough, M. 2021. The Impact of Breakpoints in Rainfall Time Series on Drought Characteristics Changes (Case Study: Tabriz and Arak Stations, Iran). Water and Soil, 35(3): 409- 425. (In Farsi)
- Hamzeh S, Farahani Z, Mahdavi S, Chatrobgoun O, Gholamnia M. 2017. Spatio-temporal monitoring of agricultural drought using remotely sensed data (Case study of Markazi province of Iran). Journal of Spatial Analysis Environmental Hazards, 4 (3):53- 70. (In Farsi)
- Leng, G., Hall, J. 2019. Crop yield sensitivity of global major agricultural countries to droughts and the projected changes in the future, Science of The Total Environment, 654: 811- 821.
- Leng, G., Huang, M. 2017. Crop yield response to climate change varies with crop spatial distribution pattern. Scientific Reports, 7, 1463.
- Kazemi, H., Ghorbani, Kh. 2016. Investigation of different interpolation methods for estimation and zoning of precipitation variables in agricultural lands of Aq-Qalla township for rainfed cropping of autumn cereals. Journal of Water and Soil Conservation, 22(4): 1- 23. (In Farsi)
- khaleghi, N. 2016. Comparison of effective rainfall estimation methods in agriculture. Journal of Water and Sustainable Development, 2(2): 51- 58. (In Farsi)
- Kheyri, R., Mojarrad, F., Masompour, J., Farhadi, B. 2021. Evaluation of drought changes in Iran using SPEI and SC- PDSI. The Journal of Spatial Planning, 25 (1): 143- 174. (In Farsi)
- Liu, C., Yang, C., Yang, Q. et al., 2021. Spatiotemporal drought analysis by the standardized precipitation index (SPI) and standardized precipitation evapotranspiration

باشد، سایر دوره‌ها نیز در مناطق مختلف بسیار مؤثر بوده و باقیستی در هر منطقه به صورت مجزا بررسی شود. با توجه به اینکه ایستگاه‌های هواشناسی استان خراسان شمالی طول دوره آماری چندانی ندارند - بجز بجنورد-، پیشنهاد می‌شود مشابه این تحقیق در سایر مناطق با اقلیم‌های متنوع و طول دوره آماری بیشتر نیز انجام شود تا ضمن تایید مؤثر بودن شاخص aSPI نسبت به SPI در مناطق خشک و نیمه‌خشک، به انتخاب دوره‌های زمانی مؤثر بارش در مناطق مختلف نیز دست یافت. نتایج چنین مطالعاتی در برآورد تولید گندم و سایر محصولات کشاورزی با استفاده از پیش‌بینی‌های بارش، کمک شایانی به ذینفعان حوزه امنیت غذایی خواهد نمود.

## منابع

- Adnan, Sh., Hayat Khan, A. 2008. Effective rainfall for irrigated agriculture plains of Pakistan. Pakistan Journal of Meteorology, 6: 61- 72.
- AghaKouchak, A., Farahmand, A., Melton, F.S., Teixeira, J., Anderson, M.C., Wardlow, B.D., Hain, C.R. 2015. Remote sensing of drought: Progress, challenges and opportunities. Reviews Geophysics, 53, 452-480.
- Alizadeh, P., Kamkar, B., Shataee, S., Kazemi, H. 2019. Spatial and Temporal Monitoring of Agricultural Drought in the Wheat Cultivated Area using Standard Precipitation Index (Case Study: West of Golestan Province). Journal of Agroecology, 11(3): 1069- 1084. (In Farsi)
- Bannayan, M., Sadeghi Lotfabadi, S., Sanjani, S. et al., 2011. Effects of precipitation and temperature on crop production variability in northeast Iran. International Journal of Biometeorology. 55, 387- 401.
- Beran, M.A., Rodier, J.A., 1985. Hydrological Aspects of Drought, Studies and Reports in Hydrology 39. Unesco- WMO, France, 151 pp.
- Byun, H., Wilhite, D. 1999. Objective quantification of drought severity and duration, Journal of Climatology, 12: 2747- 2756.
- Crocetti, L., Forkel, M., Fischer, M. et al., 2020. Earth Observation for agricultural drought monitorin in the Pannonian Basin (southeastern Europe current state and future directions. Regional Environmental Change, 20, 123. DOI: 10.1007/s10113- 020- 01710- w
- Dikici, M. 2020. Drought analysis with different indices for the Asi Basin (Turkey). Scientific Reports,10, 20739.

- C., Grünwald, T., Prasse, H., Spank, U. 2013. Evapotranspiration amplifies European summer drought. *Geophysical Research Letters*, 40(10): 2071–2075.
- Teweldebirhan, D., Uddameri, V., Forghanparast, F., Hernandez, EA., Ekwaro- Osire, S. 2019. Comparison of Meteorological- and Agriculture-Related Drought Indicators across Ethiopia. *Water*. 11(11), 2218. <https://doi.org/10.3390/w11112218>.
- Tigkas, D., Vangelis, H., Tsakiris, G. 2019. Drought characterisation based on an agriculture- oriented standardised precipitation index. *Theoretical and Applied Climatology*. 135:1435–1447
- Vaghefi, S.A., Keykhai, M., Jahanbakhshi, F. et al., 2019. The future of extreme climate in Iran. *Scientific Reports*. 9, 1464.
- Vangelis, H., Tigkas, D., Tsakiris, G .2013. The effect of PET method on Reconnaissance Drought Index (RDI) calculation. *Journal of Arid Environments*. 88: 130- 140.
- Vicente- Serrano, SM., Beguería, S., López- Moreno, JI. 2010. A multi- scalar drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index—SPEI. *Journal of Climatology*. 23:1696–1718.
- Zarch, M., Sivakumar, B., Sharma, A. 2015. Droughts in a warming climate: a global assessment of standardized precipitation index (SPI) and reconnaissance drought index (RDI). *Journal of Hydrology*. 526:183–195.
- Zhong, Sh., Wang, Ch., Yang, Y., Huang, Q. 2018. Risk assessment of drought in Yun- Gui- Guang of China jointly using the Standardized Precipitation Index and vulnerability curves, Geomatics. *Natural Hazards and Risk*, 9(1): 892- 918.
- Zhu, Q., Luo, Y., Xu, Y., Tian, Y., Yang, T. 2019. Satellite soil moisture for agricultural drought monitoring: assessment of SMAP- derived Soil Water Deficit Index in Xiang River Basin, China. *Remote Sensing*, 11: 362.
- Zscheischler, J., Westra, S., van den Hurk, B., Seneviratne, S., Ward, P. et al.2018. Future climate risk from compound events. *Natural Climate Change*, 8:469.
- index (SPEI) in Sichuan Province, China. *Scientific Reports*. 11, 1280.
- Madani, K., AghaKouchak, A., Mirchi, A. 2016. Iran's Socio- economic Drought: Challenges of a Water- Bankrupt Nation, *Iranian Studies*, 49:6, 997- 1016
- Maleki, A., Torkamani, M. (2015). Drought Management for Optimazation of Water Resources, *Agricultural Economics Research*, 7(25): 65- 89. (In Farsi)
- Navabi, N., Moghaddasi, M., Gangi, N. 2021. Assessment of Agricultural Drought Monitoring Using Various Indices based on Ground- based and Remote Sensing Data (Case Study: Lake Urima Basin). *Watershed Engineering and Management*, 13(1): 1- 12. (In Farsi)
- Nikbakht, J., Hadeli, F. 2021. Comparison of SPI, RDI and SPEI indices for droughts monitoring under climate change conditions (Case study: Kermanshah station). *Journal of Agricultural Meteorology*, 9(1): 14- 25. (In Farsi)
- Pei, Zh., Fang, Sh., Wang, L., Yang, W., 2020. Comparative Analysis of Drought Indicated by the SPI and SPEI at Various Timescales in Inner Mongolia, China. *Water*. 12(7): 1925. <https://doi.org/10.3390/w12071925>.
- Rahimi, J., Bazrafshan, J., Khalili, A. 2013. A Comparative Study on Empirical Methods for Estimating Effective Rainfall for Rainfed Wheat Crop in Different Climates of Iran. *Physical Geography Research Quarterly*, 45(3): 31- 46. (In Farsi)
- Roudier, P., Mahe, G. 2010. Study of water stress and droughts with indicators using daily data on the Bani River (Niger basin, Mali). *International Journal of Climatology*. 30 (11): 1689–1705.
- Shamloo, N., Faridhosseini, A., Alizadeh, A., Omidvar, J. 2018. Drought monitoring using Temperature Vegetation Dryness Index (TVDI) from MODIS satellite images on a regional scale. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 12(3): 525- 535. (In Farsi)
- Smith, M. 1992. CROPWAT—a computer program for irrigation planning and management. FAO Irrigation and Drainage Paper 46. Rome, Italy.
- Teuling, AJ., Van Loon, AF., Seneviratne, SI., Lehner, I., Aubinet, M., Heinesch, B., Bernhofer,

## Assesment of drought impacts on rainfed wheat yield using SPI and Agricultural- SPI indices (Case study: North Khorasan province)

M. Teimouri <sup>1\*</sup>, V. Gholami <sup>2</sup>, M.R. Khaleghi <sup>3</sup>

Received: 19/09/2021

Accepted: 24/09/2022

### Abstract

In this study, a modified version of standard precipitation index (SPI), namely Agriculture- SPI, or aSPI was used to assess the impacts of drought on rainfed wheat yield in North Khorasan province, northeast of Iran. In the aSPI index, the effective rainfall is used instead of precipitation. The USDA- SCS, method was used for effective rainfall calculation. Both indices were worked out, using 30- years (1989- 2018) monthly rainfall and temperature data. Rainfed wheat yield data for the period of 2004 to 2018 were also retrieved from local organizations and standardized for comparisons in different SPI time windows of 1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 and 12 months. The obtained annual yields were correlated with SPI and aSPI values in selected timescales. The results showed that in Bojnord station, the rainfall during November- May period, in Shirvan, Faruj and Esfarayen stations April- June, in Maneh- Semelgan station, November- December period and in Jajarm station, October- June period rainfall, are the most significant variables affecting the rainfed wheat according to drought indices used in study region.

**Keywords:** Drought assessment, Drought index, Effective rainfall, Wheat



<sup>1</sup> Assistant Professor, Department of Nature Engineering, Shirvan Faculty of Agriculture, University of Bojnord, Bojnord, Iran

(\*Corresponding Author Email Address: [m.teimouri@ub.ac.ir](mailto:m.teimouri@ub.ac.ir))

<sup>2</sup> Associate professor, Department of Range and Watershed Management, Faculty of Natural Sciences, University of Guilan, Guilan, Iran

<sup>3</sup> Associate professor, Department of Agriculture and Natural Resources, Torbat-e-Jam Branch, Islamic Azad University, Torbat-e-Jam, Iran

نحوه ارجاع مقاله:

تیموری، م.، غلامی، و.، خالقی، م.ر. ۱۴۰۱. مقایسه دو شاخص خشکسالی بارش استاندارد در ارزیابی تأثیرخشکسالی بر عملکرد گندم دیم در استان خراسان شمالی. نشریه هواشناسی کشاورزی، ۱۰(۲): ۱۷-۲۷.  
DOI: 10.22125/agmj.2022.305592.1123

Teimouri, M., Gholami, V., Khaleghi, M.R. 2023. Assesment of drought impacts on rainfed wheat yield using SPI and Agricultural- SPI indices (Case study: North Khorasan province). Journal of Agricultural Meteorology, 10(2): 17-27. DOI: 10.22125/agmj.2022.305592.1123

## مقایسه کارآبی روش‌های هوشمند و آماری در بازسازی داده‌های ساعت آفتابی (مطالعه موردی: شرق حوضه دریاچه ارومیه)

وحید مونسخواه<sup>۱</sup>، محمد خالدی علمداری<sup>\*</sup>، معین هادی<sup>۱</sup>، سعید صمدیان فرد<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۸/۲۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۲۳

### چکیده

یکی از متغیرهای هواشناسی که در مطالعات اقلیمی و برآورد تبخیر تعریق اهمیت زیادی داشته و عموماً دارای خلاهای آماری نسبتاً زیادی می‌باشد، ساعت آفتابی است. در پژوهش حاضر به منظور بازسازی داده‌های این کمیت در ایستگاه‌های تبریز، سراب، سهند و مراغه در دوره آماری ۱۳۶۹ تا ۱۳۹۸ از روش‌های هوشمند رگرسیون مانشین بردار پشتیبان (SVR)، شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN) و جنگل‌های تصادفی (RF) و روش‌های آماری شامل نسبت نرمال (NR)، مختصات جغرافیایی (GC) و ضریب همبستگی وزنی (CCW) استفاده شده است. برای ارزیابی و مقایسه نتایج از ساختارهای ضریب همبستگی، جذر میانگین مربعات خطأ، میانگین انحرافات مطلق و دیاگرام تیلور استفاده گردید. نتایج نشان داد که در حالت کلی، روش‌های ANN و مختصات جغرافیایی به ترتیب در بین روش‌های هوشمند و آماری، بالاترین دقیقت را در بازسازی داده‌های ساعت آفتابی دارند. در ایستگاه‌های تبریز و سهند، روش مختصات جغرافیایی به ترتیب با RMSE معادل ۰/۰۴ و ۰/۱۳ ساعت، در سراب روش SVR با RMSE معادل ۰/۰۵۸ ساعت و در مراغه روش نسبت نرمال با RMSE معادل ۰/۰۴۵ ساعت، بالاترین دقیقت را در بازسازی داده‌های ساعت آفتابی دارند. همچنین روش RF کمترین دقیقت را بازسازی داده‌های ساعت آفتابی از خود نشان داد. به عنوان یک نتیجه کلی چنین می‌توان بیان نمود که در ایستگاه‌های تبریز، سراب و سهند، هر دو دسته روش‌های هوشمند و آماری دقیقت تقریباً مشابهی دارند ولی در ایستگاه مراغه، روش‌های آماری برآوردهای دقیق‌تری در بازسازی داده‌های ساعت آفتابی دارند.

**واژه‌های کلیدی:** خلاء آماری، حوضه دریاچه ارومیه، دیاگرام تیلور، ساعت آفتابی

امروزه استفاده از روش‌های هوش مصنوعی در بازسازی داده‌های گم شده هیدرولوژیکی و اقلیمی بسیار گسترش یافته است. به عنوان مثال (Naghidi et al., 2010) برای تخمین داده‌های گم شده دبی ماهانه حوزه آبخیز کارون بزرگ، Coulibaly and Evora (2007) برای برآورد داده‌های گم شده هواشناسی و Tabari and Talaee (2015) برای بازسازی داده‌های کیفی رودخانه مارون از روش‌های هوشمند استفاده کردند. ساعت آفتابی یکی از مهم‌ترین متغیرهای اقلیمی است که برآورد دقیق آن در مطالعات هواشناسی، هیدرولوژی و کشاورزی از جمله برآورد نیاز آبی حائز اهمیت است. این در حالی است که بررسی داده‌های هواشناسی در ایستگاه‌های سینوپتیک واقع در حوضه

### مقدمه

برآورد داده‌های گم شده، به عنوان اولین مرحله در مطالعات هیدرولوژیکی و اقلیم‌شناسی شناخته می‌شود. داده‌های گمشده به دلایلی مانند خرابی موقت دستگاه اندازه‌گیری یا تعویض ادوات، قطعی ارتباط، عدم قرائت توسط کارشناس، تغییر محل اندازه‌گیری، تغییر اشخاص قرائت کننده و پالایش داده‌ها (حذف داده‌های پرت توسط Hasanpour and Dinpashoh, 2012) ایجاد می‌گردد (Dinpašoh, 2012). روش‌های مختلفی به منظور بازسازی و برآورد داده‌های گم شده وجود دارند که از جمله آن‌ها می‌توان به انواع روش‌های آماری و هوشمند اشاره کرد.

<sup>۱</sup> استادیار آبیاری و زهکشی، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

<sup>\*</sup> دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز  
(m.khaledi.a@gmail.com): نویسنده مسئول

نحوه ارجاع مقاله:

مونسخواه، و.، خالدی علمداری، م.، هادی، م.، صمدیان فرد، س. ۱۴۰۱. مقایسه کارآبی روش‌های هوشمند و آماری در بازسازی داده‌های ساعت آفتابی (مطالعه موردی: شرق حوضه دریاچه ارومیه). نشریه هواشناسی کشاورزی (Mouneskhah, V., Khaledi Alamdar, M., Hadi, M., Samadianfard, S. 2023. Comparison of the efficiency of intelligent and statistical methods in the reconstruction of sunshine hours data (Case study: East of Urmia Lake basin). Journal of Agricultural Meteorology, 10(2): 28-36. DOI: 10.22125/agmj.2022.315265.1126

داده‌های مجموع ماهیانه ساعت آفتابی ایستگاه هواشناسی زنجان اقدام نمود. نتایج نشان داد که می‌توان با استفاده از داده‌های هواشناسی ایستگاه هدف و ایستگاه‌های مجاور، مجموع ماهیانه ساعت آفتابی را با دقت بالایی بازسازی کرد. نتایج سناریوهای مختلف اعمال شده نشان داد که در صورتی که صرفاً از داده‌های هواشناسی ایستگاه هدف استفاده شود، می‌توان با پارامترهای هواشناسی حداقل و حداکثر دما، رطوبت نسبی متوسط، تابش فرازمنی و تعداد روزهای صاف، ابری و نیمه‌ابری با RMSE معادل  $16/79$  ساعت و خطای متوسط  $6/44$  درصد، مجموع ماهیانه ساعت آفتابی را تخمین زد. بهترین نتیجه نیز زمانی حاصل شد که از هر دو سری داده هواشناسی ایستگاه هدف و Sharifi et al., (2021) ایستگاه‌های مجاور استفاده گردید.

با استفاده از داده‌های تابش خورشیدی، ساعت آفتابی و دمای هوا، توانایی مدل‌های هوشمند را در برآورد تابش خورشیدی ماهانه ایستگاه تبریز مورد ارزیابی قرار داده و گزارش کردند که شبکه عصبی مصنوعی، بهترین مدل برای برآورد تابش خورشیدی ماهانه است. تا کنون مطالعات متعددی در مورد برآورد داده‌های گم‌شده بهخصوص داده‌های دما و بارش صورت گرفته است. با این حال بازسازی داده‌های ساعت آفتابی کمتر مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. با توجه به اینکه ساعت آفتابی یکی از متغیرهای اساسی مورد نیاز به منظور برآورد نیاز آبی گیاهان است و با علم به این که این متغیر داده‌های گم‌شده نسبتاً زیادی دارد، در پژوهش حاضر ارزیابی کارآیی روش‌های هوشمند و آماری در بازسازی ساعت آفتابی در شرق حوضه دریاچه ارومیه مورد توجه قرار گرفته است.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

محدوده مطالعاتی در پژوهش حاضر، شرق حوضه آبریز دریاچه ارومیه واقع در منطقه شمال غرب ایران می‌باشد. این مطالعه با استفاده از داده‌های ساعت آفتابی ایستگاه‌های سینوپتیک منتخب در شرق حوضه دریاچه ارومیه شامل تبریز، سراب، سهند و مراغه انجام گرفت. موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه در شکل ۱ نشان داده شده است. برای اطمینان از توزیع نرمال داده‌های مورد استفاده، از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف استفاده شد.

دریاچه ارومیه، نشان می‌دهد که ساعت آفتابی یکی از داده‌هایی است که تعداد داده گم شده زیادی دارد. Fooladmand (2012) با استفاده از داده‌های ماهانه دماهای کمینه، بیشینه و متوسط و رطوبت نسبی، ساعت آفتابی ماهانه را در استان فارس برآورد نمود. نتایج نشان داد که معادلات به دست آمده برای تخمین ساعت آفتابی از دقت FAO PM برخوردار است. Hasanpour and Dinpashoh (2012) یازده روش مبتنی بر هوش مصنوعی و کلاسیک را برای تخمین داده‌های اقلیمی گم شده در سه ناحیه اقلیمی ایران مورد بررسی قرار دادند. ایشان گزارش کردند که روش‌های مبتنی بر هوش مصنوعی دقت بیشتری در تخمین داده‌های گم شده دارند. Armanuos et al., (2020) بررسی ۲۱ روش کلاسیک بر روی اطلاعات ۳۴ ساله ۱۵ ایستگاه در منطقه اتیوپی به این نتیجه رسیدند که روش‌های نسبت نرمال، عکس فاصله وزن دار، رگرسیون خطی چندگانه، ضریب همبستگی وزنی و میانگین حسابی قابل اعتمادترین روش‌ها برای برآورد داده‌های گم شده بارش بوده و از این بین نسبت نرمال با بیشترین همبستگی و کمترین خطای نسبت به سایر روش‌ها قابل اعتمادتر می‌باشد. Bayat and Mirlatifi, (2009) مدل‌های رگرسیونی و شبکه‌های عصبی مصنوعی، تابش کل خورشیدی روزانه را در دو ایستگاه هواشناسی کرج (اقليم خشک) و شیراز (اقليم نیمه‌خشک) برآورد کردند. ایشان گزارش کردند که مدل شبکه عصبی مصنوعی با ورودی ساعت آفتابی حداقل و تابش فرازمنی روزانه و ساعت آفتابی اندازه‌گیری شده، با ضریب همبستگی  $0/94$  و RMSE معادل  $2/34$  مگاژول بر مترمربع در روز بهترین نتیجه را ارائه داد. Behranget al., (2010) نیز طی پژوهشی گزارش کردند که استفاده از شبکه عصبی در مقایسه با معادلات تجربی، سبب بهبود نتایج تخمین تابش خورشیدی می‌گردد. Piri et al., (2013) در مطالعه‌ای به منظور مدل‌سازی تابش خورشیدی در ایستگاه‌های زاهدان و بجنورد، گزارش کردند که مدل نروفازی برآورد بهتری نسبت به روش‌های تجربی در برآورد تابش دارد. Karbasi (2016) با استفاده از دو نوع شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چند لایه و تابع پایه شعاعی و همچنین داده‌های هواشناسی ایستگاه هدف و ایستگاه‌های مجاور به بازسازی

### رگرسیون ماشین بردار پشتیبان (SVR)

ماشین بردار پشتیبان یکی از روش‌های یادگیری است که بر مبنای تئوری یادگیری آماری در سال ۱۹۹۲ میلادی معرفی شده است (Boser et al., 1992). گسترش ماشین بردار پشتیبان بر اساس رگرسیون نیز در سال ۱۹۹۵ به نتیجه رسید (Vapnik, 1995). ماشین بردار پشتیبان مبتنی بر کمینه کردن ساختاری ریسک می‌باشد که از نظریه آموزش آماری گرفته شده است (Vapnik, 1998). مدل‌های ماشین‌های بردار پشتیبان به دو گروه عمده مدل طبقه‌بندی ماشین‌بردار پشتیبان و مدل رگرسیون بردار پشتیبان تقسیم‌بندی می‌شوند. مدل رگرسیون بردار پشتیبان در حل مسائل پیش‌بینی کاربرد دارد. در یک مدل رگرسیونی SVR لازم است وابستگی تابعی متغیر وابسته  $y$  به مجموعه‌ای از متغیرهای مستقل  $x$  تخمین زده شود. فرض بر این است که مانند دیگر مسائل رگرسیونی، رابطه بین متغیرهای وابسته و مستقل توسط یکتابع معین  $f$  به علاوه یک مقدار اضافی نویز مشخص می‌شود (معادله ۱).

$$y=f(x)+\text{noise} \quad (1)$$

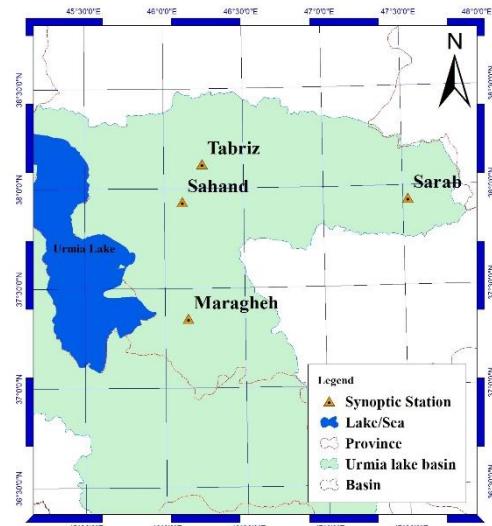
بنابراین موضوع اصلی پیدا کردن فرم تابع  $f$  است که بتواند به صورت صحیح موارد جدیدی را که SVR تاکنون تجربه نکرده است، پیش‌بینی کند. این تابع به وسیله آموزش مدل SVR بر روی یک مجموعه داده به عنوان مجموعه آموزش که شامل فرآیندی به منظور بهینه‌سازی دائمی تابع خطأ است، قابل دسترسی است. بر مبنای تعریف این تابع خطأ، دو نمونه از مدل‌های SVR شناخته شده است که عبارتند از مدل‌های رگرسیونی SVR نوع اول که به مدل‌های SVR-۷ مشهورند و مدل‌های رگرسیونی SVR نوع دوم که به مدل‌های SVR-۴ مشهورند. در این مطالعه مدل SVR-۴ به دلیل کاربرد گسترده آن در مسائل رگرسیونی استفاده گردید. برای این مدل، تابع خطأ به صورت معادله ۲ تعریف می‌شود.

$$\frac{1}{2} W^T W + C \sum_{i=1}^N \xi_i + C \sum_{i=1}^N \bar{\xi}_i \quad (2)$$

تابع خطای مذکور لازم است که با توجه به محدودیت‌های زیر کمینه گردد (معادله ۳).

$$W^T \phi(X_i) + b - y_i \leq \varepsilon + \xi_i \quad (3)$$

$$y_i - W^T \phi(X_i) - b \leq \varepsilon + \bar{\xi}_i \quad \bar{\xi}_i \geq 0, \quad i=1 \dots N$$



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه و ایستگاه‌های مطالعاتی  
Figure 1- Location of the studied area

به منظور بازسازی داده‌های ساعتی آفتایی در ایستگاه‌های منتخب واقع در شرق حوضه دریاچه ارومیه شامل ایستگاه‌های تبریز، سراب، سهند و مراغه در یک بازه زمانی ۳۰ ساله بین سال‌های ۱۳۶۹ تا ۱۳۹۸، از داده‌های روزانه ساعتی آفتایی صرفاً در روزهایی که در هر چهار ایستگاه مورد مطالعه داده وجود داشت، استفاده شد. همچنین، ۷۵ درصد داده‌ها برای واسنجی و ۲۵ درصد باقیمانده برای صحبت‌سنگی روش‌های مذکور مورد استفاده قرار گرفتند. برای بازسازی داده‌های ساعتی آفتایی در هریک از ایستگاه‌ها، تمامی داده‌های یک ایستگاه حذف نموده و آن ایستگاه به عنوان ایستگاه هدف برای بازسازی داده‌ها تعیین گردید. در ادامه با استفاده از داده‌های سایر ایستگاه‌ها و با کاربرد روش‌های مورد مطالعه، بازسازی داده‌ها به انجام رسید. در جدول ۱، برخی از مشخصات هواشناسی و اقلیمی بلندمدت ایستگاه‌های مورد مطالعه ارائه شده است.

جدول ۱- مشخصات اقلیمی ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه در شرق حوضه دریاچه ارومیه

Table 1- Characteristics of the studied synoptic stations in the east of Lake Urmia basin.

Station	Elevation above sea level (m)	Average Temperature (°C)	Rain (mm)	Average sunshine hours (hr)
Tabriz	1361	13.1	254	7.9
Sarab	1682	8.8	239	8
Sahand	1641	12.2	225	7.8
Maragheh	1344	13.3	277	8.2

<sup>1</sup> Support Vector Regression

$$y=f(\sum_{i=1}^n w_i x_i + b) \quad (4)$$

در این معادله،  $w_i$  بردار وزن،  $x_i$  بردار ورودی  $(i=1,2,\dots,n)$ ،  $b$  بایاس،  $f$  تابع انتقال و  $y$  خروجی می‌باشد.

### جنگل‌های تصادفی (RF)<sup>۳</sup>

روش جنگل‌های تصادفی را اولین بار بریمن در سال ۲۰۰۱ با توسعه درخت‌های تصمیم، به عنوان یک تکنیک جدید ارائه داده است که پیش‌بینی چندین الگوریتم منفرد را با هم با استفاده از قوانین مبتنی ترکیب می‌کند. این روش در بین روش‌های درختی، تکنیک نسبتاً پیچیده‌ای است که به منظور افزایش دقت مدل در آن چندین درخت تصمیم آموزش داده می‌شود. نتیجه حاصل پیش‌بینی گروهی از درختان تصمیم است (Breiman, 2001). اصول کلی تکنیک‌های آموزش گروهی بر پایه این فرض است که دقت آن‌ها از دیگر الگوریتم‌های آموزشی بالاتر است، چون ترکیبی از چند مدل پیش‌بینی، دقیق‌تر از یک مدل می‌باشد و گروه‌ها قدرت مجموعه‌های منفرد و منحصر به فرد از طبقه‌ها را بیشتر می‌کنند، در حالی که همزمان نقاط ضعف طبقه‌ها را کاهش می‌دهند (Kotsiantis and Pintelas, 2004). در یک طبقه‌بندی مبتنی بر جنگل‌های تصادفی، دو پارامتر توسط کاربر تعیین می‌گردد: اندازه یک زیرمجموعه تصادفی از ویژگی‌ها ( $M$ ) و تعداد درخت‌ها ( $T$ ). انتخاب پارامتر  $M$  بر روی نرخ خطای نهایی مؤثر است. با افزایش  $M$ ، هم وابستگی بین درخت‌ها و هم صحت و دقت طبقه‌بندی تک درخت در جنگل افزایش می‌باید. نرخ خطای با وابستگی متناسب بوده، اما با صحت طبقه‌بندی نسبت عکس دارد. معمولاً، مقدار  $M$  برابر جذر تعداد ویژگی‌ها در نظر گرفته می‌شود. با توجه به سریع بودن و عدم بیش‌برازش روش جنگل تصادفی، تعداد درخت‌ها می‌تواند تا حد امکان زیاد باشد. اما با توجه به محدودیت حافظه ماشین، معمولاً از چندصد تا چندهزار تا انتخاب می‌شود (Jin, 2012). به طور کلی روش جنگل‌های تصادفی برای طبقه‌بندی به این صورت است که در ابتدا  $T$  نمونه بوت استرپ<sup>۴</sup> از داده آموزشی انتخاب می‌شود و سپس از هر نمونه بوت استرپ  $\beta$  یک درخت طبقه‌بندی و رگرسیون<sup>۵</sup> (CART) هرس نشده ایجاد می‌شود که برای انشعاب در هر گره CART، تنها یک متغیر انتخاب شده به صورت تصادفی

که در آن  $C$  ثابت گنجایش،  $W$  بردار ضرایب،  $W^T$  ترانهاده بردار ضرایب،  $\beta$  و  $\alpha$  ضرایب کمبود،  $b$  ضریبی ثابت،  $N$  الگوی آموزش مدل و  $\phi$  تابع کرنل است (Vapnik, 1998). از بین همه توابع کرنل موجود در این روش، بهترین تابع بر حسب کمترین خطای انتخاب شد.

### شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN)<sup>۱</sup>

شبکه‌های عصبی مصنوعی از شبیه‌سازی شبکه‌های عصبی موجودات زنده الهام گرفته شده‌اند که به عنوان ابزاری قدرتمند دارای الگوی پردازش اطلاعات هستند (Menhaj, 2005). تکنیک شبکه عصبی مصنوعی از جمله روش‌های هوشمند است که به‌طور گستره‌های در مدل‌سازی و پیش‌بینی فرآیندهای هیدرولوژیکی مورد استفاده قرار گرفته است. این شبکه‌ها از نورون‌ها تشکیل می‌شوند که در گروه‌هایی به نام لایه قرار گرفته و از طریق اتصالات وزن دار به یکدیگر متصل می‌شوند. هر ساختار ساده شبکه از سه لایه تشکیل شده است: لایه ورودی، لایه پنهان و لایه خروجی. وقتی داده‌های ورودی به لایه ورودی وارد می‌شوند، از طریق شبکه عصبی عبور کرده و در لایه میانی بر روی آن‌ها پردازش انجام می‌شود تا زمانی که خروجی در لایه خروجی به دست آید. هر نورون از طریق اتصالات وزنی ورودی‌های زیادی را از سلول‌های عصبی دیگر دریافت می‌کند. این ورودی‌های وزنی جمع شده و یک تابع انتقالی را ایجاد می‌کنند که در نهایت خروجی نهایی نورون را تولید می‌کند (Talebizadeh et al., 2009). با توجه به این که شبکه عصبی مصنوعی به اطلاعات دقیق در مورد روند فیزیکی حاکم بر سیستم‌ها نیاز ندارد، به‌طور مؤثری برای مدل‌سازی فرآیندهای هیدرولوژیکی پیچیده استفاده می‌شود. شبکه‌های عصبی مصنوعی انواع مختلفی دارند که متدائل ترین آن‌ها پرسپترون چندلایه (MLP)<sup>۲</sup> می‌باشد که در این مطالعه از این مدل استفاده شده است. مدل MLP توسط سلول‌های عصبی ساده‌ای به نام پرسپترون تشکیل می‌شود (Kuan and White, 1994). پرسپترون با ایجاد یک ترکیب خطی با توجه به وزن ورودی خود و سپس تعیین خروجی از طریق یک تابع انتقال غیرخطی، یک خروجی منفرد از چندین ورودی را محاسبه می‌کند که خروجی آن به صورت معادله<sup>۴</sup> تعریف می‌گردد.

<sup>1</sup> Artificial Neural Networks

<sup>2</sup> Multi-Layer Perceptron

<sup>3</sup> Random Forests

<sup>4</sup> Boot Strap

<sup>5</sup> Classification and Regression Tree

ایستگاه‌های شاهد ضربدر ساعت آفتابی همزمان ایستگاه شاهد که از طریق معادله ۷ محاسبه می‌گردد.

$$N_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{\bar{N}_x}{\bar{N}_i} N_i \quad (7)$$

که در آن  $\bar{N}_x$  میانگین داده‌های ساعت آفتابی در ایستگاه هدف،  $\bar{N}_i$  میانگین داده‌های ساعت آفتابی در ایستگاه شاهد  $i$  ام و  $N_i$  داده‌های ساعت آفتابی در ایستگاه  $i$  ام می‌باشند.

### ضریب همبستگی وزنی<sup>۳</sup>

در این روش به منظور برآورد داده گم شده در ایستگاه هدف، از ضرایب همبستگی ایستگاه‌های شاهد استفاده می‌شود. کارآیی این روش به قدرت همبستگی بین ایستگاه هدف و ایستگاه‌های اطراف بستگی دارد. برای برآورد داده گم شده با استفاده از این روش از معادله ۸ استفاده می‌شود

(Teegavarapu and Chandramouli, 2005)

$$N_x = \sum_{i=1}^n \left( \frac{(r_i)}{\sum_{i=1}^n (r_i)} \right) N_i \quad (8)$$

که در آن  $r_i$  ضریب همبستگی پیرسون بین داده‌های ساعت آفتابی ایستگاه هدف و ایستگاه شاهد  $i$  می‌باشد.

### معیارهای ارزیابی نتایج

برای ارزیابی دقت و کارآیی روش‌های هوشمند و روش‌های آماری در بازسازی داده‌های ساعت آفتابی، نتایج به دست آمده با مقادیر واقعی مقایسه شدن. برای این منظور از شاخص‌های آماری ضریب همبستگی ( $r$ )، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانگین انحراف مطلق (MAD) برای تعیین میزان همبستگی بین مقادیر ساعت آفتابی واقعی و مقادیر برآورد شده و نیز تعیین مقادیر خطای بازسازی داده‌های ساعت آفتابی استفاده شد (معادله‌های ۹ تا ۱۱).

$$r = \left( \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \right) \quad (9)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}{n}} \quad (10)$$

$$MAD = \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - y_i|}{n} \quad (11)$$

در این روابط  $x_i$  و  $y_i$  به ترتیب  $i$  امین داده مشاهداتی و برآورد شده،  $\bar{x}$  و  $\bar{y}$  به ترتیب میانگین داده‌های مشاهداتی و برآورد شده و  $n$  طول سری زمانی داده‌ها است. علاوه بر این، دیاگرام (Taylor 2001) برای تحلیل دقت روش‌های مورد استفاده در بازسازی داده‌ها به کار گرفته شد. دیاگرام

استفاده می‌شود. در نهایت خروجی طبقه‌بندی بر اساس یک نتیجه میانگین، از پیش‌بینی‌های تمام درخت‌های منفرد آموزش دیده به دست می‌آید. یک مجموعه داده بوت استرپ، مجموعه‌ای از نقاط انتخابی به طور تصادفی است که از مجموعه داده آموزشی انتخاب شده است.

### مختصات جغرافیایی<sup>۱</sup> (روش گرافیکی)

از جمله روش‌های مورد استفاده برای بازسازی داده‌های گم شده، روش مختصات جغرافیایی یا روش گرافیکی می‌باشد. در این روش پس از تعیین موقعیت ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه روی نقشه توپوگرافی که با استفاده از مختصات جغرافیایی آن‌ها صورت می‌پذیرد، ایستگاه هدف برای بازسازی داده به عنوان مرکز مختصات جغرافیایی قرار داده شده و مختصات هر یک ایستگاه‌های اطراف آن نسبت به این مختصات جغرافیایی تعیین می‌گردد. بدیهی است که ایستگاه‌های نزدیک‌تر به ایستگاه مدنظر سهم بیشتری در بازسازی آن خواهند داشت؛ لذا لازم است که ضریب وزنی بزرگ‌تری به آن اختصاص داده شود. این ضریب وزنی با استفاده از معادله ۵ محاسبه می‌گردد.

$$W = \frac{1}{x^2 + y^2} \quad (5)$$

که در آن  $x$  و  $y$  به ترتیب طول و عرض مختصاتی ایستگاه می‌باشد. در نهایت داده‌های گم شده در ایستگاه هدف با استفاده از معادله ۶ محاسبه می‌شود.

$$N_x = \frac{\sum_{i=1}^n W_i N_i}{\sum_{i=1}^n W_i} \quad (6)$$

که در آن  $N_x$  مقدار برآورد شده داده گم شده در ایستگاه  $x$ ،  $N_i$  مقدار داده موجود در ایستگاه  $i$  و  $n$  معرف تعداد ایستگاه‌هایی است که برای برآورد داده گم شده، از داده‌های آن‌ها استفاده شده است.

### نسبت نرمال<sup>۲</sup>

روش نسبت نرمال ابتدا توسط Paulhus and Kohler (1952) برای تخمین داده‌های گم شده بارندگی به کار رفت و در ادامه توسط Young (1992) اصلاح شد. این روش عمدهاً به میانگین نسبت داده‌های بین ایستگاه‌های شاهد و ایستگاه هدف بستگی دارد. در این روش ساعت آفتابی در ایستگاه هدف متناسب است با نسبت میانگین ساعت آفتابی در ایستگاه هدف به میانگین ساعت آفتابی در

<sup>3</sup> Correlation Coefficient Weighted (CCW)

<sup>1</sup> Geographical Coordinates (GC)

<sup>2</sup> Normal Ratio (NR)

MAD معادل ۱/۱۱ ساعت و ۹۶٪ ساعت، دقیق‌ترین روش در بین روش‌های مورد بررسی می‌باشدند (جدول ۳). در نقطه مقابل نیز با توجه به مقادیر شاخص‌های خطای مورد بررسی، در تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه، روش جنگلهای تصادفی کمترین دقت و بیشترین خطای را در بازسازی داده‌های ساعات آفتابی دارد. همچنین در شکل ۲، مقادیر ساعات آفتابی مشاهداتی و محاسباتی ایستگاه‌های مورد مطالعه از طریق هریک از روش‌های مورد استفاده نیز ارائه شده است. تراکم بیشتر نقاط حول خط نیمساز، حاکی از دقت بالای برآورده داده می‌باشد.

جدول ۳- مقادیر خطای روش‌های هوشمند در بازسازی ساعات آفتابی

Table 3- Error-values of intelligent methods in reconstruction sunshine hours

Station	Method	R	RMSE (hr)	MAD (hr)
Tabriz	ANN	0.96	1.06	0.75
	RF	0.96	1.17	0.84
	SVR	0.96	1.10	0.76
Sarab	ANN	0.91	1.58	1.17
	RF	0.89	1.71	1.27
	SVR	0.91	1.58	1.11
Sahand	ANN	0.96	1.14	0.77
	RF	0.95	1.26	0.87
	SVR	0.96	1.23	0.83
Maragheh	ANN	0.93	1.56	1.09
	RF	0.92	1.59	1.08
	SVR	0.93	1.46	0.96

در جدول ۴ نیز مقادیر شاخص‌های مورد بررسی جهت ارزیابی روش‌های آماری در برآورده ساعات آفتابی ارائه شده است. بر این اساس در ایستگاه‌های تبریز و سهند، روش مختصات جغرافیایی بهترین بترتیب با مقادیر RMSE معادل ۰/۷۲ ساعت و ۱/۱۳ ساعت و مقادیر MAD معادل ۰/۱۰۴ ساعت و ۱/۱۱ ساعت و مقادیر RMSE معادل ۰/۷۵ ساعت و ۰/۷۵ ساعت، بهترین برآورده را در بازسازی داده‌های ساعات آفتابی دارند. در ایستگاه مراغه نیز روش MAD معادل ۰/۷۷ ساعت و ۰/۷۷ ساعت، بیشترین دقت و کارآیی را در بازسازی داده‌های ساعات آفتابی دارند. همچنین نتایج نشان داد که در ایستگاه سراب، هر سه روش مورد استفاده دقت یکسانی دارند (جدول ۴). در نقطه مقابل نیز، در ایستگاه‌های تبریز و سهند، روش‌های نسبت نرمال و ضریب همبستگی وزنی دقت مشابهی در برآورده ساعات آفتابی دارند. در ایستگاه مراغه نیز روش مختصات جغرافیایی، کمترین دقت را در بازسازی داده‌های ساعات آفتابی دارد (جدول ۴).

تیلور، راه حلی گرافیکی برای ارزیابی دقت داده‌های پیش‌بینی شده با به تصویر کشیدن همزمان پارامترهای آماری می‌باشد. در دیاگرام مذکور، هر نقطه بیانگر عملکرد روش متناظر بوده و هرچه نقاط متناظر روش‌ها به نقطه داده‌های مشاهداتی در مختصات قطبی نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده دقت بالاتر و خطای کمتر آن روش می‌باشد (Gleckler et al., 2008).

## نتایج و بحث

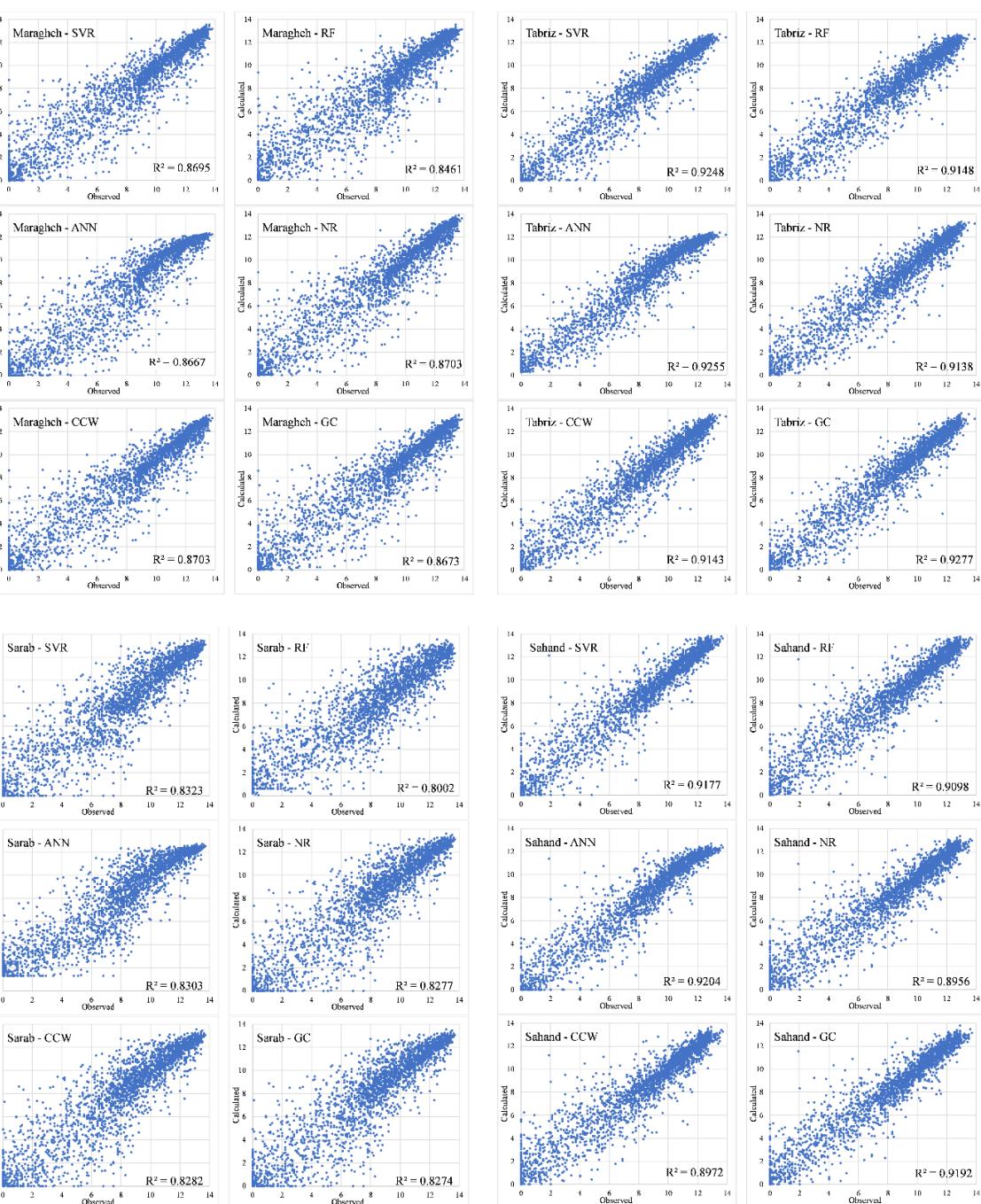
در ابتدا به منظور بررسی میزان همبستگی داده‌های ساعات آفتابی در ایستگاه‌های مورد مطالعه، ضرایب همبستگی ساده پیرسون داده‌های ساعات آفتابی محاسبه شد که نتایج در قالب ماتریس همبستگی در جدول ۱ ارائه شده است. بر این اساس، بیشترین و کمترین میزان همبستگی معادل ۰/۹۵ و ۰/۸۷ به ترتیب بین داده‌های تبریز با سهند و سراب با سهند مشاهد شد.

جدول ۲- ماتریس ضرایب همبستگی داده‌های ساعات آفتابی

Table 2- Correlation coefficients matrix of sunshine hours data.

	Tabriz	Sarab	Sahand	Maragheh
Tabriz	1	0.90	0.95	0.91
Sarab		1	0.87	0.89
Sahand			1	0.91
Maragheh				1

بعد از انجام محاسبات مورد نیاز، مقادیر آماره‌های مورد استفاده به منظور مقایسه نتایج حاصل از روش‌های هوشمند در بازسازی داده‌های ساعات آفتابی و ارزیابی روش‌ها در جدول ۳ ارائه گردید. نتایج نشان داد که در ایستگاه‌های تبریز و سهند روش شبکه عصبی مصنوعی، بهترین دقت با مقادیر RMSE معادل ۱/۰۶ ساعت و ۱/۱۴ ساعت و مقادیر MAD معادل ۰/۷۵ ساعت و ۰/۷۷ ساعت، بیشترین دقت و کارآیی را در بازسازی داده‌های ساعات آفتابی دارند. نتایج به دست آمده از پژوهش Bayat K, Mirlatifi (2009) نشان داد که مدل شبکه عصبی مصنوعی بهترین نتیجه را در برآورده تابش کل خورشیدی روزانه حاصل می‌کند. Sharifi et al., (2021) نیز گزارش کردند که شبکه عصبی مصنوعی، بهترین مدل برای برآورده تابش کل خورشیدی ماهانه در ایستگاه تبریز است. در ایستگاه‌های سراب و مراغه نیز روش رگرسیون ماشین بردار پشتیبان، بهترین دقت را مقادیر RMSE معادل ۱/۵۸ ساعت و ۱/۴۶ ساعت و مقادیر



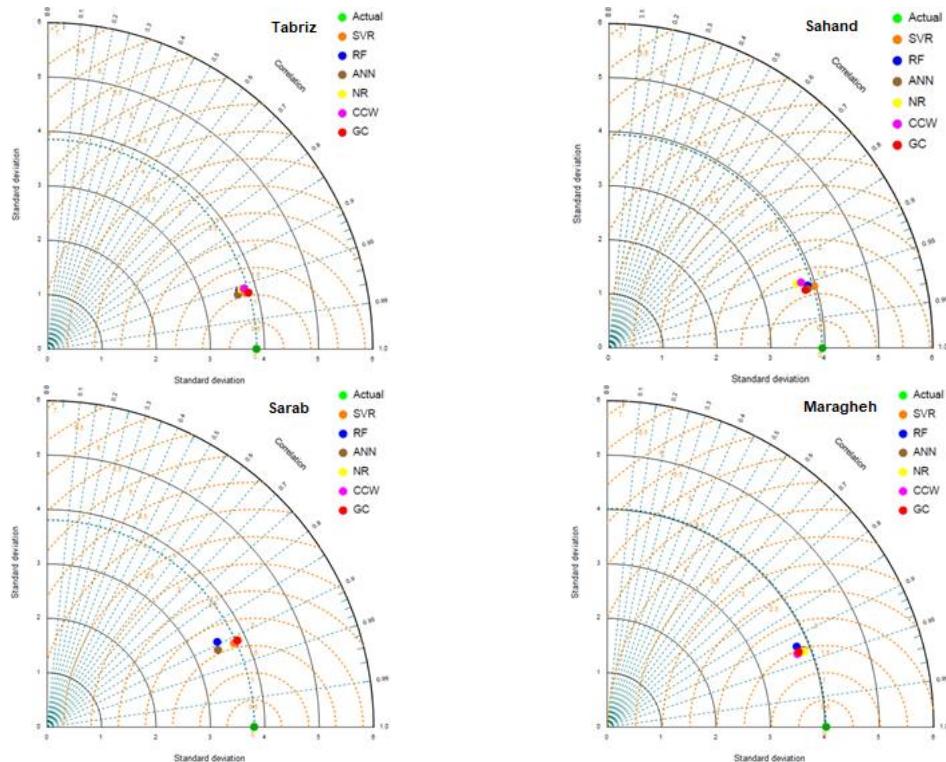
شکل ۲- مقایسه مقدادیر مشاهداتی و محاسباتی داده‌های ساعت‌آفتابی

Figure 2- Comparison of observational and computational values of sunshine hours data

دیاگرام تیلور جهت بررسی و تحلیل مقدادیر همیستگی و انحراف معیار بین داده‌های مشاهداتی، روش‌های هوشمند و روابط آماری مورد استفاده جهت بازسازی داده‌ها (مرحله صحبت‌سنجی) رسم شد (شکل ۳). در دیاگرام تیلور، فاصله شعاعی از نقطه مشاهداتی (نقطه سبزرنگ) نشان‌دهنده مقدار جذر میانگین مربعات خطای روش‌های مورد مطالعه می‌باشد.

این در حالی است که نتایج پژوهش Khansari et al., (2018) نشان داد که روش مختصات جغرافیایی بهترین روش برای برآورد داده‌های گم شده ساعت‌آفتابی در ایستگاه مراغه می‌باشد. بهنظر می‌رسد دلیل اصلی مغایرت نتایج، تفاوت در ایستگاه‌های شاهد جهت بازسازی داده‌ها و نیز بازه زمانی مورد بررسی باشد. ایشان از داده‌های ۵ ساله ایستگاه‌های تبریز، مهاباد، ارومیه و میانه برای بازسازی داده‌های ساعت‌آفتابی در مراغه استفاده نمودند. همچنین،

ماشین بردار پشتیبان و در ایستگاه مراغه، روش نسبت نرمال، بر مبنای فاصله شعاعی کمتر تا نقطه مشاهداتی (نقطه سبز رنگ)، بازسازی دقیق‌تری از مقادیر ساعات آفتابی داشته‌اند. در نقطه مقابل نیز، در سه ایستگاه تبریز، سراب و مراغه، روش جنگل‌های تصادفی و در ایستگاه سهند، روش نسبت نرمال، خطای بیشتری در بازسازی داده‌های ساعات آفتابی داشتند (شکل ۳). همچنانی مقایسه نتایج حاصل از روش‌های هوشمند و آماری در بازسازی داده‌های ساعات آفتابی نشان داد که به‌طور کلی در ایستگاه‌های تبریز، سراب و سهند، هر دو دسته روش‌های هوشمند و آماری دقت تقریباً مشابهی دارند. اما در ایستگاه مراغه، روش‌های آماری در مقایسه با هوشمند برآوردهای دقیق‌تری در بازسازی داده‌های ساعات آفتابی دارند.



شکل ۳- دیاگرام تیلور روش‌های هوشمند و روش‌های آماری در بازسازی داده‌های ساعات آفتابی

Figure 3- Taylor diagram of Intelligent methods and statistical methods in reconstruction sunshine hours

تبریز، سراب، سهند و مراغه واقع در شرق حوضه دریاچه ارومیه مدنظر قرار گرفت. نتایج نشان داد که در بین روش‌های هوشمند، روش شبکه عصبی مصنوعی و در بین روش‌های آماری، روش مختصات جغرافیایی بالاترین دقت را در بازسازی داده‌های ساعات آفتابی دارند. به‌طور کلی در بین تمام روش‌های مورد بررسی نیز، روش مختصات جغرافیایی بیشترین دقت و روش جنگل‌های تصادفی،

#### جدول ۴- مقادیر خطای روش‌های آماری در بازسازی ساعات آفتابی

Table 4- Error-values of statistical methods in reconstruction sunshine hours

Station	Method	R	RMSE (hr)	MAD (hr)
Tabriz	NR	0.96	1.13	0.77
	GC	0.96	1.04	0.92
	CCW	0.96	1.14	0.77
Sarab	NR	0.91	1.63	1.13
	GC	0.91	1.62	1.13
	CCW	0.91	1.62	1.13
Sahand	NR	0.95	1.28	0.86
	GC	0.96	1.13	0.75
	CCW	0.95	1.28	0.86
Maragheh	NR	0.93	1.45	0.96
	GC	0.93	1.49	1.01
	CCW	0.93	1.47	1.00

بر این اساس در ایستگاه‌های تبریز و سهند، روش مختصات جغرافیایی، در ایستگاه سراب، روش رگرسیون

#### نتیجه‌گیری

استفاده از داده‌های صحیح و پیوسته، شرط اولیه انجام مطالعات هیدرولوژیکی است. در ثبت داده‌های ساعات آفتابی، به عنوان یکی از داده‌های اصلی برآورد تبخیر تعرق و نیاز آبی گیاهان، خلاهای زیادی وجود دارد. لذا در پژوهش حاضر، بازسازی داده‌های ساعات آفتابی با استفاده از روش‌های هوشمند و روش‌های آماری در ایستگاه‌های

- Khansari, S., Rezayi, A., Shiri, J., dashti, Sh., hatamimaleki H. 2018. Reconstruction of missing data in meteorological variables used to estimate daily evapotranspiration. The Second National Conference on Climatology of Iran, Mashhad, Iran. (In Farsi)
- Kotsiantis, S., Pintelas, P. Combining bagging and boosting. 2004. International Journal of Computational Intelligence, 1(4): 324-33.
- Kuan, CM., White, H. 1994. Artificial neural networks: An econometric perspective. *Econometric Reviews*, 13: 1-91.
- Menhaj, MB. 2005. Computational intelligence-volume I: Fundamentals of neural networks. Tehran: AmirKabir University. (In Farsi)
- Naghidi, R., Shayannezhad, M., Sadati Nejad, SJ. 2010. Comparison of different methods for estimating of monthly discharge missing data in grand Karoon River basin. *Journal of Watershed Management Research*, 1(1): 59-71.
- Paulhus, JLH., Kohler, MA. 1952. Interpolation of missing precipitation records. *Monthly Weather Review*, 80:129–133.
- Piri, J., Ansari, H., Farid-Hosseini, A. 2013. Modeling ground-reached solar radiation using ANFIS and empirical models (Case of study: Zahedan and Bojnourd stations). *Iranian Journal of Energy*, 16(3): 37-58. (In Farsi)
- Sharifi, S., Rezaverdinejad, V., Nourani, V., Behmanesh, J. 2021. Evaluation of the capability of intelligent models in estimating monthly global solar radiation. *Water and Soil Science*, 31(2): 13-26. (In Farsi)
- Tabari, H., Talaee, PH. 2015. Reconstruction of river water quality missing data using artificial neural networks. *Water Quality Research Journal of Canada*, 50(4): 326-335.
- Talebizadeh, M., Morid, S., Ayyoubzadeh, SA., Ghasemzadeh, M. 2009. Uncertainty analysis in sediment load modeling using ANN and SWAT model. *Water Resources Management*, 24 (9): 1747-1761.
- Taylor, KE. 2001. Summarizing multiple aspects of model performance in a single diagram. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 106: 7183-7192.
- Teegavarapu, RSV., Chandramouli, V. 2005 Improved weighting methods, deterministic and stochastic data-driven models for estimation of missing precipitation records. *Journal of Hydrology*, 312: 191–206.
- Vapnik, VN. 1995. The Nature of statistical learning theory. Springer, New York.
- Vapnik, VN. 1998. Statistical learning theory. Wiley, New York.
- Young, KC. 1992. A Three-way model for interpolating for monthly precipitation values. *Monthly Weather Review*, 120: 2561–2569.

کمترین دقت را برآورد و بازسازی داده‌های ساعت آفتابی دارد. همچنین با توجه به مقادیر خطای تقریباً مشابه روش‌های هوشمند و آماری در ایستگاه‌های تبریز، سراب و سهند، تفاوت مشهودی بین روش‌های هوشمند و آماری وجود ندارد، اما در ایستگاه مراغه، روش‌های آماری مورد استفاده برای بازسازی داده‌های ساعت آفتابی، دقت بالاتری در مقایسه با روش‌های هوشمند دارند.

## منابع

- Armanuos, AM., Al-Ansari, N., Yaseen, ZM. 2020. Cross assessment of twenty-one different methods for missing precipitation data estimation. *Atmosphere*, 11(4):1-34.
- Bayat, K., Mirlatifi, SM. 2009. Estimation of global solar radiation using regression and artificial neural network models. *Journal of agricultural sciences and natural resources*, 16(3): 270-280. (In Farsi)
- Behrang, MA., Assareh, E., Ghanbarzadeh, A. and Noghrehabadi, AR. 2010. The potential of different artificial neural network (ANN) techniques in daily global solar radiation modeling based on meteorological data, *Solar Energy*, 84: 1468–1480.
- Boser, BE., Guyon, IM., Vapnik, VN. 1992. A training algorithm for optimal margin classifiers. In: D.Haussler, editor, 5<sup>th</sup> Annual ACM Workshop on COLT. Pittsburgh, PA, 144-152.
- Breiman, L. 2001. Random forests. *Machine Learning*, 45(1): 5-32.
- Coulibaly, PND., Evora B. 2007. Comparison of neural network methods for infilling missing daily weather records. *Journal of hydrology*, 341: 27-41.
- Fooladmand, HR. 2012. Comparing reference evapotranspiration using actual and estimated sunshine hours in south of Iran. *African Journal of Agricultural Research* 7(7): 1164-1169.
- Gleckler, PJ., Taylor, KE., Doutriaux, C. 2008. Performance metrics for climate models. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 113(D6): 1-20.
- Hasanpour, M., Dinپashoh, Y. 2012. Evaluation of efficiency of different estimation methods for missing climatological data. *Stochastic Environment Research and Risk Assessment*, 26:59–71.
- Jin, J. 2012. A random forest based method for urban land cover classification using LiDAR data and aerial imagery. MSc Thesis, University of Waterloo.
- Karbasi, M. 2016. Reconstruction of missing data of monthly total sunshine hours using artificial neural networks. *Iranian journal of irrigation and drainage*, 10(5):570-580. (In Farsi)

## Comparison of the efficiency of intelligent and statistical methods in the reconstruction of sunshine hours data (Case study: East of Urmia Lake basin)

V. Mouneskah<sup>1</sup>, M. Khaledi Alamdar<sup>1</sup>, M. Hadi<sup>1</sup>, S. Samadianfard<sup>2</sup>

Received: 16/11/2021

Accepted: 13/06/2022

### Abstract

One of the climate variables with relatively large gaps in observation and significant importance in estimation of evapotranspiration is sunshine hours. In the present study, in order to reconstruction the sunshine hour data of several selected stations in Tabriz province, Iran namely, Tabriz, Sarab, Sahand and Maragheh during the period of 1990 to 2019, skill of intelligent approaches of SVR, ANN and RF was compared with statistical methods of normal ratio, geographical coordinates and weight correlation coefficient. Statistical indices of R, RMSE, MAD and Taylor diagrams were used for evaluation of comparisons. The obtained results showed that ANN and geographical coordinate methods have the highest accuracy in reconstruction sunshine hours among the selected intelligent and statistical methods, respectively. In Tabriz and Sahand stations, the geographical coordinate method with RMSE of 1.04 and 1.13 hours, respectively, in the Sarab station SVR with RMSE of 1.58 hours and in Maragheh station the normal ratio method with RMSE of 1.45 hours showed the highest accuracy in generating sunshine hours. Besides, RF method had the lowest accuracy in reconstruction of sunshine hours data. It can be concluded that in Tabriz, Sarab and Sahand stations, both types of intelligent and statistical methods have almost same accuracy, but in Maragheh station, statistical methods provided slightly better estimations.

**Keywords:** Data gaps, Sunshine hours, Taylor diagram, Urmia Lake basin



<sup>1</sup> Ph.D Candidate of Irrigation and Drainage, Department of Water Engineering, Tabriz University, Tabriz, Iran  
(\*Corresponding Author Email Address: m.khaledi.a@gmail.com)

<sup>2</sup> Assistant Professor, Department of Water Engineering, Tabriz University, Tabriz, Iran

نحوه ارجاع مقاله:

مونس خواه، و، خالدی علمداری، م، هادی، م، صمدیان فرد، س. ۱۴۰۱. مقایسه کارآیی روش‌های هوشمند و آماری در بازسازی داده‌های ساعت آفتابی (مطالعه موردی: شرق حوضه دریاچه ارومیه). نشریه هواشناسی کشاورزی، ۱۰(۲): ۲۸-۳۶.  
DOI: 10.22125/agmj.2022.315265.1126  
Mouneskah, V., Khaledi Alamdar, M., Hadi, M., Samadianfard, S. 2023. Comparison of the efficiency of intelligent and statistical methods in the reconstruction of sunshine hours data (Case study: East of Urmia Lake basin). Journal of Agricultural Meteorology, 10(2): 28-36. DOI: 10.22125/agmj.2022.315265.1126



## کاربرد رهیافت یادگیری ماشین در تخمین عملکرد نخود بر اساس نمایه‌های اقلیمی-کشاورزی (مطالعه موردی: شهرستان کرمانشاه)

سید عرفان مؤمن پور<sup>۱</sup>، سعید بازگیر<sup>۲\*</sup>، مصصومه مقبل<sup>۳</sup>، حسین محمدی<sup>۴</sup>، سید موسی حسینی<sup>۵</sup>، عطاء الله عبدالهی کاکروودی<sup>۶</sup>

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۰۵

### چکیده

هدف این پژوهش تخمین عملکرد نخود بهاره با استفاده از روش‌های یادگیری ماشین از نوع مدل‌های رگرسیونی خطی در شهرستان کرمانشاه است. فراسنجهای هواشناسی، نمایه‌های کشاورزی و سنجش از دور در بازه زمانی ۱۳۹۶-۱۳۹۷ تا ۱۳۶۹-۱۳۷۰ به عنوان متغیرهای پیشگو و داده‌های عملکرد سازمان جهاد کشاورزی به عنوان متغیر پاسخ در چهار مرحله نمو استفاده گردید. ۲۴ سال از داده‌ها برای آموزش و ۳ سال برای اعتبار سنجی مدل‌ها به کار گرفته شد. نتایج بیانگر آن بود که از میان انواع مدل‌های خطی، مدل لasso با ضریب تعیین ۶۷ درصد و خطای معیار ۵۹/۸ کیلوگرم در هکتار به عنوان مناسب‌ترین مدل برای تخمین عملکرد نخود در مرحله‌ی سبز شدن تا ۵۰٪ گل‌دهی انتخاب شد. انحراف نسبی این مدل به میزان ۰/۴ و ۰-۰/۳ و ۳/۵ درصد به ترتیب برای سال‌های ۱۳۷۶-۱۳۷۷، ۱۳۸۵ و ۱۳۸۹-۱۳۹۰ بدست آمد.

واژه‌های کلیدی: اقلیم، عملکرد نخود، مدل‌های خطی، کرمانشاه

### مقدمه

و مدیران کشور نیز مربوط می‌شود که از میزان تولیدات داخلی محصول خاصی اطلاع نداشته‌اند و یا اینکه تخمین عملکرد از آینده آن محصول قبل از زمان برداشت، صحیح نبوده است (Vaseghi and Esmaeili, 2008). همچنین، این مسئله برای کشاورزان کشور که میزان درآمدشان به فروش محصولات کشاورزی وابسته است می‌تواند پیامدهای ناگوار و خطرناکی از بعد روانی و اقتصادی در برداشته باشد. برای نمونه، می‌توان به واردات بی‌رویه شکر در سال ۱۳۸۵ اشاره کرد که هنوز هم بعد از گذشت چندین سال آثار آن بر صنعت قند و شکر نمایان است (Nazafpour, 2013). مسئله دیگر این است که در سه دهه گذشته، تنها یک‌چهارم افزایش تولیدات غذایی در جهان مربوط به افزایش سطح

تخمین عملکرد محصولات کشاورزی قبل از برداشت محصول به دلیل امنیت غذایی یکی از مهم‌ترین گام‌ها در امر برنامه‌ریزی، واردات و صادرات می‌باشد. این امر می‌تواند به سیاست‌گذاران و مدیران اجرایی کشور کمک شایانی نماید (Bazgeer, 2015). ضریب خودکفایی یکی از مؤلفه‌های اساسی بحث امنیت غذایی است و عبارت است از تأمین مواد غذایی از بخش داخلی با حداقل وابستگی به واردات به کشور (Samiei nasab et al., 2016)؛ در نظر داشتن این موضوع، در سال‌های زراعی مختلف دیده می‌شود که فاکتور خودکفایی با فراز و نشیب‌های بسیاری همراه بوده است که دلیل آن علاوه بر خداد مخاطراتی طبیعی مانند خشکسالی، تگرگ وغیره، به سوء مدیریت‌های سیاست‌گذاران

<sup>۱</sup> استادیار آب و هواشناسی شهری، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

<sup>۲</sup> استاد آب و هواشناسی کشاورزی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

<sup>۳</sup> دانشیار منابع آب، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

<sup>۴</sup> دانشیار سنجش از دور و GIS، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

<sup>۵</sup> دانشجوی دوره دکتری آب و هواشناسی کشاورزی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا دانشگاه تهران

<sup>۶</sup> دانشیار هواشناسی کشاورزی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

(\*) نویسنده مسئول: sbazgeer@ut.ac.ir

### نحوه ارجاع مقاله:

مؤمن پور، س.ع.، بازگیر، س.، مقبل، م.، محمدی، ح.، حسینی، س.م.، عبدالهی کاکروودی، ع. ۱۴۰۱. کاربرد رهیافت یادگیری ماشین در تخمین عملکرد نخود بر اساس نمایه‌های اقلیمی-کشاورزی (مطالعه موردی: شهرستان کرمانشاه). نشریه هواشناسی کشاورزی، ۱۰(۲): ۳۷-۵۱. DOI: 10.22125/agmj.2022.330478.1131

Momenpour, S. E., Bazgeer, S., Moghbel, M., Mohammadi, H., Hossaini, S. M., Abdollahi Kakroudi, A. 2023. Application of machine learning approach for Chickpea yield estimation based on Agroclimatological Indices (Case Study: Kermanshah region). Journal of Agricultural Meteorology, 10(2): 37-51. DOI: 10.22125/agmj.2022.330478.1131

به منظور کاشت، به کشاورزان توصیه می‌کنند (Khoorani, 2010). علی‌رغم اینکه در داخل کشور تحقیقات فراوانی در مورد تخمین عملکرد محصولات کشاورزی مختلف صورت گرفته است و ارزیابی نتایج تخمین آن‌ها در مقایسه با مقدار واقعی، در حد قابل قبولی بوده، با این وجود بیشتر این مطالعات با محدودیت‌هایی مواجه بوده‌اند که می‌توان آن‌ها را در سه بخش عمده طبقه‌بندی نمود. گروه اول شامل مطالعاتی هستند که مقیاس‌شان بسیار کوچک بوده به‌طوری‌که در سطح یک یا چندین مزرعه انجام گرفته است و نیازمند داده‌های زیاد، وقت و هزینه فراوانی می‌باشند. به عنوان مثال می‌توان به مطالعاتی که (Honar et al., 2011; Saadati et al., 2012; Ebrahimi et al., 2015; Zareie et al., 2017 and Khalvandi et al., 2017) انجام داده‌اند اشاره کرد. گروه دوم مطالعاتی هستند که تنها با استفاده از شاخص‌های طیفی (سنجهش از دور) آن‌هم در مقیاس چندین مزرعه، عملکرد محصولات زراعی را تخمین زده‌اند که از این قبیل می‌توان به تحقیقات (Sanaeinejad et al., 2013; Sadoughi et al., 2016; Kamali et al., 2018 and Yaghouti et al., 2018, Ghorbani et al., 2021) اشاره کرد و در نهایت، گروه سوم مطالعاتی هستند که اگرچه مقیاس منطقه مورد مطالعاتی آن‌ها وسیع بوده اماً تنها به فراسنجهایی از یک جنس (مانند هواشناسی و هواشناسی کشاورزی) توجه کرده‌اند، که به عنوان نمونه می‌توان به پژوهش‌های (Farajzadeh et al., 2012; Akbarpour et al., 2013; Bazgeer, 2015 and Khadempour et al., 2020, Sadr and Eslami, 2021, Saei, 2021 در زمینه تحقیقات خارجی نیز، می‌توان به کارهای پژوهشی (Balla et al., 1975; Chmielewski and Potts, 1996; Anwar et al., 2001; Dalezios, Loukas and Bampzelis, 2002) اشاره کرد که با ارتباط میان چندین شاخص هواشناسی، هواشناسی کشاورزی و هیدرولوژی با عملکرد، میزان عملکرد محصول گندم را مشخص کرده‌اند. همچنین (Sharma et al., 2004) با استفاده از شاخص‌های هواشناسی کشاورزی عملکرد گیاه گندم را در منطقه هیماچال پرادش<sup>۲</sup> پیش‌بینی کردن و به این نتیجه رسیدند که دو نمایه درجه روز-رشد و اختلاف تجمعی دماهای بیشینه و کمینه با عملکرد محصول همبستگی منفی دارند. Khazaei et al., (2008)

زیر کشت بوده و بقیه از طریق بهبود تولید و عملکرد محصولات از لحاظ کمی و کیفی در واحد سطح بوده است (IFPRI<sup>1</sup>, 1994). همچنین، با توجه به تغییرات شدید در الگوهای اقلیمی مانند بارش‌های فصلی و بروز فراوان‌تر سال‌های خشک، روش‌های مدیریت زراعی و الگوی کشت نیز باید تغییر کنند و سبد غذایی هر کشوری با محصولاتی پر شوند که با شرایط اقلیمی آن کشور سازگار باشند. یکی از این محصولات نخود است که می‌تواند جایگزین مناسب برنج، نان، گوشت و لبنیات برای تأمین پروتئین، الیاف گیاهی، املاح معدنی مانند کلسیم، منیزیوم و کربوهیدرات گردد و در عین حال تولید آن به آب خیلی کمتری نیاز دارد. متاسفانه در حال حاضر این موضوع در ایران رعایت نشده و در سفره مردم ایران محصولات غذایی مانند برنج مصرف می‌شود که نیاز آبی بالا و ارزش غذایی کمتری دارد (Haghparast, 2018). نخود قانع‌ترین کشت کشور از نظر نیاز آبی است. نخود بهاره با ۵۰ تا ۶۰ میلی‌متر بارندگی، ۵۰۰ تا ۶۰۰ کیلوگرم در هکتار عملکرد خواهد داشت و به نظر می‌رسد در شرایط کنونی و با توجه به بحران کم‌آبی پرداختن به کشت آن سودمند باشد (Yousefi et al., 2016). نخود نیاز آبی خود را از ذخیره رطوبتی خاک‌های عمیق که طی فصل بارندگی قبلی رطوبت در آن‌ها ذخیره شده است، تأمین می‌نماید و قادر است آب را از عمق بیش از ۱۵۰ سانتی‌متری خاک جذب کند (Moradi heidari, 2018). با این وجود گیاه نخود قسمت عمده‌ی آب مورد نیاز خود را از سطح خاک تا عمق ۶۵ سانتی‌متری نیم‌رخ خاک که محل اصلی تمرکز ریشه‌های فعال است، تأمین می‌کند. تحمل به خشکی صفت خوبی برای محصولی مانند نخود است که بطور عمده از رطوبت ذخیره شده در خاک استفاده می‌نماید (Yousefi et al., 2016). با توجه به اثرات بارز اقلیم بر عملکرد محصولات کشاورزی یکی از مهم‌ترین گام‌ها در رابطه با افزایش عملکرد، مدل‌های تخمین عملکرد محصولات کشاورزی می‌باشند، در فرآیند پیش‌بینی توسط این مدل‌ها مهم‌ترین فراسنجهای تأثیرگذار بر عملکرد محصولات شناسایی شده و یافته‌ها و نتایج این مدل‌ها از فراسنجهای مذکور، در اختیار متخصصان اصلاح بذر و ژنتیک قرار می‌گیرد و آن‌ها با توجه به اقلیم مناطق و اثرات این فراسنجهای مناسب‌ترین رقم محصول سازگار با محیط را

<sup>1</sup> International Food Policy Research Institute<sup>2</sup> Himachal Pradesh

در تخمین عملکرد گیاه باجراء<sup>۷</sup> در منطقه راجستان<sup>۸</sup> هندوستان، (2020) Khaki et al., در تخمین عملکرد ذرت و سویا در ۱۳ ایالت آمریکا با کمک شبکه عصبی پیچشی<sup>۹</sup> و شبکه عصبی بازگشتی<sup>۱۰</sup> و (Amaratunga et al., 2020) در تخمین عملکرد شلتوك در سریلانکا از دیگر تحقیقاتی است که در این زمینه کار شده و می‌توان به آنها اشاره کرد. به عنوان یک نتیجه‌گیری کلی از تحقیقات انجام شده (Klompenburg et al., 2020) مراجعه کرد که در یک مقاله موری نظاممند با واکاوی ۵۶۷ مقاله از ۶ پایگاه داده و انتخاب ۵۰ مطالعه تحقیقی به عنوان معیار به این نتیجه رسیدند که بیشترین متغیرهای مورد استفاده در تخمین عملکرد محصولات، دما، بارش و بافت خاک و بیشترین الگوریتم مورد استفاده شبکه عصبی مصنوعی بود. سطح زیر کشت نخود در ایران ۷۰۰ هزار هکتار می‌باشد که در این بین، حدود ۹۵ درصد (Kazemi and Sadeghi, 2014) آن به صورت دیم کاشت می‌شود (Sadeghi, 2014). این محصول در ۳۵ کشور جهان از جمله ایران کشت می‌شود که ایران بعد از کشورهای هند، پاکستان، ترکیه و استرالیا پنجمین کشور تولیدکننده نخود در دنیا است (Kanouni, 2016). این محصول در دنیا پس از لوبیا رتبه سوم و در جنوب آسیا، رتبه اول را در بین حبوبات دارد (Parizadeh Moghadam et al., 2014). همچنین استان کرمانشاه همواره جزء چهار استان برتر کشور در زمینه تولید نخود دیم بوده است. این استان با میانگین سطح زیر کشت ۱۲۱ هزار هکتار نخود بهاره، ۶۰ هزار هکتار نخود پاییزه و در مجموع ۱۸۱ هزار هکتار نخود، رتبه اول را در میان سایر استان‌ها کسب نموده و پس از آن استان‌های لرستان، کردستان و آذربایجان غربی قرار دارند. میانگین عملکرد (۴۵۹ کیلوگرم در هکتار) نخود دیم استان نیز در بین استان‌های کشور بسیار قابل توجه است (Ahmadi et al., 2018). بر اساس آنچه در مورد اهمیت و ضرورت تحقیق و نتیجه‌گیری از تحقیقات داخلی بیان شد هدف از انجام این مطالعه تخمین عملکرد نخود دیم بهاره به کمک یک شاخص طیفی گیاهی (سنچش از دور) و متغیرهای اقلیمی و اقلیمی - کشاورزی در شهرستان

گیاه نخود را با کمک مدل شبکه عصبی مصنوعی در مناطق عمده کاشت نخود در ایران تخمین زندند. نتایج مطالعه آن‌ها بیانگر این بود که مدل شبکه عصبی قادر است تا  $90/3 \pm 5\%$  درصد عملکرد گیاه نخود را با دامنه خطای نسبی (%) پیش‌بینی کند. (Olgun and Erdogan, 2009) نیز با کمک متغیرهای اقلیمی و در قالب مدل رگرسیون وزن دار جغرافیایی<sup>۱</sup> عملکرد گندم را در بخش‌های شرقی آناتولی تخمین زندند و به این نتیجه رسیدند که رگرسیون وزن دار جغرافیایی در قیاس با مدل OLS<sup>۲</sup> در زمینه تخمین عملکرد گندم بهتر عمل می‌کند. (Jumrani and Bhatia, 2014) در تحقیقی اثرات افزایش دما را بر عملکرد سه رقم نخود بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که در دو دمای  $34/2$  و  $38/2$  درجه سلسیوس به ترتیب، عملکرد نخود به میزان Everingha et al., (2016) و  $78/64$  درصد کاهش می‌یابد. با استفاده از داده‌های اقلیمی و شاخص زیست توده در قالب یک مدل رگرسیون تصادفی جنگل، عملکرد گیاه نیشکر را در منطقه تولی<sup>۳</sup> واقع در شمال شرقی استرالیا تخمین زندند و به این نتیجه رسیدند که با دقّت  $86/36$  درصد در سال‌های مورد بررسی، این امکان وجود دارد که در اوایل سپتامبر سال قبل از برداشت؛ عملکرد نیشکر را پیش‌بینی کرد. (Das et al., 2018) عملکرد محصول برنج را در سواحل غربی کشور هند از طریق ارزیابی چهار روش رگرسیون چندگانه‌ی گام به گام، رگرسیون لاسو<sup>۴</sup>، رگرسیون الاستیک نت<sup>۵</sup> و مدل شبکه عصبی پیش‌بینی کردند و به این نتیجه رسیدند که در این میان رگرسیون لاسو بهترین روش و مدل ترکیبی شبکه عصبی با مؤلفه‌های اصلی در مقایسه با سایر روش‌ها ضعیف‌ترین مدل برای پیش‌بینی عملکرد این محصول است. (Mathieu and Aires, 2018) با ارزیابی بیش از ۵۰ شاخص اقلیمی - کشاورزی بر روی محصول ذرت در ایالت‌های کاشت عمده این محصول در کشور امریکا به این نتیجه رسیدند که دو شاخص دما و بارش - تبخیر تعرق استاندارد شده<sup>۶</sup> در ماه زوئیه دارای بیشترین تأثیر در عملکرد ذرت می‌باشند. پژوهش‌های Chauhan et al., (2019) در تخمین دقیق زمان گل‌دهی دو محصول گندم و نخود در شمال استرالیا، (Dharmaraja et al., 2019)

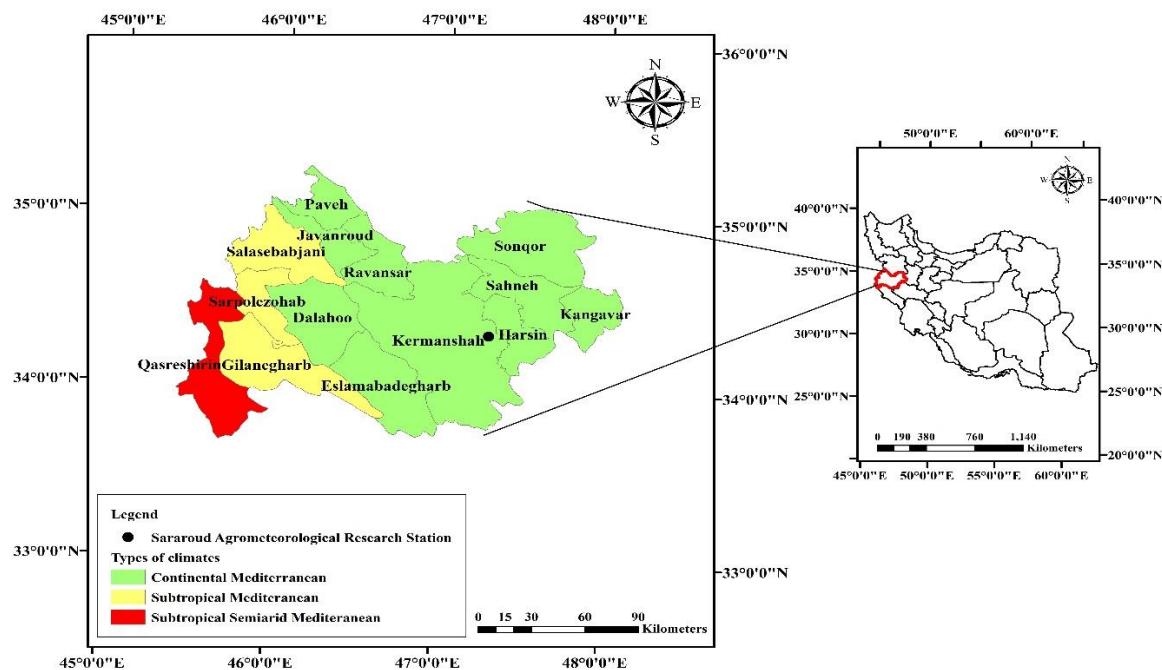
<sup>6</sup> Standardized Precipitation–Evapotranspiration Index (SPEI)<sup>7</sup> Bajra<sup>8</sup> Rajasthan<sup>9</sup> Convolutional Neural Networks (Cnns)<sup>10</sup> Recurrent Neural Networks (Rnns)<sup>1</sup> Geographically Weighted Regression (GWR)<sup>2</sup> Ordinary Least Squares (OLS)<sup>3</sup> Tully<sup>4</sup> Lasso regression<sup>5</sup> Elastic net regression

سردتر از بخش مرکزی و فیروزآباد می‌باشد (Jahangiri and Haghparsast, 2021) ایستگاه مورد مطالعه در این پژوهش نیز، ایستگاه تحقیقات هواشناسی کشاورزی سرآورد است که در ۲۰ کیلومتری جاده کرمانشاه – همدان با دارا بودن ۱۶۷ هکتار مساحت جزء مناطق نیمه‌خشک کشور محسوب می‌شود. موقعیت جغرافیایی آن در ۴۷ درجه و ۱۹ دقیقه طول شرقی و ۳۴ درجه و ۲۰ دقیقه عرض شمالی با ارتفاع ۱۳۵۱ متر از سطح دریا واقع شده و در سال ۱۳۶۵ این ایستگاه به منظور تحقیق و بررسی محصولات کشت شده منطقه تاسیس شده است. در این پژوهش ابتدا با استناد به مقالات معتبر علمی و داده‌های اخذ شده از اداره جهاد کشاورزی شهرستان کرمانشاه، مراحل مختلف رشد گیاه نخود شناسایی و سپس این مراحل برای استفاده در این تحقیق به چهار مرحله (الف) مرحله کاشت تا سبزشدن، (ب) سبز شدن تا ۵۰٪ گل‌دهی، (ج) ۵۰٪ گل‌دهی تا رسیدگی و (د) کل دوره رشد تقسیم گردید. در گام بعدی با استفاده از درجه روزهای‌رشد مورد نیاز برای هر مرحله از رشد و مطابقت دادن آن‌ها با تاریخ‌های رسیدن به هر چهار مرحله رشد طبق نظر کارشناسان جهاد کشاورزی استان کرمانشاه (شکل ۲) و (جدول ۱)، تاریخ رسیدن به این مراحل در سال‌های زراعی (۱۳۶۹-۱۳۷۰ تا ۱۳۹۶-۱۳۹۷) در ایستگاه تحقیقات هواشناسی کشاورزی سرآورد کرمانشاه استخراج گردید. لازم به ذکر است که تاریخ کاشت نخود بهاره ۱۵ اسفند ماه و دمای پایه آن صفر درجه سلسیوس در نظر گرفته شد (Wish and Cocks, 2011). در مرحله بعد، نمایه‌های هواشناسی، هواشناسی کشاورزی و نمایه نرمال شده پوشش گیاهی (NDVI) به عنوان متغیرهای پیشگو در بازه زمانی ۲۷ ساله (۱۳۶۹-۱۳۷۰ تا ۱۳۹۶-۱۳۹۷) برای هر مرحله فنولوژیکی و داده‌های عملکرد نخود به عنوان متغیر پاسخ در این بازه زمانی برای هرسال زراعی، استخراج شدند. لازم به ذکر است که سال زراعی ۱۳۹۱-۱۳۹۰ به دلیل نداشتن آمار عملکرد از فرآیند محاسبه حذف گردید. همچنین از میان بازه زمانی موردنظر، سال‌های ۱۳۷۶-۱۳۷۷، ۱۳۸۵-۱۳۸۴ و ۱۳۸۹-۱۳۹۰ جهت اعتبارسنجی مدل و بقیه سال‌ها به منظور آموزش مدل رگرسیونی در نظر گرفته شدند (Bazgeer, 2015). در ادامه هریک از نمایه‌های هواشناسی، هواشناسی کشاورزی و نمایه نرمال شده پوشش گیاهی بیان شده‌اند.

کرمانشاه از طریق روش‌های یادگیری ماشین می‌باشد. این شهرستان در بازه زمانی ۲۷ ساله (۱۳۶۹-۱۳۷۰ تا ۱۳۹۶-۱۳۹۷) با دارابودن میانگین سطح زیر کشت ۴۷۲۲۲ هکتار و عملکرد ۳۹۴ کیلوگرم در هکتار از قطب‌های اصلی کشت نخود دیم در استان کرمانشاه می‌باشد و در بین شهرستان‌های استان از نظر سطح زیر کشت دارای مقام اول است. نواوری این تحقیق نیز روش‌ها و مدل‌های به کار گرفته شده در آن جهت تخمین عملکرد نخود در حوزه اقلیم‌شناسی کشاورزی می‌باشد با این هدف که یک مدل ساده خطی که نیازمند صرف وقت و هزینه فراوان نباشد و از طرفی دیگر تخمینی نزدیک به واقعیت را داشته باشد، ارائه گردد. رعایت کردن زاویه دید ترکیبی و جغرافیایی از سوی محقق با ترکیب شاخص‌ها اقلیمی، اقلیمی کشاورزی، شاخص‌های طیفی گیاهی و ایجاد یک مدل ساده خطی، کم هزینه و معنی‌دار همچون لاسو و ریج و همچنین شناسایی مزارع نخود و رفتار طیفی گیاهی آن در مقایسه با محصول گندم از مزایای این تحقیق است که تاکنون در مورد گیاه نخود در داخل کشور انجام نگرفته است.

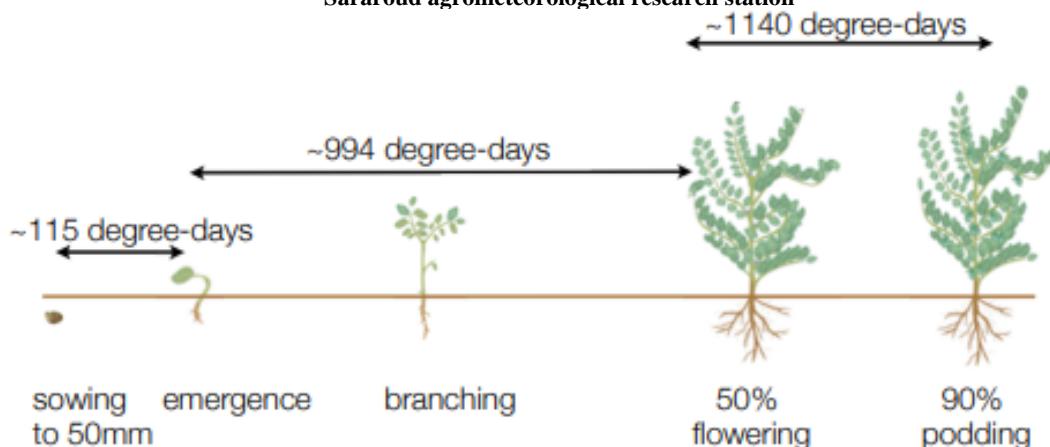
## مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق شهرستان کرمانشاه می‌باشد. این شهرستان، با مختصات جغرافیایی ۴۶ درجه و ۳۹ دقیقه تا ۴۷ درجه و ۵۱ دقیقه طول شرقی و ۳۳ درجه و ۷ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۸ دقیقه عرض شمالی و ارتفاع ۱۴۲۰ متر از سطح دریا و با میانگین بارندگی ۴۳۵ میلی‌متر و میانگین ۸۹ روز یخ‌بندان در طول سال، در کنار رود قره‌سو قرار دارد. این شهرستان از شمال با شهرستان روانسر، از غرب با شهرستان دلاهه و اسلام‌آباد غرب از جنوب با استان ایلام، از شرق با شهرستان‌های صحنه و هرسین و از شمال شرق هم با شهرستان سنقر کلیایی هم‌جوار است. طبق روش طبقه‌بندی یونسکو، شهرستان کرمانشاه دارای اقلیم نیمه‌خشک با تابستان گرم و زمستان‌های خنک (Bazgeer et al., 2018) و بر اساس روش طبقه‌بندی اقلیمی –کشاورزی پاپادکیس دارای آب و هوای مدیترانه‌ای بری می‌باشد (شکل ۱). بنابراین با استناد به این دو روش طبقه‌بندی شهرستان کرمانشاه از یک اقلیم معتدل تا معتدل سرد برخوردار است. به طوری که، طبق نظر کارشناسان اقلیمی منطقه، بخش‌های ماهی‌دشت و کوزران



شکل ۱- نقشه طبقه‌بندی اقلیمی-کشاورزی در استان کرمانشاه به روش پاپاداکیس و موقعیت ایستگاه تحقیقات هواشناسی کشاورزی سرارود

Figure 1- Agro-Climatic classification map for Kermanshah province using Papadakis method and location of Sararoud agrometeorological research station



شکل ۲- درجه روزهای رشد نخود برای مراحل مختلف رشد (Whish and Cocks, 2011)

Figure 2- Growing Degree-Days of chickpea for different growth stages (Whish and Cocks, 2011)

جدول ۱- میانگین تاریخ رسانیدن مراحل رشد نخود بهاره به همراه درجه روزهای رشد (Kermanshah, 2021; Whish and Cocks, 2011)

Table 1- Average date of spring chickpea growth stages with Growing Degree-Days (Organization Of Agricultural-Jihad-Kermanshah Province, 2021; Whish and Cocks, 2011)

Growing stages	number of days	Date of reaching to each stage	Growing Degree-Days
Planting to emergence	18	24 March	115
Emergence to 50%flowering	54	17 May	994
50%flowering to 90%podding	30	16 June	1140
The whole period of growth	102	-	2248
Harvesting		Late June	

زمینی که در یک سال معین گندم است در سال بعد نخود در آن کاشت می‌گردد. دلیل دیگر برای انجام این کار این است که کاشت گندم در پاییز صورت می‌گیرد و مراحل رشد آن به مراحل رشد نخود نزدیک است. در اقدام بعدی بهوسیله رفتار طیفی شناخته شده NDVI زمین‌های نخود که از نقشه سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ بددست آمده بود، نقشه زمین‌های زراعی نخود برای تک تک سال‌های زراعی ۱۳۶۹-۱۳۷۰، ۱۳۹۷-۱۳۹۶ و ۱۳۹۷-۱۳۹۶ با استفاده از تصاویر تصحیح شده ماهواره‌های سنتینل ۲، لندست ۸، ۷ و ۵ در سامانه Google Earth Engine استخراج شد و در نهایت بیشینه NDVI نخود هریک از این سال‌ها در سامانه مذکور برای هرسال زراعی محاسبه شد و سپس با وارد کردن آن در سامانه ArcGIS 10.7 و برش دادن آن با نقشه زمین‌های زراعی با دقّت ۱۰ متری محصول موسسه پژوهش سامانه‌های زیست محیطی<sup>۱</sup>، میانگین بیشینه NDVI زمین‌های شناسایی شده نخود در هر سال در دو مرحله سبزشدن تا ۵۰٪ گل‌دهی و مرحله کل دوره رشد، محاسبه گردید (Gumma et al., 2020). همان‌طور که از شکل ۳ مشخص است رفتار طیفی نخود و گندم علی‌رغم مشابهت‌هایی که در مراحل اولیه و اوخر رشد دارند در سایر مراحل کاملاً با هم متفاوت است. میزان نمایه نرمال شده پوشش گیاهی در نخود پایین‌تر از گندم است و تاریخ رسیدن به نقطه اوج در آن‌ها نیز با یکدیگر متفاوت است. مقادیر NDVI گندم در نقطه اوج، بین ۰/۷ تا ۰/۰ بوده در حالی که در نخود این مقدار به کمتر از ۰/۴ می‌رسد. در مرحله بعد، بهمنظور ساخت مدل تخمین عملکرد از روش‌های یادگیری ماشین نظارت شده (نوع رگرسیون) بهره گرفته شد. یادگیری ماشین به عنوان زیرمجموعه‌ای از هوش مصنوعی تابع برنامه‌ای است که در ماشین شکل می‌گیرد و دانشی است که به کامپیوتر توانایی یادگیری می‌دهد. دو نوع اصلی آن یادگیری نظارت شده و یادگیری نظارت نشده هستند (Géron, 2019). در یادگیری نظارت شده هدف آموزش ماشین و ساخت مدل برای انجام کاری خاص با راهنمایی کاربر است، در حالی که در آموزش نظارت نشده ماشین این کار را به خودی خود انجام می‌دهد. به عبارت دیگر، در یادگیری نظارت شده از قبل مشخص است

<sup>5</sup> Garmin<sup>6</sup> Support Vector Machine<sup>7</sup> Environmental Systems Research Institute (ESRI)

## نمایه‌های هواشناسی

این نمایه‌ها شامل کمینه دما ( $T_{\min}$ )، بیشینه دما ( $T_{\max}$ )، میانگین دمای روزانه ( $T_{\text{mean}}$ )، مجموع بارش ۲۴ ساعته (R24)، تعداد روزهای بارانی مساوی و بیشتر از ۰/۱ میلی‌متر (Rainy<sub>0.1</sub>)، تعداد روزهای بارانی مساوی و بیشتر از ۱ میلی‌متر (Rainy<sub>1</sub>)، تعداد روزهای بارانی مساوی و بیشتر از ۵ میلی‌متر (Rainy<sub>5</sub>)، تعداد روزهای بارانی مساوی و بیشتر از ۱۰ میلی‌متر (Rainy<sub>10</sub>)، کمینه رطوبت نسبی (RH<sub>min</sub>)، بیشینه رطوبت نسبی (RH<sub>mean</sub>) و میانگین رطوبت نسبی روزانه (RH<sub>max</sub>)، ساعت آفتابی (SH)، سرعت باد (W)، دمای کمینه سطح خاک (T<sub>g</sub>) و تبخیر تعرق روزانه (ET)، که به روش پنمن مونتیث که از طریق نرم‌افزار Cropwat 8.0 محاسبه گردید، هستند.

## نمایه‌های هواشناسی کشاورزی

شامل اختلاف تجمیعی دمای کمینه و بیشینه روزانه (TD)<sup>۱</sup>، درجه روزهای رشد (GDD)، واحدهای حرارتی-آفتابی (HTU)<sup>۲</sup> و واحدهای حرارتی-نوری (PTU)<sup>۳</sup> بودند Farajzadeh Asl et al., 2012; Bazgeer, 2015 که با استناد به تحقیق (

محاسبه شدند.

## نمایه نرمال شده پوشش گیاهی (NDVI)

به منظور استخراج این شاخص در ابتدا، با کمک ثبت مختصات جغرافیایی ۳۰ مزرعه نخود و گندم در مناطق مختلف شهرستان کرمانشاه بهوسیله دستگاه موقعیت‌یاب مدل گارمین<sup>۴</sup> و با بهره‌گیری از تاریخ مراحل رشد نخود و گندم که از سازمان جهاد کشاورزی شهرستان کرمانشاه اخذ گردیده بود رفتار NDVI زمین‌های حاوی نخود در مقایسه با گندم از طریق فراخوانی تصاویر ماهواره‌ای سنتینل ۲ در سال زراعی ۱۳۹۹-۱۴۰۰ در سامانه Google Earth Engine شناسایی شد (شکل ۳) و در نهایت با استفاده از این رفتار طیفی، نقشه زمین‌های نخود با بهره‌گیری از روش طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان Google Earth (SVM)<sup>۵</sup> برای سال مذکور در سامانه Engine با دقّت ۱۰ متری تهیه گردید (شکل ۴). علت ثبت موقعیت جغرافیایی زمین‌های زراعی گندم به این دلیل بود که نخود در تناب و زراعی با گندم کاشت می‌شود و عموماً

<sup>1</sup> Temperature Difference<sup>2</sup> Growing Degree-Days<sup>3</sup> Helio-thermal Units<sup>4</sup> Photo-thermal Units

و کمترین میزان خطای معیار<sup>۱</sup> در مرحله آموزش و کمترین میزان انحراف نسبی<sup>۲</sup> در مرحله اعتبارسنجی مدل بود. برای اطلاع از نحوه محاسبه شاخص انحراف نسبی به (Sadeghi et al., 2019) مراجعه شود. در ادامه به ارائه توضیحات مختصری در مورد هر یک از این روش‌ها پرداخته شده است. بهمنظور اطلاعات Eftekhari et al., (2018; Amini et al., 2019) بیشتر در مورد هریک از این روش‌ها به (Amini et al., 2018; Eftekhari et al., 2019) مراجعه گردد.

### انواع روش‌های انتخاب مدل روش پیش‌رو

در این روش، نخست فرض می‌شود هیچ متغیر پیشگویی در مدل نباشد. سپس به ترتیب اولویت، متغیرهای پیشگو تأثیرگذار به مدل اضافه خواهد شد. این کار تا زمانی ادامه می‌یابد که همبستگی متغیر پیشگوی جدید با مانده‌های به دست آمده از برازش گام پیش چشم‌گیر نباشد.

### روش پیش‌رو (عقب‌گرد)

این روش عکس روش پیش‌رو می‌باشد. در این روش نخست فرض می‌شود تمام متغیرهای پیشگو در مدل باشند. سپس به ترتیب متغیرهای پیشگوی کم‌اهمیت، از مدل حذف می‌شوند.

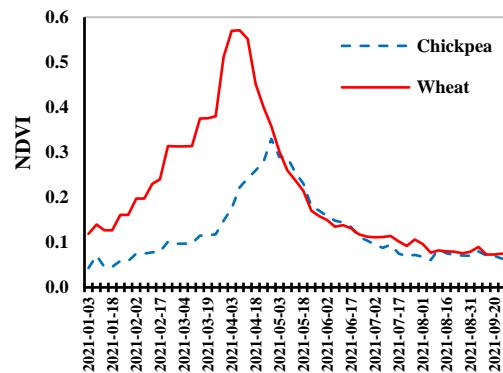
### روش گام‌به‌گام

با ترکیب دو روش پیش‌رو و پس‌رو، روش گام‌به‌گام به دست می‌آید. در روش گام‌به‌گام با ورود هر متغیر پیشگوی جدید به مدل با روش پیش‌رو، تمامی متغیرهای موجود در مدل با به کار گیری آماره آرمون آن برای حذف از مدل، مورد بررسی قرار می‌گیرند. روش گام‌به‌گام تا زمانی ادامه می‌یابد که ورود و یا حذف هیچ یک از متغیرهای خارج از مدل و داخل مدل بر اساس آزمون فیشر معنی دار نباشد.

### روش لاسو

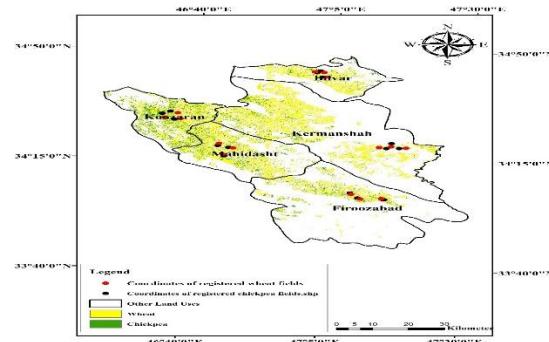
یکی دیگر از روش‌های انتخاب مدل، حالتی است که به آن عملگر انتخاب و کم ترین قدر مطلق انقباض، لاسو گفته می‌شود. در واقع، این حالت از مدل رگرسیونی نه تنها باعث انقباض برآوردهای ضریب‌های رگرسیونی به سمت صفر می‌شود، بلکه سبب صفر شدن برآورد ضرایب متغیرهای کم‌اثر در متغیر پاسخ و در نتیجه حذف آن‌ها از مدل نیز می‌شود که به چنین تأثیری تنکسازی مدل گفته می‌شود. بیش‌برازش و کم‌برازش، از مسائلی است که ممکن است که

داده‌های ورودی آموزش مدل، دارای چه خروجی‌های واقعی هستند و هدف آن است که بر اساس آن خروجی‌ها، مدل آموزش داده شود (Alborzi and Alikhani, 2018).



شکل ۳- نمودار تغییرات NDVI در طول فصل رشد نخود و گندم در کرمانشاه (۱۴۰۰-۱۳۹۹)

Figure 3- NDVI changes during growth season of chickpea and wheat in Kermanshah (2021)



شکل ۴- توزیع جغرافیایی مزارع نخود و گندم در شهرستان کرمانشاه (۱۴۰۰-۱۳۹۹)

Figure 4- Geographical distribution of chickpea and wheat fields in Kermanshah city (2020)

در این پژوهش با ایجاد روابط همبستگی پیرسون بین انواع متغیرهای هواشناسی، اقلیم‌شناسی، نمایه نرمال شده پوشش گیاهی و داده‌های عملکرد نخود و شناسایی رابطه خطی بین آن‌ها در محیط نرم‌افزار R و آن دسته از متغیرهایی که با داده‌های عملکرد رابطه خطی معنی دار در سطح ۵ و ۱ درصد داشتند استخراج شدند و مدل رگرسیون خطی چندگانه در سطح تشکیل شد. سپس از میان چهار روش انتخاب مدل شامل روش گام به گام، عقب‌گرد، پیش‌رو و لاسو و از میان روش‌های اصلاح هم خطی چندگانه، روش‌های رگرسیون ریج استفاده (Eftekhari et al., 2018; Amini et al., 2019) و در نهایت مدلی انتخاب گردید که دارای بیشترین ضریب تعیین تعدل شده

<sup>2</sup> Relative Deviation (RD)

<sup>1</sup> Standard Error of Estimate (SEOE)

**روش اصلاح هم خطی چندگانه (رگرسیون ریج)**  
در روش رگرسیون ریج نیز مانند روش لاسو قاعده‌سازی و توان برای ضرایب مدل رگرسیونی اعمال می‌شود با این تفاوت که به جای استفاده از تابع توان قدر مطلق از تابع توان درجه ۲ استفاده می‌شود. بعلاوه، در روش ریج، ضرایب متغیرهای پیشگو به سمت صفر کشیده می‌شود اما هیچ وقت مقدار آن‌ها صفر نمی‌شود. به عبارتی دیگر، هیچ متغیری از مدل حذف نمی‌شود، اما در رگرسیون لاسو باه کارگیری یک تابع توان صفر کننده ضرایب رگرسیونی متغیرهای پیشگویی بتأثیر صفر می‌شوند و از مدل نهایی حذف می‌شوند. در معادله ۲ مدل رگرسیون ریج ارائه شده است (Horel, 1970).

$$\sum_{i=1}^n (y_i - \beta_0 - \sum_{j=1}^p x_{ij}\beta_j)^2 + \lambda \sum_j \beta_j^2 \quad (2)$$

در شکل ۵ مراحل انجام تحقیق نشان داده شده است.

## نتایج و بحث

**مدل رگرسیونی در مرحله کاشت تا سبزشدن گیاه**  
در این مرحله هیچ کدام از متغیرهای پیشگو با مقدار عملکرد محصول به عنوان متغیر وابسته همبستگی و همچنین رابطه خطی معنی‌داری نداشتند؛ بنابراین مدلی برای تخمین عملکرد در این مرحله از رشد گیاه ایجاد نشد.

**مدل رگرسیونی در مرحله سبزشدن تا ۵۰٪ گل‌دهی گیاه**

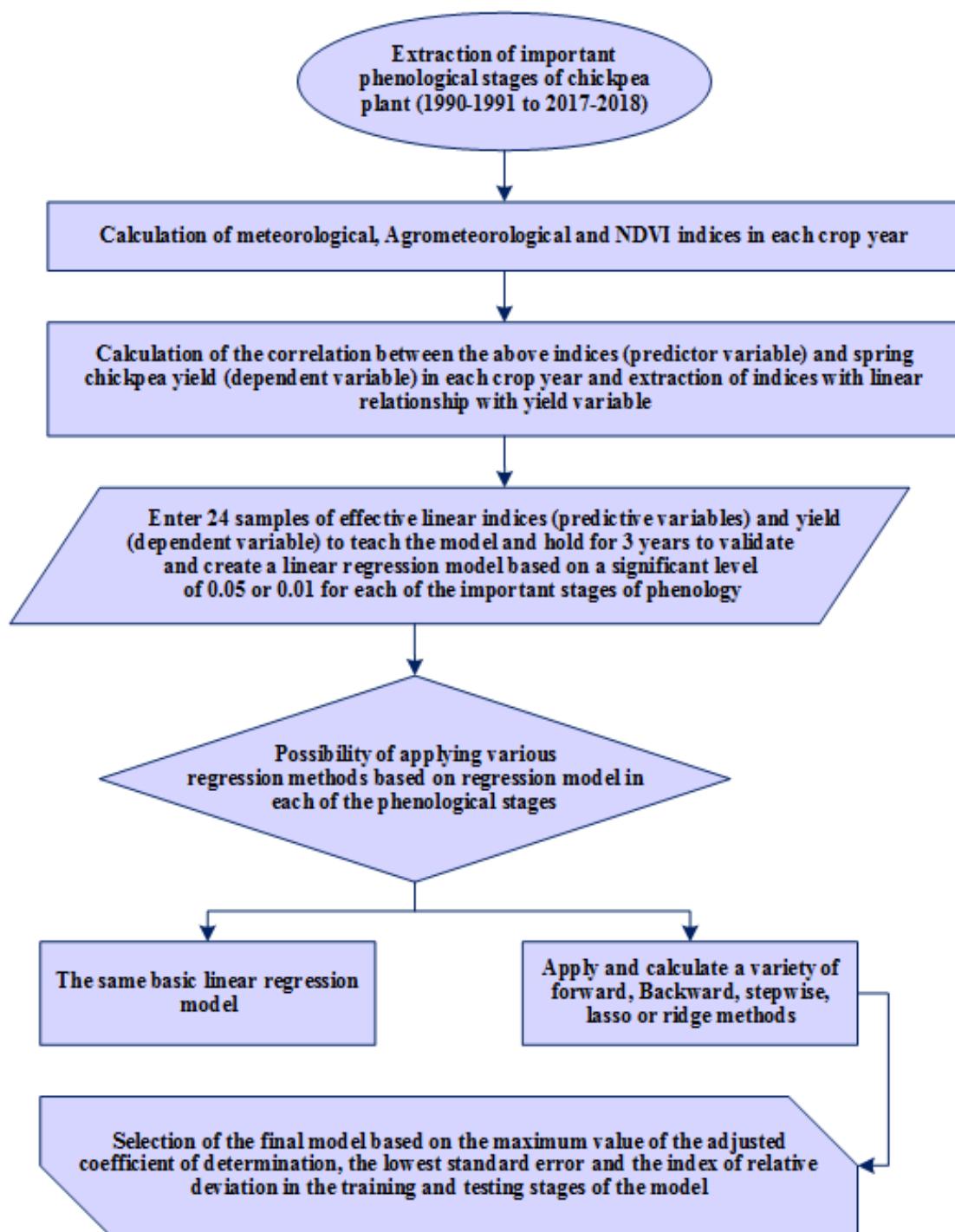
شکل کلی مدل رگرسیونی مبنا در جدول ۲ آمده است. طبق معادله این جدول، دمای بیشینه و میانگین دمای روزانه در این مرحله تأثیری ثابت در میزان عملکرد دارند و این افزایش به این صورت است که بهازای هر درجه افزایش بیشینه دما، ۱۴/۲ کیلوگرم در هکتار مقدار عملکرد افزایش می‌یابد به شرطی که سایر متغیرها ثابت در نظر گرفته شوند و در مورد میانگین دما میزان این تأثیر بهازای هر واحد افزایش، ۲۶/۸ کیلوگرم در هکتار است. دمای مناسب در این مرحله برای نخود بین ۲۰ تا ۲۵ درجه سلسیوس است و زمانی که دما از ۳۵ درجه سلسیوس فراتر رود وضعیت برای رشد نخود بحرانی می‌شود.

در رگرسیون چندگانه رخدده. یکی از راههای جلوگیری از این مشکلات، قاعده‌سازی است. به این معنی که مدل رگرسیونی را با توجه به تعداد متغیرهای آن جرمیه کرد تا تعداد آن‌ها به یک مقدار بھینه برسد. به این ترتیب پیچیدگی مدل کاهش یافته، بدون آن که از کارایی آن کاسته شود. قاعده‌سازی به خصوص در مواردی نظیر (۱) تعداد زیاد متغیرهای توصیفی یا پیشگو، (۲) زیاد بودن تعداد متغیرها نسبت به تعداد مشاهدات و (۳) هم خطی یا هم خطی چندگانه در بین متغیرهای توصیفی کارساز است. در رگرسیون لاسو، نحوه قاعده‌سازی بر اساس تابع توان قدر مطلق انجام می‌شود. در نتیجه تابع هدف در رگرسیون لاسو به صورت معادله ۱ نوشته می‌شود.

$$\sum_{i=1}^n (y_i - \beta_0 - \sum_{j=1}^p x_{ij}\beta_j)^2 + \lambda \sum_j |\beta_j| \quad (1)$$

در این معادله  $(y_i - \beta_0 - \sum_{j=1}^p x_{ij}\beta_j)^2$  همان مجموع توان دوم خطاهای  $\sum_j |\beta_j|$  تابع توان قدر مطلق و  $\lambda$  پارامتر تنظیم کننده در میزان توان و قاعده سازیست به این معنی که اگر مقدار  $\lambda$  برابر با صفر باشد، مدل به رگرسیون عادی تبدیل شده و همه متغیرها در آن حضور خواهند داشت و اگر مقدار آن افزایش یابد تعداد متغیرهای پیشگو در مدل کاهش خواهند یافت. بنابراین با انتخاب  $\lambda$  در واقع هیچ متغیری در مدل وجود ندارد. به طور معمول، تعیین مقدار برای این پارامتر توسط روش اعتبارسنجی متقابل<sup>۱</sup> انجام می‌شود. به عبارتی دیگر، نقش تابع توان قدر مطلق به همراه پارامتر تنظیم کننده آن (۱) این است که در ازای افزایش مقدار ناچیزی اریبی، واریانس را کاهش و دقّت مدل را افزایش دهد. برای مشخص کردن مقدار مناسب  $\lambda$ ، مقدادر ضرایب متغیرهای پیشگو روی محور عمودی در مقابل مقادیر  $\lambda$  روی محور افقی به صورت یک نمودار رسم می‌گردد. زمانی که، برآوردهای بیشتر متغیرها بصورت تقریبی دارای ضرایب ثابتی شدند، بایستی کوچکترین مقدار لاندا را که دارای بیشترین میزان دقّت و کم ترین خطای میانگین مربعات است، در نظر گرفت. لازم به ذکر است که در رگرسیون لاسو، فرض نرمال بودن باقی ماندها وجود ندارد. همچنین مقدار ثابت یا عرض از مبدا هم در قاعده‌سازی دخیل نمی‌شود.

<sup>۱</sup> Cross Validation



شکل ۵- روند نمای مرحله انجام روش پژوهش

Figure 5- Scheme of steps of conducting research method

بر عملکرد خود منفی خواهد بود. در پژوهش حاضر، مقادیر رطوبت نسبی در تمامی سال‌های زراعی مورد بررسی کمتر از ۳۰ درصد بود و به همین دلیل ضریب رگرسیونی این شاخص در معادله منفی شده است. تعداد روزهای بارانی ۵ و ۱۰ میلی‌متر و بیشتر نیز تأثیر مثبت در افزایش عملکرد دارند. جدول ۳ نتایج حاصل از اجرای مدل رگرسیون خطی مبنا و انواع روش‌های انتخاب مدل در مرحله آموزش و

در تمامی سال‌های زراعی مورد بررسی بیشینه دما از ۲۴ درجه سلسیوس بالاتر نرفته و مقدار میانگین دما نیز مناسب بوده و به همین دلیل در مدل رگرسیونی تأثیر آن مثبت بوده است. نکته جالب توجه در این مدل، تأثیر نمایان نمایه طیفی NDVI و اثر منفی کمینه رطوبت نسبی در این مرحله است (Rezapour et al., 2021). مقدار رطوبت نسبی در این مرحله از رشد اگر کمتر از ۳۰ درصد باشد، تأثیر آن در این مرحله از رشد اگر کمتر از ۳۰ درصد باشد، تأثیر آن

مدل رگرسیونی در مرحله ۵۰٪ گل‌دهی تا رسیدگی در این مرحله تنها متغیر بیشینه رطوبت نسبی دارای رابطه خطی معنی‌دار در سطح ۱ درصد با میزان عملکرد بود (جدول ۵). مقدار خطای و دقّت مدل در این مرحله نسبت به مدل‌های مرحله سبزشدن تا ۵۰ درصد گل‌دهی بسیار بالاتر بود (جدول ۵ و ۶).

جدول ۴ نتایج آن را در مرحله آزمون مدل برای سه سال زراعی منتخب نشان می‌دهد. طبق نتایج این دو جدول مدل رگرسیونی لاسو با داشتن ضریب تعیین ۶۷ درصد و خطای معیار ۵۹/۸ کیلوگرم در هکتار در مرحله آموزش و انحراف نسبی ۰/۴، ۰/۳ و ۳/۵ درصد (جدول ۴) در سال‌های منتخب آزمایش مدل، بهترین مدل از میان مدل‌های مورد بررسی است.

جدول ۲- مدل رگرسیونی خطی مینا در مرحله سبزشدن تا ۵۰٪ گل‌دهی (آموزش مدل)

Table 2- Baseline linear regression model in the emergence stage to 50% flowering (model training)

Intercept	Independent variables with their coefficients	R	Adjusted R Square	SEOE (kg ha <sup>-1</sup> )
-183.1	14.2*T <sub>max</sub> + 2.79*Rainy <sub>5</sub> + 25.16*Rainy <sub>10</sub> + 26.8*T <sub>mean</sub> - 3.098*RH <sub>min</sub> - 21.64*TD + 573.45*NDVI	0.87**	0.65	63.6

\*P&lt;0.05 ; \*\*P&lt;0.01

جدول ۳- نتایج انواع مدل‌های رگرسیونی خطی در مرحله سبز شدن تا ۵۰٪ گل‌دهی (بخش آموزش مدل)

Table 3- Results of different regression models in the emergence stage to 50% flowering (model training)

Model type	Intercept	Independent variables with their coefficients	R	Adjusted R Square	SEOE (kg.ha <sup>-1</sup> )
Backward	-180.4	22.7* Rainy <sub>10</sub> + 38.8*T <sub>mean</sub> - 15.9*TD + 569.5*NDVI	0.86**	0.69	60.06
Forward	124.9	-1.2* Rainy <sub>5</sub> + 23.4* rainy <sub>10</sub> + 600.5*NDVI	0.84**	0.67	62.6
Stepwise	124.7	22.05* Rainy <sub>10</sub> + 588.24*NDVI	0.84**	0.68	62
Lasso	63.5	20.2* Rainy <sub>10</sub> + 17.01*T <sub>Mean</sub> - 9.98*TD + 523.96*NDVI	0.84**	0.67	59.8
Ridge	28.9	1.7*T <sub>max</sub> + 5.7* Rainy <sub>5</sub> + 14.32* Rainy <sub>10</sub> + 23.1*T <sub>mean</sub> - 0.8*RH <sub>min</sub> - 13.96*TD + 433.4*NDVI	0.76**	0.61	67.2

\*P&lt;0.05 ; \*\*P&lt;0.01

جدول ۴- ارزیابی انواع مدل‌های رگرسیونی خطی در مرحله سبز شدن تا ۵۰٪ گل‌دهی (اعتبارسنجی مدل)

Table 4- Evaluation of different regression models in the emergence stage to 50% flowering (model validation)

Model name	Years of validation								
	1997-1998			2005-2006			2010-2011		
Actual value	Estimated value	RD (%)	Actual value	Estimated value	RD (%)	Actual value	Estimated value	RD (%)	
Baseline	277.8	279.1	0.5	634.7	659.7	3.9	385	398.4	3.5
Backward	277.8	273.8	-1.4	634.7	656.7	3.5	385	400.8	3.9
Forward	277.8	268.3	-3.4	634.7	665.7	4.9	385	390.7	1.5
Stepwise	277.8	267.6	-3.7	634.7	659.4	3.9	385	394.1	2.3
Lasso	277.8	278.9	0.4	634.7	632.6	-0.3	385	398.9	3.5
Ridge	277.8	286.6	3.2	634.7	591.7	-6.8	385	415.1	7.8

جدول ۵- نتیجه مدل رگرسیونی خطی در مرحله ۵۰٪ گل‌دهی تا رسیدگی (آموزش مدل)

Table 5 - The result of linear regression model at 50% flowering to maturity stage (model training)

Intercept	Independent variables with their coefficients	R	Adjusted R Square	SEOE (kg.ha <sup>-1</sup> )
-29.6	9.95RH <sub>max</sub>	0.46**	0.37	86.1

\*P&lt;0.05 ; \*\*P&lt;0.01

جدول ۶- نتیجه مدل رگرسیونی خطی در مرحله ۵۰٪ گل‌دهی تا رسیدگی (اعتبارسنجی مدل)

Table 6- The result of linear regression model at 50% flowering to maturity stage (model validation)

Model name	Years of validation								
	1997-1998			2005-2006			2010-2011		
Actual value	Estimated value	RD (%)	Actual value	Estimated value	RD (%)	Actual value	Estimated value	RD (%)	
Baseline	277.8	363.8	30.9	634.7	375.5	-40.8	385	369.2	-4.1

کاشت تا سبز شدن، سبزشدن تا ۵۰ درصد گلدهی، ۵۰ درصد گلدهی تا رسیدگی و کل دوره رشد را نشان می‌دهد مشخص می‌گردد که مناسب‌ترین مدل انتخابی، مدل رگرسیونی لاسو در مرحله سبزشدن تا ۵۰٪ گلدهی است. در واقع، با مقایسه جداول ۲ تا ۹ نشان داده می‌شود که مدل لاسو در این مرحله با داشتن ضریب تعیین ۶۷ درصد و خطای معیار ۵۹/۸ کیلوگرم در هکتار در مرحله آموزش و انحراف نسبی ۰/۴ و -۰/۳ و ۳/۵ درصد به ترتیب در سال‌های ۱۹۹۷-۱۹۹۸، ۱۹۹۶-۲۰۰۵ و ۲۰۱۱-۲۰۱۰ نسبت به نتایج سایر مدل‌ها برتری دارد.

### مدل رگرسیونی در دوره رشد

جداول ۷ تا ۹ نتایج مدل‌های رگرسیونی را در بخش‌های آزمایش و آزمون در این مرحله نشان می‌دهد. بر اساس یافته‌های جدول ۸ و ۹ در این مرحله؛ مدل عقب‌گرد با داشتن ضریب تعیین ۶۶ درصد و خطای معیار ۶۲/۸ کیلوگرم در هکتار در بخش آموزش مدل و انحراف نسبی ۱۱/۶ و ۷/۹ درصد در بخش آزمون مدل در این مرحله در سال‌های زراعی منتخب، مناسب‌ترین مدل در این مرحله تشخیص داده شد. با استناد به نتایج و جداول ۲ تا ۹ که نتایج انواع مدل‌های رگرسیونی را در چهار مرحله رشد یعنی

جدول ۷- مدل رگرسیونی خطی مبنا در کل دوره رشد (آموزش مدل)

Table 7- Baseline linear regression model in the whole growth period (model training)

intercept	Independent variables with their coefficients	R	Adjusted R Square	SEOE (kg.ha <sup>-1</sup> )
50.6	25.2*T <sub>max</sub> + 3.3* Rainy <sub>5</sub> + 24.7* Rainy <sub>10</sub> + 8.9*RH <sub>max</sub> - 30.7*TD + 415.5*NDVI - 14.7*RHMean	0.86**	0.63	65.9

\*P<0.05 ; \*\*P<0.01

جدول ۸- نتایج انواع مدل‌های رگرسیونی خطی برای کل دوره رشد (بخش آموزش مدل)

Table 8- Results of different regression models for the whole growth period (model training)

Model type	intercept	Independent variables with their coefficients	R	Adjusted R Square	SEOE (kg.ha <sup>-1</sup> )
Backward	-151.2	31.4*T <sub>max</sub> + 22.7* Rainy <sub>10</sub> - 31.4*TD + 490.4*NDVI	0.85**	0.66	62.8
Forward	133.3	12.2* Rainy <sub>10</sub> + 435.9*NDVI	0.79**	0.58	69.7
Stepwise	133.3	12.2* Rainy <sub>10</sub> + 435.9*NDVI	0.79**	0.58	69.7
Lasso	357.4	17.7* Rainy <sub>10</sub> - 10.5*TD + 417.78*NDVI	0.81**	0.63	64.04
Ridge	276.7	11.7*T <sub>max</sub> + 4.8* Rainy <sub>5</sub> + 13.9* Rainy <sub>10</sub> + 0.34*RH <sub>max</sub> - 2.03*RH <sub>mean</sub> - 20.6*TD + 368.03*NDVI	0.72**	0.56	70.8

\*P<0.05 ; \*\*P<0.01

جدول ۹- نتایج انواع مدل‌های رگرسیونی خطی برای کل دوره رشد (اعتبارسنجی مدل)

Table 9- Results of different regression models for the whole growth period (model validation)

model name	Years of validation								
	1997-1998			2005-2006			2010-2011		
	Actual value	Estimated value	RD (%)	Actual value	Estimated value	RD (%)	Actual value	Estimated value	RD (%)
Baseline	277.8	330.7	19.1	634.7	575.2	-9.4	385	440.7	14.5
Backward	277.8	310.2	11.6	634.7	584.6	-7.9	385	420.4	9.2
Forward	277.8	266.6	-4.1	634.7	552.7	-12.9	385	425.1	10.4
Stepwise	277.8	266.6	-4.1	634.7	552.7	-12.9	385	425.1	10.4
Lasso	277.8	313.5	12.8	634.7	556.8	-12.3	385	419	8.8
Ridge	277.8	309.4	11.4	634.7	532.5	-16.1	385	429.1	11.5

می‌شود. در واقع، نقش این تابع توان به همراه پارامتر تنظیم کننده آن ( $\lambda$ ) این است که در ازای افزایش مقدار ناچیزی اربیبی، واریانس را کاهش و دقیق مدل را افزایش دهد (Amini et al., 2019). همان طور که در شکل ۶ مقادیر ضرایب متغیرها در مقابل لاندا ترسیم شده است، زمانی که تخمین‌گرهای بیشتر متغیرها بصورت تقریبی دارای ضرایب ثابتی شدند، بایستی کوچکترین مقدار لاندا را که دارای

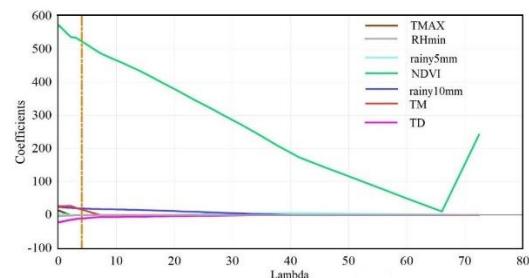
شكل ۶ مقدار مناسب  $\lambda$  توسط نرم افزار Eviews برای این مدل رگرسیونی در مرحله سبزشدن تا ۵۰ درصد گلدهی را نشان می‌دهد که مقدار آن ۴۰/۵ است (خط عمودی نارنجی رنگ). با توجه به توضیحاتی که در بخش مواد و روش‌ها در خصوص روش لاسو داده شد قاعده‌سازی و انقباض ضرایب متغیرها از طریق به کارگیری یک تابع توان قدر مطلق که  $\lambda$  تنظیم کننده آن است، مشخص

که موجب افزایش بیشتر دقّت مدل می‌شود، لحاظ نشده است. بر اساس پژوهش (Das et al., 2018) مدل رگرسیون لاسو در مقایسه با سایر روش‌های رگرسیون گام‌به‌گام، شبکه عصبی مصنوعی، رگرسیون مولفه‌های اصلی و رگرسیون شبکه تور کشسان<sup>1</sup> بهترین مدل در تخمین عملکرد برنج در سواحل شرقی هند شناخته شد که نتایج آن در زمینه برتری این روش با نتایج تحقیق ما مشابه است. با در نظر گرفتن سه شاخص آماری ضریب تعیین ( $R^2$ ) و میزان خطای معیار (SEOE) و شاخص انحراف نسبی (RD) در زمینه ارزیابی دقّت مدل، مشخص می‌گردد که نتایج این تحقیق نسبت به مطالعات پژوهشی (Ghorbani et al., 2008; Farajzadeh asl et al., 2012; Bazgeer, 2015; Sadeghi et al., 2019) که همگی با استفاده از ا نوع روش‌های رگرسیونی ورود متغیرها شامل روش عقب‌گرد، پیش‌رو، گام‌به‌گام و ترکیب شاخص‌های اقلیمی و اقلیم‌شناسی کشاورزی به تخمین عملکرد محصولاتی مانند گندم و ذرت پرداخته‌اند دارای دقّت بیشتری است. همچنین، نتیجه تحقیق حاضر برخلاف نتایج پژوهش (Abeyaneh, 2013) است که در آن رگرسیون ریج نسبت دو روش همزمان<sup>2</sup> و گام به گام در برآورد چهار محصول گندم، جو، نخود و هندوانه در دو شهر بیرجند و مشهد برتری داشت؛ زیرا در تحقیق حاضر مدل رگرسیونی ریج نسبت به سایر روش‌های رگرسیونی محاسبه شده در دو مرحله سبز شدن تا ۵۰٪ گل‌دهی و کل دوره رشد دارای دقّت کمتری است و این رگرسیون لاسو است که از بیشترین میزان دقّت نسبت به سایر روش‌های رگرسیونی برخودار است.

### نتیجه گیری

در این تحقیق مشخص شد که از میان انواع مدل‌های یادگیری خطی، روش رگرسیون لاسو بهتر عمل می‌کند و بر اساس شاخص‌های اعتبارسنجی، می‌توان به نتایج آن اعتماد کرد. اثر بارز نمایه‌های اقلیمی میزان بارش ۱۰ میلی‌متر، میانگین دما، شاخص اختلاف دمایی و NDVI به عنوان مهم‌ترین فاکتورهای آب و هوایی مؤثر بر عملکرد نخود برای کشاورزان منطقه و متخصصان حوزه اصلاح بذر و ژنتیک تعیین گردید و آن‌ها را متوجه این امر می‌سازد که با یک بینش خاص علمی به این فاکتورها، تقویم زراعی

بیشترین میزان دقّت و کم ترین خطای میانگین مربعات است، در نظر گرفت. این مقدار در شکل ۶ برابر با ۴۰۵ است که در این مقدار، اثر متغیرهای پیشگوی دمای بیشینه ( $T_{\max}$ )، بارش ۵ میلی‌متر و بیشتر (rainy<sub>5</sub>) و رطوبت نسبی کمینه (RH<sub>min</sub>) در مدل به صفر رسیده و باستی از مدل حذف شوند. ضرایب بقیه متغیرها نیز نسبت به مدل رگرسیون خطی مبنا در این مرحله (جدول ۲) منقبض و کوچک‌تر شده‌اند که باعث جلوگیری از مشکل بیش‌برازش و کم‌برازش می‌شود.



شکل ۶- نمودار مقادیر  $\lambda$  در مقابل ضرایب متغیرهای مستقل در مدل رگرسیونی لاسو در مرحله سبز شدن تا ۵۰٪ گل‌دهی

Figure 6- Diagram of  $\lambda$  values versus coefficients of independent variables in Lasso regression model in emergence stage up to 50% of flowering

در مقایسه با تحقیقات خارجی می‌توان نتایج تحقیق Bazgeer et al., 2006; Becker-Reshef et al., 2010; Mkhabela et al., 2012; Das et al., 2018; Rezapour et al., 2021 پژوهش حاضر با تحقیقات (Becker-Reshef et al., 2010; Mkhabela et al., 2012) همبستگی مثبت و بسیار خوب شاخص NDVI با محصول گندم و در کار پژوهشی (Rezapour et al., 2021) با محصول نخود از میان سایر شاخص‌های طیفی گیاهی است. برای مثال در پژوهش (Bazgeer et al., 2006) با اضافه شدن شاخص NDVI به مدل هواشناسی کشاورزی میزان  $R^2$  تعديل شده از ۰/۵۱ به ۰/۸۰ افزایش می‌یابد و میزان خطای معیار از ۲۹۳/۲ کیلوگرم در هکتار به ۱۲۶/۸ کیلوگرم در هکتار تنزل پیدا می‌کند. تفاوت این تحقیق با Becker-Reshef et al., 2010; Mkhabela et al., 2012 (al., 2012) این است که در پژوهش این افراد تنها به شاخص‌های سنجش از دور توجه شده و ترکیب این شاخص‌ها با عوامل هواشناسی و هواشناسی کشاورزی موثر

<sup>2</sup>. Enter

<sup>1</sup> Net Elastic Regression

- Rafiei, M. 1991-2019. Agricultural Statistics, Ministry of Agricultural Jahad. Crop cover.
- Akbarpour, A., Khorashadizadeh, O., Shahidi, A and Ghochanian, E. 2013. Performance evaluation of artificial neural network models in estimate production of yield saffron based on climate parameters. Journal of Saffron Research,1(1), 27-35.(In Farsi)
- Alborzi, M and Alikhani, M. 2018. Machine Learning .Tehran: Sharif University of Technology Scientific Publication, 386 pages.(In Farsi)
- Amini, S.M., Roozbeh, M and Zamani, H. 2019. Advanced regression analysis with R. Tehran: Parsian Scientific Publications, 226 pages.(In Farsi)
- Anwar, M.R., McKenzie, B.A., Hill, G.D and Peri., P.L. 2001. A predictive model of chickpea (*Cicer arietinum* L.) yield, Journal of Agronomy N.Z. (31), 1-11.
- Balla, L., Szunics, L and Pletserr, J. 1975. Efected of meteorological factors on the yield of winter wheat at Martovansar. Acta Agronomica Academiae scietiarum Hungaricae.Vol21:386-390.
- Bazgeer, S; Mohammadi, H and Momenpour, S.E. 2018. Comparative study of three agroclimatic classification methods for determination of suitable regions of rainfed wheat cultivation, Journal of Agricultural Meteorology, 6(1), 50-60.(In Farsi)
- Bazgeer, S. 2015. Estimation of corn yield using agro-climatic indices in western and southwestern regions of Iran, Journal of Applied researches in Geographical Sciences, 15(39), 7-32.(In Farsi)
- Bazgeer, S., Mahey, R.K., Sharma, P.K., Sood, A and Sidhu, S.S. 2006. Pre-harvest wheat yield prediction using agromet-spectral-trend-yield models for Hoshiarpur and Rupnagar districts of Punjab Journal of the Indian Society of Remote Sensing 34(3), 269-277.
- Becker-Reshef, I;Vermote, E; Lindeman, M and Justice, C. 2010. A generalized regression-based model for forecasting winter wheat yields in Kansas and Ukraine using MODIS data, Journal of Remote Sensing of Environment, 114(6), 1312-1323.
- Chauhan, Y., Ryan, M., Chandra, S and Sadras., V. 2019. Accounting for soil moisture improves prediction of flowering time in chickpea and wheat, Scientific Reports, 9 (7510), 1-11.
- Chmielewski, F.M and Potts, J. M. 1996. The relationship between crop yields from on experiment in Southern England and long-term climate variation. Agri and Forest Met 73:43-66.
- Dalezios, N.R., Loukas.A., Bampzelis, D. 2002. Assessment of NDVI and Agrometeorological indices in the phenology of wheat in central Greece, Physics and Chemistry of the Earth. 27(23-24), 1019-1023.
- Das, B., Nair, B., Reddy., V.K and Venkatesh., P. 2018. Evaluation of multiple linear, neural network and penalized regression models for prediction of rice yield based on weather parameters for west coast of

کشت گیاه نخود را تنظیم کنند و از ارقامی استفاده کنند که بهترین سازگاری را با این فاکتورهای تأثیرگذار داشته باشد. اگرچه استفاده از ترکیب انواع نمایه‌های اقلیمی، اقلیمی-کشاورزی و نمایه طیفی گیاهی NDVI در قالب مدل‌های رگرسیونی پیشفرته مانند لاسو و ریج از مزایای این پژوهش به شمار می‌آید ولی باید توجه داشت که استفاده از متغیرهای انسانی مانند تنظیم فاصله بین بوته‌ها، تعداد دفعات و جین علفهای هرز، استفاده از ارقام مقاوم نسبت به بیمارهای قارچی و آفات، نوع کشت کردن گیاه نخود و استفاده از میزان کودهای فسفر و نیتروژن در محاسبات مدل و شناسایی مهم‌ترین عوامل در میزان عملکرد می‌تواند دقت کار را بسیار بالا ببرد (Yousefi et al., 2016). همچنین اندازه‌گیری عملی رطوبت خاک، دمای خاک در مراحل مختلف رشد، اندازه‌گیری وزن ترو و خشک، وزن هزار دانه در مزارع نمونه نخود در اقلیم‌های متفاوت استان کرمانشاه توسط خود پژوهشگر و وارد کردن این نمایه‌ها در فرآیند محاسبات و پردازش مدل‌های یادگیری ماشین، می‌تواند جهت ایجاد یک مدل با دقت بالا بسیار کمک کننده باشد. در واقع واضح است که داده‌های عملکرد سازمان جهاد کشاورزی به صورت یک میانگین از کل منطقه بوده و بیانگر عملکرد خردالقیمهای منطقه وسیعی نمی‌باشد. چون یک اقلیم‌شناس کشاورزی همبستگی معنی‌دار میان داده‌های هواشناسی با میزان عملکرد را در دوره‌های آماری بلندمدت ( برای مثال ۳۰ سال) بررسی می‌کند، گاهی اوقات دیده می‌شود که در سال‌های میانی به دلیل پیشرفت‌های حوزه ژنتیک کشاورزی، کشاورزان از یک بذر مقاوم به تنش‌های خشکی، دمایی یا سایر متغیرها استفاده کرده‌اند که همین امر باعث می‌شود ارتباط بین این دو فاکتور اقلیمی با میزان عملکرد چندان معنی‌دار نباشد. در حالی که، این مشکل با انجام مشاهدات میدانی در سال‌های متوالی و اندازه‌گیری متغیرهایی که در قسمت بالا ذکر شد و اطلاع از نوع رقم مورد استفاده در هر منطقه توسط کشاورزان رفع شده و باعث می‌شود دقت تخمین نیز افزایش یابد. بنابراین، پیشنهاد می‌شود که محققانی که در این زمینه کار خواهند کرد حتماً این موارد را مدنظر داشته و دیدی کاملاً ترکیبی و اقلیمی داشته باشند.

## منابع

- Ahmadi, K., Gholizadeh, H., Ebadzadeh, H., Hosseinpour, R., Abdshah, H., Kazemian, A and

- chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Journal of Field Crops Research*, 164(1), 90-97.
- Kamali, L., Kaviani, A., Nazari, B and Liaqat, 2018. Wheat yield estimation by satellite imageries Landsat 8 (Case study: Moghan Plain), *Iranian Journal of Water and Soil*.49(5), 1032-1042.(In Farsi)
- Kanouni, H., Taleei, A., and Okhovat, M. 2011. Ascochyta blight of pea breeding strategies for resistance. *International Journal of Plant Breeding and Genetics*,5(1), 1-22.
- Kazemi, H and Sadeghi, S. 2014. Land suitability evaluation of Aq-Qalla region for rainfed Chickpea cropping by Boolean logic and analytical hierarchy process (AHP). *Iranian Journal of Rainfed Agriculture*,2(1), 1-19.(In Farsi)
- Khaki, S., Wang, L and Archontoulis, S.V. 2020. A CNN-RNN Framework for Crop Yield Prediction, *Journal of Frontiers in Plant Science*, 10(1750), 1-14.
- Khalvandi, N., Soltani Mohammadi, A and Boroumandnasab, S. 2017. Simulation of soil moisture and maize yield under irrigation with saline water by SALTMD model, *Journal of Irrigation Science and Engineering*, 40(1), 231-246.(In Farsi)
- Khazaei, J., Naghavi, M.R., Jahansouz, M.R and Salimi-Khorshidi, G. 2008. Yield Estimation and Clustering of Chickpea Genotypes Using Soft Computing Techniques, *Journal of Agronomy*, Vol 100(4), 1077-1087.
- Khoorani, A. 2010. Statistical rainfed wheat yield modeling based on agroclimatological and spectral indices in Kurdistan, Iran, requirements for the Ph.D in geography, Tarbiat Modares university.
- Klompenburg, T., Kassahun, A and Catal, C. 2020. Crop yield prediction using machine learning: A systematic literature review, *Journal of Computers and Electronics in Agriculture*, Vol 177: 1-18.
- Mathieu, J and Aires, F. 2018. Assessment of the agro-climatic indices to improve crop yield forecasting., *Journal of Agricultural and Forest Meteorology*, Vol 253-254:15-30.
- Mkhabela, M.S; Bullock, P; Raj, S; Wang, S and Yang, Y. 2011. Crop yield forecasting on the Canadian Prairies using MODIS NDVI data, *Journal of Agricultural and Forest Meteorology*, 151(3), 385-393.
- Moradi heidari, S. 2018. Climatic location of rainfed chickpea cultivation in Lorestan province, Great Pen Publishing, 90 pages.(In Farsi)
- Najafpour, Z. 2013. A look at the sugar market in Iran during the years 1380-1391. *Economic Journal*, 13(11), 131-142.(In Farsi)
- Olgun, M and Erdogan, S. 2009. Modeling crop yield potential of Eastern Anatolia by using geographically weighted regression, *Journal of Agronomy and Soil Science*,Vol 55(3), 255-263.
- Organization Of Agricultural-Jahad-Kermanshah Province. 2021. Chickpea planting calendar, 21 pages.
- India. *International Journal of Biometeorology*, 62:1809-1822.
- Dharmaraja., S, Jain., V, Anjoy., P and Chandra., H. 2019. Empirical Analysis for Crop Yield Forecasting in India, *Journal of Agric Res*, Vol 9(1), 132-138.
- Ebrahimi, M., Rezavardinejad, V and Majnooni-Harris, A. 2015. Dynamic Simulation through Aqua Crop of Maize Growth under Different Management Decisions of Water Application and Nitrogen Fertilizer Use, *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 46(2), 207-220.(In Farsi)
- Eftekhari Mahabadi, S., Amini, S.M., Parsian, A and Zamani, H. 2018. Linear regression analysis with R. Tehran: Parsian Scientific Publications, 291 pages.(In Farsi)
- Everingham, Y., Sexton, J., Skocaj, D and Inman-Bamber, G. 2016. Accurate prediction of sugarcane yield using a random forest algorithm, *Journal of Agron.Sustain. Dev.*36(27), 1-9.
- Farajzadeh Asl, M., Khoorani, A., Bazgeer, S and Ziaeian, P. 2012. The analysis of the agrclimatological indices and climatic elements effect on rainfed wheat in different phonological stages in Kurdistan province.*Journal of Spatial Planning (modares human sciences)*,15(4), 1-17.(In Farsi)
- Géron, A. 2019. *Hands-On Machine Learning with Scikit-Learn Keras and TensorFlow*, O'Reilly Media; 2nd edition:856 pages.
- Ghorbani, Kh; Khalili, A and Iran nejad, P. 2008. Regional estimation of rainfed wheat yield based on precipitation data. *Journal of agricultural research*, 8(1), 89-101.(In Farsi)
- Ghorbani, Kh; Teimourey, R and Salarijazi, M. 2021. Wheat yield estimation using satellite images in Golestan province, *Journal of Agricultural Meteorology*, 9(1), 38-52.(In Farsi)
- Gumma, M.K; Tummala , K;Dixit, S; Collivignarelli, F;Holecz, F; Kolli, R and Whitbread, A.M. 2020. Crop type identification and spatial mapping using Sentinel-2 satellite data with focus on field-level information, *Journal of GEOCARTO INTERNATIONAL*,<https://doi.org/10.1080/10106049.2020.1805029>:1-17.
- Haghparast, R. 2018.chickpea over meat.Tehran: Shalan Publishing, 147 pages.(In Farsi).
- Honor, T., Sabet Sarvestani, A., Kamgar Haghghi, A.A and Shams, S. 2011. Calibration of crop system model for growth simulation and yield estimation of canola. *Journal of Water and Soil*, 25 (3), 593-605.(In Farsi)
- IFPRI. 1994. World food trends and future food security. *Food Policy Report*, The International Food Policy Research Institute, Washington, DC: 25 pages.
- Jahangiri, A. and Haghparast, R. 2021. Personal interview. 2021/07/14.
- Jumrani, K and SinghBhatia, V. 2014. Impact of elevated temperatures on growth and yield of

- Sanainejad, H., Nasiri Mahallati, M., Zare, H., Salehnia, N and Ghaemi, M. 2013. Wheat yield estimation using landsat images and field observation:a case study in mashhad.Journal of Plant Production, 20(4), 45-63.(In Farsi)
- Sharma, A., Sood, R.K. and Kalubarme, M.H. 2004. Agrometeorological wheat yield forecast in Himachal Pradesh. Journal of Agromet, Vol6:153-160.
- Vaseghi, E and Esmaeili, A.A.K. 2008. Investigation of the economic impacts of climate change on iran agriculture: a ricardian approach (case study: wheat), Journal of water and soil science, 12(45), 685-696.(In Farsi)
- Whish, j and Cocks, B. 2011. Sowing date and other factors that impact on pod-set and yield in chickpea. GRDC Update paper Goondiwindi, Qld, www.grdc.com.au/Research-and-Development/GRDC-Update-Papers/2011/04/Sowing-date-and-other-factors-that-impact-on-podset-and-yield-in-chickpea
- Yaghouti, H., Pazira, E., Amiri, E and Masihabadi, M.H. 2018. Application of satellite imagery and remote sensing technology to estimate rice yield, Journal of Soil and Water Resources Conservation, 7(3), 55-68.(In Farsi)
- Yousefi, B., Boshaq, B., Ebadouz, G., Bahrami, S., Tahmasebi, G., Barzegar, M., Karami, R and Majdam, M. 2015. Dry Beans Cultivation and Breeding. Tehran: Agricultural Research,Education and Extension Organization (AREEO) Publications, 170 pages.(In Farsi)
- Zarei, F and Ganji Khorramdal, N. 2017. Simulation of Wheat Yield under Different Irrigation Management by CropSyst in ZARAGHAN, FARS Province, Journal of Irrigation and Water Engineering, 8(29), 164-174.(In Farsi)
- Pirzadeh Moghaddam, M., Bagheri, A., and Malekzadeh-Shafaroudi, S., and Ganjeali, A. 2014. Multivariate statistical analysis in chickpea under limited irrigation. Iranian Journal of Pulses Research, (5)2:99-110.
- Rezapour, Sh; Jooyandeh, E; Ramezanlade, M; Mostafaeipour, A; Jahangiri, M; Issakhov, A; Chowdhury, Sh and Techato, K. 2021. Forecasting Rainfed Agricultural Production in Arid and Semi-Arid Lands Using Learning Machine Methods: A Case Study, Journal of Sustainability, 13(9), 2-28.
- Saadati, Z., Pirmoradian, N., Amiri, E and Rezaei, M . 2012. Assessment of WOFOST model in simulating yields of two rice varieties under different irrigation regimes, Journal of Water Research in Agriculture, 26 (3), 323-337.(In Farsi)
- Sadeghi, H; Azizi, Gh and Bazgeer, S. 2019. The relationship between climatic variables with yield and duration of growth stages of corn and irrigated wheat in Hasan Abad, Darab, Fars Province, Journal of Geographical Sciences (Applied Geography), 15(31), 60-74.(In Farsi)
- Sadooghi, L., Homae,M., Norouzi, A and Asadi Kapourchal, S. 2015. Estimating rice yield using VSM model and satellite images in Guilan province, Journal of Cereal Research, 6(3), 397-410.(In Farsi)
- Sadr, S; Eslami, M. 2021. Determination of effective weather variables on pistachio yield using C&R decision tree algorithm, Journal of Agricultural Meteorology, 9(1), 53-62.(In Farsi)
- Saei, M. 2021. Effect of short and long term climate variations on rainfed wheat yield in Kerman province, Journal of Agricultural Meteorology, 9(1), 26-37.(In Farsi)
- Samiei nasab, M; Soleimani; Y; Abdi, S. 2016. Optimal Conceptual Model of Food Security of the Islamic Republic of Iran in the System of Resistance Economy, Journal of Security Horizons, 9(30), 65-96.(In Farsi)

## Application of machine learning approach for Chickpea yield estimation based on Agroclimatological Indices (Case Study: Kermanshah region)

S. E. Momenpour<sup>1</sup>, S. Bazgeer<sup>2\*</sup>, M. Moghbel<sup>3</sup>, H. Mohammadi<sup>4</sup>, S. M. Hossaini<sup>5</sup>, A. Abdollahi Kakroudi<sup>6</sup>

Received: 19/02/2022

Accepted: 27/08/2022

### Abstract

This study aims to estimate the yield of spring chickpea using machine learning methods of linear regression models in Kermanshah region, west of Iran. The meteorological variables, agrometeorology and remotely-sensed based indices as predictor variables and yield data of Agricultural Jihad Organization of Kermanshah as a response variable were used for four growth stages during 1990-1991 to 2017-2018. Twenty four and three years data were used for training and model validation, respectively. The results revealed that among the linear models, Lasso model with a coefficient of determination of 67% and a standard error of  $59.8 \text{ kg.ha}^{-1}$  was chosen as a best model for crop yield estimation in the emergence to 50% of flowering stages. This model has relative deviations of 0.4, -0.3 and 3.5 for the years 1997-1998, 2005-2006 and 2010-2011, respectively.

**Keywords:** Climate, Chickpeas Yield, Linear Models, Kermanshah



<sup>1</sup> Ph. D. Student, Agricultural Climatology, Physical Geography Department, Faculty of Geography, University of Tehran

<sup>2</sup> Associate Professor, Department of Physical Geography, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran

(\*Corresponding Author Email Address: [sbazgeer@ut.ac.ir](mailto:sbazgeer@ut.ac.ir))

<sup>3</sup> Assistant Professor, Physical Geography Department, Faculty of Geography, University of Tehran

<sup>4</sup> Professor, Physical Geography Department, Faculty of Geography, University of Tehran

<sup>5</sup> Associate Professor, Physical Geography Department, Faculty of Geography, University of Tehran

<sup>6</sup> Associate Professor, Remote Sensing and GIS Department, Faculty of Geography, University of Tehran

نحوه ارجاع مقاله:

مؤمن پور، س.ع.، بازگیر، س.، مقبل، م.، محمدی، ح.، حسینی، س.م.، عبدالهی کاکروodi، ع. ۱۴۰۱. کاربرد رهیافت یادگیری ماشین در تخمین عملکرد خود بر اساس نمایه‌های اقلیمی-کشاورزی (مطالعه موردی: شهرستان کرمانشاه). نشریه هواشناسی کشاورزی، ۱۰(۲): ۳۷-۵۱. DOI: 10.22125/agmj.2022.330478.1131

Momenpour, S. E., Bazgeer, S., Moghbel, M., Mohammadi, H., Hossaini, S. M., Abdollahi Kakroudi, A. 2023. Application of machine learning approach for Chickpea yield estimation based on Agroclimatological Indices (Case Study: Kermanshah region). Journal of Agricultural Meteorology, 10(2): 37-51. DOI: 10.22125/agmj.2022.330478.1131

## کاربرد تصاویر ماهواره‌ای پردازش شده جهت تکمیل داده‌های دمای هوای استان مازندران

علیرضا یوسفی کبریا<sup>۱</sup>، رضا نوروز و لاشدی<sup>۲\*</sup>

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۴/۱۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۱۷

### چکیده

یکی از چالش‌های اصلی در مطالعات هیدرولوژیکی و هواشناسی تعیین دمای هوای در مناطق مرتفع فاقد ایستگاه و نیز مقیاس‌های بزرگ است. استفاده از داده‌های سنجش از دور به دلیل گستره پوشش وسیع و بهنگام بودن تصاویر، گزینه مناسبی در برآورد دمای هوای است. در این پژوهش، بهمنظور ارزیابی دقت برآوردهای دمایی سنجنده TRMM، از ۳۶ تصویر حاوی داده دمای هوای ۲۴ و ۱۲ ایستگاه هواشناسی استان مازندران در دو سال ۲۰۱۳ و ۲۰۱۵ برای اعتبارسنجی استفاده شد. همیستگی داده‌های دمایی ماهواره با داده‌های مشاهداتی در اکثر ماه‌ها بیش از ۵۰٪ بوده است. همچنین توزیع زمانی داده‌های ماهواره TRMM با داده‌های مشاهداتی در همه ماه‌ها عموماً یکسان بوده است. برای ارزیابی میزان دقت داده‌های ماهواره‌ای از شاخص‌های خطای اریب و میانگین مربعات خطأ استفاده شد. بیشترین و کمترین خطأ از نظر شاخص خطای اریب مربوط به ماه‌های (دسامبر) و (آوریل) به ترتیب برابر  $3/4$  و  $1/4$  درجه سلسیوس و بر اساس شاخص میانگین مربعات خطأ بیشترین به ترتیب برابر  $5/1$  و  $2/5$  درجه سلسیوس در ماه‌های می و دسامبر بوده است. نتایج این پژوهش نشان داد که استفاده از سنجش از دور برای مناطقی که دارای ایستگاه‌های اندک و دارای خلاصه‌ای از داده‌های ماهواره، مناسب و قابل توصیه است.

### واژه‌های کلیدی: سنجش از دور، روند، دمای هوای مازندران

خشکسالی‌ها، مطالعات ریست‌محیطی، خطر سیلاب، کمبود مواد غذایی، گسترش آفات و بیماری‌ها، حمل و نقل و غیره از اهمیت ویژه‌ای در تعیین سیاست‌های آینده به‌منظور بهینه‌سازی این منابع و صرف هزینه‌ها، کنترل و جلوگیری از بحران و استفاده از منابع برخوردار است (Erfanian et al., 2013). از این رو نیاز به یک فناوری که بتواند کاستی‌های ایستگاه‌های هواشناسی را در محاسبه دمای هوای در فواصل زمانی نمونه‌برداری و در مکان‌های صعب العبور که امکان احداث ایستگاه هواشناسی وجود ندارد برطرف کند، ضروری است (Kazemi Garajeh et al., 2020). در سال‌های اخیر علوم جدیدی مانند سنجش از دور روش‌های جدیدی را برای نظارت بر محیط و کسب، ارزیابی و تجزیه و تحلیل داده‌های محیطی فراهم آورده است و قابلیت ارائه طیف وسیعی از پارامترهای مربوط به محیط را دارا می‌باشد. این

### مقدمه

دما را می‌توان یکی از مهم‌ترین عناصر دستگاه آب‌وهوا دانست که دگرگونی‌های آن می‌تواند شرایط آب و هوایی هر محلی را دگرگون سازد (Masodiyani 2003). این تغییرات به شکل‌های گوناگونی رخ می‌دهد که ناشی از توزیع ناهمگن انرژی خورشیدی در سطح زمین است (Tan et al., 2018). پیش‌بینی دما به عنوان یکی از مهم‌ترین پارامترهای اقلیمی در حوزه‌های مختلف مدیریت منابع آبی و منابع طبیعی،

<sup>1</sup> دانشجوی دکتری هواشناسی کشاورزی، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ساری، ایران  
<sup>2</sup> استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ساری، ایران  
(\*) نویسنده مسئول: r.norooz@sanru.ac.ir

### نحوه ارجاع مقاله:

یوسفی کبریا، ع.، نوروز و لاشدی، ر. ۱۴۰۱. کاربرد تصاویر ماهواره‌ای پردازش شده جهت تکمیل داده‌های دمای هوای استان مازندران.

DOI: 10.22125/agmj.2022.292759.1119 ۵۷-۵۲ (۲)۱۰: نشریه هواشناسی کشاورزی،

Yosefi Kebriya, A., Norooz Valashedi, R. 2023. Application of processed satellite images for filling the air temperature gaps (Case Study: Mazandaran Province). Journal of Agricultural Meteorology, 10(2): 52-57. DOI: 10.22125/agmj.2022.292759.1119

ایستگاههای اندازه‌گیری دما در استان مازندران و همچنین عدم وجود داده‌های بلندمدت در ایستگاههای تازه تأسیس و نقص داده‌ای و وجود داده‌های مفقود، هدف از انجام این پژوهش، استفاده از شبکه ماهواره‌ای (TRMM)<sup>۵</sup> برای تخمین دمای هوای استان و بررسی دقت و همبستگی شبکه TRMM با داده‌های ایستگاهی به منظور تکمیل و رفع نواقص آماری ایستگاههای هواشناسی در بخش دمای هوای و کمک به ایجاد یک شبکه دمایی مناسب در استان مازندران می‌باشد.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

استان مازندران از وسعتی معادل ۱/۴۶ درصد ایران برخوردار است. این استان با داشتن ۲۳۷۵۶/۴ کیلومترمربع مساحت، بین طول جغرافیایی ۳۴°۰' و ۱۰°۰' شرقی و عرض جغرافیایی ۳۵°۴۷' و ۳۵°۳۵' شمالی در جنوب دریای خزر و در شمال رشته کوه البرز قرار دارد. دریای خزر و رشته کوه البرز نقش تعیین کننده‌ای در آب و هوای استان دارند. پستی و بلندی در استان مازندران بین ۵۶۱۰-۶۱ تا ۲۶۰ متر نوسان می‌کند و باعث ایجاد اقلیم‌های گوناگون و متنوع در این استان می‌شود.

### داده‌های دمایی

در پژوهش مدنظر از داده‌های ۲۴ ایستگاه سازمان هواشناسی کشور و وزارت نیرو و از ۳۶ تصویر ماهواره‌ای ماهانه ماهواره‌ی TRMM که دارای داده‌های دمایی هستند، استفاده شد. در شکل ۱ موقعیت مکانی ایستگاه‌ها نشان داده شده است. دوره آماری مشترک ایستگاه‌های مورد بررسی (۱۹۹۱-۲۰۱۸) که با توجه به تکمیل بودن داده‌ها همه ایستگاه‌ها در سال‌های ۲۰۱۲ و ۲۰۱۳ از داده‌های این سال‌ها برای انجام پژوهش استفاده شد و از سال ۲۰۱۵ برای صحت‌سنجی روش برآورد دمایی با استفاده از شبکه ماهواره‌ی TRMM به کار گرفته شد. با توجه به مطالب گفته شده و پیچیدگی توپوگرافی استان و شرایط اقلیمی خاص استان مازندران، تعداد اندک ایستگاه‌ها با دوره

فناوری به عنوان یک منبع مهم و فزاینده از اطلاعات برای مطالعه تغییرات اقلیمی که بر میزان دمای سطح زمین تأثیر مستقیم دارد مطرح می‌شود (Williamson et al., 2017). پژوهش‌های زیادی در این زمینه نیز انجام شده است، که می‌توان به پژوهش Vali et al. (2019) اشاره کرد که اثرات عوامل کاربری اراضی، سازند زمین‌شناسی، عوامل توپوگرافی و اقلیم بر دمای سطح در منطقه خارستان را بررسی کردند. در این راستا از تصاویر تیر ماه ماهواره لندست ۷ و ۸ طی دوره ۱۳۹۶-۱۳۷۹، مدل رقومی ارتفاع، نقشه زمین‌شناسی و توپوگرافی استفاده شد. نتایج ایشان نشان دادند که میانگین دمای سطح، ۴۳ درجه سلسیوس، شاخص نرمال شده تفاضل پوشش گیاهی ۰/۱۴۴ و شاخص تفاضلی رطوبت نرمال شده -۰/۰۶۸ بوده است و با توجه به طبقه‌بندی تصاویر با دقت کلی ۹۹/۹۶ درصد و ضریب کاپای ۰/۹۶، کاربری مرتع و باغ به ترتیب بیشترین و کمترین مساحت را به خود اختصاص داده‌اند. در پژوهشی Zadmehri et al., (2020)، به برآورد دمای خاک با استفاده از پارامترهای هواشناسی و مدل‌های شبکه عصبی پرسپترون چند لایه (MLPNN)، ماشین یادگیری سریع (ELM)<sup>۲</sup> و رگرسیون خطی چندگانه (MLR)<sup>۳</sup> در استان خوزستان و در بازه زمانی ۲۵ ساله (۱۹۹۴ تا ۲۰۱۸)، پرداختند. نتایج پژوهش ایشان نشان داد که دو مدل MLPNN و ELM دارای عملکردی تقریباً مشابه و بهتر از مدل رگرسیون خطی چندگانه بوده است، اما سرعت محاسبات مدل ELM بسیار بالاتر بوده است. در مطالعه‌ای Zhou et al. (2017)، که در منطقه نسبتاً کوچک انجام دادند، دریافتند که دقت رگرسیون خطی چندمتغیره قطعه‌ای<sup>۴</sup> در برآورد دمای هوا جز در موارد محدودی از رگرسیون ساده بالاتر است. در حال حاضر، مهم‌ترین منبع داده‌های اقلیمی ایستگاه‌های هواشناسی می‌باشند و این ایستگاه‌ها داده‌های اقلیمی نقاط خاصی را ارائه می‌دهند در حالی که دمای هوا ممکن است در فواصل مختلف از این ایستگاه‌ها متغیر بوده و نسبت به ایستگاه مورد نظر کاهش یا افزایش داشته باشد. با توجه به تعداد کم

<sup>1</sup> Multiple-layer perceptron neural network

<sup>2</sup> Extreme learning machine

<sup>3</sup> Multiple Linear Regression

<sup>4</sup> Piecewise Multi-Variable Linear Regression

<sup>۵</sup> Tropical Rainfall Measuring Mission

ایستگاه‌های مورد مطالعه در داخل آن قرار گرفت، به عنوان دمای پایگاه‌های دمایی لحاظ شد. پس از دریافت تصاویر ماهواره‌ای از شبکه TRMM فایل مورد نظر وارد نرم‌افزار ArcMap10.3 شد و اطلاعات دمایی (دمای درخشندگی) از آن استخراج شد. برای به دست آوردن دمای هر ایستگاه با استفاده از تصاویر شبکه TRMM، اطلاعات جغرافیایی ArcToolbox ایستگاه‌ها وارد نرم‌افزار گردید، سپس در بخش Extract Analysis Tools با ابزار Analysis Tools و زیر بخش Extract اطلاعات برای هر یک از نقاط حاصل گردید. برای به دست آوردن دمای هر نقطه از استان نیز با وارد کردن اطلاعات جغرافیایی آن منطقه می‌توان دمای هوای آن را استخراج کرد.

### معیارهای ارزیابی

برای ارزیابی داده‌های ماهواره TRMM با داده‌های واقعی از میانگین مربعات خطأ ( $RMSE^2$ ) و خطای اریب ( $MBE^3$ ) استفاده شد، که میانگین مربعات خطأ و خطای اریب از معادله‌های ۱ و ۲ محاسبه می‌شوند.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N [\hat{Z}(x_i) - Z(x_i)]^2}{N}} \quad (1)$$

$$MBE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [\hat{Z}(x_i) - Z(x_i)] \quad (2)$$

که در آن،  $(\hat{Z}(x_i))$  مقدار برآورده شده و  $(Z(x_i))$  مقدار مشاهده شده و N تعداد داده‌ها هستند.

### نتایج و بحث

#### تحلیل معنی‌داری داده‌های TRMM

برای تحلیل معنی‌داری داده‌های شبکه ماهواره TRMM از روش آزمون فرض آماری استفاده شد، که در جدول ۱ قابل مشاهده است. سطح معنی‌داری داده‌های دمایی طبق جدول در اکثر ماه‌ها قابل قبول است. بعلاوه از ضریب همبستگی نیز برای ارتباط میان داده‌های شبکه‌ای و واقعی به کار گرفته شد. این ضریب بین ۱ تا ۱- است، که هرچه به ۱- نزدیک باشد بهتر است، همچنین در صورت عدم وجود رابطه بین دو متغیر برابر صفر است. که با توجه به جدول ضریب همبستگی نیز در اکثر ماه‌ها مناسب است.

<sup>2</sup> Root Mean Square Error

<sup>3</sup> Mean Bias Error

بلندمدت و نبود ایستگاه‌ها در مناطق صعب‌العبور استان، استفاده از سنجش از دور و تصاویر ماهواره‌ای و شبکه‌های ماهواره‌ای می‌تواند نقش بهسزایی در مطالعات آب و هواشناسی استان داشته باشد.

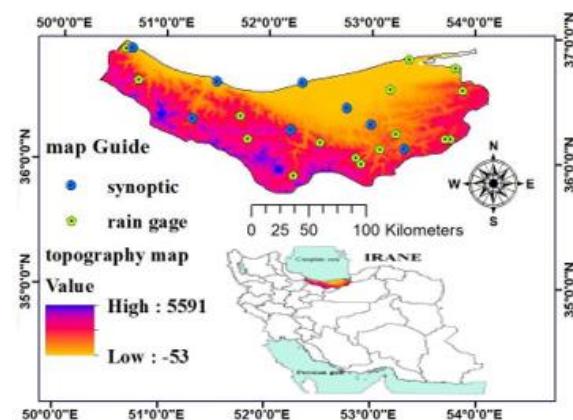


Figure 1- Location of meteorological stations used in Mazandaran province

شکل ۱- موقعیت مکانی ایستگاه‌های هواشناسی مورد استفاده در استان مازندران

#### ماهواره TRMM

این ماهواره، محصول مشترک کشورهای ژاپن و آمریکا است، که در ارتفاع ۳۵۰ کیلومتری از سطح زمین قرار دارد. محصولات آن از عرض جغرافیایی ۵۰ درجه جنوبی تا ۵۰ درجه شمالی ارائه می‌گردد. توان تفکیک مکانی در ثبت بارش‌ها حداقل  $25 \times 25$  کیلومتری و حداقل  $5 \times 5$  درجه است. این ماهواره در هر روز چندین بار از مناطق مختلف کره زمین عبور کرده و اطلاعات لازم را برداشت می‌کند. چرخش کامل به دور زمین هر بار به مدت ۹۱/۵۳۸ دقیقه زمان خواهد برد و ۱۶ گردش در روز طی خواهد شد، زاویه میل ماهواره، ۳۵ درجه است. داده‌های ماهواره TRMM در فرمتهای مختلف از جمله NETCDF، TIF، TXT، KMZ، ASCII و فایل‌های HDF است (Ten et al., 2018).

#### استخراج داده‌ها از شبکه ماهواره‌ای TRMM

اطلاعات این پایگاه‌ها با فرمت Tif یا NetCDF از درگاه‌های<sup>۱</sup> ذکر شده قابل دریافت است. در این تحقیق از فرمت Tif این اطلاعات استفاده شد و اطلاعات هر سلول که

<sup>1</sup> <https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/>

روندهای داده‌های دمایی ماهواره TRMM در هر ۲۴ ماه، تقریباً تفاوتی با داده‌های زمینی ندارد و دارای روند مشابهی است. همچنین، بیشترین دما در سال‌های ۲۰۱۲ و ۲۰۱۳ به ترتیب مربوط به ماه‌های ژوئن، ژوئیه و اوت است که داده‌های ماهواره نیز همین را نشان می‌دهد و نشان از همبستگی بالای این ماهواره با داده‌های واقعی دارد. به علاوه ماهواره TRMM میزان دمای هوا را در تمامی ماه‌ها کمتر از مقدار واقعی آن برآورد کرده است که یکی از دلایل اصلی این کم برآورده، ویژگی‌های اقلیمی و فیزیوگرافی خاص منطقه است. همچنین به دلیل منظم بودن شبکه‌های ماهواره‌ای و نامنظم بودن پراکنش ایستگاه‌های زمینی هواشناسی نیز می‌تواند یکی دیگر از عوامل کم برآورده کردن داده‌های دمایی مطرح شود.

**ارزیابی داده‌های دمایی شبکه ماهواره‌ای TRMM**  
برای ارزیابی داده‌های دمایی هوا ماهواره TRMM از میانگین مربعات خطای خطا و میانگین خطای اریب استفاده شد. بررسی میانگین مربعات خطای در این پژوهش نشان می‌دهد که بیشترین خطای در سال ۲۰۱۲ مربوط به ماه‌های فوریه، مارس و در سال ۲۰۱۳ مربوط به ماه دسامبر و ژانویه است، همچنین کمترین خطای در هر دو سال مربوط به ماه ژوئیه است. با توجه به جدول ۲ مشاهده می‌شود که داده‌های ماهواره‌ای در فصل‌های گرم دارای خطای کمتری هستند.

Table 2- RMSE and MBE values of TRMM network data

جدول ۲- مقادیر RMSE و MBE داده‌های شبکه TRMM

Month	2013		2012	
	RMSE	MBE	RMSE	MBE
Jan	4.4	-1.5	4.7	-3.1
Feb	3.4	-1.4	7.4	-5.5
Mar	3.6	-1.1	5.3	-3.9
Apr	3.3	-2	3.5	-1.2
May	4.2	-3	3.8	-0.2
June	3.7	-2.7	3.7	-1.5
July	2.9	-1.4	3.4	-1.2
Agu	3.5	-2.6	3.9	-0.4
Sep	2.9	-1.1	3.4	-2.1
Oct	3.7	-2.1	3.7	-1.8
Nov	4.1	-2.2	4.2	-2.6
Dec	4.8	-3.2	4.6	-2.8
Average	3.4	-2	3.6	-2.2

Table 1- Correlation of TRMM data with monthly and annual air temperature

جدول ۱- میزان همبستگی داده‌های TRMM با دمای ماهانه و سالانه هوا

Month	2013		2012	
	P-Value	R <sup>2</sup>	P-Value	R <sup>2</sup>
Jan	0.002	0.61	0.003	0.58
Feb	0.002	0.6	0.03	0.2
Mar	0.01	0.51	0.04	0.42
Apr	0.003	0.57	0.003	0.58
May	0.003	0.58	0.003	0.59
June	0.001	0.61	0.001	0.63
July	0.001	0.62	0.001	0.63
Agu	0.001	0.63	0.002	0.59
Sep	0.001	0.62	0.0001	0.66
Oct	0.002	0.6	0.001	0.63
Nov	0.002	0.59	0.002	0.61
Dec	0.004	0.56	0.003	0.57
Average	0.001	0.63	0.001	0.65

### مقایسه توزیع زمانی دما

توزیع زمانی دمای ماهانه مشاهداتی و ماهواره‌ای در سال ۲۰۱۲ و ۲۰۱۳ استان مازندران در شکل ۳ نشان داده شده است.

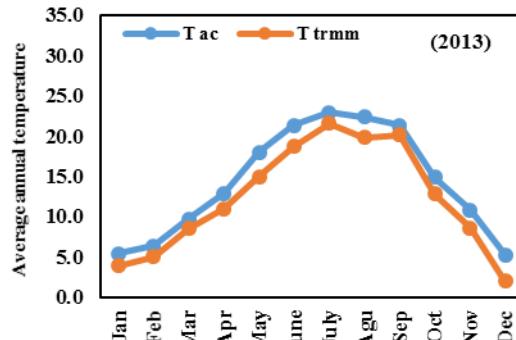
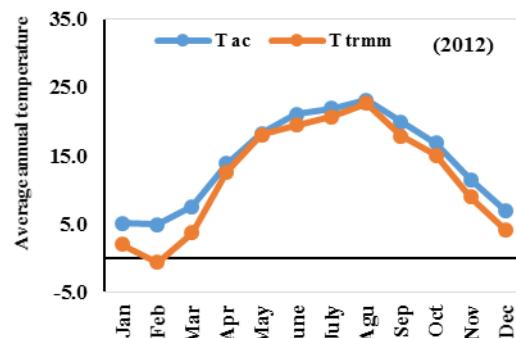
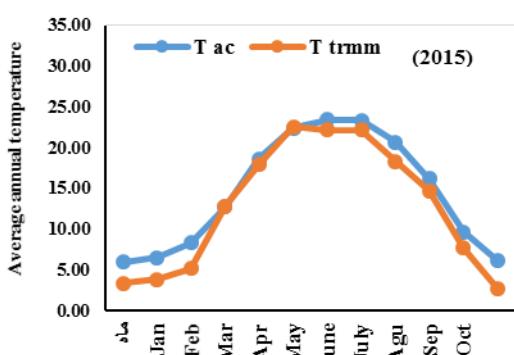


Figure 3- Comparison of monthly temperature data of ground data and satellite data

شکل ۳- مقایسه میزان دمای ماهانه داده‌های واقعی و داده‌های ماهواره‌ای

**Table 4- RMSE and MBE values of TRMM network data****جدول ۴- مقادیر RMSE و MBE داده‌های شبکه TRMM**

Month	RMSE	MBE
Jan	4.3	-2.6
Feb	4.2	-2.6
Mar	4.3	-3.2
Apr	3.3	0.1
May	2.5	-0.8
June	3	0.1
July	3.2	-1.2
Agu	3.3	-1.1
Sep	4	-2.4
Oct	3.3	-1.5
Nov	3.9	-2
Dec	5.1	-3.4
Average	3.8	-2.7

**Figure 4- Comparison of monthly temperature data of real data and satellite data****شکل ۴- مقایسه میزان دمای ماهانه داده‌های واقعی و داده‌های ماهواره‌ای**

همچنین (2019)، Pahlevanzadeh et al. از سه روش استخراج دما از باند حرارتی لندست ۵ استفاده کردند، که تقریباً با خطای ۷ درجه سلسیوس، دمای سطح زمین را برآورد می‌کند. همچنین دمای سطح زمین از باند حرارتی لندست ۸ تقریباً با خطای ۸ درجه سلسیوس، برآورد کردند. استفاده از روش به کار رفته در این پژوهش علاوه بر خطای کمتر نسبت پژوهش‌های فوق، زمان کمتری نیز صرف می‌کند و با استفاده از ساده‌ترین روش قابل محاسبه و تخمین می‌باشد و نیاز به انواع تصحیحات، استخراج داده از تصاویر ماهواره‌ای، دانلود تصاویر با حجم بالا نمی‌باشد و در زمان کم و حجم پایین و اطلاعات مناسب قابل استفاده می‌باشد.

بر اساس ارزیابی میانگین مربعات خطأ و خطای اریب و با توجه به خطای کم داده‌های دمای هوای ماهواره TRMM می‌توان به این نتیجه دست یافت که استفاده از شبکه دمایی ماهواره TRMM برای تخمین دما و بازاری و تولید داده‌هایی که ایستگاه‌های زمینی دارای آمار نبوده مناسب است.

### صحت سنجی مدل

برای اینکه صحت داده‌های ماهواره‌ای TRMM به کار رفته در این پژوهش مشخص گردد، از داده‌های سال ۲۰۱۵ دمای ماهانه استان مازندران به کار گرفته شد. ابتدا داده‌های دمایی سال ۲۰۱۵ از شبکه ماهواره TRMM استخراج گردید. سپس تمامی مراحل و روش‌های فوق برای این سال به کار گرفته شد. نتایج این سال صحت داده‌های ماهواره‌ای و مدل برآورده دمای هوای استان را تایید کرده که نتایج آن در جداول ۳ و ۴ و شکل ۴ آورده شده است. در پژوهشی HANTS (Ghafarian Malamiri et al., 2017) برای پر کردن فاصله داده‌های از دست رفته توسط پوشش ابر و حذف داده‌های از دست رفته توسط پوشش ابر و حذف داده‌های دور افتاده در سری زمانه LST روزانه سنجنده MODIS مورد استفاده قرار دادند، که از مشکلات استفاده از HANTS این بود که راه و روش مشخصی برای انتخاب پارامترهای مناسب و روایی الگوریتم وجود ندارد و این نیازمند سعی و خطأ با ترکیب پارامترهای مختلف است.

**Table 3- Correlation of TRMM data with monthly and annual temperature****جدول ۳- میزان همبستگی داده‌های TRMM با دما ماهانه و سالانه**

Year	2015		
	Month	R <sup>2</sup>	P-Value
	Jan	0.51	0.01
	Feb	0.53	0.008
	Mar	0.43	0.03
	Apr	0.25	0.2
	May	0.57	0.004
	June	0.56	0.005
	July	0.59	0.002
	Agu	0.58	0.003
	Sep	0.57	0.003
	Oct	0.56	0.005
	Nov	0.53	0.007
	Dec	0.52	0.009
	Average	0.56	0.004

- Kazemi Garajeh, M., Salmani, B., Feizizadeh, B. 2020. Evaluating the types of split window algorithms for calculating the land surface temperature to determine the best algorithm for MODIS sensor images. *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 11(2), 106-127.
- Masodiyani, A. 2003. Investigating the temperature of Iran in the last half century. *Journal of Geography and Development*, Zahedan, 48(4), 106-89.
- Pahlevanzadeh, N., Janalipour, M., Abbaszadeh, Tehrani, N., Farhanj, F. 2019. Accuracy Improvement of Land Surface Temperature Extracted from Thermal Bands of Landsat Satellite using Linear Regression and Ground Observations. *Journal of Geography and Environmental Planning*, 30(3), 60-78.
- Tan, M.L., Santo, H. 2018. Comparison of GPM IMERG, TMPA 3B42 and PERSIANN-CDR satellite precipitation products over Malaysia. *Atmospheric Research*, 35(202), 63-76.
- Vali, A., Ranjbar, A., Mokarram, M., Taripanah, F. 2019. An investigation of the relationship between land surface temperatures, geographical and environmental characteristics, and biophysical indices from Landsat images, RS and GIS for Natural Resources, 10(3), 35-58 (In Farsi).
- Williamson, S.N., Hik, D.S., Gamon, J.A., Jarosch, A.H., Anslow, F.S., Clarke, G.K.C., Scott Rupp, T. 2017. Spring and summer monthly MODIS LST is inherently biased compared to air temperature in snow covered sub-Arctic mountains. *Remote Sensing of Environment*, 189, 14-24.
- Zadmehr, H., Farrokhan Firouzi, A. 2020. Estimating Soil Temperature from Metrological Data Using Extreme Learning Machine, Artificial Neural Network and Multiple Linear Regression Models. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 51(4), 895-906.
- Zhou, W., Peng, B., Shi, J., Wang, T., Dhital, Y.P., Yao, R., Yu, Y., Lei Z, Zhao R. 2017. Estimating High Resolution Daily Air Temperature Based on Remote Sensing Products and Climate Reanalysis Datasets over Glaciated Basins: A Case Study in the Langtang Valley, Nepal. *Remote Sensing Journal*, 9(959), 258-271.

## نتیجه‌گیری

در این پژوهش از شبکه ماهواره‌ای TRMM برای تخمین دمای هوای استان مازندران استفاده شد. نتایج نشان‌دهنده همبستگی مناسب و معنی‌داری بیش از ۵۰ درصد، داده‌های ماهواره‌ای با داده‌های زمینی بوده است. همچنین، روند دمایی داده‌های ماهواره‌ای TRMM از نظر توزیع زمانی مشابه داده‌های واقعی است. برای ارزیابی دقت ماهواره TRMM و مقایسه آن با داده‌های زمینی از شاخص میانگین مربعات خطأ و خطای اریب استفاده شد که نشان‌دهنده دقت مناسب ماهواره TRMM بوده است، به‌گونه‌ای که به‌جز ماه فوریه و مارس سال ۲۰۱۲ در بقیه ماه میانگین مربعات خطأ کمتر از ۵ درجه سلسیوس بوده و خطای اریب نیز کمتر از -۳ درجه سلسیوس بوده است. همچنین از داده‌های سال ۲۰۱۵ برای صحت سنجی داده‌های ماهواره‌ای و مدل برآورده دما این پژوهش استفاده شد، که صحت داده‌ها و مدل تایید گردید. با توجه به اینکه در استان مازندران تعداد ایستگاه‌اندک بوده و پراکنش ایستگاهی نیز خیلی مناسب نبوده و ایستگاه‌ها با داده‌های درازمدت کم است و اکثر ایستگاه‌های استان دارای نواقص آماری است، و به جهت آن‌که این شبکه ماهواره‌ای دارای پراکنش مناسب داده‌های دمایی و آمار درازمدت نیز است. لذا برای تکمیل داده‌های ایستگاهی، رفع نواقص آماری ایستگاه و مطالعات بلندمدت می‌توان از ماهواره TRMM استفاده کرد.

## منابع

- Erfanian, M., Kazempour, S., Heidari, H. 2013. Evaluation and Calibration of TRMM Satellite Rain in Dry and Semi-Dry Areas of Iran (Regional Planning), 3(1), 83-95.
- Ghafarian Malamiri, H. R., Zare khormizie, H. 2017. Reconstruction of cloud-free time series satellite observations of land surface temperature (LST) using harmonic analysis of time series algorithm (HANTS). *RS and GIS for Natural Resources*, (8)3, 37-55 (In Farsi).

## Application of processed satellite images for filling the air temperature gaps (Case Study: Mazandaran Province)

A. Yosefi Kebriya<sup>1</sup>, R. Norooz Valashedi<sup>2\*</sup>

Received: 05/07/2021

Accepted: 07/06/2022

### Abstract

One of the main challenges in hydrological and meteorological studies is determination of the air temperature in large scale and high altitudes regions with limited stations. The remote sensing images have been widely used for estimating air temperature providing large scale, precise data. In this study, in order to evaluate the accuracy of TRMM satellite air temperature estimates, the monthly data of two years of 2012 and 2013 were used for calibration and the 2015 dataset for validation. 36 TRMM satellite images of monthly temperature were retrieved and compared with observations of 24 meteorological stations in Mazandaran province. The correlation coefficients of satellite temperature estimations and observation data in most months was more than 0.50. Also, the spatial distribution of TRMM satellite and ground-based were almost same for the accuracy evaluation. The MBE and RMSE indices were used. The highest errors in 2012 and 2013 study years were correspond to February and December, respectively, with a RMSE value of 7.4 and 4.8 °Celsius, respectively. The lowest error were observed in July and September, i.e. 3.4 and 2.9 °Celsius, respectively. Similarly, based on the MBE index, the highest and lowest error was belonged to December and April, with values of -3.4 and +0.1, respectively, and the highest and lowest error based on RMSE was observed in months of May and December, with the values of +5.1 and +2.5 degrees Celsius, respectively. The results of this study showed that the use of remote sensing can be recommended in the regions with limited weather stations.

**Keywords:** Remote Sensing, Trend, Air Temperature, Mazandaran



<sup>1</sup> Ph.D. Student of Agrometeorology, Faculty of Agricultural Sciences, University of Agricultural Sciences and Natural Resources sari, Iran

<sup>2</sup> Assistance Professor, Department of Irrigation, Faculty of Agricultural Sciences, University of Agricultural Sciences and Natural Resources sari, Iran

(\*Corresponding Author Email Address: [r.norooz@sanru.ac.ir](mailto:r.norooz@sanru.ac.ir))

نحوه ارجاع مقاله:

یوسفی کبریا، ع.، نوروز ولادی، ر. ۱۴۰۱. کاربرد تصاویر ماهواره‌ای پردازش شده جهت تکمیل داده‌های دمای هوای مطالعه موردی: استان مازندران).

نشریه هواشناسی کشاورزی، ۱۰(۲)۵۷-۵۲: DOI: 10.22125/agmj.2022.292759.1119

Yosefi Kebriya, A., Norooz Valashedi, R. 2023. Application of processed satellite images for filling the air temperature gaps (Case Study: Mazandaran Province). Journal of Agricultural Meteorology, 10(2): 52-57. DOI: 10.22125/agmj.2022.292759.1119

## روندیابی ضریب تشت تبخیر و پیش‌نگری مقدار تبخیر از تشت تحت سناریوهای واداشت تابشی در چند ایستگاه منتخب ایران

آرزو گل جامجو<sup>۱</sup>, نوذر قهرمان<sup>۲\*</sup>, بهرام بختیاری<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۸/۱۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۱۹

### چکیده

تبخیر از تشت یکی از مولفه‌های مهم در مدیریت منابع آب و برآوردهای نیاز آبی گیاهان می‌باشد. این مطالعه با دو هدف بررسی روند تغییرات زمانی ضریب تشت (ET<sub>0</sub>/Epan) در دوره پایه (۱۹۹۳-۲۰۱۸) با استفاده از آزمون‌های ناپارامتری و ارائه چشم‌انداز تغییرات آتی مقادیر تبخیر از تشت حاصل از مدل PenPan با استفاده از برونداد مدل اقلیمی CNRM-C5 تحت سناریوهای تغییر اقلیم RCP4.5 و RCP8.5 در بخش نخست، روند ماهانه مقادیر ضریب تشت با دو آزمون من کنдал و تخمین گر شبی سن در دوره گرم سال (بهار و تابستان) بررسی شد. نتایج آزمون من-کنдал در دوره پایه نشان‌دهنده روند کاهشی تبخیر از تشت در ایستگاه‌های اهواز، مشهد، بوشهر و روند افزایشی در ایستگاه کرمان است که در این میان، بالاترین شبی کاهشی بر اساس روش شبی تخمین گر سن مربوط به ایستگاه بوشهر می‌باشد. در بخش دوم پیش‌نگری مقادیر تبخیر از تشت مدل تجربی PenPan با استفاده از برونداد مدل اقلیمی درسه دوره آینده (۲۰۴۹-۲۰۵۰ و ۲۰۷۹-۲۰۸۰) ارزیابی شد. نتایج مؤید افزایشی در تبخیر از تشت در ایستگاه کرمان و کاهش در ایستگاه‌های اهواز، بوشهر و مشهد می‌باشد. انتظار می‌رود متوسط تغییرات تبخیر از تشت برای دوره آینده نزدیک، میانی و دور نسبت به دوره پایه به ترتیب ۴/۷ درصد برابر با ۵۳/۴ میلی‌متر، ۶/۲ درصد برابر با ۸۲ میلی‌متر و ۸/۸ درصد برابر با ۱۱۲ میلی‌متر، کاهش یابد. نتایج آزمون من-کنдал در دوره پایه نشان داد، ایستگاه‌های مورد مطالعه به جز ایستگاه یزد روند کاهشی معناداری را در ضریب تشت تبخیر تجربه کرده‌اند. در این میان، ایستگاه یزد کمترین ضریب معناداری (در سطح ۹۹٪) را دارد که مقدار آن برابر با ۱/۹ میلی‌متر می‌باشد. علیرغم افزایش پیش‌نگری شده در دمای ایستگاه‌های مشهد، بوشهر و اهواز، چشم‌انداز تبخیر از تشت کاهشی است، که این پدیده تنافض تبخیر، می‌تواند مطابق تحقیقات پیشین، بر اساس کاهش تابش و رودی توجیه شود.

**واژه‌های کلیدی:** تبخیر از تشت، تغییر اقلیم، روند، مدل PenPan

### مقدمه

ایستگاه‌های هواشناسی عموماً توسط تشت‌های فلزی استاندارد اندازه‌گیری شده و از رابطه  $ET_0 = K_p \times E_{Pan}$  به تبخیر تعرق پتانسیل مربوط می‌شود. IPCC در گزارش پنجم خود در سال ۲۰۱۰ سناریوهایی تحت عنوان RCP را بر اساس میزان واداشت تابشی ارائه کرد. این سناریوها معرف مسیرهای جدیدی

نیاز تبخیری جو نقشی کلیدی در ترازمندی جهانی آب و انرژی ایفا می‌کند و تغییرات آن اهمیت زیادی در مدیریت آبیاری، پایش خشکسالی و مدیریت منابع آب دارد. یکی از سنتجه‌های این کمیت، تبخیر از تشت<sup>۴</sup> می‌باشد که در

<sup>۲</sup> دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آبیاری آبادانی، دانشکده کشاورزی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی کرج، دانشگاه تهران، کرج، ایران

<sup>۳</sup> دانشیار، بخش مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

<sup>4</sup> Pan Evaporation

<sup>۱</sup> دانشیار، گروه مهندسی آبیاری آبادانی، دانشکده کشاورزی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی کرج، دانشگاه تهران، کرج، ایران

(\*\*نویسنده مسئول: [nghahreman@ut.ac.ir](mailto:nghahreman@ut.ac.ir))

نحوه ارجاع مقاله:

گل جامجو، آ، قهرمان، ن، بختیاری، ب. ۱۴۰۱. روندیابی ضریب تشت تبخیر و پیش‌نگری مقدار تبخیر از تشت تحت سناریوهای واداشت تابشی در چند ایستگاه منتخب ایران نشریه هواشناسی کشاورزی، ۱۰(۲): ۵۸-۶۵.

DOI: 10.22125/agmj.2023.369069.1143

Goljamjoo, A., Ghahreman, N. Bakhtiari, B. 2022. Trend Analysis of pan coefficient and projection of pan evaporation in selected stations of Iran. Journal of Agricultural Meteorology, 10(2): 58-65. DOI: 10.22125/agmj.2023.369069.1143

توجیه شد. Shokri et al., (2017) طی مطالعه‌ای به برآورد ضریب تشت با معادله‌های آلن و پروت، اورنگ، اشنایدر و کوئنکا با داده‌های آماری ۱۵ ساله (۱۳۹۱-۱۳۷۷) هواشناسی اهواز پرداختند. نتایج نشان داد برای محاسبه ضریب تشت به صورت روزانه و فصلی بهتر است از روش آلن و پروت و در بازه ده روزه از روش اشنایدر در شرایط اقلیمی اهواز استفاده شود. Rotstayn et al., (2006) نشان دادند مدل PenPan می‌تواند با دقت خوبی در تولید داده‌های تشت تبخیر با استفاده از مدل‌های اقلیمی در استرالیا به کار رود. هدف از این پژوهش، تکمیل مطالعات روندیابی انجام شده قبلی، تکمیل خلاصه بررسی روند تغییرات ضریب تشت در مطالعات داخلی و راهنمایی اندازی کاربردی از مقادیر تبخیر از تشت با استفاده از مدل PenPan به عنوان یکی از نخستین مطالعات در این خصوص در ایران با بکارگیری مدل گردش عمومی جو CNRM-CM5 تحت دو سناریوی ۲۰۴۹ و RCP8.5 و ۲۰۷۹، ۲۰۲۰ و ۲۰۸۰-۲۰۵۰ است.

## مواد و روش‌ها

در این تحقیق، ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک اهواز، مشهد، بوشهر و کرمان که دارای آمار طولانی مدت هستند، انتخاب شدند. جدول ۱ نام و موقعیت ایستگاه‌های مورد استفاده را نشان می‌دهد.

از سیر انتشار گازهای گلخانه‌ای و میزان آلودگی‌ها و دارای چهار حالت مختلف شامل RCP2.6، RCP4.5، RCP6 و RCP8.5 (IPCC, 2013) هستند (Gahreman et al., 2016) به بررسی اثر تغییر اقلیم بر تبخیر تعرق پتانسیل در RCP دشت مشهد طی دوره ۲۰۷۰-۲۰۲۱ تحت سناریوهای RCP و با بکارگیری یک مدل دینامیکی جهت ریزمقیاس‌نمایی پرداختند و نتیجه گرفتند که مقدار تبخیر تعرق پتانسیل در دوره‌های آتی نسبت به دوره پایه در ماههای گرم سال کاهش Liu and Sun (2014) به بررسی تغییرات آینده تبخیر از تشت به عنوان شاخصی برای اندازه‌گیری نیاز تبخیری جو با استفاده از مدل Pen Pan و خروجی ۱۲ مدل اقلیمی CMIP5 در چین پرداختند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد تبخیر از تشت ( $E_{pan}$ ) طی دوره‌های ۲۰۵۰-۲۱۰۰ و ۲۰۲۱-۲۰۵۰ نسبت به دوره پایه ۱۹۷۱-۲۰۰۰ تحت دو سناریو RCP8.5 و RCP4.5 افزایش می‌یابد که عمدتاً به دلیل افزایش پیش‌بینی شده در دمای هوا و کمبود فشار بخار است. Xie et al., (2015) در تحقیقی به مدل‌سازی تبخیر از تشت  $E_p$  در فلات تبت در طی دوره آماری ۱۹۷۰ تا ۲۰۱۲ با آمار دمای هوا، سرعت باد، تابش خورشید و کمبود فشار بخار ۲۶ ایستگاه هواشناسی پرداختند. نتایج نشان گردید که در مقدار تبخیر تشت بود که عمدتاً به دلیل کاهش سرعت باد و میزان تابش خورشیدی

جدول ۱- مشخصات جغرافیایی و اقلیمی ایستگاه‌های مطالعاتی

Table 1- Geographical and climatic characteristics of the study stations

Station name	Longitude (East degree)	Latitude (North degree)	Height (m)	Statistical Period	Type of climate (Extended de Martonne)
Ahvaz	48.74	31.34	22.5	1993-2018	Arid
Yazd	54.29	31.54	1230.2	1993-2018	Extra arid-moderate
Kerman	56.97	30.25	1753	1993-2018	Arid-cold
Bushehr	50.82	28.97	8.4	1993-2018	Arid-warm
Mashhad	59.63	36.27	999.2	1993-2018	Semi-arid cold

## محاسبه تبخیر تعرق مرجع

کمیسیون بین‌المللی آبیاری و زهکشی (ICID) و سازمان غذا و کشاورزی ملل متحد (FAO) روش فائق پنمن مانتیث را با در نظر گرفتن فرضیات آن به عنوان یک روش استاندارد برای محاسبه تبخیر تعرق گیاه مرجع پیشنهاد کرده است (Allen et al., 1998).

## داده‌های هواشناسی مورد استفاده

داده‌های مورد استفاده در این تحقیق، متغیرهای هواشناسی مربوط به ۴ ایستگاه سینوپتیک، بوشهر، مشهد، کرمان و اهواز که شامل دمای حداقل، دمای حداکثر، رطوبت نسبی، سرعت باد، ساعت آفتابی و تبخیر از تشت در مقیاس روزانه در طی دوره ۱۹۹۳-۲۰۱۸ از سازمان هواشناسی کشور اخذ گردید و از این داده‌ها برای محاسبه تبخیر تعرق مرجع استفاده شد.

## داده‌های خروجی مدل‌های اقلیمی

امروزه تهیه و استخراج داده‌های خروجی مدل‌های اقلیمی (در مقیاس سالانه، ماهانه و روزانه) از طریق مراکز مختلف تحقیقاتی، امکان‌پذیر است. یکی از معتبرترین مراکز ارائه دهنده داده‌های ریزمقیاس شده، سایت ESGF است. این مدل مورد استفاده در این پژوهش، CNRM-Cm5 است. این مدل در مرکز CNRM فرانسه طراحی شده است. تفکیک مکانی داده‌های ریزمقیاس شده در این مدل  $1/5$  درجه عرض جغرافیایی در  $1/5$  درجه طول جغرافیایی است (ESGF). خروجی مدل ریز مقیاس شده برای دوره تحت هر یک از دو سناریو مورد مطالعه در دوره زمانی  $2020-2100$  می‌باشد که به صورت سال‌های ۹۵ و ۳۶۵ روزه تهیه شده‌اند. با توجه به اینکه در طی سال مورد مطالعه باید حداقل ۲۳ سال کبیسه وجود داشته باشد، ولی در این ۹۵ سال، فقط ۱۹ سال کبیسه وجود داشت، لذا هر ۵ سال، یک روز، یعنی روز آخر پنجمین سال حذف شده و نهایتاً سال‌ها به صورت سال ۳۶۵ روز تبدیل شدند.

### سناریوهای مورد استفاده

در این مطالعه از دو سناریوی واداشت تابشی RCP 4.5 و RCP 8.5 استفاده شد.

### تصحیح داده‌های مدل اقلیمی

تصحیح برآوردهای مدل اقلیمی، ضریب تصحیح انحراف معیار تحت دو سناریو مورد مطالعه می‌باشد. این روش با محاسبه ضرایب تصحیح میانگین و انحراف معیار دوره پایه، برآوردهای دوره آینده تحت سناریوهای تغییر اقلیم را تصحیح می‌نماید. تصحیح انحراف معیار به این صورت است که با محاسبه انحراف معیار کمیت مورد مطالعه برای سه دسته داده داده‌های مشاهده شده دوره پایه، داده‌های برآورد شده دوره پایه و داده‌های برآورد شده تحت سناریوهای تغییر اقلیم برای دوره آینده، طبق معادله ۲ داده‌های تولید شده برای آینده اقلیمی منطقه با حفظ میانگین تصحیح می‌شوند.

$$STD_{fut} = \frac{STD_{base}^{obs}}{STD_{base}^{GCM}} \times STD_{fut}^{GCM} \quad (2)$$

که در آن،  $STD_{fut}$  بیانگر انحراف معیار داده‌های آینده اقلیمی،  $STD_{base}^{obs}$  انحراف معیار داده‌های مشاهده شده در دوره پایه،

انرژی و آئرودینامیک روی یک سطح مرطوب پوشیده از گیاه فرضی ارائه شده است (معادله ۱).

$$ET_0 = -\frac{0.408 \Delta (R_n-G) + \gamma \frac{900}{T+273} U_2(e_s-e_a)}{\Delta + \gamma(1+0.34U_2)} \quad (1)$$

که در آن  $ET_0$  تبخیر تعرق گیاه مرجع ( $m/day^{-1}$ )،  $R_n$  تشعشع خالص در سطح گیاه ( $MJ m^{-2} day^{-1}$ )،  $T$  متوسط دمای هوا در ارتفاع دو متری ( $^{\circ}C$ )،  $\gamma$  ثابت سایکرومتری ( $Kpa ^{\circ}C^{-1}$ )،  $U_2$  سرعت باد در ارتفاع دو متری از سطح زمین ( $m s^{-1}$ )،  $e_a$  فشار بخار اشباع ( $Kpa$ )،  $e_s - e_a$  کمبود فشار بخار اشباع در ارتفاع دو متری ( $Kpa$ ) و  $\Delta$  شیب منحنی فشار بخار اشباع حسب دما ( $Kpa ^{\circ}C^{-1}$ ) است (Allen et al., 1998). تبخیر تعرق پتانسیل و ضریب تشت تبخیر ۶ ماه گرم سال در تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه در بازه زمانی ۱۹۹۳-۲۰۱۸ محاسبه و سپس روندیابی شد و مبنای انجام بررسی‌های بعدی قرار گرفت.

### روندیابی

#### روش من-کندال

ابتدا توسط Mann (1945) ارائه و سپس توسط Kendall (1975) بسط و توسعه یافت. اثربازی ناچیز این روش از مقادیر حدی از مزایای استفاده از این روش است. فرض صفر این آزمون بر تصادفی بودن و عدم وجود روند در سری داده‌ها دلالت دارد و پذیرش فرض یک (رد فرض صفر) اشاره بر وجود روند در سری داده‌ها می‌باشد.

### روش تخمین‌گر شیب سن

این روش مانند روش من-کندال بر اساس مفهوم تفاوت بین مشاهدات یک سری زمانی بنا نهاده شده است. در این روش شیب بین هر جفت داده در سری زمانی محاسبه شده و میانه سری شیب‌های به دست آمده استخراج می‌گردد، سپس به یاری روابطی که در پی می‌آیند در مورد معناداری شیب نهایی داوری می‌شود. نخست محاسبه شیب بین هر جفت داده می‌شود. سپس برای هر جفت داده یک سری زمانی از شیب‌های محاسبه شده حاصل می‌گردد که با محاسبه میانه این سری زمانی (Qmed) شیب خط روند به دست می‌آید. مقدار مثبت این آماره حاکی از روند صعودی و مقدار منفی آن روند نزولی سری را نشان می‌دهد (جزیيات آزمون‌های روندیابی در پژوهش Gharekhani et al., 2012).

متري بر حسب ( $m s^{-1}$ )،  $f_h$  و  $f_q$  توابع انتقال حرارت و بخار آب توسط باد بر حسب ( $kg m^2 s^{-1} pa^{-1}$ ). اگر ( $f_h(u)/f_q(u)$ ) مقدار ۵ در می‌آيد. مقدار  $\gamma$  بين فرض شود، معادله به صورت معادله ۵ در می‌آيد. مقدار  $\gamma$  بين ۲/۵ تا ۲/۵ گزارش شده است (Thom et al., 1981).

$$f_h(u) = 1.39 \times 10^8 (1+1.35) \quad (5)$$

برای محاسبه  $\gamma$  از معادله ۶ استفاده شد.

$$\gamma = c_p P^*/0.622L \quad (6)$$

که در آن،  $P$  فشار هوا و  $C_p$  گرمای ویژه در فشار ثابت است. برای محاسبه تابش طول موج کوتاه از معادله ۷ استفاده شد.

$$R_{SP} = [f_{dir} p_{rad} + 1.42(1-f_{dir}) + 0.42 A_S] R_S \quad (7)$$

که در آن،  $R_S$  تابش خورشیدی،  $f_{dir}$  بخشی از  $R_s$  مستقیم است،  $A_S$  میزان انعکاس تابش خورشیدی از سطح زمین در اطراف تست،  $p_{rad}$  فاکتور تابش تست که نشانگر تابش مستقیم اضافی که به دیوارهای تست برخورد می‌کند هنگامی که خورشید مستقیم بالای تست تبخیر است (معادله ۸).

$$p_{rad} = 1.32 + 4 \times 10^{-4} \varnothing + 8 \times 10^{-5} \varnothing^2 \quad (8)$$

که در آن،  $A_s$  در مناطق با پوشش چمن کوتاه مقدار ۰/۳۰ و در مناطق خشک و بدون پوشش مقدار ۰/۳ در نظر گرفته می‌شود (با توجه به نبود پوشش گیاهی در اطراف ایستگاه‌های مطالعاتی از مقدار ۰/۳ در این پژوهش استفاده شد).

### محاسبه ضریب تست

در این مرحله پس از تصحیح داده‌های آینده در مقیاس ماهانه، با استفاده از نرم‌افزار CROPWAT، مقدار  $ET_0$  محاسبه شد. سپس اعداد به دست آمده بر داده‌هایی که از معادله Pen Pan به دست آمد (پیش‌نگری داده‌های تبخیر از تست در آینده) تقسیم شد تا ضریب تست تبخیر در دوره‌های آینده برآورد شود. در مرحله بعد اعداد ضریب تست با آزمون‌های من-کنداو و تخمین‌گر شیب سن روندیابی و مقایسه شدند.

### نتایج و بحث

در این بخش نتایج محاسبه مقادیر تبخیر از تست با مدل با استفاده از برونداد تصحیح شده مدل اقلیمی، تحت هر دو سناریو مورد استفاده و نیز روند ضریب تست تبخیر در دوره پایه ارائه خواهد شد. شکل‌های ۱ تا ۴ تغییرات تبخیر از تست در ایستگاه‌های مطالعاتی تحت دو سناریو و ادراست تابشی را نشان می‌دهد.

انحراف معیار داده‌های خروجی مدل برای دوره پایه  $STD_{base}^{GCM}$  و  $STD_{fut}^{GCM}$  معرف انحراف معیار داده‌های برآورده شده توسط مدل برای دوره آینده می‌باشد. همچنین با توجه به این که داده‌های مورد مطالعه تشکیل یک سری زمانی را می‌دادند، به منظور تصحیح میانگین داده‌های برآورده شده مدل از روش مشابه برای تصحیح میانگین داده‌های برآورده شده برای دوره اقلیمی آینده استفاده گردید (معادله ۳).

$$Mean_{fut} = \frac{Mean_{base}^{obs}}{Mean_{base}^{GCM}} \times Mean_{fut}^{GCM} \quad (3)$$

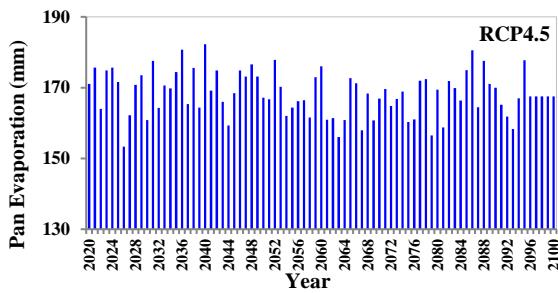
که در آن،  $Mean_{fut}$  میانگین داده‌های آینده اقلیمی،  $Mean_{base}^{obs}$  میانگین داده‌های مشاهده شده در دوره پایه،  $Mean_{base}^{GCM}$  بیان گر میانگین داده‌های خروجی مدل برای دوره پایه و  $Mean_{fut}^{GCM}$  نیز معرف میانگین داده‌های برآورده شده توسط مدل برای دوره آینده است. با توجه به اینکه داده‌های دوره پایه در مقیاس روزانه در دسترس بودند، ابتدا داده‌ها به صورت سالانه برای دوره پایه تبدیل شده و پس از به دست آوردن ضریب تبدیل مناسب برای هر منطقه، تصحیح داده‌های مدل برای دوره آینده صورت گرفت (Babaeian et al., 2004).

### معادله Pen Pan

یک روش مدل‌سازی تبخیر از تست، استفاده از شکل تغییر یافته معادله پنمن (۱۹۴۸) برای تبخیر تعرق پتانسیل است. Linacre (1994) نسخه ساده شده ای از معادله پنمن به عنوان معادله Pen Pan پیشنهاد کرد که توسط آن هم خوانی خوبی بین مقادیر ماهانه تبخیر تست اندازه‌گیری شده و محاسبه شده در تعدادی از ایستگاه‌ها، به دست آمد. حذف تغییرات دمای سطح آب در زمان در محاسبه معادله پنمن، مزیت این روش (که بر اساس موازنۀ جرم و انرژی در تست می‌باشد) است. این روش برای دوره‌های ۲۴ ساعته و ترجیحاً چند روزه توسعه داده شده تا ذخیره گرما در تست قابل صرفنظر کردن باشد.

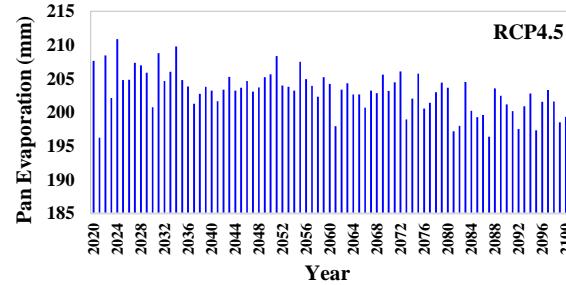
$$LE_p = \frac{s(Rn-s)+L\gamma fh(u)\delta e}{s+\gamma fh(u)/fq(u)} \quad (4)$$

که در آن،  $E_p$  نرخ تبخیر تست بر حسب ( $kg m^{-2} s^{-1}$ )،  $L$  مقدار گرمای تبخیر آب بر حسب ( $J kg^{-1}$ )،  $Rn$  تابش خالص بر حسب ( $w m^{-2}$ ),  $e\delta$  کمبود فشار بخار اشباع (کیلو پاسکال)،  $S$  شیب فشار بخار اشباع (کیلو پاسکال)،  $\gamma$  ضریب سایکرومتری (کیلو پاسکال بر درجه سلسیوس)،  $u$  سرعت باد در ارتفاع ۲



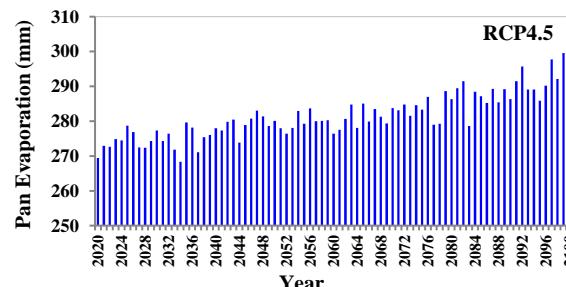
(۲۰۲۰ - ۲۱۰۰) RCP8.5 و RCP4.5 مسهد تحت سناریوهای تبخیر از تشت در ایستگاه مشهد

Figure 1- Projected pan evaporation changes in Mashhad station under the RCP8.5 and RCP4.5 scenarios (2020-2100)



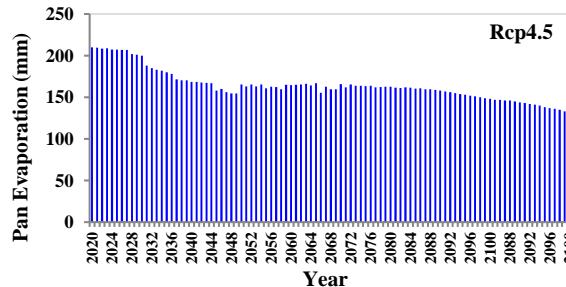
(۲۰۲۰ - ۲۱۰۰) در دوره RCP8.5 و RCP4.5 بوشهر تحت سناریوهای تبخیر از تشت ایستگاه

Figure 2- Projected pan evaporation changes in Bushehr station under the RCP8.5 and RCP4.5 scenarios (2020-2100)



(۲۰۲۰ - ۲۱۰۰) در دوره RCP8.5 و RCP4.5 اهواز تحت سناریوهای تبخیر از تشت ایستگاه

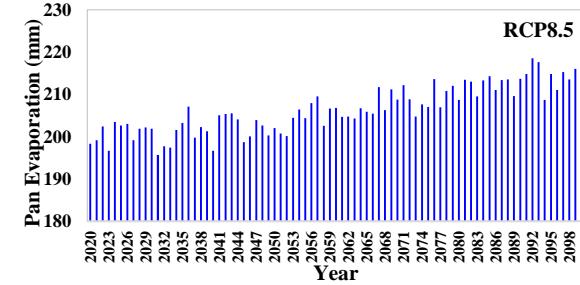
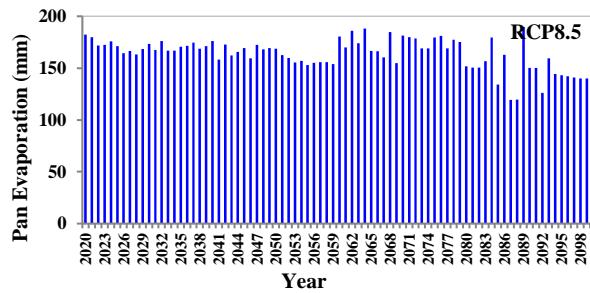
Figure 3- Projected pan evaporation changes in Ahvaz station under the RCP8.5 and RCP4.5 scenarios (2020-2100)



(۲۰۲۰ - ۲۱۰۰) در دوره RCP8.5 و RCP4.5 کرمان تحت سناریوهای تبخیر از تشت ایستگاه

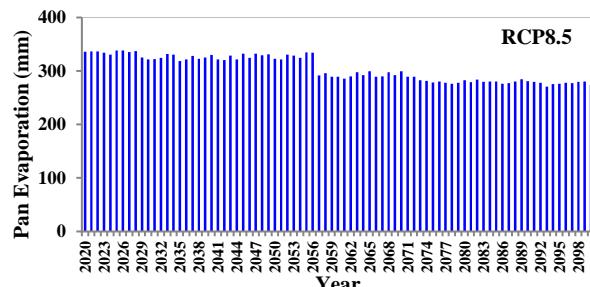
Figure 4 - Projected pan evaporation changes in Kerman station under the RCP8.5 and RCP4.5 scenarios (2020-2100)

تغییرات سناریو RCP4.5 در مقایسه با RCP8.5 بیشتر بوده و روند آن در ابتدای سال ۲۰۴۹-۲۰۲۰ افزایشی و سپس تا سال ۲۰۷۹ کاهشی پیش‌نگری شد. از سال ۲۰۸۰ تا ۲۱۰۰



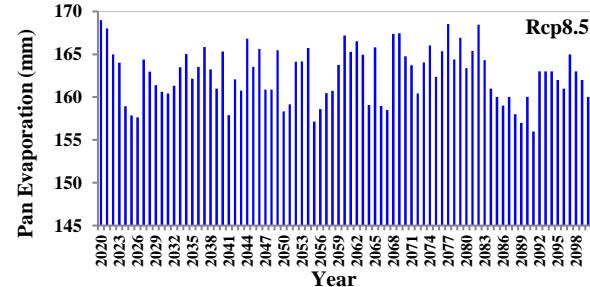
(۲۰۲۰ - ۲۱۰۰) در دوره RCP8.5 بوشهر تحت سناریوهای تبخیر از تشت ایستگاه

Figure 2- Projected pan evaporation changes in Bushehr station under the RCP8.5 and RCP4.5 scenarios (2020-2100)



(۲۰۲۰ - ۲۱۰۰) در دوره RCP8.5 اهواز تحت سناریوهای تبخیر از تشت ایستگاه

Figure 3- Projected pan evaporation changes in Ahvaz station under the RCP8.5 and RCP4.5 scenarios (2020-2100)



(۲۰۲۰ - ۲۱۰۰) در دوره RCP8.5 کرمان تحت سناریوهای تبخیر از تشت ایستگاه

Figure 4 - Projected pan evaporation changes in Kerman station under the RCP8.5 and RCP4.5 scenarios (2020-2100)

مطابق شکل ۱ در ایستگاه مشهد تحت سناریو RCP8.5 تغییرات در دوره ۲۰۴۹-۲۰۲۰ ثابت اما طی دوره ۲۰۷۹-۲۰۵۰ تغییرات افزایشی و سپس تا سال ۲۱۰۰ کاهشی است.

### تحلیل روند تبخیر از تشت برای دوره آینده

تحلیل روند تبخیر از تشت دوره آینده تحت دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5 برای سه دوره ۲۰۴۹-۲۰۷۹، ۲۰۲۰-۲۰۴۹ و ۲۰۵۰-۲۱۰۰ مورد بررسی قرار گرفت که نتایج به شرح زیر می‌باشد.

### روندیابی ضریب تشت تبخیر

در این بخش، نتایج حاصل از دو آزمون روندیابی من-کندا و تخمین گر شیب سن، برای داده‌های ضریب تشت در دوره پایه و برای شش ماه گرم سال (بهار و تابستان) که بررسی آن از نظر اجرایی هم منطقی و علمی تر بوده است، ارائه خواهد شد. لازم به ذکر است که در برخی ایستگاه‌ها در کشور در ماههای سرد سال اصولاً داده‌های تشت تبخیر اندازه‌گیری نمی‌شود.

سیر تغییرات صعودی است. در شکل ۲ در ایستگاه بوشهر در سناریو RCP8.5 از سال ۲۰۲۰ تا ۲۰۵۳ تغییرات تبخیر از تشت افزایشی، سپس تا سال ۲۰۸۶ این تغییرات کاهشی می‌شود و دوباره سیر صعودی به خود می‌گیرد. از سال ۲۰۹۵ تا ۲۱۰۰ تغییرات کاهشی است. در سناریو RCP4.5 تغییرات تبخیر از تشت نسبتاً ثابت می‌باشد. در سناریو RCP4.5 از سال ۲۰۴۹-۲۰۲۰ تغییرات تبخیر از تشت افزایشی و سپس تا سال ۲۱۰۰ سیر نزولی دارد. در شکل ۳ در ایستگاه اهواز تغییرات تشت تحت سناریو RCP4.5 در سال ۲۰۲۰-۲۰۴۹ کاهشی، سپس تا سال ۲۰۸۰ کاهشی و پس از آن تا ۲۰۴۹ تغییرات افزایشی می‌باشد. در سناریو RCP8.5 در سال ۲۰۲۰-۲۰۴۹ تغییرات تبخیر از تشت افزایشی و سپس تا ۲۱۰۰ کاهشی است. در شکل ۴ تغییرات تبخیر از تشت تحت سناریو RCP4.5 بیشتر از RCP8.5 بوده و تغییرات افزایشی است.

جدول ۲- نتایج حاصل از آزمون روند برای داده‌های تبخیر از تشت تحت سناریو (۲۰۴۹-۲۰۲۰) RCP4.5

Table 2- The results of trend analysis of pan evaporation data under the RCP4.5 scenario during (2020-2049)

RCP4.5		Kendall			Sen slope estimator		
Station	Year	N	Z	signific	Q	Qmin99	Qmax99
Ahvaz	2020-2049	30	0.84		0.043	-0.095	0.311
Kerman	2020-2049	30	2.71	**	0.27	0.03	0.52
Mashhad	2020-2049	30	-0.43		0.051-	-0.420	0.322
Bushehr	2020-2049	30	-1.71		0.090-	-0.230	0.063

جدول ۳- نتایج حاصل از آزمون روند برای داده‌های تبخیر از تشت تحت سناریو (۲۰۴۹-۲۰۲۰) RCP8.5

Table 3- The results of trend analysis of pan evaporation data under the RCP8.5 scenario during (2020-2049)

RCP4.5		Kendall			Sen slope estimator		
Station	Year	N	Z	signific	Q	Qmin99	Qmax99
Ahvaz	2020-2049	30	-1.09		-0.027	-0.294	0.114
Kerman	2020-2049	30	3.21	**	0.26	0.06	0.52
Mashhad	2020-2049	30	3.21	**	0.26	0.06	0.42
Bushehr	2020-2049	30	-2.53	*	-0.243	-0.439	0.018

جدول ۴- نتایج حاصل از آزمون روند برای داده‌های تبخیر از تشت تحت سناریو (۲۰۷۹-۲۰۵۰) RCP4.5

Table 4- The results of trend analysis of pan evaporation data under the RCP4.5 scenario during (2050-2079)

RCP4.5		Kendall			Sen slope estimator		
Station	Year	N	Z	signific	Q	Qmin99	Qmax99
Ahvaz	2020-2049	30	-4.42	**	-0.589	-0.864	-0.341
Kerman	2020-2049	30	1.35		0.08	-0.05	0.20
Mashhad	2020-2049	30	-0.46		-0.072	-0.407	0.319
Bushehr	2020-2049	30	-1.78		-0.088	-0.205	0.032

جدول ۵- نتایج حاصل از آزمون روند برای داده‌های تبخیر از تشت تحت سناریو (۲۰۷۹-۲۰۵۰) RCP8.5

Table 5- The results of trend analysis of pan evaporation data under the RCP8.5 scenario during (2050-2079)

RCP4.5		Kendall			Sen slope estimator		
Station	Year	N	Z	signific	Q	Qmin99	Qmax99
Ahvaz	2020-2049	30	-2.32	*	-0.231	-0.509	0.027
Kerman	2020-2049	30	1.99		0.13	-0.02	0.33
Mashhad	2020-2049	30	2.28	*	0.641	-0.059	1.185
Bushehr	2020-2049	30	-1.57		-0.214	-0.457	0.127

جدول ۶- نتایج حاصل از آزمون روند برای داده‌های تبخیر از تشت تحت سناریو (۲۰۸۰-۲۱۰۰) RCP4.5

Table 6- The results of trend analysis of pan evaporation data under the RCP4.5 scenario during (2080-2100)

RCP4.5		Kendall			Sen slope estimator		
Station	Year	N	Z	signific	Q	Qmin99	Qmax99
Ahvaz	2020-2049	21	2.14	*	0.268	-0.056	0.639
Kerman	2020-2049	21	0.5		0.03	-0.22	0.33
Mashhad	2020-2049	21	0.45		0.080	-0.707	0.703
Bushehr	2020-2049	21	0.03		0.008	-0.268	0.272

\* در سطح ۹۵٪ معنی دار است.

جدول ۷- نتایج حاصل از آزمون روند برای داده‌های تبخیر از تشت تحت سناریو (۲۰۸۰-۲۱۰۰) RCP8.5

Table 7- The results of trend analysis of pan evaporation data under the RCP8.5 scenario during (2080-2100)

RCP4.5		Kendall			Sen slope estimator		
Station	Year	N	Z	signific	Q	Qmin99	Qmax99
Ahvaz	2020-2049	21	-1.12		-0.163	-0.518	0.180
Kerman	2020-2049	21	1.66		0.27	-0.09	0.49
Mashhad	2020-2049	21	-2.08	*	-0.755	-1.859	0.410
Bushehr	2020-2049	21	-2.33	*	-0.455	-0.927	0.049

جدول ۸- نتایج آزمون‌های روند برای داده‌های مشاهداتی ضریب تشت تبخیر (۱۹۹۳-۲۰۱۸)

Table 8-Trend analysis of Kp values obtained from observed data for baseline period (1993-2018)

Station	Year	Man-Kendall		SEN s estimator (99%)		
		Z	Signific	Q	Q min	Q max
Ahvaz	1993-2018	2.60	*	0.003	-0.001	0.006
Bushehr	1993-2018	4.10	**	0.012	0.006	0.017
Kerman	1993-2018	-4.10	**	-0.009	-0.014	-0.005
Mashhad	1993-2018	4.70	**	0.01	0.00	0.01

\*\* در سطح ۹۹٪ معنی دار است. \* در سطح ۹۵٪ معنی دار است.

می‌باشد. بر اساس روش تخمین‌گر شیب سن، بالاترین روند افزایشی در دوره پایه در ایستگاه کرمان با مقدار ۸/۸۲ میلی‌متر و کمترین روند کاهشی در ایستگاه اهواز با مقدار ۸/۱۲ میلی‌متر به دست آمد. در دوره آینده بر اساس روش شیب سن بالاترین روند افزایشی در ایستگاه مشهد با مقدار ۰/۶۴ میلی‌متر نگری شد. انتظار می‌رود متوسط تغییرات تبخیر از تشت برای دوره آینده نزدیک، میانی و آینده دور نسبت به دوره پایه به ترتیب ۴/۷ درصد برابر با ۵۳/۴ میلی‌متر، ۶/۲ میلی‌متر) و ۸/۸ درصد (۱۱۲ میلی‌متر)، کاهش یابد. علیرغم افزایش دما ثبت شده در ایستگاه‌های اهواز، بوشهر و مشهد، کاهشی در میزان تبخیر از تشت مشاهده شد که این تنافض می‌تواند به استناد مطالعات پیشین با توجه به کاهش تابش رسیده به زمین، قابل توجیه باشد.

## منابع

Allen, R. G., Periera, L. S., Raes, D. and Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration: Guideline or computing crop water requirement. FAO p

با توجه به جدول ۸ مشاهده می‌شود تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه به جز ایستگاه کرمان روند افزایشی را تجربه کرده‌اند. در این میان بیشترین تغییرات کاهشی در ایستگاه کرمان به میزان ۴/۱۰ میلی‌متر و بیشترین تغییرات افزایشی در ایستگاه مشهد با مقدار ۴/۷۰ میلی‌متر در سطح معناداری ۹۹٪ به دست آمد. تغییرات روند معنی داری در ایستگاه یزد معنادار مشاهده نشد.

## نتیجه‌گیری

ایستگاه‌های مورد مطالعه، روند کاهشی معناداری را در ضریب تشت تبخیر تجربه کرده‌اند. بالاترین شیب کاهشی بر اساس روش شیب تخمین‌گر سن مربوط به ایستگاه بوشهر است. نتایج آزمون من-کنداش در دوره پایه (۱۹۹۳-۲۰۱۸) نشان دهنده روند کاهشی تبخیر از تشت در ایستگاه‌های اهواز، مشهد، بوشهر و روند افزایشی در ایستگاه کرمان است. بررسی این روند در سه دوره آینده ۲۰۴۹-۲۰۷۹، ۲۰۲۰-۲۰۵۰ و ۲۰۸۰-۲۱۰۰ موید افزایشی در تبخیر از تشت در ایستگاه کرمان و کاهش در ایستگاه‌های اهواز، بوشهر و مشهد

- in CMIP5 climate models. *Journal of Hydrometeorology*, 18(4), 977-991.
- Mann, H.B. 1945. Non-Parametric Test against Trend. *Econometrica*, 13, 245-259. DOI: 10.2307/1907187.
- Thom, A. S., Thony, J. L., and Vauclin M. 1981. On the proper employment of evaporation pans and atmometers in estimating potential transpiration. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 107(453), 711-736.
- Rotstayn, L., Roderick, M., Farquhar, G., Rotstayn, C. 2006. A simple pan-evaporation model for analysis of climate simulations: Evaluation over Australia. *Geophysical Research Letters*, 33, 10.1029/2006 GL027114.
- Shokri, S., Houshmand, A., Qurbani, M. 2017. Estimation of evaporation pan coefficient in order to calculate transpiration evaporation of reference plant in Ahvaz. *Irrigation engineering science* 40 (1): 1-12. (In Farsi)
- Xie, H., Zhu, X., and Yuan, D. Y. 2015. Pan evaporation modelling and changing attribution analysis on the Tibetan Plateau (1970–2012). *Hydrological Processes*, 29(9), 2164-2177. doi:10.1002/hyp.10356.
- Irrigation and Drainage Paper 56, Rome, Italy, 300 pp.
- Babaeian, I., Kwon, W.T., and Im, E.S. 2004. Application of weather generator technique for climate change assessment over Korea, Korea Meteorological Research Institute, Climate Research Lab., pp. 98.
- Gharekhani, A., Ghahreman, N., Bazrafshan, J. 2012. Trend analysis of pan evaporation in different climates of Iran. *Watershed Management Research (Pajouhesh and Sazandegi)* 98: 85-97 (In Farsi)
- Ghahreman, N., Babaeian, I., Tabatabai, M. 2016. Evaluation of post-processing of dynamic outputs of climate models in estimating potential evapotranspiration changes under radiative forcing scenarios (Mashhad plain case study). *Earth and space physics*, 42(3), 68-696 (In Farsi)
- IPCC (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis, Summary for Policymakers*
- Linacre, E. T. 1994. Estimating U.S. Class A pan evaporation from few climate data, *Water Int.*, 19, 5-14
- Kendall, M.G. 1975. *Rank Correlation Methods*. 4<sup>th</sup> Edition, Charles Griffin, London.
- Liu, W., and Sun, F. 2014. Projecting and attributing future changes of evaporative demand over China

## Trend Analysis of pan coefficient and projection of pan evaporation in selected stations of Iran

A. Goljamjoo<sup>1</sup>, N. Ghahreman<sup>2\*</sup>, B. Bakhtiari<sup>3</sup>

Received: 08/11/2021

Accepted: 09/06/2022

### Abstract

The pan evaporation is one of the major components of hydrological cycle. It is quite important in agricultural water management and water balance estimations. The current research was performed with two main goals. First, to study the trend of pan coefficient during baseline period of 1993-2018 and second, projection of pan evaporation during three future periods under RCP climate change scenarios in 5 selected stations across Iran, namely Mashhad, Bushehr, Ahvaz, Kerman. In part one; the monthly trend of Kp values were studied using Man-Kendal and Sen's slope estimator in warm season (Spring and Summer). In second part, for projection of pan evaporation under RCP scenarios, the PenPan model, a modified form of P-M equation, was used. The required projected climate data were retrieved from CNRM-C5 model outputs under RCP 4.5 and RCP 8.5 scenarios. The trend analysis of Kp values using Man-Kendal test during the baseline period showed a significant decreasing trend except for the Yazd station with the least coefficient of -1.88 mm. The greatest decreasing value based on Sen's slope estimator was observed in Bushehr station. The results of Man-Kendal test revealed a decreasing trend in pan evaporation in Ahvaz, Mashhad, Bushehr and increasing trend in Kerman stations. For future periods of 2020-2049, 2050 to 2079 and 2080 to 2100, an increasing trend of pan evaporation in Kerman station and decreasing trend in 3 other stations was detected. According to Sens's slope estimator test, during the baseline period the most increasing trend was observed in Kerman station. For future period the most increasing trend was observed in Mashhad station (+0.64). It is projected that mean pan evaporation values during near, middle and far future periods would decrease 4.7, 6.2 and 8.8%, respectively. Despite of projected increase of air temperature in Mashhad, Bushehr and Ahvaz stations, a reduction in pan evaporation was observed which might be attributed to reduced received radiation as reported in previous studies as evaporation paradox.

**Keywords:** Trend, Climate Change, PenPan model, Pan Evaporation



<sup>1</sup> M. Sc. Graduate, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, Faculty of Agriculture, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

<sup>2</sup> Associate Professor, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, Faculty of Agriculture, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

(\*Corresponding Author Email Address: [nghahreman@ut.ac.ir](mailto:nghahreman@ut.ac.ir))

<sup>3</sup> Associate Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

نحوه ارجاع مقاله:

گل جامجو، آ.، قهرمان، ن.، بختیاری، ب. ۱۴۰۱. روندیابی ضریب تشت تبخیر و پیش‌نگری مقدار تبخیر از تشت تحت سناریوهای واداشت تابشی در چند

ایستگاه منتخب ایران نشریه هواشناسی کشاورزی، ۱۰(۲): ۵۸-۶۵. DOI: 10.22125/agmj.2023.369069.1143

Goljamjoo, A., Ghahreman, N. Bakhtiari, B. 2022. Trend Analysis of pan coefficient and projection of pan evaporation in selected stations of Iran. Journal of Agricultural Meteorology, 10(2): 58-65. DOI: 10.22125/agmj.2023.369069.1143