

## پیش‌نمایی و تحلیل مکانی شاخص‌های اگروکلیماتیک حوضه آبریز قزل اوزن در طول فصل رشد

امین صادقی<sup>۱\*</sup>، یعقوب دین بژوه<sup>۲</sup>، و مهدی ضرغامی<sup>۳</sup>

<sup>۱\*</sup> دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

<sup>\*</sup> نویسنده مسئول مکاتبات: [aminsadeqi95@ms.tabrizu.ac.ir](mailto:aminsadeqi95@ms.tabrizu.ac.ir)

<sup>۲</sup> دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

<sup>۳</sup> استاد دانشکده مهندسی عمران و پژوهشکده محیط‌زیست، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۵/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۷/۲۰

### چکیده

برنامه‌ریزی دقیق برای سازگاری با تغییرات اقلیمی در هر منطقه اهمیت فراوانی دارد. در این مطالعه، با استفاده از آمار روزانه شش ایستگاه هم‌دید (۲۰۱۶-۱۹۸۹) در حوضه آبریز قزل اوزن و بهره‌گیری از چهار مدل GCM و دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 اقدام به تولید داده برای افق ۲۰۵۰ شد. سپس، پارامترهای دمای هوا، بارش، تبخیر-تعرق (ET<sub>0</sub>) و کمبود بارش (PD) در طول فصل رشد ارزیابی گردید و مقادیر کمیت‌های شدت خشکی و طول دوره خشکی تخمین زده شدند. ET<sub>0</sub> با دو روش پریستلی-تیلور (PT) و پنمن مانتیث (PM) محاسبه شد. سپس، ET<sub>0</sub> محاسبه شده با روش PT با استفاده از چهار مدل هوشمند (شامل Eureqa Formulize, ANN, ANFIS و SVM) با روش PM برای هرایستگاه واسنجی گردید. برای پهنه‌بندی شاخص‌های مذکور، از سه روش زمین آمار IDW، کریجینگ و کوکریجینگ بهره گرفته شد. نتایج نشان داد که در ایستگاه‌های منتخب، میانگین دمای هوا و بارش (در طول فصل رشد) به ترتیب، بین ۰/۹ تا ۲ درجه سلسیوس و ۲۷ تا ۴۹ میلی‌متر افزایش خواهد یافت. افزون بر این، پارامترهای ET<sub>0</sub> و شدت خشکی در همه ایستگاه‌ها افزایش خواهد یافت. میانگین افزایش PD در کل حوضه در حدود ۶ تا ۹ درصد خواهد بود. به‌طور متوسط، شدت افزایش شاخص‌های اگروکلیماتیک در سناریوی RCP8.5 حدود چهار درصد بیشتر از سناریوی RCP4.5 می‌باشد. در بین روش‌های میان‌یابی، روش کوکریجینگ با استفاده از داده کمکی مدل رقومی ارتفاع (DEM) کارایی بهتری را نشان داد. در افق مورد نظر، طول فصل رشد بین ۱۵ تا ۳۵ روز افزایش خواهد یافت، با این حال، طول دوره خشکی تغییر محسوسی نخواهد داشت. نتایج مدل‌ها حاکی از آن است که در آینده، تغییرات مکانی متغیرهای اقلیمی کم و بیش مشابه با تغییرات نظیر دوره پایه خواهد بود.

کلیدواژه‌ها: تبخیر-تعرق؛ تحلیل مکانی؛ تغییر اقلیم؛ قزل اوزن؛ هوش مصنوعی

### مقدمه

فصول چهارگانه سال را برهم زده است، به طوری که بهار زودتر آغاز شده و شروع فصل پاییز به تعویق افتاده و همچنین نقطه اوج فتوسنتز گیاهی زودتر از گذشته روی می‌دهد (Burrows et al., 2011, Barichivich et al., 2012 و Xu et al., 2016). طول فصل رشد یکی از عوامل مهم در هر منطقه می‌باشد که تغییرات اقلیمی سبب تغییر آن شده است. در متون علمی، برای فصل رشد

امروزه تغییرات اقلیمی اثرات شگرفی بر محیط زندگی بشر گذاشته است. در سال‌های اخیر، بخش کشاورزی همانند سایر بخش‌ها تحت تأثیر تغییر اقلیم واقع شده است. در برخی مناطق، به‌واسطه گرم شدن زمین محصولاتی کشت می‌شود که پیش‌تر قابل کشت نبود. گرمایش جهانی در اغلب نقاط جهان زمان‌بندی

ایستگاه‌های منتخب در نیجریه (بخش‌های شرقی و جنوبی) بین ۴ تا ۳۱ روز کاهش یافته که در اثر افزایش قابل ملاحظه بارش به وقوع پیوسته است. این درحالی است که ۲۰ درصد از ایستگاه‌های مورد مطالعه نیز افزایش طول فصل رشد را تجربه کرده‌اند. در مطالعه‌ای اثرات تغییر اقلیم بر طول فصل رشد گوجه‌فرنگی در کالیفرنیا بررسی شد (Pathak and Stoddard, 2018). نتایج پیش‌بینی آن‌ها با استفاده از مدل‌های GCM نشان داد که تا سال ۲۰۸۰ می‌توان دو الی سه هفته زودتر از زمان حاضر گوجه‌فرنگی را برداشت نمود. یافته‌های Gaertner و همکاران (۲۰۱۹) که به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر طول فصل رشد در ناحیه کوهستانی آپالاشیای آمریکا پرداختند، نشان داد که به‌طور متوسط، طول فصل رشد ۲۲ روز و مقدار تبخیر-تعرق پتانسیل گیاه مرجع ( $ET_0$ ) حدود ۱۲ میلی‌متر افزایش یافته است. بنا به نظر ایشان، یک روز افزایش طول فصل رشد، منجر به افزایش ۰/۵ میلی‌متری در فرایند  $ET_0$  می‌شود. در تحقیقی دیگر که در جنوب غربی چین انجام شد Jiang و همکاران (۲۰۱۹)، تأثیر تغییر اقلیم بر میزان  $ET_0$  در طول فصل رشد را بررسی نمودند. آن‌ها با استفاده از آزمون آماری کرامر نشان دادند  $ET_0$  فصل رشد در طی سال‌های ۱۹۹۶-۱۹۶۱ روند منفی معنی‌داری داشته اما پس از یک جهش ناگهانی در سال ۱۹۹۶ روند آن معکوس شده است. نتایج مطالعات انجام شده در لهستان نشان می‌دهد، تغییرات زمانی و مکانی قابل توجهی در بارش لهستان در طول فصل رشد روی داده است. همچنین تحت تأثیر افزایش دمای هوا، تعداد روزهای نظیر فصل رشد روند افزایشی داشته است (Tomczyk and Szyga-Pluta, 2019). در تحقیقی که برای شمال چین توسط Cui و همکاران (۲۰۱۸) انجام شد، معلوم گردید که در طی دوره آماری ۲۰۱۵-۱۹۶۱، فصل رشد ۱۰ الی ۱۱ روز زودتر از قبل آغاز شده و انتهای آن نیز ۵ الی ۶ روز به تعویق افتاده است. در واقع، به‌طور میانگین، ۱۵ روز به طول فصل

تعاریف مختلفی آمده است. Carter (۱۹۹۸) فصل رشد حرارتی گیاه<sup>۱</sup> را یک دوره زمانی می‌داند که در آن گیاه رشد کرده و دوره تکامل را به پایان برساند. به عبارت دیگر، محدودیت دمایی در رشد گیاه وجود نداشته باشد و اگر سایر نیازهای زیست‌محیطی آن برآورده شود، رشد گیاه صورت گیرد. به‌طور کلی، طول فصل رشد دوره‌ای است که دمای هوا بیشتر از یک حد آستانه از پیش تعیین شده باشد. در مطالعه‌ای Robeson (2002)، طول فصل رشد را فاصله زمانی بین آخرین روز با دمای زیر صفر (در زمستان گذشته) و اولین روز یخبندان در پاییز آتی در نظر گرفته است. بعضی از محققین نیز برخی از ماه‌های سال را به‌عنوان فصل رشد در نظر گرفته‌اند. به‌عنوان مثال، میروسوی و اکبرزاده (۱۳۸۹) ماه‌های آوریل تا سپتامبر را فصل رشد در آذربایجان شرقی انتخاب کردند. در تحقیقی مشابه، رضایی بنفشه و همکاران (۱۳۹۷) نیز ماه‌های آوریل تا سپتامبر را فصل رشد در منطقه زاگرس شمالی در نظر گرفتند. علاوه بر این، کریمی و همکاران (۱۳۹۳) طول فصل رشد مراتع استان سیستان و بلوچستان را دوره‌ای از سال دانسته‌اند که میانگین دمای هوای روزانه در آن بین ۱۰ تا ۲۵ درجه سلسیوس باشد.

برخی از دانشمندان برای بررسی تأثیرات تغییر اقلیم بر طول فصل رشد گیاه در آینده از مدل‌های اقلیمی پیش‌نمایی شده استفاده کرده‌اند، برخی دیگر نیز به تغییرات طول فصل رشد در دوره تاریخی پرداخته‌اند. مثلاً Shen و همکاران (۲۰۱۲) گزارش دادند که در چین، طول فصل رشد گیاه حدود ۱۴ روز افزایش یافته است. از این ۱۴ روز، ۸ روز آن متعلق به ابتدا و ۶ روز دیگر مربوط به انتهای فصل رشد است. همچنین نتایج حاکی از طولانی‌تر شدن شدید طول فصل رشد از اواسط دهه ۱۹۸۰ به بعد می‌باشد، که دلیل آن به افزایش قابل ملاحظه دمای هوا نسبت داده شد. بنا به گزارش Oguntunde و همکاران (۲۰۱۴)، طول فصل رشد، در نیمی از

<sup>۱</sup> Thermal Growing Season

مطالعه تاکنون به صورت دقیق و جامع برای حوضه قزل اوزن انجام نشده است.

### مواد و روش‌ها

حوضه آبریز قزل اوزن یکی از حوضه‌های مهم کشور است که کشاورزی در سطح گسترده‌ای در آن صورت می‌گیرد و نقش بسزایی در امنیت غذایی منطقه ایفا می‌کند. این حوضه با وسعتی قریب به ۴۹۰۰۰ کیلومتر مربع (در محل سد سفیدرود) یکی از بزرگ‌ترین حوضه‌های کشور محسوب می‌شود. شکل ۱ موقعیت این حوضه را در ایران نشان می‌دهد. این حوضه، قسمت عمده‌ای از استان‌های زنجان و کردستان، بخش‌هایی از استان‌های آذربایجان شرقی، اردبیل، همدان و قسمت‌هایی کوچکی از استان‌های قزوین، آذربایجان غربی و گیلان را در بر می‌گیرد.

در این مطالعه، داده‌های روزانه دمای کمینه و بیشینه ( $C^{\circ}$ )، بارش (mm)، تعداد ساعات آفتابی، رطوبت نسبی (%) و سرعت باد (m/s) ایستگاه‌های همدید موجود در حوضه قزل اوزن از سازمان هواشناسی کشور اخذ گردید. شش ایستگاه زنجان، میانه، خلخال، زرینه<sup>۲</sup>، قروه و بیجار که دارای آمار طولانی مدت ۲۸ ساله (۲۰۱۶-۱۹۸۹) بودند، برای این مطالعه انتخاب شدند.

از چهار مدل گردش عمومی<sup>۳</sup> (شامل EC-EARTH، HadGEM2-ES، MIROC5 و MPI-ESM-MR) و دو سناریوی RCP4.5 (نماینده انتشار پایین گازهای گلخانه‌ای) و سناریوی RCP8.5 (نماینده انتشار بالای گازهای گلخانه‌ای) جهت تولید داده برای دوره ۲۰۶۰-۲۰۴۱ (افق ۲۰۵۰ میلادی ~ ۱۴۳۰ شمسی) با استفاده از ریزمقیاس نمایی آماری LARS-WG6 استفاده شد. ممکن است خروجی مدل‌های GCM با هم دارای اختلافاتی باشند که این امر ناشی از فرضیات در نظر گرفته شده برای هر مدل است. بنابراین، پژوهشگران معمولاً از چند

رشد افزوده شده است. یافته‌های کوچکی و همکاران (۱۳۹۴) نشان داد که طول فصل رشد در ایران به واسطه گرمایش جهانی (تا سال ۲۰۵۰) از ۱۸ روز (در جنوب) تا ۳۳ روز (در غرب) افزایش خواهد یافت.

رابطه بین اقلیم و طول فصل رشد از نقطه‌ای به نقطه دیگر متفاوت است. هیچ تعریف جهان شمول که بتوان در سطح گسترده آن را برای تمام مناطق اعمال کرد، وجود ندارد (Linderholm, 2006). بنابراین، لازم است که فصل رشد هر منطقه شناخته شده و متغیرهای اقلیمی آن مستقلاً ارزیابی شود. در این پژوهش، تغییرات زمانی و مکانی طول فصل رشد و همچنین دمای هوا، بارش،  $ET_0$  و کمبود بارش ( $PD^1$ ) در طول فصل رشد برای دوره پایه و افق ۲۰۵۰ (با دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5) مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفت. همچنین دوره خشکی و شدت خشکی برای هر ایستگاه به دست آمد. مقدار کمیت  $ET_0$  هر ایستگاه پس از واسنجی مدل‌های هوشمند مشخص شد. با استفاده از شاخص‌های اگروکلیماتیکی، پتانسیل کشاورزی حوضه مورد مطالعه در آینده ارزیابی گردید. در نهایت، نقشه‌های پهنه‌بندی پارامترهای مذکور به منظور تحلیل مکانی شرایط حال حاضر و آینده ترسیم گردید. نتایج این تحقیق می‌تواند افق دید گسترده‌ای را در اختیار برنامه‌ریزان بخش آب و کشاورزی قرار دهد و در تصمیم‌گیری دقیق آن‌ها برای سال‌های آتی کمک شایانی کند. هدف این مطالعه بررسی اثر تغییرات اقلیمی روی برخی از شاخص‌های اگروکلیماتیک در حوضه آبریز قزل اوزن در طول فصل رشد می‌باشد. همچنین ارزیابی مدل‌های مختلف هوش مصنوعی جهت واسنجی  $ET_0$  از دیگر مقاصد این پژوهش است. ضمناً هدف دیگر این مطالعه، انتخاب روش مناسب برای میان‌یابی تغییرات مکانی پارامترهای فوق‌الذکر و تحلیل تغییرات مکانی آن در حوضه مذکور است. این

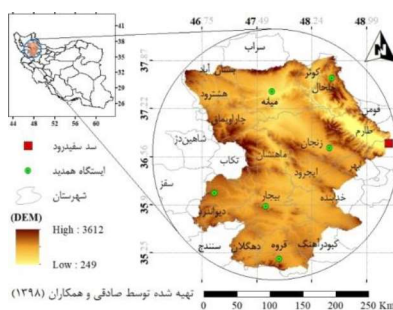
<sup>۲</sup> زرینه اوباتو شهری در شهرستان دیواندره در استان کردستان است.

<sup>۳</sup> General Circulation Model (GCM)

<sup>۱</sup> Precipitation Deficit (PD)

ضریب اصلاحی، واسنجی انجام می‌شد. در این مطالعه، علاوه بر روش مذکور از چهار مدل هوشمند شامل شبکه عصبی مصنوعی (ANN)، ماشین بردار پشتیبان- حداقل مربعات (LS-SVM) و Eureka Formulize جهت واسنجی مقادیر  $ET_0$  روزانه (مدل PT) استفاده گردید. در این پژوهش، برای اولین بار از مدل Eureka Formulize استفاده شده است که در آن مدل‌سازی مبتنی بر الگوریتم ژنتیک انجام می‌شود. آموزش و تست مدل‌ها کلاً برای دوره پایه انجام شد. ۷۰ درصد از داده‌ها برای آموزش مدل و ۳۰ درصد باقی‌مانده برای تست به‌کار گرفته شد. مدلی که کمترین خطا را در هر ایستگاه داشت برای واسنجی  $ET_0$  روزانه انتخاب گردید. برای انتخاب بهترین مدل از معیارهای ارزیابی خطا شامل ضریب تعیین ( $R^2$ )، خطای جذر میانگین مربعات نرمال شده (NRMSE) یا (RMSE/نش- ساتکلیف (NSE)، و درصد میانگین خطای مطلق (MAPE) استفاده شد. جدول ۱ روابط و مشخصات معیارهای ارزیابی خطای مورد استفاده در این پژوهش را نشان می‌دهد. در این جدول،  $At$  مقادیر مشاهداتی و  $Ft$  مقادیر محاسباتی می‌باشد. ارزش‌گذاری مقادیر NRMSE در جدول ۲ آمده است. در برخی تحقیقات، در مخرج کسر رابطه NRMSE به جای دامنه، از میانگین مشاهدات استفاده می‌کنند که به آن RRMSE نیز اطلاق می‌شود. اما در این مقاله از دامنه مشاهدات در مخرج کسر استفاده شد.

مدل برای انجام مطالعات خود استفاده می‌کنند. در این پژوهش نیز از چهار مدل GCM یاد شده استفاده گردیده است. با توجه به این‌که LARS-WG قابلیت تولید داده دمای کمینه و بیشینه، بارش و ساعات آفتابی را دارد، ابتدا  $ET_0$  در هر دو دوره پایه و آبی با روش پریستلی-تیلور (PT) محاسبه گردید. روش ترکیبی پنمن مانیت فائو (FAO56-PM) به‌عنوان روش استاندارد محاسبه  $ET_0$  شناخته شده است. در این روش، علاوه بر داده‌های مذکور نیاز به داده‌های رطوبت نسبی و سرعت باد نیز می‌باشد. سپس  $ET_0$  دوره پایه با روش FAO56-PM نیز به‌دست آمد. پس از آن‌که  $ET_0$  روزانه با دو روش PT و FAO56-PM برای دوره پایه محاسبه شد،  $ET_0$  به‌دست آمده با روش PT با توجه به خروجی روش استاندارد FAO56-PM (به‌عنوان پنج مارک) در هر ایستگاه با مدل مناسب واسنجی گردید. برای به‌دست آوردن  $ET_0$  دوره آبی با روش FAO56-PM که مجهول است، با در دست داشتن مقادیر  $ET_0$  دوره آبی با روش PT و با استفاده از مدل منتخب، مقادیر  $ET_0$  به روش FAO56-PM برای دوره آبی در هر ایستگاه تخمین زده شد. بنابراین، با وجود در دسترس نبودن داده‌های رطوبت نسبی و سرعت باد در دوره آبی (که لازمه استفاده از روش FAO56-PM وجود این داده‌ها است)، با عملیات واسنجی مقادیر  $ET_0$  دوره آبی نیز محاسبه شد. در بسیاری از مطالعات صورت گرفته در گذشته معمولاً از روش کلاسیک حداقل مربعات و تخصیص یک



شکل ۱. منطقه مورد مطالعه و ایستگاه‌های منتخب به همراه مدل رقمی ارتفاعی<sup>۱</sup> حوضه آبریز قزل اوزن

<sup>۱</sup> Digital Elevation Model (DEM)

هواشناسی از روی این منحنی‌ها قابل تخمین است (فرج زاده، ۱۳۹۱). شدت خشکی سطح محصور بین دو منحنی دما و بارش (در طول دوره خشکی) است (کوچکی و همکاران، ۱۳۹۴). در این پژوهش، مقادیر طول دوره خشکی و شدت خشکی هر ایستگاه از روی منحنی آمبروترمیک آن به دست آمد. از معادله (۱) برای استانداردسازی داده‌های شدت خشکی در هر ایستگاه استفاده گردید. استانداردسازی باعث می‌شود که داده‌ها به ابعادشان بستگی نداشته باشند و در واقع بی‌مقیاس شوند. به این منظور، اختلاف هر داده با کمینه مقدار موجود محاسبه و حاصل بر دامنه تغییرات داده‌ها به شرح زیر تقسیم شد.

$$i = \frac{x - x_{\min}}{\text{range}(x)} \quad (1)$$

$$\text{range} = x_{\max} - x_{\min} \quad (2)$$

که در آن  $i$  مقدار داده استاندارد شده شدت خشکی (بی بعد) و  $x$  شدت خشکی می‌باشد. در نهایت، با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS 10.4.1 و با استفاده از روش‌های زمین‌آمار شامل روش وزن‌دهی معکوس فاصله (IDW) کریجینگ و کوکریجینگ نقشه‌های پهنه‌بندی هریک از پارامترهای اقلیمی مورد استفاده برای حوضه آبریز قزل‌اوزن رسم شدند. استفاده از روش‌های کریجینگ و کوکریجینگ منوط به نرمال بودن توزیع مکانی داده‌ها است. به همین منظور، از چهار روش شاپیرو-ویلک، اندرسون-دارلینگ، لیلیفورس و جارک-برا (در سطح ۵ درصد) استفاده شد. پس از حصول اطمینان از نرمال بودن توزیع مکانی داده‌ها، همبستگی بین پارامترهای مورد استفاده (هم برای دوره پایه و هم برای دوره آتی) با روش پیرسون محاسبه گردید و پارامترهایی که با پارامتر مورد نظر همبستگی داشتند، به‌عنوان پارامترهای کمکی (برای افزایش دقت مدل در روش کوکریجینگ)، مورد استفاده قرار گرفتند. همچنین از نقشه DEM حوضه نیز به‌عنوان پارامتر کمکی بهره گرفته شد. در روش‌های کریجینگ و

پس از مراحل فوق، در هر ایستگاه، شاخص کمبود بارش<sup>۱</sup> (PD) به‌صورت، مقدار بارش روزانه منهای  $ET_0$  روزانه همان ایستگاه تعریف و مقدار آن به‌دست آمد. در واقع، این شاخص شدت تنش خشکی وارده به گیاهان را نمایان می‌کند. در این پژوهش، با توجه به شرایط اقلیمی منطقه و بررسی‌های کارشناسی، طول فصل رشد فاصله زمانی بین آغاز رشد و خاتمه رشد تعریف شد. عنوان آغاز فصل رشد، اولین روزی است که در آن میانگین دمای کمینه شش روز متوالی مساوی یا بیش از ۵ درجه سلسیوس ( $T_{\min} \geq 5^\circ\text{C}$ ) باشد. بطور مشابه، پایان فصل رشد، اولین روزی که در آن میانگین دمای کمینه هوا در شش روز متوالی کمتر از ۵ درجه سلسیوس ( $T_{\min} < 5^\circ\text{C}$ ) باشد، در نظر گرفته شد. این تعریف در دیگر مطالعات توسط محققان کشورمان (مظفری و ترکی ۱۳۸۹، خیراندیش و همکاران ۱۳۹۲، مظفری و دهقان ۱۳۹۲ و مسعودیان و دارند ۱۳۹۳) نیز استفاده شده است.

در مطالعه فعلی، منحنی‌های آمبروترمیک<sup>۲</sup> ایستگاه‌ها با توجه به داده‌های بارش و دما رسم شد. این منحنی‌ها توسط والتر و گوسن ابداع شده (Mardfar et al., 2013) و برای نمایش تغییرات دمای هوا و تغییرات بارندگی در طول سال برای یک ایستگاه (یا منطقه) مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این نمودار، مقیاس انتخابی به‌گونه‌ای انتخاب می‌شود که عدد مربوط به تقسیمات بارندگی (mm) دو برابر مقدار نظیر یعنی درجه حرارت هوا ( $^\circ\text{C}$ ) باشد. با انتخاب این مقیاس امکان مشخص کردن طول دوره خشکی، موقعی که دما در بالای منحنی بارش قرار دارد، میسر می‌شود (Hemayati, 2009) و بابایی و نجف‌پور (۱۳۹۳). این روش از آن جهت مهم است که دو نمودار، در یک دیاگرام رسم می‌شود. نمودار آمبروترمیک برای شناخت طول دوره خشکی، تاریخ آغاز و پایان دوره خشکی کاربرد دارد. ضمناً شدت خشکی در هر ایستگاه

<sup>1</sup> Precipitation Deficit (PD)

<sup>2</sup> Ombrothermic Diagram

بود و انطباق‌پذیری منطقی با شرایط اقلیمی و توپوگرافی حوضه داشت، برای رسم نقشه نهایی انتخاب گردید و از آن برای تحلیل مکانی تغییرات صورت گرفته در دوره آبی و مقایسه آن با دوره پایه استفاده شد.

کوکرینجینگ از روش‌های زمین‌آماری ساده، معمولی، عام و گسسته استفاده شد. با اعمال روش اعتبارسنجی متقابل، معیارهای ارزیابی خطا شامل MAPE، NRMSE و  $R^2$  محاسبه شدند. سپس بهترین مدلی که کمترین خطا را دارا

جدول ۱. روابط و مشخصات معیارهای ارزیابی خطا در مطالعه حاضر

| معیار ارزیابی خطا   | مرجع                        | واحد                     | بازه     | بهترین عملکرد |
|---|-----------------------------|--------------------------|----------|---------------|
| $RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (F_t - A_t)^2}$  | Kira <i>et al.</i> , (2017) | هم واحد با $F_t$ و $A_t$ | ۰ تا +∞  | صفر           |
| $NRMSE = \frac{RMSE}{\text{range}(A_t)} \times 100$   |                             |                          | ۰ تا ۱۰۰ | صفر           |
| $MAPE = \left( \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left  \frac{F_t - A_t}{A_t} \right  \right) \times 100$  | Taki <i>et al.</i> , (2016) | درصد                     | ۰ تا ۱۰۰ | صفر           |
| $NSE = 1 - \frac{\sum_{t=1}^n (F_t - A_t)^2}{\sum_{t=1}^n (A_t - \bar{A}_t)^2}$   | Ku <i>et al.</i> , (2019)   | بی‌بعد                   | -∞ تا ۱  | یک            |
| $R^2 = \frac{((F_t - \bar{F}_t) \times (A_t - \bar{A}_t))^2}{\sum_{t=1}^n (F_t - \bar{F}_t)^2 \times \sum_{t=1}^n (A_t - \bar{A}_t)^2}$ | Fan <i>et al.</i> , (2019)  | بی‌بعد                   | ۰ تا ۱   | یک            |

جدول ۲. ارزش‌گذاری مقادیر NRMSE (Ku *et al.*, 2019)

| مدل‌سازی      | NRMSE            |
|---------------|------------------|
| عالی          | کمتر از ۱۰ درصد  |
| خوب           | ۱۰ تا ۲۰ درصد    |
| متوسط         | ۲۰ تا ۳۰ درصد    |
| غیر قابل قبول | بیشتر از ۳۰ درصد |

## نتایج و بحث

Formulize در دو ایستگاه به‌عنوان مدل منتخب انتخاب شدند. همچنین مدل ANFIS نیز در ایستگاه زنجان عملکرد مناسبی داشت و به‌عنوان مدل منتخب این ایستگاه انتخاب شد. روش حداقل مربعات نیز در هیچ یک از ایستگاه‌ها حائز شرایط مدل منتخب نبود. عملکرد مدل Eureqa Formulize با توجه به معیار MAPE در همه ایستگاه‌ها (بجز ایستگاه خلخال) خوب بود. عملکرد مدل SVM نیز با توجه به معیارهای NRMSE و NSE رضایت‌بخش بود. شکل ۲ و شکل ۳ نمودار پراکنش مقادیر  $ET_0$  را در ایستگاه‌های مورد مطالعه، به‌ترتیب قبل و بعد از واسنجی مدل‌ها نشان می‌دهند. در هر شش ایستگاه (قبل از واسنجی) روش PT مقادیر  $ET_0$  روزانه را

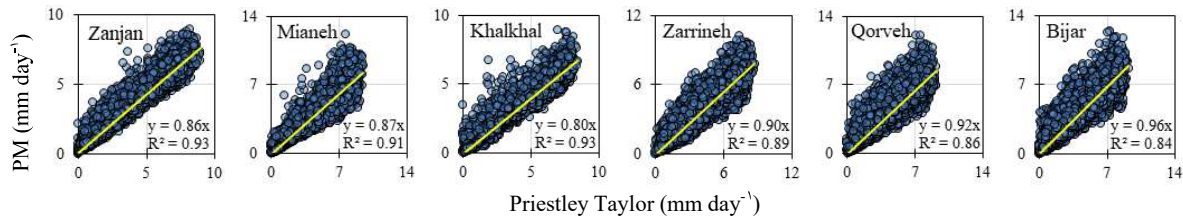
جدول ۳ معیارهای ارزیابی عملکرد مدل‌های استفاده شده برای واسنجی  $ET_0$  را نشان می‌دهد. این مقادیر با استفاده از ۳۰ درصد کل داده‌های دوره پایه (دوره تست مدل) حاصل شده است. مقادیر انحراف معیار، دامنه و میانگین داده‌های هر ایستگاه در دوره پایه نیز در این جدول قرار داده شده است. به‌طوری که از این جدول می‌توان استنباط نمود، گرچه مدل ANN عملکرد قابل قبولی در واسنجی  $ET_0$  ایستگاه‌های منتخب نشان نداده است، دو مدل SVM و Eureqa Formulize بهترین عملکرد را داشتند به‌طوری که SVM در سه و Eureqa

بیشتر از مقدار واقعی نشان می‌دهد (شکل ۲). همان‌طور که از شکل ۳ می‌توان مشاهده کرد، پس از واسنجی مدل PT با روش‌های هوشمند پراکنش نقاط هرچه بیشتر به خط ۱:۱ نزدیک شده‌اند.

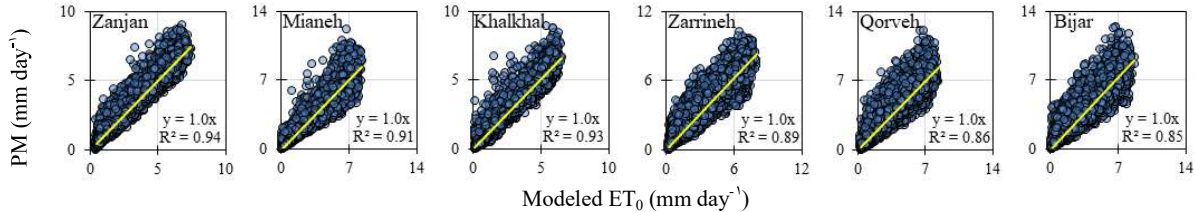
جدول ۳. معیارهای ارزیابی خطای مدل‌های مختلف در واسنجی ET<sub>0</sub> ایستگاه‌های منتخب در حوضه قزل اوزن

| مدل منتخب | میانگین | دامنه | انحراف معیار | Eureqa  | ANN     | ANFIS   | SVM     | حداقل مربعات | زنجان          |
|-----------|---------|-------|--------------|---------|---------|---------|---------|--------------|----------------|
| ANFIS     | ۳/۲     | ۸/۴   | ۲/۰          | ۰/۹۴۹۷  | ۰/۹۴۱۱  | ۰/۹۵۰۲  | ۰/۹۴۹۸  | ۰/۹۴۹۸       | R <sup>۲</sup> |
|           |         |       |              | ۰/۰۵۵۲  | ۰/۱۵۲۳  | ۰/۰۵۴۷  | ۰/۰۵۵۶  | ۰/۰۵۹۴       | NRMSE          |
|           |         |       |              | ۰/۹۴۶۸  | ۰/۵۹۴۹  | ۰/۹۴۷۸  | ۰/۹۴۶۰  | ۰/۹۳۸۴       | NSE            |
|           |         |       |              | ۱۳/۶۵۴۷ | ۳۷/۸۲۸۱ | ۱۵/۰۹۸۳ | ۱۵/۳۴۵۶ | ۱۴/۵۸۴۵      | MAPE           |
| SVM       | ۳/۴     | ۱۲/۰  | ۲/۵          | ۰/۹۱۹۹  | ۰/۹۱۴۵  | ۰/۹۲۱۱  | ۰/۹۲۱۵  | ۰/۹۲۱۵       | R <sup>۲</sup> |
|           |         |       |              | ۰/۰۵۹۸  | ۰/۱۰۳۲  | ۰/۰۸۷۹  | ۰/۰۵۸۴  | ۰/۰۵۸۴       | NRMSE          |
|           |         |       |              | ۰/۹۱۷۷  | ۰/۷۵۴۵  | ۰/۸۲۲۱  | ۰/۹۲۱۴  | ۰/۹۲۱۳       | NSE            |
|           |         |       |              | ۱۴/۳۲۹۲ | ۳۱/۹۹۰۲ | ۲۰/۱۶۵۰ | ۱۶/۲۸۸۰ | ۱۷/۵۵۳۵      | MAPE           |
| SVM       | ۲/۹     | ۸/۷   | ۱/۹          | ۰/۹۳۵۴  | ۰/۹۲۶۴  | ۰/۹۳۵۳  | ۰/۹۳۵۳  | ۰/۹۳۵۳       | R <sup>۲</sup> |
|           |         |       |              | ۰/۰۶۶۰  | ۰/۱۳۶۲  | ۰/۰۶۶۲  | ۰/۰۶۰۶  | ۰/۰۶۱۲       | NRMSE          |
|           |         |       |              | ۰/۹۱۲۵  | ۰/۶۲۸۲  | ۰/۹۱۲۲  | ۰/۹۲۶۲  | ۰/۹۲۴۸       | NSE            |
|           |         |       |              | ۱۴/۴۶۸۴ | ۳۴/۸۳۸۱ | ۱۶/۸۳۲۳ | ۱۴/۶۶۲۱ | ۱۳/۹۵۶۸      | MAPE           |
| Eureqa    | ۳/۳     | ۹/۷   | ۲/۳          | ۰/۹۰۸۲  | ۰/۹۰۱۵  | ۰/۹۰۷۶  | ۰/۹۰۷۸  | ۰/۹۰۷۸       | R <sup>۲</sup> |
|           |         |       |              | ۰/۰۷۶۵  | ۰/۱۱۰۰  | ۰/۱۰۰۲  | ۰/۰۷۳۴  | ۰/۰۷۳۴       | NRMSE          |
|           |         |       |              | ۰/۸۹۸۵  | ۰/۷۹۰۲  | ۰/۸۲۶۰  | ۰/۹۰۶۴  | ۰/۹۰۶۴       | NSE            |
|           |         |       |              | ۱۸/۷۱۲۲ | ۳۰/۴۸۱۸ | ۲۱/۱۵۷۲ | ۲۱/۵۱۹۷ | ۲۱/۸۱۲۳      | MAPE           |
| SVM       | ۳/۸     | ۹/۴   | ۲/۳          | ۰/۹۱۳۶  | ۰/۹۰۴۱  | ۰/۹۱۳۹  | ۰/۹۱۲۳  | ۰/۹۱۲۳       | R <sup>۲</sup> |
|           |         |       |              | ۰/۰۷۵۵  | ۰/۱۳۱۹  | ۰/۱۱۲۸  | ۰/۰۷۳۲  | ۰/۰۷۶۲       | NRMSE          |
|           |         |       |              | ۰/۹۰۴۹  | ۰/۷۰۹۷  | ۰/۷۸۷۶  | ۰/۹۱۰۵  | ۰/۹۰۳۰       | NSE            |
|           |         |       |              | ۱۷/۰۷۷۹ | ۳۲/۳۹۵۰ | ۲۳/۵۹۸۹ | ۲۰/۷۱۹۷ | ۱۷/۲۷۷۳      | MAPE           |
| Eureqa    | ۳/۹     | ۱۱/۷  | ۲/۵          | ۰/۸۵۵۳  | ۰/۸۴۱۱  | ۰/۸۵۴۲  | ۰/۸۵۲۰  | ۰/۸۵۲۰       | R <sup>۲</sup> |
|           |         |       |              | ۰/۰۸۳۳  | ۰/۱۱۱۸  | ۰/۱۲۶۴  | ۰/۰۸۱۵  | ۰/۰۸۳۶       | NRMSE          |
|           |         |       |              | ۰/۸۴۴۷  | ۰/۷۲۰۰  | ۰/۶۴۲۴  | ۰/۸۵۱۴  | ۰/۸۴۳۵       | NSE            |
|           |         |       |              | ۲۱/۵۰۲۱ | ۳۳/۸۲۴۲ | ۲۶/۰۳۶۶ | ۲۶/۲۹۴۳ | ۲۲/۴۳۸۹      | MAPE           |

توجه: اعداد برجسته نشان دهنده بهترین عملکرد در هر ایستگاه هستند. به غیر از R<sup>2</sup> که بی‌بعد است، مقادیر بقیه معیارها به (میلی‌متر بر روز) می‌باشد.



شکل ۲. نمودار پراکنش نقاط محاسباتی  $ET_0$  مدل‌های PT و FAO56-PM در ایستگاه‌های مورد مطالعه (قبل از واسنجی)



شکل ۳. نمودار پراکنش نقاط محاسباتی  $ET_0$  با معادله FAO56-PM و مقادیر تخمین زده شده با مدل‌های منتخب در ایستگاه‌های مورد مطالعه (پس از واسنجی)

نیز مربوط به خلخال با (۱۴۴ روز) می‌باشد. برای دوره آبی نیز مانند دوره پایه بالاترین و پایین‌ترین تعداد روزهای فصل رشد به ترتیب مربوط به میانه و خلخال بود. همچنین بیشترین افزایش طول فصل رشد در ایستگاه زرینه (براساس سناریوی RCP8.5) با ۳۵ روز و کمترین آن در ایستگاه قروه (طبق سناریوی RCP4.5) با ۱۵ روز به دست آمد. افزایش بیشتر طول فصل رشد تحت سناریوی RCP8.5 متأثر از افزایش دمای بیشتر این سناریوی نسبت به سناریوی RCP4.5 می‌باشد. به طور میانگین، ۱/۵ روز از انتهای فصل رشد بیشتر از ابتدای آن افزایش مشاهده می‌شود. به غیر از ایستگاه زرینه که ۵ الی ۶ روز انتهای فصل رشد بیشتر از ابتدای آن افزایش نشان می‌دهد، در سایر ایستگاه‌ها تفاوت محسوسی بین اختلاف تعداد روزهای افزوده شده در اول و آخر فصل رشد، مشاهده نمی‌شود. در حالت کلی می‌توان گفت افزایش طول فصل رشد از اول و آخر فصل تقریباً به طور مساوی خواهد بود.

در شکل ۶ طول دوره خشکی ایستگاه‌ها، و درصد افزایش شدت خشکی با هر سناریو نسبت به دوره پایه قابل مشاهده است. همان‌طور که از این شکل مشاهده می‌شود، برخلاف طول فصل رشد که در آینده به طور قابل

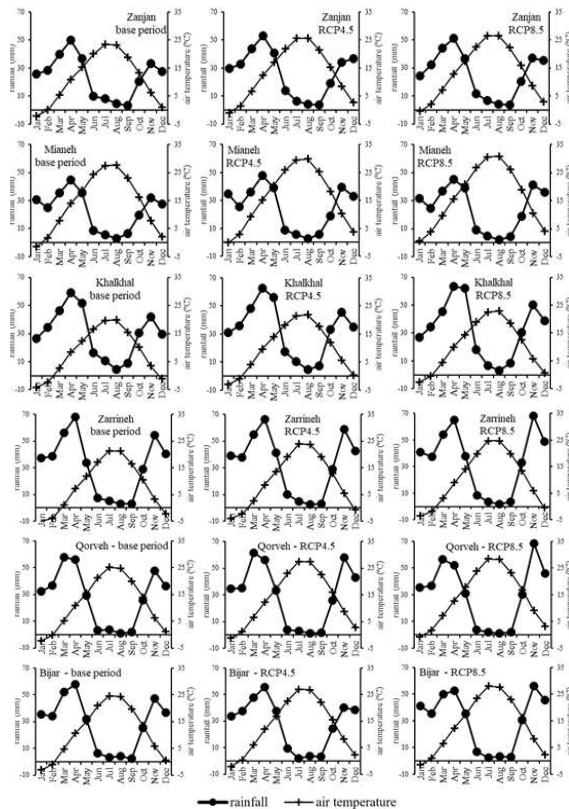
طول دوره خشکی و شدت خشکی از روی نمودار آمبروترمیک هر ایستگاه در دوره پایه و دوره آبی به دست آمد. شکل ۴ منحنی آمبروترمیک ایستگاه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد. در جدول ۴ زمان دقیق شروع و پایان فصل رشد و دوره خشکی ایستگاه‌های مورد مطالعه و شدت خشکی آن درج شده است. شکل ۵ طول فصل رشد محاسبه شده را برای یکایک ایستگاه‌های مورد مطالعه در دوره پایه و دوره آبی نشان می‌دهد. در قسمت B این نمودار، افزایش طول فصل رشد، نسبت به دوره پایه، طبق هر دو سناریوی RCP8.5 و RCP4.5 با استفاده از نمودار عنکبوتی<sup>۱</sup> نمایش داده شده است. نتایج از به جلوتر افتادن آغاز فصل رشد و به تعویق افتادن پایان فصل رشد در همه ایستگاه‌ها حکایت دارد. به طور متوسط، طبق سناریوی RCP4.5، حدود ۲۲ روز و طبق سناریوی RCP8.5، ۲۶ روز به طول فصل رشد افزوده خواهد شد. بالاترین تعداد روزهای فصل رشد در دوره پایه مربوط به ایستگاه میانه (۲۱۱ روز) و پایین‌ترین آن

<sup>۱</sup> Radar chart

نمودار عنکبوتی یا تار عنکبوتی با نام‌های نمودار راداری، ستاره‌ای، قطبی و نمودار وب یا کیویات نیز شناخته می‌شود.

در دوره آتی، تأخیر زمانی شروع دوره خشکی نسبت به فصل رشد (به‌طور متوسط در هر شش ایستگاه) از ۲۶ روز در دوره پایه به ۳۷ روز افزایش می‌یابد. همچنین تاریخ اتمام دوره خشکی که در دوره پایه یک هفته قبل از پایان فصل رشد بود، در دوره آتی یک هفته زودتر از قبل روی خواهد داد. به عبارت بهتر، در دوره آتی دو هفته مانده به پایان فصل رشد دوره خشکی به اتمام خواهد رسید. بیشترین تأخیر زمانی شروع دوره خشکی نسبت به فصل رشد مربوط به ایستگاه میانه، ۴۶ روز و کمترین آن مربوط به زرینه با ۲۳ روز تأخیر است. همچنین در بیجار و قروه نیز (طبق سناریوی RCP8.5) ۲۵ الی ۲۶ روز قبل از پایان فصل رشد دوره خشکی به اتمام می‌رسد. علی‌رغم این که تغییرات طول دوره خشکی در آینده محسوس نخواهد بود، شدت خشکی در دوره آتی افزایش قابل توجهی خواهد یافت. در ادامه نتایج آن با توجه به شکل ۱۰ بیشتر شرح داده شده است.

توجهی افزایش خواهد یافت، طول دوره خشکی تفاوت محسوسی نخواهد داشت. با این وجود شدت خشکی در همه ایستگاه‌ها افزایش خواهد یافت. نتایج نشان می‌دهد، (به‌طور متوسط در هر شش ایستگاه) در دوره پایه دوره خشکی با تأخیر زمانی ۲۶ روزه نسبت به فصل رشد آغاز می‌شود و تا حدود یک هفته مانده به پایان فصل رشد ادامه دارد. بیشترین تأخیر زمانی شروع دوره خشکی نسبت به فصل رشد مربوط به میانه با ۳۶ روز و کمترین آن مربوط به زرینه با ۹ روز است. همچنین در قروه، بیجار و میانه نیز به ترتیب، ۱۶، ۱۵ و ۶ روز قبل از پایان فصل رشد، دوره خشکی به اتمام می‌رسد. در بقیه ایستگاه‌ها ۱ الی ۶ روز پس از پایان فصل رشد، دوره خشکی خاتمه می‌یابد. دوره خشکی نیز همانند فصل خشک در ایستگاه میانه بیشترین تعداد روز و در ایستگاه خلخال کمترین تعداد روز را دارا است.



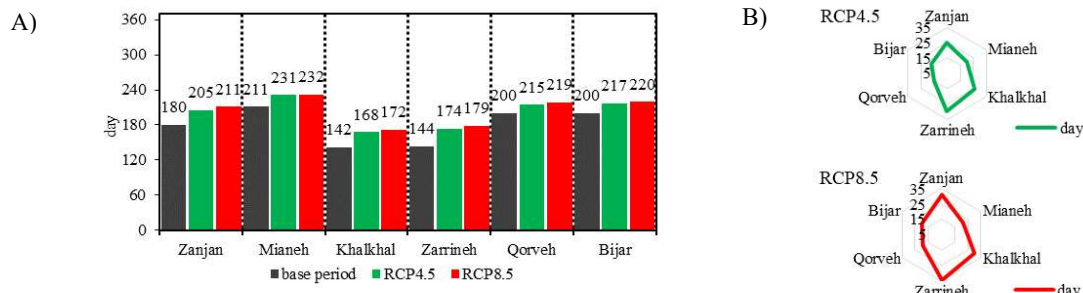
شکل ۴. منحنی‌های آمپروترمیک ایستگاه‌های مورد مطالعه

جدول ۴. زمان شروع و پایان فصل رشد و دوره خشکی

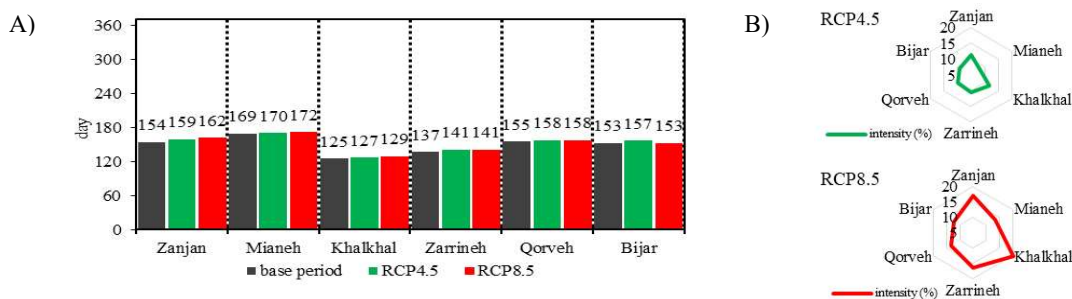
| ایستگاه | زمان      | شروع فصل رشد |                      |     | خاتمه فصل رشد |          |     | شروع دوره خشکی |         |     | خاتمه دوره خشکی |          |          |      |
|---------|-----------|--------------|----------------------|-----|---------------|----------|-----|----------------|---------|-----|-----------------|----------|----------|------|
|         |           | روز          | ماه                  | روز | روز           | ماه      | روز | روز            | ماه     | روز | روز             | ماه      | شدت خشکی |      |
| زنجان   | دوره پایه | ۲۶           | Apr (۴) <sup>۱</sup> | ۱۱۶ | ۲۲            | Oct (۱۰) | ۲۹۵ | ۲۳             | May (۵) | ۱۴۳ | ۲۳              | Oct (۱۰) | ۲۹۶      | ۰/۴۲ |
|         | RCP4.5    | ۱۴           | Apr (۴)              | ۱۰۴ | ۴             | Nov (۱۱) | ۳۰۸ | ۲۳             | May (۵) | ۱۴۳ | ۲۳              | Nov (۱۱) | ۳۰۱      | ۰/۵۷ |
|         | RCP8.5    | ۱۲           | Apr (۴)              | ۱۰۲ | ۸             | Nov (۱۱) | ۳۱۲ | ۱۹             | May (۵) | ۱۳۹ | ۱۹              | Oct (۱۰) | ۳۰۰      | ۰/۶۴ |
| میانه   | دوره پایه | ۹            | Apr (۴)              | ۹۹  | ۵             | Nov (۱۱) | ۳۰۹ | ۱۵             | May (۵) | ۱۳۵ | ۱۵              | Oct (۱۰) | ۳۰۳      | ۰/۷۷ |
|         | RCP4.5    | ۳۰           | Mar (۳)              | ۸۹  | ۱۵            | Nov (۱۱) | ۳۱۹ | ۱۵             | May (۵) | ۱۳۵ | ۱۵              | Oct (۱۰) | ۳۰۴      | ۰/۹۱ |
|         | RCP8.5    | ۲۹           | Mar (۳)              | ۸۸  | ۱۵            | Nov (۱۱) | ۳۱۹ | ۱۳             | May (۵) | ۱۳۳ | ۱۳              | Oct (۱۰) | ۳۰۴      | ۱/۰۰ |
| خلخال   | دوره پایه | ۱۳           | May (۵)              | ۱۳۳ | ۱             | Oct (۱۰) | ۲۷۴ | ۵              | Jun (۶) | ۱۵۶ | ۵               | Oct (۱۰) | ۲۸۰      | ۰/۰۰ |
|         | RCP4.5    | ۱            | May (۵)              | ۱۲۱ | ۱۵            | Oct (۱۰) | ۲۸۸ | ۵              | Jun (۶) | ۱۵۶ | ۵               | Oct (۱۰) | ۲۸۲      | ۰/۱۱ |
|         | RCP8.5    | ۲۸           | Apr (۴)              | ۱۱۸ | ۱۶            | Oct (۱۰) | ۲۸۹ | ۶              | Jun (۶) | ۱۵۷ | ۶               | Oct (۱۰) | ۲۸۵      | ۰/۱۹ |
| زرینه   | دوره پایه | ۱۷           | May (۵)              | ۱۳۷ | ۷             | Oct (۱۰) | ۲۸۰ | ۲۶             | May (۵) | ۱۴۶ | ۲۶              | Oct (۱۰) | ۲۸۲      | ۰/۲۵ |
|         | RCP4.5    | ۵            | May (۵)              | ۱۲۵ | ۲۵            | Oct (۱۰) | ۲۹۸ | ۲۷             | May (۵) | ۱۴۷ | ۲۷              | Oct (۱۰) | ۲۸۷      | ۰/۳۸ |
|         | RCP8.5    | ۲            | May (۵)              | ۱۲۲ | ۲۷            | Oct (۱۰) | ۳۰۰ | ۲۵             | May (۵) | ۱۴۵ | ۲۵              | Oct (۱۰) | ۲۸۵      | ۰/۴۴ |
| قروه    | دوره پایه | ۱۸           | Apr (۴)              | ۱۰۸ | ۳             | Nov (۱۱) | ۳۰۷ | ۱۷             | May (۵) | ۱۳۷ | ۱۷              | Oct (۱۰) | ۲۹۱      | ۰/۶۱ |
|         | RCP4.5    | ۱۰           | Apr (۴)              | ۱۰۰ | ۱۰            | Nov (۱۱) | ۳۱۴ | ۱۶             | May (۵) | ۱۳۶ | ۱۶              | Oct (۱۰) | ۲۹۳      | ۰/۷۶ |
|         | RCP8.5    | ۸            | Apr (۴)              | ۹۸  | ۱۲            | Nov (۱۱) | ۳۱۶ | ۱۴             | May (۵) | ۱۳۴ | ۱۴              | Oct (۱۰) | ۲۹۱      | ۰/۸۲ |
| بیجار   | دوره پایه | ۱۷           | Apr (۴)              | ۱۰۷ | ۲             | Nov (۱۱) | ۳۰۶ | ۲۰             | May (۵) | ۱۳۹ | ۱۹              | Oct (۱۰) | ۲۹۱      | ۰/۵۳ |
|         | RCP4.5    | ۹            | Apr (۴)              | ۹۹  | ۱۱            | Nov (۱۱) | ۳۱۵ | ۲۰             | May (۵) | ۱۴۰ | ۲۰              | Oct (۱۰) | ۲۹۶      | ۰/۶۶ |
|         | RCP8.5    | ۷            | Apr (۴)              | ۹۷  | ۱۲            | Nov (۱۱) | ۳۱۶ | ۱۷             | May (۵) | ۱۳۸ | ۱۷              | Oct (۱۰) | ۲۹۰      | ۰/۷۰ |

۱. شماره هر ماه در داخل پرانتز آورده شده است. اولین ماه (ژانویه) شماره ۱ و آخرین ماه (دسامبر) شماره ۱۲ را دارد.

۲. روز ژولایوسی عدد صحیحی است که نشانگر تعداد روزهای گذرانده شده از اول سال (۱ ژانویه) است. این عدد بین ۱ تا ۳۶۵ می‌باشد.



شکل ۵. (A) طول فصل رشد در ایستگاه‌های مورد مطالعه و (B) افزایش طول فصل رشد نسبت به دوره پایه



شکل ۶. A) طول دوره خشکی در ایستگاه‌های مورد مطالعه و B) درصد افزایش شدت خشکی نسبت به دوره پایه

دقت مدل بهبود پیدا می‌کند. در مورد پهنه‌بندی سایر متغیرها نیز این موضوع صحت داشت؛ بنابراین با روش سعی و خطا پارامترهایی که همبستگی بالایی داشتند به مدل معرفی شدند، مدلی که کمترین خطا را داشت انتخاب شد. همچنین در روش‌های کریجینگ و کوکریجینگ از روش‌های ساده، معمولی، عام و گسسته استفاده شد. روشی که خطای کمتر و انطباق پذیری بیشتری با شرایط اقلیمی و توپوگرافی حوضه داشت انتخاب گردید. در روش کریجینگ تفاوت معنی‌داری در بین روش‌های زمین آمار ساده، معمولی، عام و گسسته وجود نداشت در حالی که نتایج روش‌های مذکور برای کوکریجینگ متفاوت بود، به طوری که فقط روش‌های عام و گسسته نتایجی قابل قبولی داشتند.

مشاهده می‌شود که میانگین NRMSE دمای هوا حدود ۰/۴ درصد است در حالی که این مقدار برای بارش حدود ۱۶/۵ درصد می‌باشد (۴۰ برابر). با توجه به این‌که پیش‌یابی بارش برای دهه‌های آتی از عدم قطعیت بالاتری نسبت به دمای هوا برخوردار است، به نظر می‌رسد تحلیل مکانی آن نیز عدم قطعیت بیشتری نسبت به دمای هوا دارد. Chen و همکاران (۲۰۱۳) به پیش‌یابی بارش و دمای هوا در سودان جنوبی پرداختند، به این نتیجه رسیدند پیش‌یابی بارش نتایج متناقضی را داده است که مبین عدم قطعیت بالای مدل‌های GCM در پیش‌یابی بارش نسبت به دمای هوا است. Baule و همکاران (۲۰۱۷) نتیجه گرفتند پیش‌یابی بارش فصل رشد با سه

برای تحلیل تغییرات مکانی شاخص‌های آبریز حوضه، نقشه‌های پهنه‌بندی آن با نرم‌افزار ArcGIS ترسیم شد. متأسفانه در بعضی مقالات بازه‌های تغییرات هر متغیر یکسان در نظر گرفته نمی‌شود که این موضوع تحلیل تغییرات صورت گرفته را مشکل می‌کند. در این پژوهش، برای بهتر مشخص شدن تغییرات در دوره آبی و تغییرات بین سناریوها، بازه‌ها به صورت یکسان اعمال شد. در جدول ۵ مقادیر p-value آزمون‌های نرمال بودن توزیع مکانی داده‌ها قابل مشاهده است. نتایج این جدول نشان می‌دهد توزیع مکانی تمام پارامترهای مورد استفاده هم در دوره پایه و هم در دوره آبی از توزیع نرمال تبعیت می‌کنند؛ بنابراین، می‌توان از روش‌های کریجینگ و کوکریجینگ بهره برد. برای انتخاب پارامتر کمکی در روش کوکریجینگ از جدول ۶ استفاده شد. در این جدول مقادیر همبستگی پیرسون پارامترهای مورد مطالعه قابل مشاهده است. شکل ۷ همبستگی بین پارامترها را با نگاشت رنگی نشان می‌دهد. با استفاده از این جدول، پارامترهایی که همبستگی بیشتری نسبت به سایر پارامترها داشتند به عنوان پارامتر کمکی به مدل داده شدند. نتایج حاکی از آن بود که لزوماً پارامترهایی که بیشترین همبستگی را داشتند بهترین نتیجه را نمی‌دادند. به عنوان مثال برای ET0 طول فصل رشد و شدت خشکی از همبستگی بالاتری نسبت به دمای کمینه برخوردار بودند، با این وجود افزودن دمای کمینه به عنوان پارامتر کمکی به جای طول فصل رشد و شدت خشکی نشان داد

مدل ترکیبی اصلاح شده GCM نتایج متفاوتی را داده است. Asmat Ullah و همکاران (۲۰۱۸) نیز بیان داشتند الگوهای بارش (به دست آمده از مدل‌های GCM) برای دهه‌های آتی متغیر است. با این اوصاف می‌توان گفت نه تنها در پیش‌بینی زمانی بارش برای دوره‌های آتی عدم قطعیت بیشتری نسبت به دمای هوا وجود دارد، بلکه تحلیل تغییرات مکانی آن نیز عدم قطعیت بیشتری نسبت به دمای هوا دارد؛ بنابراین تحلیل زمانی و مکانی بارش از عدم قطعیت بیشتری نسبت به دمای هوا برخوردار است.

در روش کوکریجینگ نهایتاً می‌توان از سه پارامتر کمکی استفاده کرد. افزون بر پارامترهایی که انتخاب شدند، نقشه DEM حوضه نیز به عنوان پارامتر کمکی به مدل معرفی شد. نتایج نشان داد معرفی DEM به مدل دقت آن را بهبود می‌بخشد. افزون بر این، استفاده از DEM برای پهنه‌بندی، نتایج را بسیار معقول‌تر از سایر روش‌ها می‌کند. برای بهتر تبیین شدن موضوع باید به منطقه طارم اشاره کرد. با توجه به شکل ۱ منطقه طارم در شمال شرق حوضه، دره‌ای در امتداد رودخانه قزل اوزن تا منتهی‌الیه سد سفیدرود است که ارتفاع این دره در پست‌ترین نقاط آن به ۳۰۰ متر نیز می‌رسد. طبق آمار سازمان هواشناسی کشور، میانگین دمای ایستگاه همدید آب‌بر مرکز شهرستان طارم از بدو تأسیس این ایستگاه در سال ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۶ حدود ۵/۵°C از ایستگاه مجاور خود زنجان (در همان بازه زمانی) بیشتر است. پس باید در نقشه پهنه‌بندی دمای هوا بین این منطقه با مناطق و ارتفاعات مجاور خود تفاوت دمایی وجود داشته باشد.

شکل ۸ پهنه‌بندی دمای هوای دوره پایه با سه روش IDW، کریجینگ و کوکریجینگ (بدون استفاده از DEM) را نشان می‌دهد. در روش کوکریجینگ به جای استفاده از DEM از دوره خشکی که همبستگی بالایی با میانگین دمای هوا داشت استفاده شد تا تفاوت بین نقشه‌ای که از DEM حوضه استفاده شده با نقشه‌ای که از آن استفاده نشده نمایان شود. همان‌طور از این شکل مشاهده می‌شود

هیچ یک از روش‌ها قابلیت نشان دادن تفاوت دمایی منطقه طارم با نواحی اطراف خود نبودند. حتی روش کوکریجینگ علی‌رغم داشتن NRMSE عالی (زیر ده درصد) نتوانسته این تفاوت را نشان دهد. با توجه به این‌که متغیرهای اقلیمی تحت تأثیر توپوگرافی منطقه می‌باشند، نمی‌توان بدون در نظر گرفتن توپوگرافی اقدام به مدل‌سازی تغییرات مکانی شاخص‌های اقلیمی کرد. حتی در صورت قابل قبول بودن معیارهای ارزیابی خطا نظیر NRMSE (که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفته)، نمی‌توان به نتایج اعتماد کرد. نکته مهم این است نتایج به دست آمده حتماً باید از لحاظ منطقی نیز بررسی و تجزیه و تحلیل شود. فلذا محقق علاوه بر انتخاب بهترین مدل از نظر داشتن کمترین خطا، منطقی بودن نتایج را نیز باید بررسی کند؛ بنابراین محقق خود باید به توپوگرافی منطقه‌ای که مطالعه می‌کند تسلط داشته باشد تا بتواند نتیجه درست را تشخیص دهد. شکل ۹ و شکل ۱۰ نقشه‌های پهنه‌بندی شاخص‌های اقلیمی حوضه آبریز قزل اوزن را نشان می‌دهند. در تمام این نقشه‌ها در روش کوکریجینگ از DEM حوضه به عنوان پارامتر کمکی استفاده شده است. بررسی‌ها نشان داد، استفاده از DEM به عنوان پارامتر کمکی در روش کوکریجینگ، نه تنها باعث بهبود NRMSE شده و دقت مدل را افزایش داده، بلکه مهم‌تر از آن نتایج را بسیار منطقی‌تر و منطبق با شرایط اقلیمی منطقه نشان می‌دهد. البته در پاره‌ای از موارد NRMSE مدل‌هایی که DEM در آن‌ها به کار گرفته نشده بود تقریباً برابر با مدل‌هایی بود که از DEM استفاده شده بودند. در این گونه موارد مدل‌هایی که از DEM استفاده شده بودند نتایج منطقی‌تری ارائه می‌دادند، در نتیجه آن‌ها برای نقشه نهایی انتخاب شدند. سیابی و ثنایی نژاد (۱۳۹۲) نشان دادند استفاده از DEM منطقه دقت پهنه‌بندی بارش را بهبود بخشیده است. سیاری (۱۳۹۳) نیز برای پهنه‌بندی دمای هوا از DEM منطقه بهره گرفت. دلبری و جهانی (۱۳۹۱) نشان دادند روش کوکریجینگ

با پارامتری کمکی DEM برای ماه‌های اردیبهشت تا مهر (تقریباً مطابق با فصل رشد) بهترین عملکرد را در پهنه‌بندی بارش استان گلستان داشته است.

با توجه به این که در حوضه مطالعاتی تنها شش ایستگاه واجد شرایط آمار بلند مدت بودند و مورد استفاده قرار گرفتند که این تعداد برای حوضه‌ای به مساحت ۴۹۰۰۰ کیلومتر مربع تعداد کمی به‌شمار می‌آید می‌توان گفت در این گونه موارد که تعداد ایستگاه‌ها کم است، روش‌های IDW و کریجینگ نمی‌توانند نتایج معقولی داشته باشند. روش IDW به دلیل اینکه همبستگی مکانی داده‌ها را لحاظ نمی‌کند، دقت قابل قبولی ندارد و در صورت تراکم پایین ایستگاه‌های مورد مطالعه، قابل استفاده نیست. متأسفانه در بعضی مقالات دیده می‌شود که برای پهنه‌بندی پارامترهای اقلیمی از روش IDW بدون محاسبه خطا و دقت آن و صرفاً به دلیل راحتی و آسانی به کارگیری آن مورد استفاده قرار می‌گیرد. نگارندگان بر این باورند استفاده از روش‌های زمین آماری برای تحلیل مکانی متغیرهای اقلیمی بدون لحاظ خطای مدل و انطباق منطقی آن با شرایط اقلیمی و توپوگرافی منطقه، فاقد ارزش علمی و غیرقابل استناد خواهد بود.

نتایج شکل ۹ نشان می‌دهد مناطق پست نظیر دره طارم و دشت میانه دمای بیشتری نسبت به سایر مناطق بالأخص ارتفاعات دارند. در میان ایستگاه‌ها کمترین دما مربوط به خلخال و بیشترین آن مربوط به میانه ثبت شده که این مقادیر برای دوره آتی نیز حفظ شده است. افزایش دما در سناریوی RCP8.5 بیشتر از سناریوی RCP4.5 خواهد بود. میانگین افزایش دما در سناریوی RCP8.5 به میزان ۱/۷ درجه سلسیوس و این مقدار برای سناریوی RCP4.5 1/1 درجه برآورد می‌شود. در مورد بارش نیز بیشترین مقدار بارش مربوط به میانه و کمترین آن مربوط به زرینه بوده است. با توجه به این که تحقیق پیش‌رو صرفاً برای فصل رشد گیاهان انجام شده باید در نظر داشت طول فصل رشد ایستگاه میانه در حدود دو ماه بیشتر از

زرینه می‌باشد فلذا بارش بیشتری دریافت می‌کند؛ بنابراین مناطق پست نسبت به ارتفاعات بارش بیشتری در طول فصل رشد دریافت می‌کنند که این موضوع می‌تواند بیانگر این باشد که پتانسیل کشاورزی در مناطق پست نظیر دشت‌ها و دره‌ها بیشتر از ارتفاعات می‌باشد زیرا بارش بیشتری در طول فصل رشد دریافت می‌کنند و با طولانی تر شدن فصل رشد در آینده و دریافت بارش بیشتر این پتانسیل حفظ خواهد شد. بارش در افق ۲۰۵۰ طبق هر دو سناریو افزایش خواهد یافت که این افزایش در سناریوی RCP8.5 اندکی بیشتر از سناریوی RCP4.5 خواهد بود. اخوان و همکاران (۱۳۹۴) گزارش کردند نتایج مدل HadCM3 بیانگر افزایش ۲ تا ۱۰ درصدی میانگین بارش دشت همدان در سال‌های آینده است. نتایج تحقیق Kundu و همکاران (۲۰۱۷) حاکی از احتمال افزایش بارش هندوستان در دهه‌های آتی است. البته برخی محققین نیز برخلاف آنچه گفته شد کاهش بارش در سال‌های آتی را پیش‌بینی نمودند که می‌توان به خزائی و بایزیدی (۱۳۹۵) و Rajsekhar و Gorelick (2017) اشاره کرد. نتایج این پژوهش حاکی از این است که الگوی مکانی تغییرات بارش با دمای هوا مطابقت دارد. کوچکی و همکاران (۱۳۹۴) نیز به این نتیجه دست یافتند.

ET0 براساس هر دو سناریو در افق ۲۰۵۰ افزایش خواهد یافت که به‌طور متوسط در سناریوی RCP4.5 10 درصد و در سناریوی RCP8.5 13 درصد افزایش مورد انتظار است. همان‌طور که در شکل ۹ مشاهده می‌شود کمترین مقدار ET0 در خلخال و نواحی اطراف آن و بیشترین مقدار ET0 در بیجار و قروه است. با این حال بیشترین مقدار افزایش ET0 نسبت به دوره پایه در ایستگاه خلخال براساس سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب، ۱۴ و ۱۸ درصد برآورد می‌شود. کمترین میزان افزایش ET0 برای بیجار براساس سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 به ترتیب، ۴ و ۷ درصد خواهد بود. افزایش ET0 در سناریوی RCP8.5 (تحت تأثیر افزایش بیشتر دمای

افزایش مقدار PD نشان دهنده غلبه افزایش ET0 بر بارش است به طوری که افزایش بارش نتوانسته آن را جبران کند. افزایش مقدار ET0 نیز در اثر گرمایش جهانی و بالا رفتن دمای هوا روی داده است.

درصد تغییرات شدت خشکی نسبت به دوره پایه در شکل ۱۰ قابل مشاهده است. براساس سناریوی RCP4.5، شدت خشکی ۱۰ درصد و براساس سناریوی RCP8.5 15 درصد، افزایش (نسبت به دوره پایه) خواهد یافت. با توجه به مشخصه سناریوی RCP8.5 که بالاترین میزان غلظت گازهای گلخانه‌ای جو زمین را در سناریوهای RCP دارا است و به تبع آن انتظار می‌رود بیشترین افزایش دمای هوا در این سناریو باشد، ضمناً مشاهده می‌شود بیشترین افزایش شدت خشکی در این سناریوی (تحت تأثیر افزایش دمای بیشتر نسبت به سناریوی RCP4.5) خواهد بود. کمترین و بیشترین مقدار شدت خشکی به ترتیب برای خلخال و میانه مشاهده شد. با این وجود، بیشترین درصد رشد شدت خشکی برای خلخال (طبق سناریوی RCP8.5) با ۲۰ درصد و کمترین آن برای میانه (طبق سناریوی RCP4.5) با ۸ درصد خواهد بود. با توجه به این که در این حوضه هم دمای هوا و هم بارش افزایش خواهد یافت، افزایش شدت خشکی نشان‌دهنده غلبه افزایش دمای هوا بر افزایش بارش است. همچنین افزایش مقدار PD نیز مؤید همین موضوع است. نتایج شکل ۱۰ حاکی از افزایش بیشتر شدت خشکی در شمال شرق حوضه نسبت به سایر مناطق است.

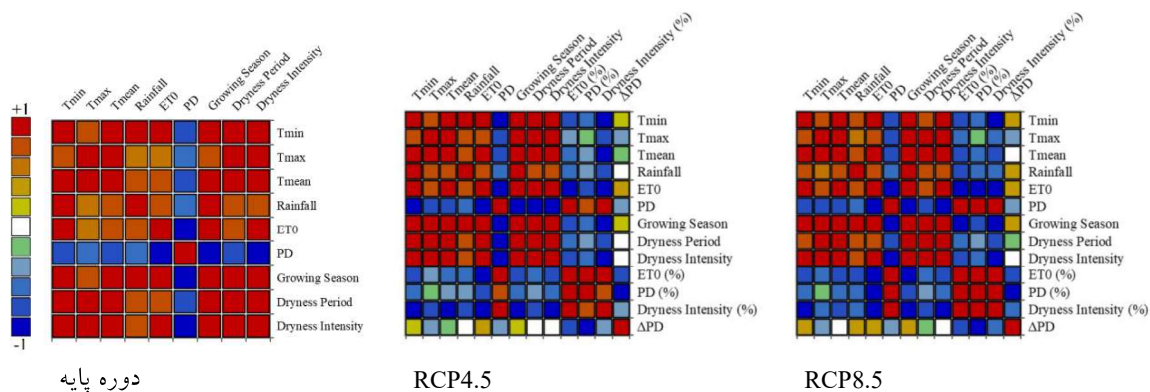
هوا) بیشتر از سناریوی RCP4.5 است. Rahman و همکاران (۲۰۱۸) نیز گزارش کردند افزایش ET0 در سناریوی RCP8.5 بیش از سناریوی RCP4.5 خواهد بود. صادقی و همکاران (۱۳۹۷) نشان دادند اختلاف میانگین افزایش ET0 فصل تابستان در دوره‌های آبی نسبت به دوره پایه معنی‌دار خواهد بود. نتایج Saadi و همکاران (۲۰۱۵) برای منطقه مدیترانه، Kundu و همکاران (۲۰۱۶) برای هندوستان، جورابلو و همکاران (۱۳۹۷) برای سمنان حاکی از آن است که ET0 در سال‌های آبی تحت تأثیر روند رو به رشد گرمایش جهانی افزایش خواهد یافت.

همان‌طور که پیش‌تر بحث شد، طول فصل رشد براساس هر دو سناریوی RCP افزایش خواهد یافت. برای بهتر مشخص شدن تغییرات مکانی آن می‌توان از شکل ۹ کمک گرفت. براساس این شکل، طبق سناریوی RCP4.5 بیشترین مقدار طول فصل رشد در نواحی زنجان و اطراف آن خواهد بود. درحالی که در سناریوی RCP8.5 بیشترین مقدار طول فصل رشد در طارم و میانه برآورد می‌شود.

برای بهتر مشخص شدن تغییرات PD نسبت به دوره پایه، اختلاف PD هر سناریو با دوره پایه با استفاده از روش کوکریجینگ پهنه‌بندی شد که نتایج آن در شکل ۱۰ قابل مشاهده است. نتایج نشان می‌دهد PD در کل حوضه طبق هر دو سناریو افزایش خواهد یافت که به‌طور متوسط براساس سناریوی RCP4.5 50 میلی‌متر (۶ درصد) و طبق سناریوی RCP8.5 73 میلی‌متر (۹ درصد) انتظار می‌رود. افزایش PD در مناطق طارم و میانه بیشتر از سایر نواحی حوضه خواهد بود. با توجه به افزایش بارش و ET0،

جدول ۵. مقادیر p-value آزمون‌های نرمال بودن توزیع مکانی داده‌ها

| تغییرات نسبت به دوره پایه |              |        |          |           |             |       |        |       |            |           |           |                  |
|---------------------------|--------------|--------|----------|-----------|-------------|-------|--------|-------|------------|-----------|-----------|------------------|
| $\Delta PD$               | شدت خشکی (%) | PD (%) | شدت خشکی | دوره خشکی | طول فصل رشد | PD    | $ET_0$ | بارش  | $T_{mean}$ | $T_{max}$ | $T_{min}$ |                  |
|                           |              |        | ۰/۹۵     | ۰/۸۶      | ۰/۱۶        | ۰/۴۸  | ۰/۴۶   | ۰/۷۹  | ۰/۶۵       | ۰/۸۸      | ۰/۳۹      | شاپیرو- ویلک     |
|                           |              |        | ۰/۹۰     | ۰/۶۵      | ۰/۱۶        | ۰/۴۹  | ۰/۴۵   | ۰/۷۳  | ۰/۴۷       | ۰/۶۹      | ۰/۴۳      | اندرسون- دارلینگ |
|                           |              |        | ۰/۹۵     | ۰/۵۷      | ۰/۲۷        | ۰/۶۶  | ۰/۳۰   | ۰/۸۱  | ۰/۲۶       | ۰/۵۷      | ۰/۶۳      | لیلیفورس         |
|                           |              |        | ۰/۸۴     | ۰/۹۳      | ۰/۶۹        | ۰/۷۵  | ۰/۷۵   | ۰/۷۸  | ۰/۸۳       | ۰/۹۰      | ۰/۷۷      | جارک- برا        |
|                           |              |        | نرمال    | نرمال     | نرمال       | نرمال | نرمال  | نرمال | نرمال      | نرمال     | نرمال     | وضعیت            |
| ۰/۱۳                      | ۰/۹۳         | ۰/۷۶   | ۰/۹۱     | ۰/۷۳      | ۰/۳۶        | ۰/۲۵  | ۰/۲۰   | ۰/۶۸  | ۰/۸۸       | ۰/۹۸      | ۰/۴۳      | شاپیرو- ویلک     |
| ۰/۱۱                      | ۰/۹۱         | ۰/۶۴   | ۰/۸۶     | ۰/۵۵      | ۰/۳۱        | ۰/۲۸  | ۰/۲۲   | ۰/۵۳  | ۰/۷۲       | ۰/۸۷      | ۰/۴۵      | اندرسون- دارلینگ |
| ۰/۰۶                      | ۰/۹۵         | ۰/۷۹   | ۰/۸۴     | ۰/۳۳      | ۰/۴۹        | ۰/۴۱  | ۰/۱۹   | ۰/۴۴  | ۰/۸۰       | ۰/۸۲      | ۰/۵۹      | لیلیفورس         |
| ۰/۴۷                      | ۰/۸۱         | ۰/۸۲   | ۰/۸۲     | ۰/۸۲      | ۰/۷۳        | ۰/۶۹  | ۰/۷۱   | ۰/۷۷  | ۰/۹۲       | ۰/۹۵      | ۰/۷۶      | جارک- برا        |
|                           | نرمال        | نرمال  | نرمال    | نرمال     | نرمال       | نرمال | نرمال  | نرمال | نرمال      | نرمال     | نرمال     | وضعیت            |
| ۰/۳۳                      | ۰/۵۷         | ۰/۶۱   | ۰/۹۵     | ۰/۹۵      | ۰/۲۵        | ۰/۱۶  | ۰/۲۱   | ۰/۱۹  | ۰/۸۷       | ۰/۹۴      | ۰/۳۶      | شاپیرو- ویلک     |
| ۰/۳۱                      | ۰/۴۸         | ۰/۵۷   | ۰/۸۹     | ۰/۸۸      | ۰/۲۰        | ۰/۱۸  | ۰/۲۳   | ۰/۲۰  | ۰/۷۴       | ۰/۷۸      | ۰/۳۶      | اندرسون- دارلینگ |
| ۰/۶۵                      | ۰/۳۴         | ۰/۶۹   | ۰/۷۶     | ۰/۸۳      | ۰/۲۵        | ۰/۳۶  | ۰/۲۲   | ۰/۶۰  | ۰/۷۵       | ۰/۸۱      | ۰/۴۲      | لیلیفورس         |
| ۰/۶۲                      | ۰/۷۸         | ۰/۷۴   | ۰/۸۶     | ۰/۸۷      | ۰/۷۰        | ۰/۶۵  | ۰/۷۱   | ۰/۵۶  | ۰/۸۹       | ۰/۹۵      | ۰/۷۵      | جارک- برا        |
|                           | نرمال        | نرمال  | نرمال    | نرمال     | نرمال       | نرمال | نرمال  | نرمال | نرمال      | نرمال     | نرمال     | وضعیت            |



شکل ۷. نگاهت همبستگی شاخص‌های اقلیمی در دوره پایه و دوره آتی

جدول ۶. مقادیر ضریب همبستگی پیرسون بین پارامترهای مورد استفاده در حوضه قزل اوزن

| تغییرات نسبت به دوره پایه |              |        |          |           |             |       |                 |       |                   |                  |                  |                   |
|---------------------------|--------------|--------|----------|-----------|-------------|-------|-----------------|-------|-------------------|------------------|------------------|-------------------|
| ΔPD                       | شدت خشکی (%) | PD (%) | شدت خشکی | دوره خشکی | طول فصل رشد | PD    | ET <sub>0</sub> | بارش  | T <sub>mean</sub> | T <sub>max</sub> | T <sub>min</sub> | پارامتر           |
|                           |              |        | ۰/۹۲     | ۰/۸۸      | ۰/۹۱        | -۰/۷۴ | ۰/۸۱            | ۰/۸۶  | ۰/۹۲              | ۰/۷۲             | ۱                | T <sub>min</sub>  |
|                           |              |        | ۰/۸۱     | ۰/۹۳      | ۰/۶۷        | -۰/۵۱ | ۰/۵۴            | ۰/۵۰  | ۰/۹۴              | ۱                | ۰/۷۲             | T <sub>max</sub>  |
|                           |              |        | ۰/۹۳     | ۰/۹۸      | ۰/۸۴        | -۰/۶۶ | ۰/۷۱            | ۰/۷۲  | ۱                 | ۰/۹۴             | ۰/۹۲             | T <sub>mean</sub> |
|                           |              |        | ۰/۷۳     | ۰/۷۴      | ۰/۸۹        | -۰/۶۰ | ۰/۷۱            | ۱     | ۰/۷۲              | ۰/۵۰             | ۰/۸۶             | بارش              |
|                           |              |        | ۰/۹۲     | ۰/۷۸      | ۰/۹۳        | -۰/۹۹ | ۱               | ۰/۷۱  | ۰/۷۱              | ۰/۵۴             | ۰/۸۱             | ET <sub>0</sub>   |
|                           |              |        | -۰/۸۹    | -۰/۷۳     | -۰/۸۸       | ۱     | -۰/۹۹           | -۰/۶۰ | -۰/۶۶             | -۰/۵۱            | -۰/۷۴            | PD                |
|                           |              |        | ۰/۹۵     | ۰/۸۹      | ۱           | -۰/۸۸ | ۰/۹۳            | ۰/۸۹  | ۰/۸۴              | ۰/۶۷             | ۰/۹۱             | طول فصل رشد       |
|                           |              |        | ۰/۹۵     | ۱         | ۰/۸۹        | -۰/۷۳ | ۰/۷۸            | ۰/۷۴  | ۰/۹۸              | ۰/۹۳             | ۰/۸۸             | دوره خشکی         |
|                           |              |        | ۱        | ۰/۹۵      | ۰/۹۵        | -۰/۸۹ | ۰/۹۲            | ۰/۷۳  | ۰/۹۳              | ۰/۸۱             | ۰/۹۲             | شدت خشکی          |
| ۰/۱۴                      | -۰/۹۲        | -۰/۴۹  | ۰/۹۲     | ۰/۸۴      | ۰/۹۳        | -۰/۸۱ | ۰/۸۶            | ۰/۸۳  | ۰/۹۳              | ۰/۷۴             | ۱                | T <sub>min</sub>  |
| -۰/۳۱                     | -۰/۶۹        | -۰/۱۵  | ۰/۸۸     | ۰/۹۳      | ۰/۸۲        | -۰/۶۸ | ۰/۷۱            | ۰/۶۱  | ۰/۹۴              | ۱                | ۰/۷۴             | T <sub>max</sub>  |
| -۰/۱۰                     | -۰/۸۶        | -۰/۳۳  | ۰/۹۶     | ۰/۹۵      | ۰/۹۳        | -۰/۷۹ | ۰/۸۴            | ۰/۷۶  | ۱                 | ۰/۹۴             | ۰/۹۳             | T <sub>mean</sub> |
| ۰/۰۸                      | -۰/۶۵        | -۰/۲۹  | ۰/۷۲     | ۰/۷۹      | ۰/۸۷        | -۰/۵۸ | ۰/۶۸            | ۱     | ۰/۷۶              | ۰/۶۱             | ۰/۸۳             | بارش              |
| ۰/۳۶                      | -۰/۸۶        | -۰/۷۴  | ۰/۹۵     | ۰/۸۶      | ۰/۹۴        | -۰/۹۹ | ۱               | ۰/۶۸  | ۰/۸۴              | ۰/۷۱             | ۰/۸۶             | ET <sub>0</sub>   |
| -۰/۳۸                     | ۰/۸۴         | ۰/۷۸   | -۰/۹۳    | -۰/۸۲     | -۰/۸۹       | ۱     | -۰/۹۹           | -۰/۵۸ | -۰/۷۹             | -۰/۶۸            | -۰/۸۱            | PD                |
| ۰/۱۵                      | -۰/۸۴        | -۰/۵۳  | ۰/۹۶     | ۰/۹۶      | ۱           | -۰/۸۹ | ۰/۹۴            | ۰/۸۷  | ۰/۹۳              | ۰/۸۲             | ۰/۹۳             | طول فصل رشد       |
| -۰/۰۳                     | -۰/۷۸        | -۰/۳۹  | ۰/۹۵     | ۱         | ۰/۹۶        | -۰/۸۲ | ۰/۸۶            | ۰/۷۹  | ۰/۹۵              | ۰/۹۳             | ۰/۸۴             | دوره خشکی         |
| ۰/۰۸                      | -۰/۸۸        | -۰/۵۳  | ۱        | ۰/۹۵      | ۰/۹۶        | -۰/۹۳ | ۰/۹۵            | ۰/۷۲  | ۰/۹۶              | ۰/۸۸             | ۰/۹۲             | شدت خشکی          |
| -۰/۸۷                     | ۰/۶۸         | ۱      | -۰/۵۳    | -۰/۳۹     | -۰/۵۳       | ۰/۷۸  | -۰/۷۴           | -۰/۲۹ | -۰/۳۳             | -۰/۱۵            | -۰/۴۹            | PD (%)            |
| -۰/۳۶                     | ۱            | ۰/۶۸   | -۰/۸۸    | -۰/۷۸     | -۰/۸۴       | ۰/۸۴  | -۰/۸۶           | -۰/۶۵ | -۰/۸۶             | -۰/۶۹            | -۰/۹۲            | شدت خشکی (%)      |
| ۱                         | -۰/۳۶        | -۰/۸۷  | ۰/۰۸     | -۰/۰۳     | ۰/۱۵        | -۰/۳۸ | ۰/۳۶            | ۰/۰۸  | -۰/۱۰             | -۰/۳۱            | ۰/۱۴             | ΔPD               |
| ۰/۲۴                      | -۰/۸۱        | -۰/۶۰  | ۰/۹۱     | ۰/۷۶      | ۰/۸۹        | -۰/۷۹ | ۰/۸۴            | ۰/۷۹  | ۰/۹۳              | ۰/۷۶             | ۱                | T <sub>min</sub>  |
| -۰/۳۳                     | -۰/۵۹        | -۰/۱۸  | ۰/۹۱     | ۰/۹۶      | ۰/۸۲        | -۰/۶۹ | ۰/۷۰            | ۰/۴۹  | ۰/۹۴              | ۱                | ۰/۷۶             | T <sub>max</sub>  |
| -۰/۰۶                     | -۰/۷۴        | -۰/۴۰  | ۰/۹۷     | ۰/۹۲      | ۰/۹۱        | -۰/۷۹ | ۰/۸۲            | ۰/۶۸  | ۱                 | ۰/۹۴             | ۰/۹۳             | T <sub>mean</sub> |
| ۰/۳۷                      | -۰/۵۶        | -۰/۵۴  | ۰/۶۷     | ۰/۶۵      | ۰/۸۳        | -۰/۵۷ | ۰/۶۷            | ۱     | ۰/۶۸              | ۰/۴۹             | ۰/۷۹             | بارش              |
| ۰/۳۹                      | -۰/۹۷        | -۰/۸۱  | ۰/۹۲     | ۰/۷۵      | ۰/۹۳        | -۰/۹۹ | ۱               | ۰/۶۷  | ۰/۸۲              | ۰/۷۰             | ۰/۸۴             | ET <sub>0</sub>   |
| -۰/۳۷                     | ۰/۹۷         | ۰/۸۱   | -۰/۹۱    | -۰/۷۲     | -۰/۸۹       | ۱     | -۰/۹۹           | -۰/۵۷ | -۰/۷۹             | -۰/۶۹            | -۰/۷۹            | PD                |
| ۰/۲۱                      | -۰/۸۳        | -۰/۶۳  | ۰/۹۶     | ۰/۹۰      | ۱           | -۰/۸۹ | ۰/۹۳            | ۰/۸۳  | ۰/۹۱              | ۰/۸۲             | ۰/۸۹             | طول فصل رشد       |
| -۰/۱۹                     | -۰/۶۲        | -۰/۲۸  | ۰/۹۱     | ۱         | ۰/۹۰        | -۰/۷۲ | ۰/۷۵            | ۰/۶۵  | ۰/۹۲              | ۰/۹۶             | ۰/۷۶             | دوره خشکی         |
| ۰/۰۶                      | -۰/۸۴        | -۰/۵۵  | ۱        | ۰/۹۱      | ۰/۹۶        | -۰/۹۱ | ۰/۹۲            | ۰/۶۷  | ۰/۹۷              | ۰/۹۱             | ۰/۹۱             | شدت خشکی          |
| -۰/۸۵                     | ۰/۸۹         | ۱      | -۰/۵۵    | -۰/۲۸     | -۰/۶۳       | ۰/۸۱  | -۰/۸۱           | -۰/۵۴ | -۰/۴۰             | -۰/۱۸            | -۰/۶۰            | PD (%)            |
| -۰/۵۲                     | ۱            | ۰/۸۹   | -۰/۸۴    | -۰/۶۲     | -۰/۸۳       | ۰/۹۷  | -۰/۹۷           | -۰/۵۶ | -۰/۷۴             | -۰/۵۹            | -۰/۸۱            | شدت خشکی (%)      |
| ۱                         | -۰/۵۲        | -۰/۸۵  | ۰/۰۶     | -۰/۱۹     | ۰/۲۱        | -۰/۳۷ | ۰/۳۹            | ۰/۳۷  | -۰/۰۶             | -۰/۳۳            | ۰/۲۴             | ΔPD               |

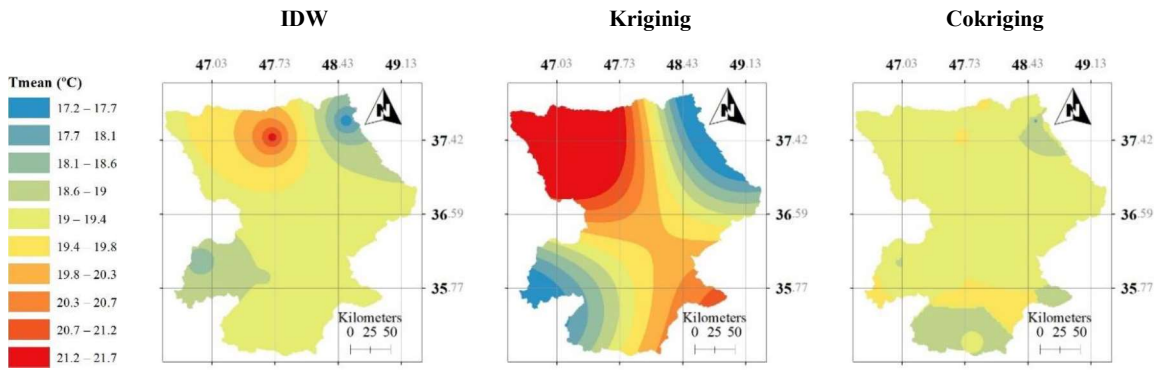
دوره پایه

RCP4.5

RCP8.5

جدول ۷. معیارهای ارزیابی خطای پهنه‌بندی هر پارامتر با سه روش IDW، کریجینگ و کوکریجینگ در حوضه قزل اوزن

| Cokriging |        |      | Kriging |            |     | IDW    |        |           | پارامتر | مقیاس | دوره پایه | RCP4.5 | RCP8.5 |        |              |
|-----------|--------|------|---------|------------|-----|--------|--------|-----------|---------|-------|-----------|--------|--------|--------|--------------|
| RCP4.5    | RCP8.5 | روش  | کمکی    | متغیر      | روش | RCP4.5 | RCP8.5 | دوره پایه |         |       |           |        |        | RCP4.5 | RCP8.5       |
|           |        |      |         |            |     |        |        |           |         |       |           | ۲۰/۷۹  | ۲۰/۲۳  | ۱۹/۱۲  | میانگین      |
|           |        |      |         |            |     |        |        |           |         |       |           | ۱/۵۴   | ۱/۵۱   | ۱/۵۱   | انحراف معیار |
|           |        |      |         |            |     |        |        |           |         |       |           | ۴/۵۱   | ۴/۴۲   | ۴/۴۸   | دامنه اعداد  |
| ۱/۰۰      | ۱/۰۰   | ۱/۰۰ |         | $T_{min}$  |     | ۱/۰۰   | ۱/۰۰   | ۱/۰۰      | ۰/۹۹    | ۰/۹۹  | ۰/۹۵      |        |        |        | $R^2$        |
| ۰/۰۳      | ۰/۱۸   | ۰/۰۳ | گسسته   | $T_{max}$  |     | ۶/۱۰   | ۶/۲۰   | ۶/۲۵      | ۶/۶۸    | ۶/۸۳  | ۶/۸۶      |        |        |        | MAPE         |
| ۰/۲۰      | ۰/۸۹   | ۰/۲۱ |         | DEM        |     | ۳۷/۴   | ۳۷/۵   | ۳۶/۸      | ۴۱/۲    | ۴۱/۳  | ۴۰/۵      |        |        |        | NRMSE        |
|           |        |      |         |            |     |        |        |           |         |       |           | ۱۲۶    | ۱۲۱    | ۸۴     | میانگین      |
|           |        |      |         |            |     |        |        |           |         |       |           | ۲۶     | ۲۶     | ۳۲     | انحراف معیار |
|           |        |      |         |            |     |        |        |           |         |       |           | ۷۱     | ۷۷     | ۹۳     | دامنه اعداد  |
| ۰/۸۹      | ۰/۴۰   | ۰/۹۲ | گسسته   | $T_{min}$  |     | ۱/۰۰   | ۱/۰۰   | ۱/۰۰      | ۰/۹۱    | ۰/۸۳  | ۰/۹۰      |        |        |        | $R^2$        |
| ۶/۲       | ۱۷/۸   | ۱۱/۹ |         | $T_{mean}$ |     | ۲۱/۴   | ۲۲/۰   | ۵۵/۳      | ۲۳/۱    | ۲۳/۸  | ۶۰/۳      |        |        |        | MAPE         |
| ۱۱/۲      | ۲۸/۸   | ۱۰/۰ |         | DEM        |     | ۴۰/۵   | ۳۷/۶   | ۳۸/۲      | ۴۳/۱    | ۴۰/۱  | ۴۱/۰      |        |        |        | NRMSE        |
|           |        |      |         |            |     |        |        |           |         |       |           | ۱۰۵۷   | ۱۰۲۸   | ۹۴۲    | میانگین      |
|           |        |      |         |            |     |        |        |           |         |       |           | ۱۶۷    | ۱۶۸    | ۱۸۰    | انحراف معیار |
|           |        |      |         |            |     |        |        |           |         |       |           | ۴۱۵    | ۴۱۴    | ۴۶۱    | دامنه اعداد  |
| ۰/۹۶      | ۰/۹۶   | ۰/۹۷ | جام     | $T_{min}$  |     | ۰/۳۵   | ۰/۳۷   | ۰/۴۱      | ۰/۵۳    | ۰/۵۶  | ۰/۴۸      |        |        |        | $R^2$        |
| ۴/۵۸      | ۴/۳۰   | ۵/۲۲ |         | PD         |     | ۱۴/۹   | ۱۵/۶   | ۱۹/۰      | ۱۶/۶    | ۱۷/۴  | ۲۱/۰      |        |        |        | MAPE         |
| ۱۲/۴      | ۱۱/۷   | ۱۲/۰ |         | DEM        |     | ۴۰/۶   | ۴۱/۲   | ۳۹/۹      | ۴۵/۱    | ۴۵/۸  | ۴۳/۶      |        |        |        | NRMSE        |
|           |        |      |         |            |     |        |        |           |         |       |           | ۲۰۶    | ۲۰۲    | ۱۸۰    | میانگین      |
|           |        |      |         |            |     |        |        |           |         |       |           | ۲۴     | ۲۵     | ۳۰     | انحراف معیار |
|           |        |      |         |            |     |        |        |           |         |       |           | ۶۰     | ۶۳     | ۶۹     | دامنه اعداد  |
| ۰/۹۰      | ۰/۹۳   | ۰/۹۶ | گسسته   | $T_{min}$  |     | ۱/۰۰   | ۱/۰۰   | ۱/۰۰      | ۰/۹۴    | ۰/۹۵  | ۰/۹۱      |        |        |        | $R^2$        |
| ۲/۵۸      | ۲/۴۸   | ۲/۳۰ |         | Rain       |     | ۱۲/۲   | ۱۲/۷   | ۱۷/۴      | ۱۳/۱    | ۱۳/۷  | ۱۸/۶      |        |        |        | MAPE         |
| ۱۱/۸      | ۹/۷    | ۷/۷  |         | DEM        |     | ۴۴/۳   | ۴۳/۹   | ۴۷/۶      | ۴۸/۴    | ۴۸/۰  | ۵۱/۶      |        |        |        | NRMSE        |
|           |        |      |         |            |     |        |        |           |         |       |           | -۷۳/۲۸ | -۴۹/۹۴ | -      | میانگین      |
|           |        |      |         |            |     |        |        |           |         |       |           | ۲۰/۷۷  | ۱۷/۷۴  | -      | انحراف معیار |
|           |        |      |         |            |     |        |        |           |         |       |           | ۵۷/۲۴  | ۵۰/۹۳  | -      | دامنه اعداد  |
| ۱/۰۰      | ۰/۹۹   | -    | گسسته   | PD (%)     |     | ۰/۷۷   | ۱/۰۰   | -         | ۰/۲۸    | ۰/۱۷  | -         |        |        |        | $R^2$        |
| ۰/۸۳      | ۳/۵۷   | -    |         | PD         |     | ۳۲/۰   | ۵۲/۲   | -         | ۳۲/۴    | ۵۲/۸  | -         |        |        |        | MAPE         |
| ۱/۲۵      | ۳/۸۲   | -    |         | DEM        |     | ۳۹/۰   | ۳۸/۲   | -         | ۳۹/۶    | ۳۷/۰  | -         |        |        |        | NRMSE        |
|           |        |      |         |            |     |        |        |           |         |       |           | ۱۵/۳   | ۱۰/۲   | -      | میانگین      |
|           |        |      |         |            |     |        |        |           |         |       |           | ۳/۰    | ۱/۳    | -      | انحراف معیار |
|           |        |      |         |            |     |        |        |           |         |       |           | ۸/۱    | ۳/۵    | -      | دامنه اعداد  |
| ۰/۹       | ۰/۷۸   | -    | جام     | $T_{min}$  |     | ۰/۴۴   | ۱/۰۰   | -         | ۰/۳۱    | ۰/۸۲  | -         |        |        |        | $R^2$        |
| ۵/۹۷      | ۶/۱۶   | -    |         | PD         |     | ۱۷/۵   | ۱۳/۰   | -         | ۱۹/۰    | ۱۳/۷  | -         |        |        |        | MAPE         |
| ۱۲/۹/۱۳   | ۱۹/۷   | -    |         | DEM        |     | ۳۸/۳   | ۴۱/۲   | -         | ۳۹/۹    | ۴۴/۰  | -         |        |        |        | NRMSE        |



NRMSE

۴۰/۵

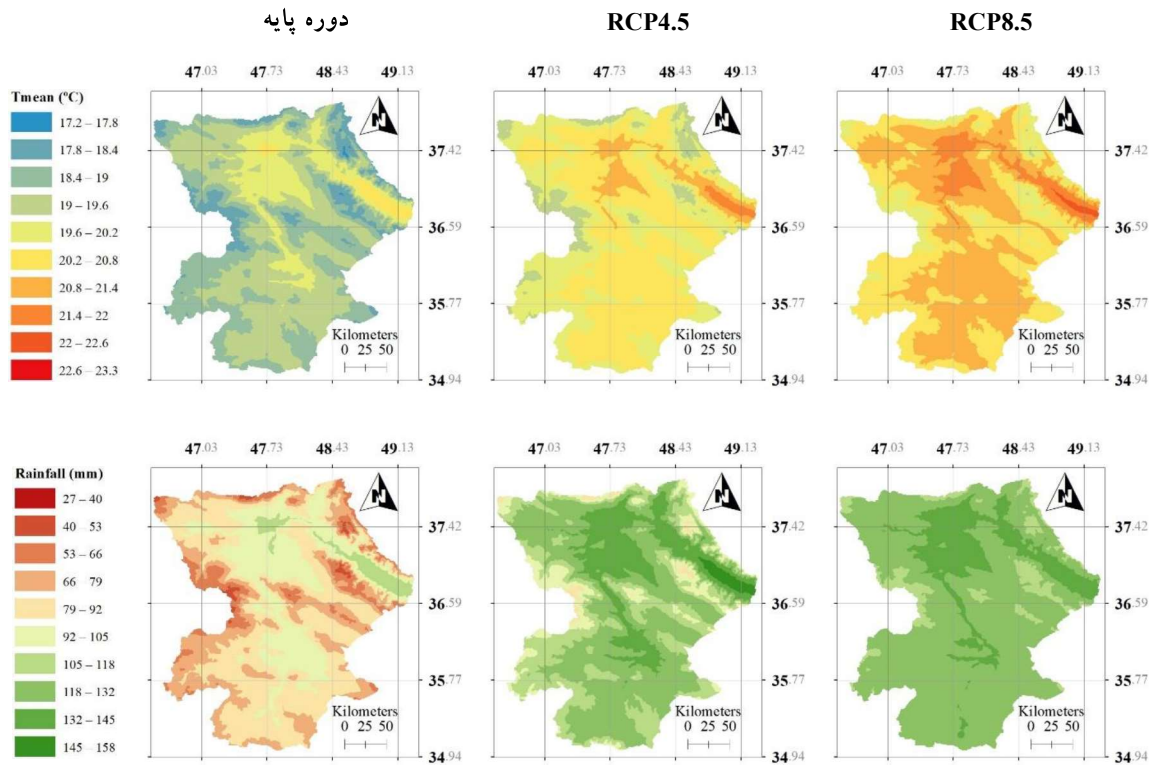
۳۶/۸

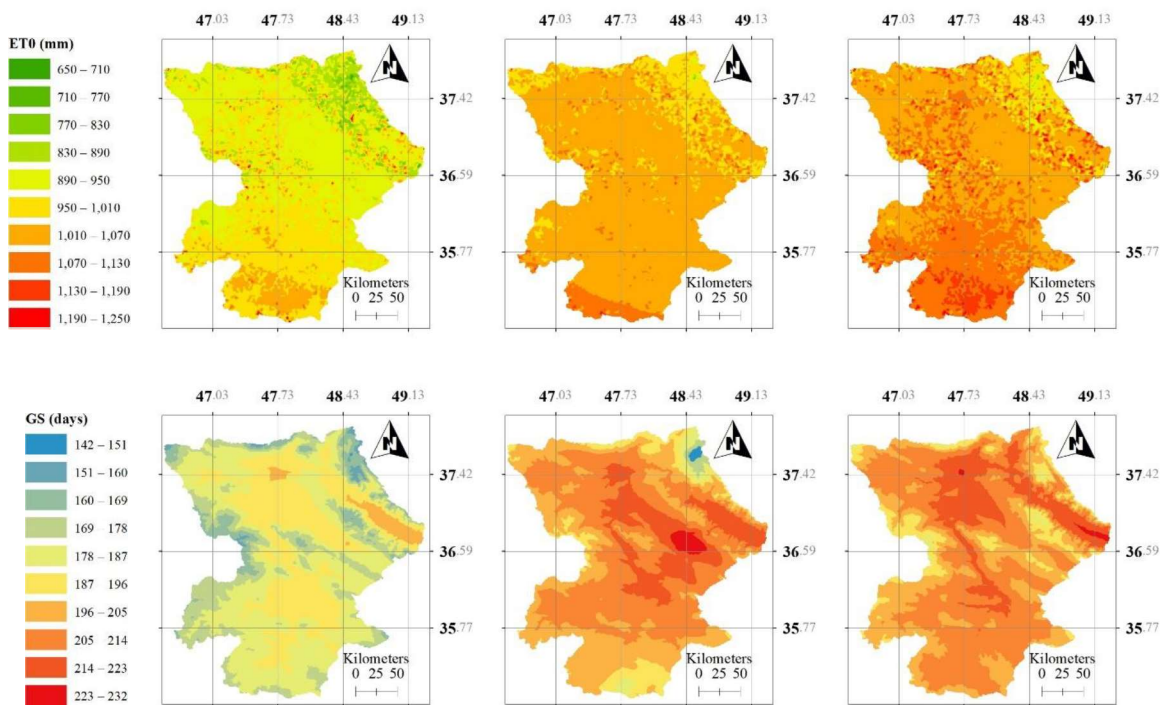
۲/۴۰

پارامتر کمکی

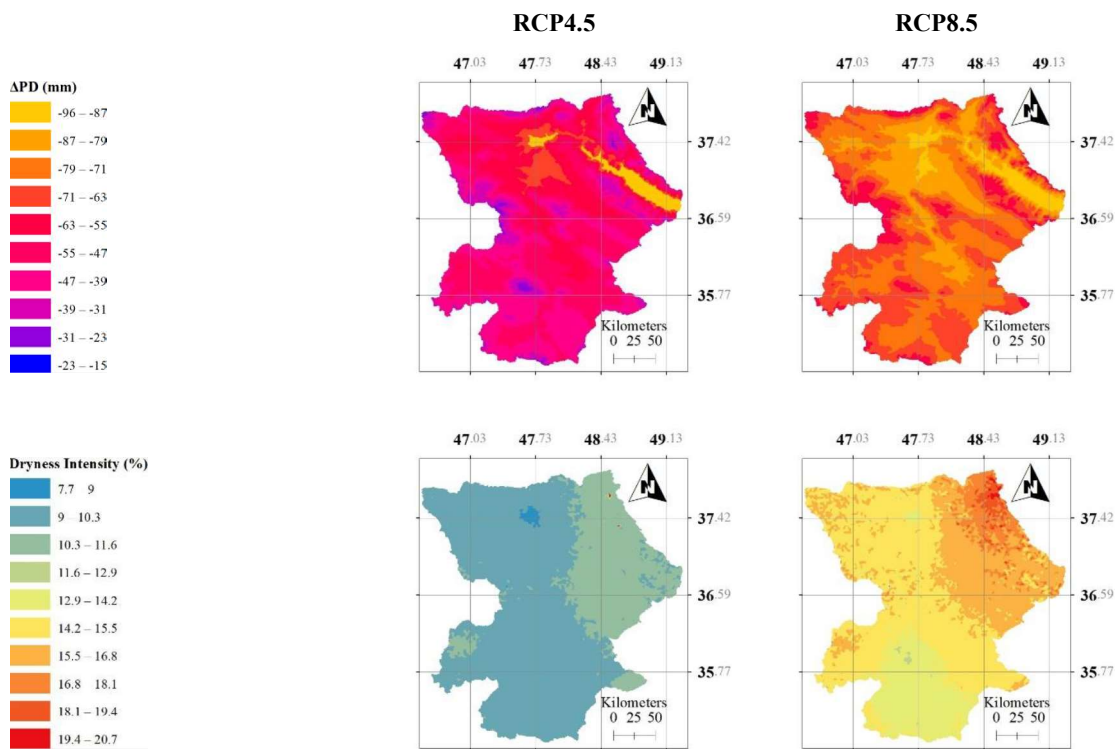
دوره خشکی،  $T_{max}$ ،  $T_{min}$

شکل ۸. نقشه پهنه‌بندی میانگین دمای هوای دوره پایه در طول فصل رشد با سه روش IDW، کریجینگ و کوکریجینگ (بدون استفاده از DEM) در حوضه قزل اوزن





شکل ۹. نقشه پهنه‌بندی میانگین دمای هوا، بارش،  $ET_0$  و طول فصل رشد حوضه آبریز قزل اوزن



شکل ۱۰. نقشه پهنه‌بندی اختلاف PD نسبت به دوره پایه و درصد تغییرات شدت خشکی در حوضه آبریز قزل اوزن

**نتیجه گیری**

تغییر اقلیم جنبه‌های متنوعی از زندگی بشر را تحت تأثیر قرار می‌دهد. میزان افزایش دمای هوا در حوضه قزل اوزن (در چهل سال آینده) بین ۱/۱ تا ۱/۷ درجه سلسیوس خواهد بود که این افزایش در کنار طولانی‌تر شدن فصل رشد می‌تواند شرایط رشد و نمو گیاهانی که قبلاً در این منطقه قابل کشت نبودند را فراهم آورد، به طوری که محصولاتی که پیش‌تر در عرض‌های جغرافیایی پایین‌تر کشت می‌شدند در این حوضه هم به عمل آیند. این موضوع هم‌اینک نیز در حوضه قزل اوزن اتفاق افتاده است. چند سالی است که در منطقه طارم مرکباتی نظیر پرتقال و خرمالو تولید می‌شود. در ماهنشان نیز مدتی است باغات پسته احداث شده و همچنین گیاه زعفران نیز مدتی است در این منطقه کشت می‌شود. البته باید این نکته را در نظر داشت که افزایش طول فصل رشد بدون تأمین نیاز آبی گیاه می‌تواند مشکلات غیرقابل انتظاری ببار آورد. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد در طول فصل رشد در حوضه (به‌طور متوسط از اواسط آوریل تا اکتبر) مقدار کمیت PD و شدت خشکی افزایش خواهند یافت، بنابراین، گیاهان در آینده از لحاظ تنش آبی با مشکل بیشتری مواجه خواهند بود. چنانچه بتوان آب آبیاری را در آینده تأمین کرد، پتانسیل بالقوه کشاورزی بالفعل خواهد شد.

فصل رشد مورد بحث در این مطالعه، برای گیاهان آبی مد نظر بود که تقریباً از اواسط آوریل تا اکتبر را شامل می‌شود، در حالی که فصل رشد گندم در این حوضه از اکتبر تا اواخر ژوئن می‌باشد و بنابراین، هنگام استفاده از نتایج باید جانب احتیاط مراعات شود. شکوهی و همکاران (۱۳۹۷) به نقل از آخرین آمار و اطلاعات وزارت جهاد کشاورزی اذعان داشتند ۶۰ درصد از گندم دیم کشور در استان‌های زنجان، کردستان، اردبیل، همدان، کرمانشاه و گلستان کشت می‌شود که حوضه قزل اوزن

بخش بزرگی از این مناطق را در بر می‌گیرد؛ بنابراین، حوضه قزل اوزن نقش عمده‌ای در تولید گندم کشور ایفا می‌کند. کشت دیم گندم پاییزه در این منطقه تقریباً از اواسط ماه اکتبر شروع شده و از اواخر ژوئن برداشت آن آغاز می‌شود (حنفی و خوشحال دستجردی، ۱۳۹۶). از آنجا که در کشت دیم آب مورد نیاز گیاهان تنها از طریق بارش تأمین می‌شود، PD در این نوع کشت از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد (به‌طور متوسط در کل حوضه) بارش در طول فصل رشد گندم دیم (اکتبر تا ژوئن) ۸ تا ۱۰ درصد افزایش و مقدار PD حدود ۳ درصد کاهش خواهد یافت که این مقدار افزایش بارش و کاهش PD می‌تواند پتانسیل کشت گندم دیم منطقه را افزایش دهد، هر چند برای اخذ نتیجه‌گیری قطعی مطالعات مفصل‌تری در این زمینه لازم است. نتایج تحقیق امیری و همکاران (۱۳۹۷) نیز نشان داد، افزایش دمای هوا و بارندگی استان کردستان تا سال ۲۰۳۰ استعداد کشت گندم دیم این استان را تا حد بالایی افزایش خواهد داد.

بررسی‌ها حاکی از آن بود که روش کوکریجینگ با پارامتر کمکی DEM (در کنار دو پارامتری که همبستگی قابل قبولی با پارامتر مورد بررسی داشتند) دقت و انطباق‌پذیری پهنه‌بندی شاخص‌های مورد مطالعه را بهبود بخشید. روش‌های IDW و کریجینگ نیز فاقد دقت لازم بودند. نتایج نقشه‌های پهنه‌بندی استخراج شده نشان داد، الگوی مکانی شاخص‌های اگروکلیماتیک حوضه قزل اوزن در آینده تغییر محسوس نخواهد کرد. برای استمرار کشاورزی پایدار لازم است شرایط جدید را به دیده واقعیت نگریسته و خود را با این شرایط وفق داد.

**سپاسگزاری**

از سازمان هواشناسی کشور بابت در اختیار قرار دادن داده‌های هواشناسی ایستگاه‌های همدید حوضه آبریز قزل

اوزن تقدیر و تشکر می‌شود. همچنین، از آقایان مهندس مهران سیف‌الهی و سید علی‌رضا ورنبدلی که در جهت اعتلای این مقاله کمک نمودند قدردانی به عمل می‌آید.

### منابع مورد استفاده

- اخوان، س.، قبائی سوق، م. و مساعدی، ا. ۱۳۹۴. بررسی اثر تغییر اقلیم بر مقدار نیاز خالص آبیاری محصولات عمده دشت همدان- بهار با استفاده از نتایج مدل ریزمقیاس LARS-WG5. نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، جلد ۲۲، شماره ۴، ۲۵-۴۶.
- امیری، ح.، حبیبی، ح.، حقیقت، م. و عینی نرگسه، ح. ۱۳۹۷. تأثیرات محتمل تغییر اقلیم بر مناطق مستعد کشت گندم دیم در استان کردستان. نشریه هواشناسی کشاورزی، جلد ۶، شماره ۲، ۸۵-۸۰.
- بابایی، ا. و نجف پور، ب. ۱۳۹۳. نقشه‌ها و نمودارهای اقلیمی. انتشارات دانشگاه پیام نور، ۵۷-۷۲.
- جورابلو، س.، اژدری، خ.، گنجی نوروزی، ز. و دلقندی، م. ۱۳۹۷. تأثیر تغییر اقلیم بر تبخیر و تعرق گیاه مرجع و کمبود بارندگی در منطقه سمنان. علوم و مهندسی آبیاری، جلد ۴۱، شماره ۴، ۷۷-۱۱.
- حنفی، ع. و خوشحال دستجردی، ج. ۱۳۹۶. شناسایی مناطق مساعد کشت گندم دیم در استان زنجان براساس پارامترهای اقلیم کشاورزی. فصلنامه علمی- پژوهشی فضای جغرافیایی، سال ۱۷، شماره ۵۹، ۶۶-۴۷.
- خزائی، م. و بایزیدی، م. ۱۳۹۵. اثر تغییر اقلیم بر متغیرهای سالانه هواشناسی و هیدرولوژیک حوضه سیروان. تحقیقات منابع آب ایران، سال ۱۲، شماره ۲، ۴۸-۳۸.
- خیراندیش، م.، قهرمان، ن. و بذرافشان، ج. ۱۳۹۲. بررسی تأثیرات تغییر اقلیم بر طول فصل رشد در چشم‌انداز ۲۰۲۰ و ۲۰۵۰ در چند نمونه اقلیمی ایران. مجله تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۴۴، شماره ۲، ۱۴۳-۱۵۰.
- دلبری، م. و جهانی، س. ۱۳۹۱. ارزیابی اثر استفاده از مدل رقمی ارتفاع (DEM) در تخمین بارش ماهانه و سالانه در استان گلستان. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، شماره ۲، جلد ۶، ۱۱۸-۱۳۲.
- رضایی بنفشه، م.، جهانبخش اصل، م. و قادری، ف. ۱۳۹۷. تحلیل اقلیم‌شناسی تگرگ در محدوده زاگرس شمالی در فصل رشد گیاهان. مجله مخاطرات محیط طبیعی، دوره ۷، شماره ۱۷، ۵۲-۳۷.
- سیایی، ن. و ثنایی نژاد، س. ح. ۱۳۹۲. بررسی روش‌های ترکیبی زمین آمار در افزایش دقت طبقه‌بندی اقلیمی و نیز پهنه‌بندی عناصر اقلیمی شمال شرق ایران، پژوهش‌های اقلیم‌شناسی، شماره ۱۵، ۹۲-۸۱.
- شکوهی، م.، ثنایی نژاد، س. ح. و بنایان اول، م. ۱۳۹۷. ارزیابی شبیه‌سازی دما و بارش مدل‌های اقلیمی CMIP5 در مطالعات منطقه‌ای تغییر اقلیم (مطالعه موردی: مناطق عمده در تولید گندم دیم در ایران). نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۳۲، شماره ۵، ۱۰۲۴-۱۰۱۳.
- صادقی، ا.، دین پژوه، ی. و ضرغامی، م. ۱۳۹۷. ارزیابی روند تبخیر- تعرق پتانسیل گیاه مرجع در حوضه آبریز قزل اوزن تحت شرایط تغییر اقلیم. مجله تحقیقات آب و خاک ایران (مجله علوم کشاورزی ایران)، DOI: 10.22059/IJSWR.2019.271236.668068.
- فرج زاده، م. ۱۳۹۱. تکنیک‌های اقلیم‌شناسی. انتشارات سمت، ۳۰۳-۱.
- کریمی، ص.، جاودانی، ر.، خسروی، م. و طاوسی، ت. ۱۳۹۳. واکنش فصل رشد در برابر خشکسالی و ترسالی اقلیمی مورد مطالعه: منطقه‌ی بلوچستان مرکزی. جغرافیا و توسعه، شماره ۳۷، ۱۴-۱.
- کوچکی، ع.، نصیری محلاتی، م. و جعفری، ل. ۱۳۹۴. بررسی اثر تغییر اقلیم بر کشاورزی ایران: ۱- پیش‌بینی وضعیت آگروکلیماتیک آینده. نشریه پژوهش‌های زراعی ایران، جلد ۱۳، شماره ۴، ۶۶۴-۶۵۱.
- مسعودیان، س.، ا. و دارند، م. ۱۳۹۳. شناسایی و تحلیل تغییرات شاخص‌های اقلیم کشاورزی در ایران. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال ۲۹، شماره ۲، ۵۰-۳۹.
- مظفری، غ. و ترکی، م. ۱۳۸۹. بررسی روند تغییرات طول فصل رشد در ایران. اندیشه جغرافیایی، سال ۱۴، شماره ۸، ۴۳-۲۵.

- مظفری، غ. و دهقان، ح. ۱۳۹۲. پهنه‌بندی طول فصل رشد گیاهان بر مبنای ویژگی‌های دمایی در ایران. مجله جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای، شماره ۲۱، ۱۳۷-۱۲۱.
- میرموسوی، س.، ح. و اکبرزاده، ی. ۱۳۸۹. مطالعه زمانی- مکانی بارش تگرگ در فصل رشد گیاهان مطالعه موردی: استان آذربایجان شرقی. نشریه علمی- پژوهشی جغرافیا و برنامه‌ریزی، سال ۱۵، شماره ۳۳، ۱۹۰-۱۷۵.
- یساری، ط. ۱۳۹۳. تعیین تاریخ‌های کاشت گلرنگ بهاره در استان اصفهان با استفاده از دما و مدل رقومی ارتفاع. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، دوره ۴۶، شماره ۳، ۴۰۵-۳۸۹.
- Asmat Ullah, Salehnia, N., Kolsoumi, S., Ahmad, A. and Khaliq, T., 2018. Prediction of effective climate change indicators using statistical downscaling approach and impact assessment on pearl millet (*Pennisetum glaucum* L.) yield through Genetic Algorithm in Punjab, Pakistan. *Ecological Indicators*, 90: 569-576.
- Barichivich, J., Briffa, K.R., Osborn, T.J., Melvin, T.M. and Caesar, J., 2012. Thermal growing season and timing of biospheric carbon uptake across the Northern Hemisphere. *Global Biogeochemical Cycles*, 26(4): 1-13.
- Baule, W., Allred, B., Frankenberger, J., Gamble, D., Andresen, J., Gunn, K.M. and Brown, L., 2017. Northwest Ohio crop yield benefits of water capture and subirrigation based on future climate change projections. *Agricultural Water Management*, 189: 87-97.
- Burrows, M.T., Schoeman, D.S., Buckley, L.B., Moore, P., Poloczanska, E.S., Brander, K.M., Brown, C., Bruno, J.F., Duarte, C.M., Halpern, B.S. and Holding, J., 2011. The pace of shifting climate in marine and terrestrial ecosystems. *Science*, 334(6056): 652-655.
- Carter, T.R., 1998. Changes in the thermal growing season in Nordic countries during the past century and prospects for the future. *Agricultural and Food Science*, 7(2): 161-179.
- Chen, H., Guo, J., Zhnag, Z. and Yu Xu, C., 2013. Prediction of temperature and precipitation in Sudan and South Sudan by using LARS-WG in future. *Theoretical and Applied Climatology*, 113: 363-375.
- Cui, L., Shi, J., Ma, Y. and Liu, X., 2018. Variations of the thermal growing season during the period 1961–2015 in northern China. *Journal of Arid Land*, 10(2): 264-276.
- Fan, J., Wu, L., Zhang, F., Cai, H., Zeng, W., Wang, X. and Zou, H., 2019. Empirical and machine learning models for predicting daily global solar radiation from sunshine duration: A review and case study in China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 100: 186-212.
- Gaertner, B.A., Zegre, N., Warner, T., Fernandez, R., He, Y. and Merriam, E.R., 2019. Climate, forest growing season, and evapotranspiration changes in the central Appalachian Mountains, USA. *Science of the Total Environment*, 650: 1371-1381.
- Hemayati, S. S., 2009. Determining the climate of Ardabil plain, its variation in past 25 years and agronomical strategies for system adjustments. *Plant Ecophysiology*, (1): 17-23.
- Jiang, S., Liang, C., Cui, N., Zhao, L., Du, T., Hu, X., Feng, Y., Guan, J. and Feng, Y., 2019. Impacts of climatic variables on reference evapotranspiration during growing season in Southwest China. *Agricultural Water Management*, 216: 365-378.
- Kira, O., Nguy-Robertson, A.L., Arkebauer, T.J., Linker, R. and Gitelson, A.A., 2017. Toward generic models for green LAI estimation in maize and soybean: Satellite observations. *Remote Sensing*, 9(4): 318.
- Ku, H.H., Ryu, J.H., Bae, H.S., Jeong, C. and Lee, S.E., 2019. Modeling a long-term effect of rice straw incorporation on SOC content and grain yield in rice field. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 1-14.
- Kundu, S., Khare, D. and Mondal, A., 2017. Future changes in rainfall, temperature and reference evapotranspiration in the central India by least square support vector machine. *Geoscience Frontiers*, 8(3): 583-596.
- Linderholm, H.W., 2006. Growing season changes in the last century. *Agricultural and Forest Meteorology*, 137(1-2): 1-14.
- Mardfar, R. A., Raei, Y., Nassab, A. D. M., Khaghaninia, S. and Amini, R., 2013. Yield and yield components of wheat as influenced by intercropping of oilseed rape and fertilizers. *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences*, 3(6): 38-46.
- Oguntunde, P.G., Lischeid, G., Abiodun, B.J. and Dietrich, O., 2014. Analysis of spatial and temporal patterns in onset, cessation and length of growing season in Nigeria. *Agricultural and Forest Meteorology*, 194: 77-87.
- Pathak, T.B. and Stoddard, C.S., 2018. Climate change effects on the processing tomato growing season in California using growing degree day model. *Modeling Earth Systems and Environment*, 4(2): 765-775.
- Rahman, M.A., Yunsheng, L., Sultana, N. and Ongoma, V., 2018. Analysis of reference evapotranspiration (ET<sub>0</sub>) trends under climate change in Bangladesh using observed and CMIP5 data sets. *Meteorology and Atmospheric Physics*: 1-17.
- Rajsekhar, D. and Gorelick, S. M., 2017. Increasing drought in Jordan: Climate change and cascading Syrian land-use impacts on reducing transboundary flow. *Science Advances*, 3(8): 1-15.
- Robeson, S.M., 2002. Increasing growing-season length in Illinois during the 20th century. *Climatic Change*, 52(1-2): 219-238.
- Saadi, S., Todorovic, M., Tanasijevic, L., Pereira, L.S., Pizzigalli, C. and Lionello, P., 2015. Climate change and Mediterranean agriculture: impacts on winter wheat and tomato crop evapotranspiration, irrigation requirements and yield. *Agricultural Water Management*, 147: 103-115.

- Shen, M., Tang, Y., Chen, J. and Yang, W., 2012. Specification of thermal growing season in temperate China from 1960 to 2009. *Climatic Change*, 114(3-4): 783-798.
- Taki, M., Ajabshirchi, Y., Ranjbar, S.F., Rohani, A. and Matloobi, M., 2016. Modeling and experimental validation of heat transfer and energy consumption in an innovative greenhouse structure. *Information Processing in Agriculture*, 3(3): 157-174.
- Tomczyk, A.M. and Szyga-Pluta, K., 2019. Variability of thermal and precipitation conditions in the growing season in Poland in the years 1966–2015. *Theoretical and Applied Climatology*, 1-14.
- Xu, C., Liu, H., Williams, A.P., Yin, Y. and Wu, X., 2016. Trends toward an earlier peak of the growing season in Northern Hemisphere mid- latitudes. *Global Change Biology*, 22(8): 2852-2860.

## Projection and Spatial Analysis of Agroclimatic Indices in Ghezel Ozan River Basin during the Growing Season

Amin Sadeqi<sup>\*1</sup>, Yagob Dinpashoh<sup>2</sup> And Mahdi Zarghami<sup>3</sup>

1) MSc. Student, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

\* Corresponding author: [aminsadeqi95@ms.tabrizu.ac.ir](mailto:aminsadeqi95@ms.tabrizu.ac.ir)

2) Associate Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

3) Professor, Faculty of Civil Engineering and Institute of Environment, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

Received: 09-08-2019

Accepted: 12-10-2019

### Abstract

Accurate planning for adaptation to climate change is very important in each region. In this study, using the meteorological data of the six synoptic stations in the Ghezel Ozan basin in the period 1989-2016, and by employing the four GCM models, under the two scenarios RCP4.5 and RCP8.5, data were generated for the horizons 2050. Then, some parameters such as the air temperature, precipitation, potential evapotranspiration ( $ET_0$ ), precipitation deficit (PD) during the growing season, dryness intensity were calculated.  $ET_0$  was calculated by Pricsteley-Taylor (PT) and Penman-Monteith (PM) methods. Then,  $ET_0$  obtained from the PT method was calibrated using four Artificial Intelligence methods (namely Eureka Formulize, ANN, ANFIS and SVM) with PM method for each station. For spatial analysis, three geostatistical methods namely IDW, Kriging, and Cokriging were utilized. The results indicated an increase of 0.9 - 2 °C in mean air temperature and an increase in precipitation between 27 and 49 mm will be experienced in the future period. Furthermore,  $ET_0$  and dryness intensity will be increased at all the stations. The increase in average PD (in the whole basin) will be about 6% to 9%. In average, the rate of increase in agroclimatic indices in the RCP8.5 scenario will be about four percent more than the RCP4.5 scenario. Among the methods of interpolation, the modified Cokriging based on DEM (Digital Elevation Model) showed the more suitable one among others. The length of the growing season will be elongated from 15 to 35 days. No significant changes will be occurred for dryness period. The spatial variation of future climate variables is expected to be not changed comparing the base period.

**Keywords:** Artificial Intelligence, Climate Change, Evapotranspiration, Gezel Ozan, Spatial Analysis