

## بررسی نیاز آبی بخش کشاورزی تحت شرایط تغییر اقلیم (مطالعه موردی: دشت یزد - اردکان)

فاطمه برزگری<sup>۱\*</sup> و حسین ملکی نژاد<sup>۲</sup>

<sup>۱\*</sup> - نویسنده مسئول، استادیار دانشکده کشاورزی، دانشگاه پیام نور، یزد، ایران

<sup>۲</sup> - دانشیار، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه یزد، یزد، ایران.

تاریخ پذیرش: ۹۴/۸/۱۱

تاریخ دریافت: ۹۳/۱۲/ ۲۰

### چکیده

این پژوهش با هدف بررسی تغییرات تبخیر و تعرق و نیاز آبی بخش کشاورزی دشت یزد- اردکان با در نظر گرفتن تغییر اقلیم انجام شد. به منظور انجام این تحقیق، دو دوره زمانی در نظر گرفته شد. دوره اول شامل سال‌های ۲۰۱۰-۱۹۷۱ و دوره دوم شامل سال‌های ۲۰۳۰-۲۰۱۰ است. برای پیش‌بینی تغییرات اقلیمی منطقه از داده‌های ایستگاه سینوپتیک یزد در دوره ۲۰۱۰-۱۹۷۱ استفاده گردید. داده‌ها شامل مقادیر روزانه بارش، درجه حرارت حداکثر، درجه حرارت حداقل و ساعات آفتابی بودند که برای بررسی تغییر اقلیم از طریق سناریو A<sub>2</sub> مدل HadCM<sub>3</sub> در نرم‌افزار لارس مورد بررسی قرار گرفتند. تبخیر و تعرق و نیاز آبی گیاهان برای دو دوره زمانی منتخب، از طریق گزارش ۵۶ فائو و نرم‌افزار کراپ وات برآورد شد. نتایج نشان داد، تا سال ۲۰۳۰ تغییرات دما و توزیع بارش در منطقه مورد مطالعه معنی‌دار خواهد بود و در دوره پیش‌بینی شده، دمای کمینه و دمای بیشینه سالانه به ترتیب ۱/۸۳، ۱/۱۹ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهند داشت. از طرفی پارامتر بارش نیز، هم از نظر میزان و هم از نظر تیپ بارشی دارای تغییرات معنی‌داری خواهد بود. به این ترتیب که میزان بارندگی در دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۰ نسبت به دوره آماری فعلی مورد بررسی، نه درصد افزایش خواهد داشت و تیپ بارندگی نیز از پاییز به بهار تغییر خواهد کرد. نتایج این بررسی نشان داد، روند افزایشی دما، منجر به افزایش تبخیر و تعرق و بالا رفتن نیاز آبی گیاهان تا هفت درصد، تحت شرایط تغییر اقلیم می‌شود.

کلید واژه‌ها: تبخیر و تعرق، مدل لارس، سناریو A<sub>2</sub>، نرم‌افزار کراپ وات.

### Estimating Irrigation Requirements under Climate Change (Case Study: Yazd-Ardakan Plain)

F. Barzegari<sup>1\*</sup> and H. Malekinezhad<sup>2</sup>

1\* - Assistant Professor, Department of Agriculture, Payamnor University, Yazd, Iran.

2- Associate Professor, Department of Watershed and Rangeland Engineering, Faculty of Natural Resources, Yazd University, Yazd, Iran.

Received: 11 March 2015

Accepted: 2 November 2015

### Abstract

This study was carried out to investigate climate change impact on cultivated area in the Yazd-Ardakan plain considering the possible alterations of evapotranspiration and irrigation requirements. The data used in the analysis represented two time periods: (i) present, (values for the period 1971–2010), and (ii) future, called year 2030 (values for the period 2011–2030). To predict future climate changes, daily climate data from Yazd Synoptic station for 1971–2010 period have been used. Data including, rain, maximum and minimum temperatures and sun shine hours have been investigated through regional climate models driven by A<sub>2</sub> scenario of HadCM<sub>3</sub> global climate model using LARS-WG software. Crop evapotranspiration and irrigation requirements for two periods, were estimated following the standard procedure described in the FAO irrigation and drainage paper 56 and CROPWAT software. The results show that the climatic changes should significantly affect the studied area in terms of minimum and maximum temperature and precipitation up to the year 2030. Annual maximum and minimum temperature are projected to increase by 1.19 °C and 1.83 °C respectively. In the other hand, mean precipitation increase by 9% in 2010–2030 period compare to present period and the

distribution of precipitation will have significant changes, as autumn precipitation decreases, the spring precipitation will have increasing trend. Results of this study showed that, due to higher temperature, crop evapotranspiration and irrigation requirements will be increased up to 7% under climate change conditions.

**Keywords:** Evapotranspiration; LARS-WG model; A<sub>2</sub> scenario; CROPWAT software.

سناریوهای اقلیمی صورت می‌گیرد. معروف‌ترین مدل‌های پیش‌بینی اقلیمی، مدل‌های گردش عمومی جو<sup>۷</sup> هستند که در مطالعات مختلف به کار گرفته شده‌اند (آشفته و مساح بوانی، ۱۳۹۰؛ بابائیان و همکاران، ۱۳۸۸؛ روشن و همکاران، ۱۳۹۱؛ کوچکی و همکاران، ۱۳۸۲؛ بابائیان و همکاران<sup>۸</sup>، ۲۰۰۴؛ ایتزینگرا و همکاران<sup>۹</sup>، ۲۰۰۳؛ هریتیگ و جاکویت<sup>۱۰</sup>، ۲۰۰۸؛ کی نو ما و همکاران<sup>۱۱</sup>، ۲۰۰۴؛ خزائی و همکاران<sup>۱۲</sup>، ۲۰۱۱؛ ریچارد و همکاران<sup>۱۳</sup>، ۱۹۹۴). به‌طور کلی مدل گردش عمومی جو، شرایط توپوگرافی، پوشش سطحی و شرایط اقلیمی یکسانی را برای یک شبکه با ابعاد چند صد کیلومتری در نظر می‌گیرند، در حالی که ممکن است شرایط واقعی سطح زمین در این محدوده کاملاً متفاوت باشد (بابائیان و همکاران، ۱۳۸۸). برای فائق آمدن به این مشکل، خروجی مدل‌های گردش عمومی جو به دو روش آماری و دینامیکی ریزمقیاس می‌گردند (بابائیان و نجفی‌نیک، ۱۳۸۵). روش‌های آماری به‌دلیل هزینه کمتر و ارزیابی سریع‌تر، معمولاً نسبت به روش‌های دینامیکی ارجحیت دارند (عباسی و همکاران، ۱۳۸۹؛ هویسون و کرین<sup>۱۴</sup>، ۱۹۹۶). از جمله مدل‌هایی که از روش‌های آماری استفاده می‌کنند می‌توان به مدل لارس، SDSM و CLIMGEN، GEM اشاره نمود. از این مدل‌ها، مدل لارس، به‌دلیل سادگی و انطباق بیشتر با واقعیت‌های موجود، به‌گسترده‌گی در انگلستان مورد استفاده قرار می‌گیرد (بابائیان و نجفی‌نیک، ۱۳۸۵). کارایی مدل لارس در مطالعات متعددی تأیید شده است (آشفته و همکاران، ۱۳۹۱؛ بابائیان و همکاران، ۱۳۸۸؛ دوستی و همکاران، ۱۳۹۲؛ ماوروماتیس و هانسن<sup>۱۵</sup>، ۲۰۰۱؛ سمنوف و بارو<sup>۱۶</sup>، ۲۰۰۲؛ سمنوف و همکاران<sup>۱۷</sup>، ۱۹۹۸؛ زرقامی و همکاران<sup>۱۸</sup>، ۲۰۱۱). لذا در مطالعه حاضر، از این مدل جهت تعیین نوسانات اقلیمی آینده استفاده شده است.

مطالعات زیادی در سراسر دنیا در مورد ارتباط بین تبخیر و تعرق و تغییرات اقلیمی انجام شده است. این مطالعات را از نقطه نظر روش بررسی تغییر اقلیم می‌توان به دو دسته تقسیم نمود. در گروه اول

## مقدمه

هرگونه تغییر منظم و معنی‌دار متوسط بلند مدت پارامترهای اقلیمی منطقه، به‌عنوان تغییر اقلیم تعریف می‌شود (گیل آلانا<sup>۱</sup>، ۲۰۱۲). واقعیت تغییر اقلیم از موضوعات برجسته محافل علمی و حتی عوام طی چند دهه اخیر بوده و تحقیقات گسترده‌ای را در مقیاس جهانی، ناحیه‌ای و محلی به‌خود اختصاص داده است. از جمله تبعات تغییر اقلیم، تأثیرگذاری آن بر چرخه هیدرولوژیکی است (بورمان<sup>۲</sup>، ۲۰۱۱). از آنجایی که مساله آب مهم‌ترین دغدغه مدیران و برنامه‌ریزان در آینده است (بایتس و همکاران<sup>۳</sup>، ۲۰۰۸)، بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر چرخه آب از جمله مواردی است که مدیران مسئول در زمینه منابع آب، جهت ساماندهی و یافتن راه‌های مقابله با این بحران باید در نظر بگیرند (زو و همکاران<sup>۴</sup>، ۲۰۰۴). تبخیر و تعرق به‌عنوان یک پارامتر مهم در چرخه هیدرولوژیکی محسوب می‌شود که خود تحت تأثیر پارامترهای اقلیمی متعددی نظیر ساعات آفتابی، درجه حرارت، سرعت باد، رطوبت و..... قرار دارد. لذا بررسی چرخه آب، بدون در نظر گرفتن تبخیر و تعرق به‌عنوان رکن اصلی تعیین کننده نیاز آبی گیاهان، امکان‌پذیر نیست (گویال<sup>۵</sup>، ۲۰۰۴). اهمیت موارد گفته شده زمانی قابل درک است که به بررسی آمار مصرف آب در کشور پرداخته شود. براساس آمار منتشره از سوی وزارت نیرو، بخش کشاورزی با مصرف در حدود ۹۰ درصد از کل آب مصرفی، بزرگترین مصرف کننده آب در ایران محسوب می‌شود. مقدار آب مصرفی بخش کشاورزی، ارتباط تنگاتنگی با شرایط اقلیمی و به‌خصوص تبخیر و تعرق گیاهان دارد، لذا تعیین تبخیر و تعرق، مساله مهمی در تعیین نیاز آبی، تخصیص و مدیریت منابع آبی است (لی و همکاران<sup>۶</sup>، ۲۰۰۳). براساس موارد مطرح شده می‌توان گفت، هرگونه برنامه‌ریزی منابع آبی در آینده بدون در نظر گرفتن تأثیر تغییر اقلیم بر تبخیر و تعرق و نیاز آبی گیاهان، ناقص و کوتاه‌نگرانه خواهد بود. به‌منظور بررسی تغییرات اقلیمی آینده از مدل‌های اقلیمی استفاده می‌شود. مدل‌های اقلیمی بحث جدیدی است که بیش از ۳۰ سال از عمر آن نمی‌گذرد. هر مدل اقلیمی تلاش می‌کند تا فرایندهای تأثیرگذار روی اقلیم را شبیه‌سازی کرده و بر اساس آن پیش‌بینی اقلیم آینده را انجام دهد (مهدی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۰). این پیش‌بینی به‌طور قطعی امکان‌پذیر نبوده و لذا با بررسی احتمالات از طریق

7- General Circulation model

8- Babaeian *et al.*

9- Eitzingera *et al.*

10- Hertig and Jacobeit

11- Kainuma *et al.*

12- Khazaei *et al.*

13- Richard *et al.*

14- Hewitson and Crane

15- Mavromatis and Hansen

16- Semenov and Barrow

17- Semenov *et al.*

18- Zarghami *et al.*

1- Gil-Alana

2- Bormann

3- Bates *et al.*

4- Xu *et al.*

5- Goyal

6- Li *et al.*

به منظور بررسی تغییرات اقلیمی، از روند تغییرات پارامترهای هواشناسی استفاده شده و بخشی از سناریوهای اقلیمی به میان نیامده است. از این گروه می‌توان به مطالعات زیر اشاره نمود.

زانگ<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۱۱) با بررسی تبخیر و تعرق گیاه مرجع در اقلیم‌های مختلف چین، ارتباط معنی‌دار بین تغییرات پارامترهای اقلیمی منطقه‌ای و تبخیر و تعرق گیاه مرجع یافتند. کوثری و همکاران<sup>۲</sup> (۲۰۱۳)، مطالعه مشابهی را در ایران انجام دادند، در مطالعه ایشان، از معادله فائو پین من مانیت برای تعیین تبخیر و تعرق داده‌های ۴۵ ساله اقلیمی ۳۲ ایستگاه هواشناسی استفاده شد و روند تغییرات تبخیر و تعرق ایستگاه‌های مورد مطالعه با آزمون روند من کندال مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان داد، در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران، در دهه‌های اخیر، تبخیر و تعرق گیاه مرجع، روند رو به افزایشی داشته است. مطالعات تانگ و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۰۷) و رضیئی و همکاران<sup>۴</sup> (۲۰۱۴) نشان داد تغییرات محسوس در روند افزایشی یا کاهش تبخیر و تعرق گیاه مرجع مشاهده نمی‌شود. طبری و همکاران<sup>۵</sup> (۲۰۱۴) مقدار تبخیر و تعرق گیاه مرجع را در اقلیم‌های مختلف ایران (۸ ایستگاه مطالعاتی)، در یک دوره ۴۱ ساله مطالعه نمودند و با فرض دامنه‌ای از نوسانات در پارامترهای اقلیمی تأثیرگذار در تبخیر و تعرق گیاه مرجع، مقدار تغییرات این پارامتر را بررسی نمودند. براساس نتایج تحقیق طبری و همکاران (۲۰۱۴)، تغییرات تبخیر و تعرق گیاه مرجع در مناطق خشک زیادتر از مناطق مرطوب است. بیشترین تغییرات تبخیر و تعرق گیاه مرجع در مطالعه ایشان، حدود ۹٪ و مربوط به منطقه خشک بوده است. مطالعات مشابهی توسط دیلاکاسا و اوواندو<sup>۶</sup> (۲۰۱۴) و نام و همکاران<sup>۷</sup> (۲۰۱۵) انجام شده است.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه، اراضی مربوط به آبخوان دشت یزد-اردکان با مساحت تقریبی ۲۱۴۰ کیلومتر مربع می‌باشد که در محدوده جغرافیایی ۳۰° ۵۳' تا ۳۰° ۵۴' طول شرقی و ۳۰° ۳۱' تا ۳۰° ۳۲' عرض شمالی واقع شده است. منبع اصلی تامین آب مورد نیاز جمعیت ساکن، آبخوان زیرزمینی است که از مناطق مرتفع حوضه تغذیه می‌گردد. شکل (۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که در محدوده مورد بررسی مشکل کم آبی وجود دارد و بخش کشاورزی بزرگترین مصرف کننده آب به‌شمار می‌آید.

### روش تحقیق

#### داده‌های مورد استفاده در پیش‌بینی اقلیم

در بررسی اقلیم، داده‌ها شامل مقادیر روزانه بارش، دمای کمینه، دمای بیشینه و ساعات آفتابی بودند که در قالب مدل لارس مورد بررسی قرار گرفتند.

### مدل لارس

لارس یکی از مشهورترین الگوهای مولد داده‌های تصادفی وضع هواست که برای تولید مقادیر بارش، تابش، درجه حرارت‌های بیشینه و کمینه روزانه در یک ایستگاه، تحت شرایط اقلیمی پایه و آینده به‌کار می‌رود. مبنای این الگو برای الگوسازی طول دوره‌های خشک و تر، بارش روزانه و سری‌های تابش، توزیع نیمه‌تجربی است (سمنوف و بارو، ۲۰۰۲).

در گروه دوم مطالعات از سناریوهای اقلیمی به‌منظور پیش‌بینی اقلیم استفاده شده است. از این گروه می‌توان به مطالعات زیر اشاره نمود.

زانگ<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۱۱) با بررسی تبخیر و تعرق گیاه مرجع در اقلیم‌های مختلف چین، ارتباط معنی‌دار بین تغییرات پارامترهای اقلیمی منطقه‌ای و تبخیر و تعرق گیاه مرجع یافتند. کوثری و همکاران<sup>۲</sup> (۲۰۱۳)، مطالعه مشابهی را در ایران انجام دادند، در مطالعه ایشان، از معادله فائو پین من مانیت برای تعیین تبخیر و تعرق داده‌های ۴۵ ساله اقلیمی ۳۲ ایستگاه هواشناسی استفاده شد و روند تغییرات تبخیر و تعرق ایستگاه‌های مورد مطالعه با آزمون روند من کندال مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان داد، در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران، در دهه‌های اخیر، تبخیر و تعرق گیاه مرجع، روند رو به افزایشی داشته است. مطالعات تانگ و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۰۷) و رضیئی و همکاران<sup>۴</sup> (۲۰۱۴) نشان داد تغییرات محسوس در روند افزایشی یا کاهش تبخیر و تعرق گیاه مرجع مشاهده نمی‌شود. طبری و همکاران<sup>۵</sup> (۲۰۱۴) مقدار تبخیر و تعرق گیاه مرجع را در اقلیم‌های مختلف ایران (۸ ایستگاه مطالعاتی)، در یک دوره ۴۱ ساله مطالعه نمودند و با فرض دامنه‌ای از نوسانات در پارامترهای اقلیمی تأثیرگذار در تبخیر و تعرق گیاه مرجع، مقدار تغییرات این پارامتر را بررسی نمودند. براساس نتایج تحقیق طبری و همکاران (۲۰۱۴)، تغییرات تبخیر و تعرق گیاه مرجع در مناطق خشک زیادتر از مناطق مرطوب است. بیشترین تغییرات تبخیر و تعرق گیاه مرجع در مطالعه ایشان، حدود ۹٪ و مربوط به منطقه خشک بوده است. مطالعات مشابهی توسط دیلاکاسا و اوواندو<sup>۶</sup> (۲۰۱۴) و نام و همکاران<sup>۷</sup> (۲۰۱۵) انجام شده است.

در گروه دوم مطالعات از سناریوهای اقلیمی به‌منظور پیش‌بینی اقلیم استفاده شده است. از این گروه می‌توان به مطالعات زیر اشاره نمود. رمروا و سیس لروا<sup>۸</sup> (۲۰۱۰) با استفاده از سناریوی HadCM3 به بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر تبخیر و تعرق حوضه کوهستانی جیزرا<sup>۹</sup> پرداختند، بررسی ایشان نشان داد تا سال ۲۱۰۰ تغییرات محسوس در تبخیر و تعرق این حوضه کوهستانی اتفاق نخواهد افتاد. خلیل<sup>۱۰</sup> (۲۰۱۳) تأثیر تغییر اقلیم را بر تبخیر و تعرق گیاه مرجع در مصر مورد مطالعه قرار داد. نتایج نشان داد تبخیر و تعرق گیاه مرجع در دوره‌های آینده افزایش خواهد داشت. تاناسی جویس و همکاران<sup>۱۱</sup> (۲۰۱۴) به بررسی تغییرات تبخیر و تعرق گیاه زیتون در اثر تغییر اقلیم در منطقه مدیترانه پرداختند. در این مطالعه برای بررسی تغییر اقلیم از سناریوی

- 1- Zhang *et al.*
- 2- Kousari *et al.*
- 3-Tong *et al.*
- 4- Raziei *et al.*
- 5- Tabari *et al.*
- 6- De la casa and Ovando
- 7- Nam *et al.*
- 8- Remrova and Cislserova
- 9- Jizera
- 10- Khalil
- 11-Tanasijevic *et al.*

برزگری و ملکی نژاد: بررسی نیاز آبی بخش کشاورزی تحت شرایط تغییر...

از سناریوی تولید داده ماهانه که در برگرنده رفتار اقلیم پایه است، تمامی داده‌های ماهانه را مطابق معادله (۲) تنظیم می‌کند:

$$F_{fut} = F_{obs} + (F_{GCM}^{fut} - F_{GCM}^{base}) \quad (2)$$

که در آن،  $F_{GCM}^{base}$ ،  $F_{GCM}^{fut}$ ،  $F_{obs}$ ،  $F_{fut}$  به ترتیب نشان دهنده پارامتر هواشناسی پیش‌بینی شده روی ایستگاه هواشناسی، پارامتر هواشناسی دیده‌بانی شده در همان ایستگاه، پارامتر هواشناسی پیش‌بینی شده روی شبکه الگو در دوره آینده و پارامتر هواشناسی مدل شده روی شبکه مدل در دوره گذشته می‌باشند. سپس با حفظ میانگین، انحراف معیار آن‌ها مطابق معادله (۳)، محاسبه می‌گردد (بابائیان و همکاران، ۱۳۸۸؛ عباسی و همکاران، ۱۳۸۹؛ بابائیان و همکاران، ۲۰۰۴).

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

شبیه‌سازی داده‌های اقلیمی دوره گذشته توسط مدل

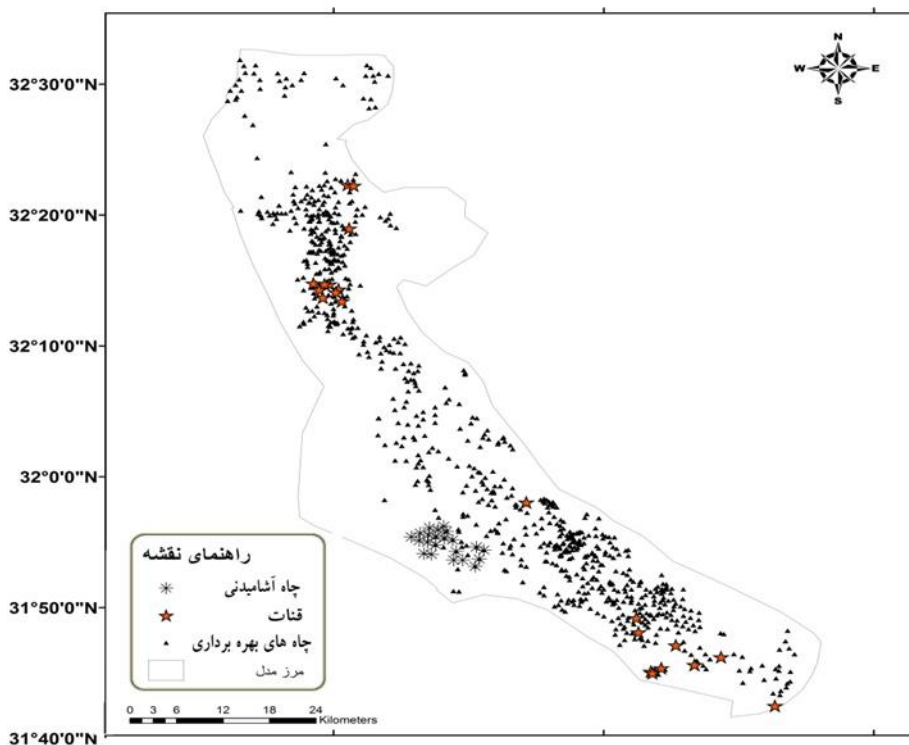
در این تحقیق به منظور ریز مقیاس نمایی آماری داده‌های مدل گردش عمومی جو، از مدل HadCM<sub>3</sub> و سناریوی A<sub>2</sub> در نرم‌افزار لارس استفاده شد. مشخصات سناریوی مورد استفاده در جدول (۱) ارائه شده است.

در توزیع نیمه تجربی فاصله‌ها به‌طور مساوی بین مقادیر حداکثر و حداقل سری زمانی ماهانه تقسیم می‌شوند:

$$EMP = \{a_0, a_i, h_i \mid i=0, 1, 2, \dots, 10\} \quad (1)$$

EMP یک بافت نگار با ده طبقه به صورت  $[a_{i-1}, a_i]$  با فرض  $i=0, 1, 2, \dots, 10$  و فراوانی (تعداد بارش) در طبقه  $i$  ام است. سری‌های فوریه، درجه حرارت را در این الگو تخمین می‌زنند. درجه حرارت‌های کمینه و یا بیشینه روزانه به صورت فرآیندهایی تصادفی با میانگین و انحراف معیارهای روزانه که وابسته به وضعیت تر یا خشک بودن روز مورد نظر هستند، الگوسازی می‌شوند. سری فوریه مرتبه سوم برای شبیه‌سازی میانگین و انحراف معیار درجه حرارت فصلی به کار می‌رود. رفتار حاکم بر مقادیر مانده‌ها که از تفریق مقادیر میانگین از مقدار دیده‌بانی شده به دست می‌آیند، از طریق تحلیل خودهمبستگی زمانی داده‌های کمینه و بیشینه بررسی می‌شوند (بابائیان و همکاران، ۱۳۸۸).

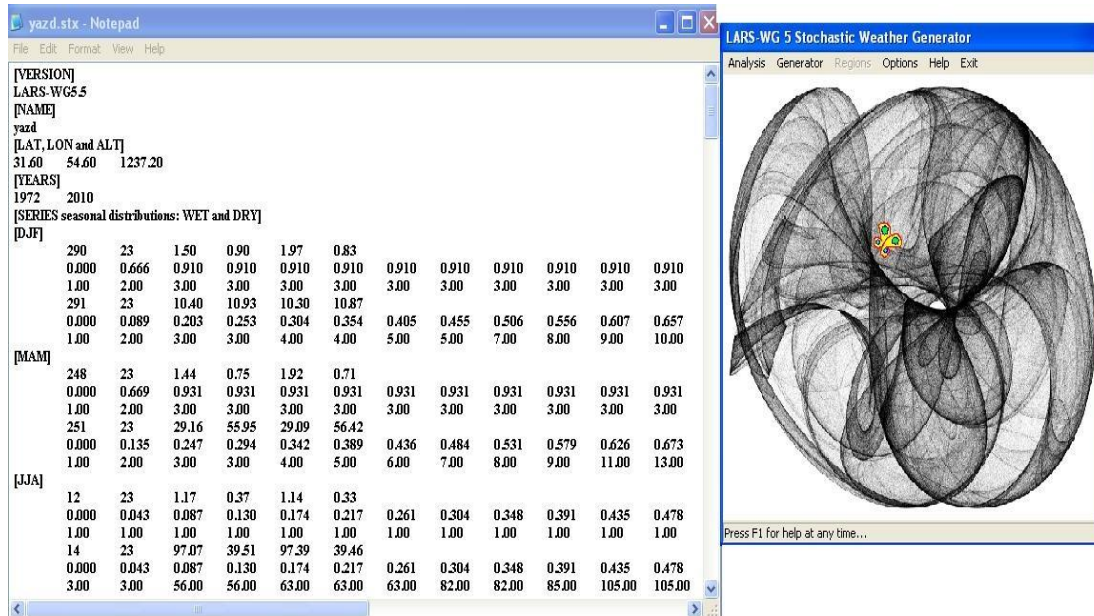
علاوه بر سناریوی تدوین شده برای هر شبکه محاسباتی، برای اجرای الگو لارس به فایل مشخصه رفتار اقلیم گذشته ایستگاه‌های واقع در داخل آن شبکه نیاز است. سپس این الگو با دریافت فایل محتوی رفتار اقلیم گذشته ایستگاه و پوشه سناریوی تولید داده، مقادیر روزانه دمای کمینه، بیشینه، بارش و تابش روزانه را در آینده محاسبه می‌کند. مکانیسم عمل الگو به این صورت است که در ابتدا با استفاده



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

## جدول ۱- ویژگی‌های مدل گردش عمومی جو HadCM3 و سناریوهای تغییر اقلیم

نام مدل	گروه موسس	قدرت تفکیک	سناریوهای انتشار
HadCM <sub>3</sub>	UK Met, Office	$3.75^\circ \times 2.5^\circ$	A <sub>2</sub> , B <sub>1</sub> , A1B
سناریو	A <sub>2</sub>		رشد سریع جمعیت جهان، اقتصاد ناهمگن و همسو با شرایط منطق منطقه‌ای در سراسر جهان



شکل ۲- نمونه‌ای از عملکرد مدل لارس

دمای هوا ( $U_2$ , °C): سرعت باد در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین  
 $e_s - e_a$ , ( $\text{ms}^{-1}$ ): کمبود فشار بخار در ارتفاع ۲ متری (kpa):  $\Delta$   
 شیب منحنی فشار بخار ( $\text{kpa}^\circ\text{C}^{-1}$ ):  $\gamma$ : ضریب رطوبتی ( $\text{kpa}^\circ\text{C}^{-1}$ )  
 $G$ : شار گرما به داخل خاک ( $\text{MJm}^{-2}\text{day}^{-1}$ ) است.

این روش به دلیل داشتن پایه فیزیکی، به صورت جهانی مورد تأیید قرار گرفته است و از طرف دیگر مرتباً توسط داده‌های لایس‌تری مورد آزمون و تأیید واقع شده است (ایتنسیفو و همکاران<sup>۴</sup>، ۲۰۰۰). برای تعیین تبخیر و تعرق گیاهان متداول در سیستم کشاورزی منطقه از گزارش ۵۶ فائو استفاده شد و ضرایب گیاهی در مراحل توسعه اولیه، میانی و نهایی رشد به تفکیک گیاهان مختلف به دست آمد و با توجه به شرایط منطقه تعدیل گردید. سپس تاریخ کشت و برداشت و طول دوره رشد از نرم افزار نت وات برای هر گیاه به دست آمد. در نهایت با استفاده از نرم افزار کراپ وات مقدار نیاز آبی محصولات در حال حاضر و در آینده محاسبه گردید. نمونه‌ای از محاسبات نیاز آبی در نرم افزار کراپ وات در شکل (۳) ارائه شده است.

به منظور اجرای مدل، مقادیر روزانه بارش، دمای کمینه، دمای بیشینه و ساعات آفتابی مربوط به سال‌های آماری موجود در ایستگاه‌ها، به عنوان دوره اقلیم پایه، به مدل معرفی شده و پیش‌بینی اقلیم برای دوره آماری ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۰ میلادی صورت گرفت. نمونه‌ای از عملکرد مدل لارس در شکل (۲) ارائه شده است.

## بررسی تبخیر و تعرق

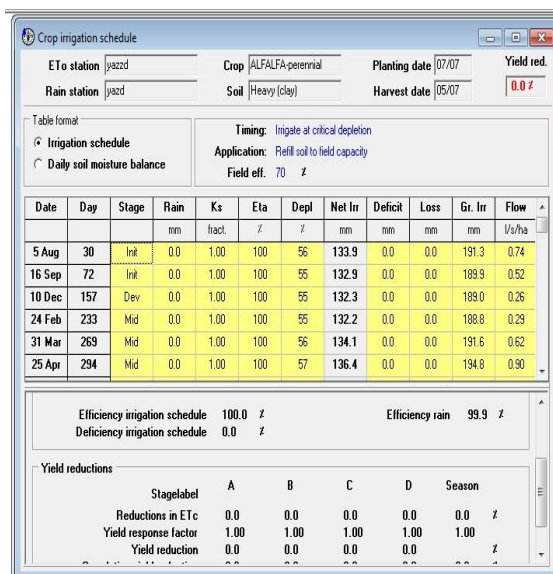
به منظور تعیین تبخیر و تعرق گیاه مرجع از روش فائو پنمن-ماتیت که مورد تأیید کمیته بین المللی آبیاری<sup>۱</sup>، سازمان خواربار جهانی<sup>۲</sup> و جامعه مهندسی شهری آمریکا<sup>۳</sup> است، استفاده شد (معادله ۴):

$$ET_O = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + \gamma \left( \frac{900}{T+273} \right) U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 U_2)} \quad (4)$$

که در آن  $ET_O$ : تبخیر و تعرق گیاه مرجع ( $\text{mm/day}$ )،  $R_n$ : تابش خالص در سطح پوشش گیاهی ( $\text{MJm}^{-2}\text{day}^{-1}$ )،  $T$ : میانگین

- 1- International Commission on Irrigation and Drainage (ICID)
- 2- Food and Agricultural Organization (FAO)
- 3- American Society of Civil Engineers (ASCE)

برزگری و ملکی نژاد: بررسی نیاز آبی بخش کشاورزی تحت شرایط تغییر...



شکل ۳- نمونه‌ای از محاسبات نیاز آبی در نرم‌افزار کراپ وات

جدول ۲- نتایج صحت‌سنجی مدل لارس با استفاده از پارامترهای آماری\*.

پارامتر	بارش (میلی‌متر)		دمای بیشینه (درجه سانتی‌گراد)		دمای کمینه (درجه سانتی‌گراد)		تابش (مگاژول بر متر مربع در روز)	
ایستگاه	اریبی	تی -	مقدار	اریبی	تی -	مقدار	اریبی	تی -
یزد	۰/۱۲۱	استودنت	۰/۶۱۱	۰/۰۳۲	استودنت	۰/۶۳۸	۰/۰۲۷	استودنت
	۰/۵۲۲	احتمال	۰/۴۸۳	۰/۰۳۲	احتمال	۰/۷۳۵	۰/۰۲۷	احتمال
	۰/۶۱۱	احتمال	۰/۴۸۳	۰/۰۳۲	احتمال	۰/۷۳۵	۰/۰۲۷	احتمال

\* علامت \_ به معنای عدم معنی‌داری پارامترهاست.

نتایج و بحث

مهم‌ترین نکته در استفاده از مدل‌های پیش‌بینی اقلیمی، بررسی توان مدل در شبیه‌سازی داده‌های اقلیمی است که این کار از طریق صحت‌سنجی مدل انجام می‌شود.

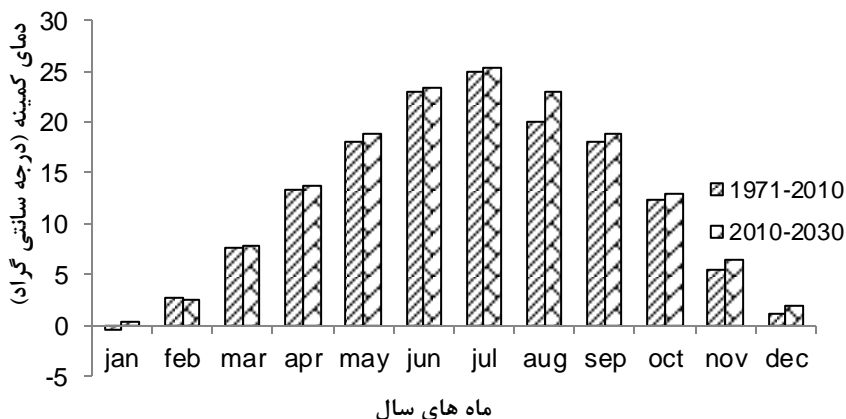
صحت‌سنجی مدل

پس از اجرای نرم‌افزار لارس در قسمت نتایج ارائه شده توسط مدل، جدولی شامل پارامترهای آماری مختلف شامل اریبی، مقدار احتمال (p) و تی-استودنت، قرار دارد که توانایی مدل را در شبیه‌سازی داده‌های اقلیمی نشان می‌دهد. در این قسمت خصوصیات آماری داده‌های دیده‌بانی و مصنوعی تولید شده توسط مدل، جهت تعیین این‌که آیا تفاوت‌های آماری قابل توجهی بین این دو گروه از داده‌ها وجود دارد یا نه، مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد. نتایج مربوط به صحت‌سنجی مقادیر پیش‌بینی شده مدل مورد استفاده در این تحقیق، در جدول (۲)، ارائه شده است.

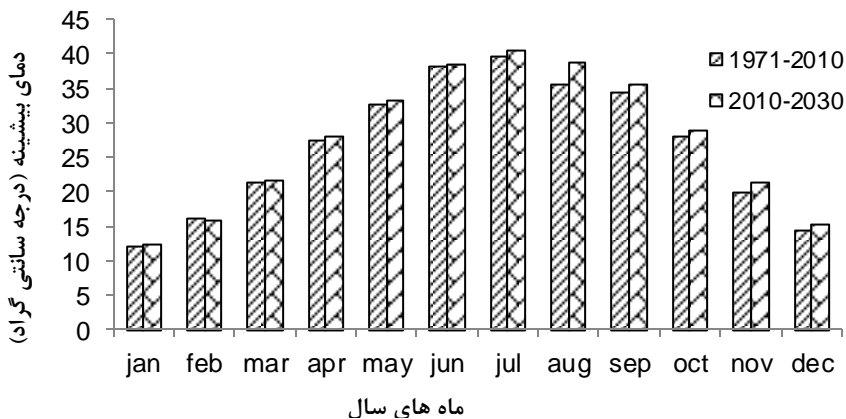
همان‌طور که از نتایج ارائه شده در جدول (۲) مشاهده می‌شود، تفاوت معنی‌دار بین مقادیر دیده‌بانی شده و مقادیر برآوردی پارامترهای بارش، دمای بیشینه، دمای کمینه و تابش وجود ندارد، مفهوم این مطلب این است که مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل دارای خصوصیات آماری مشابه با مقادیر ثبت شده در ایستگاه سینوپتیک است، لذا می‌توان گفت مدل لارس توانایی مناسبی در شبیه‌سازی داده‌های اقلیمی در منطقه مطالعاتی دارد. توانایی مناسب مدل لارس در شبیه‌سازی داده‌های اقلیمی قبلاً در مطالعات (بابائیان و نجفی‌نیک، ۱۳۸۵؛ بابائیان و همکاران، ۱۳۸۸؛ دوستی و همکاران، ۱۳۹۲؛ بابائیان و همکاران، ۲۰۰۴؛ ماوروماتیس و هانسن، ۲۰۰۱؛ سمونوف و بارو، ۲۰۰۲؛ سمونوف و همکاران، ۱۹۹۸) نیز تأیید شده است.

دمای کمینه

شکل (۴) نتایج حاصل از مقایسه پارامتر دمای کمینه پیش‌بینی شده و مشاهده شده در ایستگاه یزد را نشان می‌دهد.



شکل ۴- مقایسه پارامتر دمای کمینه پیش بینی شده و مشاهده شده در ایستگاه یزد



شکل ۵- مقایسه پارامتر دمای بیشینه پیش بینی شده و مشاهده شده در ایستگاه یزد

بر اساس شکل (۵)، مقایسه تغییرات دمای بیشینه در دوره دیده‌بانی و دوره شبیه‌سازی شده (۲۰۱۰-۲۰۳۰)، بیانگر افزایش این پارامتر در تمامی ماه‌های سال به‌غیر از ژانویه و فوریه است. بیشترین افزایش دمای بیشینه مربوط به ماه آگوست (مطابق با مردادماه) خواهد بود و از نظر فصلی نیز بیشترین افزایش، مربوط به دمای بیشینه پیش‌بینی شده فصل تابستان و پاییز است. به‌طور متوسط، دمای بیشینه سالانه در ایستگاه مورد مطالعه، در دوره پیش‌بینی شده به اندازه ۱/۱۹ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد داشت. این دستاورد نیز با مطالعات (بابائیان و نجفی‌نیک، ۱۳۸۵؛ دوستی و همکاران، ۱۳۹۲؛ روشن و همکاران، ۱۳۹۲؛ عباسی و همکاران، ۱۳۸۹؛ مهدی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۰) هم‌خوانی دارد.

**پارامتر بارش**

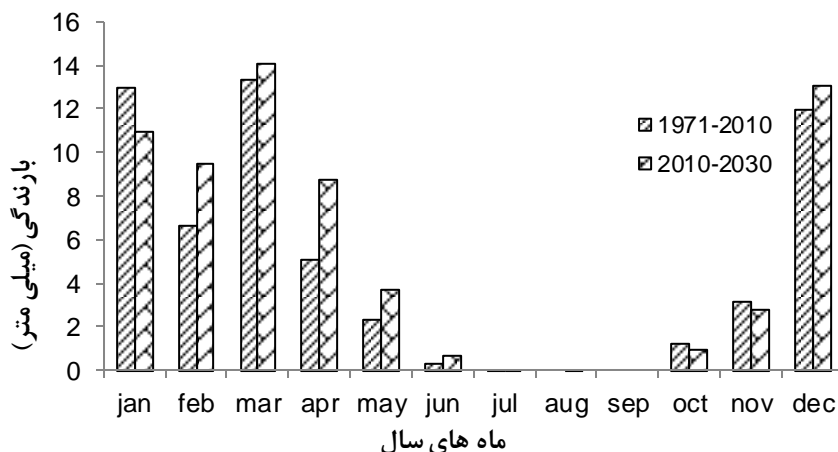
پارامتر بارش پیش‌بینی شده و بارش مشاهده شده در ایستگاه یزد در شکل (۶) مورد مقایسه قرار گرفته است.

همان‌گونه که از شکل (۴) پیدا است، دمای کمینه پیش‌بینی شده (۲۰۱۰-۲۰۳۰) در تمام ماه‌های سال به‌غیر از فوریه و مارس دارای روند افزایشی نسبت به مقادیر مشاهده شده (۱۹۷۱-۲۰۱۰) است. بیشترین مقدار این افزایش، ۳-۴ درجه سانتی‌گراد و مربوط به ماه آگوست (مطابق با مردادماه) است. به‌طور کلی در فصل تابستان نسبت به سایر فصل‌ها دمای کمینه پیش‌بینی شده افزایش بیشتری دارد. در مقیاس سالانه نیز، دمای کمینه سالانه در ایستگاه مورد مطالعه، در دوره پیش‌بینی شده به اندازه ۱/۸۳ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد داشت. روند افزایشی دمای کمینه در دهه‌های آتی در مطالعات (بابائیان و نجفی‌نیک، ۱۳۸۵؛ دوستی و همکاران، ۱۳۹۲؛ روشن و همکاران، ۱۳۹۲؛ عباسی و همکاران، ۱۳۸۹؛ مهدی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۰) نیز گزارش شده است.

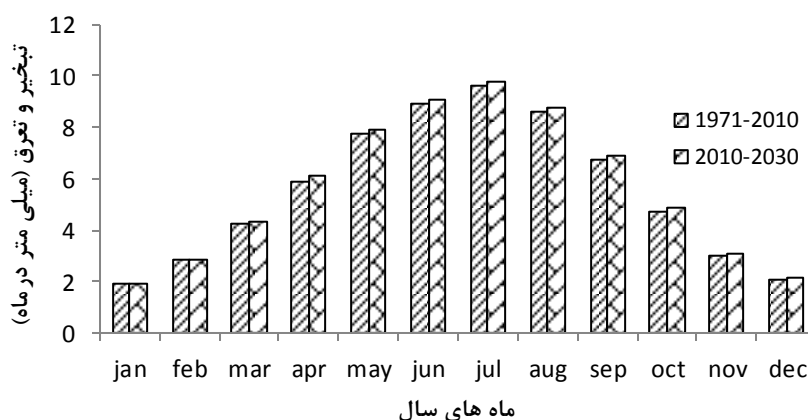
**دمای بیشینه**

شکل (۵)، نتایج حاصل از بررسی پارامتر دمای بیشینه پیش‌بینی شده و مشاهده شده در ایستگاه یزد را نشان می‌دهد.

برزگری و ملکی نژاد: بررسی نیاز آبی بخش کشاورزی تحت شرایط تغییر...



شکل ۶- مقایسه پارامتر بارش پیش‌بینی شده و مشاهده شده در ایستگاه یزد



شکل ۷- مقایسه تبخیر و تعرق گیاه مرجع در حال حاضر و در آینده با توجه به تغییرات اقلیمی

همان‌طور که از شکل (۷) پیداست تبخیر و تعرق گیاه مرجع در اغلب ماه‌های سال تغییرات افزایشی دارد و میزان این تغییرات در ماه‌های گرم زیادتر است. به عبارتی، تغییرات این پارامتر با روند تغییرات دماهای کمینه و بیشینه همراستا است. نتایج این پژوهش با مطالعات (کوثری و همکاران، ۲۰۱۳؛ تاناسی جویس و همکاران، ۲۰۱۴؛ زانگ و همکاران، ۲۰۱۱) هم‌خوانی دارد.

#### تبخیر و تعرق گیاهان و برآورد نیاز آبی

نتایج حاصل از تبخیر و تعرق گیاهان متداول در سیستم کشت منطقه با استفاده از گزارش ۵۶ فائو و نرم‌افزار کراپ وات برای حال و شرایط اقلیمی آینده در منطقه مورد مطالعه در شکل (۸) ارائه شده است.

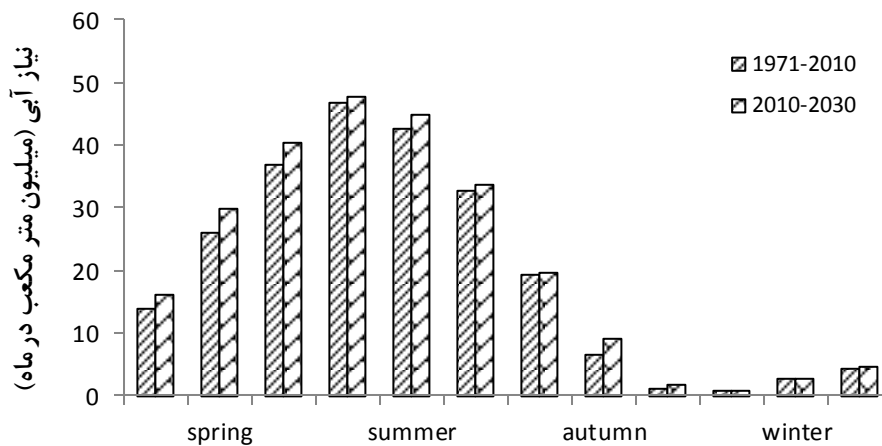
بر اساس شکل (۶)، ملاحظه می‌شود که به‌جز ماه‌های فوریه و دسامبر، در سایر ماه‌های فصل سرد سال، بارش‌ها در دوره پیش‌بینی شده در مقایسه با دوره آماری مشاهده‌ای، کاهش می‌یابند. همچنین در اواخر زمستان و فصل بهار نیز بارش‌ها افزایش می‌یابند، این مطلب بیان‌گر تغییر الگوی بارش از پاییز به بهار است. در مجموع، بارش این ایستگاه در دوره ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۰ نسبت دوره مشاهده‌ای گذشته، نه درصد افزایش خواهد داشت. تغییر تیپ بارشی و افزایش بارش با مطالعات (بابائیان و نجفی‌نیک، ۱۳۸۵؛ دوستی و همکاران، ۱۳۹۲؛ روشن و همکاران، ۱۳۹۰) همراستا است.

#### تبخیر و تعرق

##### تبخیر و تعرق گیاه مرجع

نتایج حاصل از به‌کارگیری معادله فائو پنمن مانیت، برای تعیین تبخیر و تعرق گیاه مرجع برای شرایط اقلیمی فعلی و دوره اقلیمی پیش‌بینی شده در شکل (۷)، ارائه شده است.





شکل ۸- مقایسه نیاز آبی گیاهان متداول در سیستم کشت، در حال حاضر و در آینده با توجه به تغییرات اقلیمی

### نتیجه گیری

این پژوهش به منظور بررسی تغییرات تبخیر و تعرق و نیاز آبی بخش کشاورزی دشت یزد- اردکان با در نظر گرفتن تغییر اقلیم انجام شد. بررسی نتایج نشان داد، تا سال ۲۰۳۰ تغییرات دما و توزیع بارش در منطقه مورد مطالعه معنی دار خواهد بود و از طرفی روند افزایشی دما، منجر به افزایش هفت درصدی نیاز آبی بخش کشاورزی می شود. با توجه به این مطلب و مشکلات کمبود آب در منطقه مورد بررسی، برنامه ریزان باید این مساله را برای برنامه ریزی تخصیص منابع آبی آینده در نظر داشته باشند و از طریق تغییر سیستم کشت و استفاده از گیاهان با نیاز آبی کمتر و یا افزایش راندمان آب آبیاری، در راستای تعدیل اثرات تغییر اقلیم بر بخش کشاورزی اقدام نمایند.

همان طور که از شکل (۸) پیدا است، بیشترین نیاز آبی و برداشت آب از آبخوان، مربوط به هفت ماهه اول سال است. افزایش نیاز آبی تحت شرایط تغییر اقلیم از فروردین تا شهریور بارزتر خواهد بود. در کل مقدار نیاز آبی بخش کشاورزی تا سال ۲۰۳۰، به اندازه هفت درصد افزایش می یابد. نتایج حاصل از این تحقیق با مطالعات (خلیل، ۲۰۱۳ و تاناسی جویس و همکاران، ۲۰۱۴) همراستا و با نتایج حاصل از بررسی (رمروا و سیس لروا، ۲۰۱۰) متفاوت می باشد. دلیل این تفاوت به شرایط اقلیمی مناطق مورد بررسی برمی گردد. مطالعه (رمروا و سیس لروا، ۲۰۱۰) در یک حوضه کوهستانی انجام شده که دارای اقلیم سردتری نسبت به منطقه مورد مطالعه در این تحقیق است. در حالی که دو مطالعه دیگر (خلیل، ۲۰۱۳ و تاناسی جویس و همکاران، ۲۰۱۴) مربوط به حوضه های مدیترانه ای می باشند.

### منابع

- ۱- آشفته، پ.س. و ع.ر. مساح بوانی. ۱۳۹۱. بررسی تأثیر عدم قطعیت مدل های چرخه عمومی جو و اقیانوس (AOGCM) و سناریوهای انتشار گازهای گلخانه ای بر رواناب حوضه تحت تأثیر تغییر اقلیم، مطالعه موردی: حوضه قرنقو، آذربایجان شرقی، مجله تحقیقات منابع آب ایران، ۸ (۲): ۳۶-۴۷.
- ۲- بابائیان، ا. و ز. نجفی نیک. ۱۳۸۵. ارزیابی تغییر اقلیم استان خراسان رضوی در دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹ میلادی، پروژه خاتمه یافته پژوهشکده اقلیم شناسی، گروه پژوهشی تغییر اقلیم.
- ۳- بابائیان، ا.، نجفی نیک، ز.، زایل عباسی، ف.، حبیبی نوخندان، م.، ادب ح. و ش. ملیبوسی. ۱۳۸۸. ارزیابی تغییر اقلیم کشور در دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹ با استفاده از ریزمقیاس نمایی داده های مدل گردش عمومی ECHO-G. مجله علمی - پژوهشی جغرافیا و توسعه، ۱۶: ۱۵۲-۱۳۵.
- ۴- دوستی، م.، حبیب نژاد روشن، م.، شاهدی، ک. و م.ج. میریعقوب زاده. ۱۳۹۲. بررسی شاخص های اقلیمی حوضه آبخیز تمر، استان گلستان در شرایط تغییر اقلیم با کاربرد مدل LARS-WG. مجله فیزیک زمین و فضا، ۳۹ (۴): ۱۸۹-۱۷۷.
- ۵- روشن، غ.ر.، خوش اخلاق، ف. و ق. عزیزی. ۱۳۹۱. آزمون مدل مناسب گردش عمومی جو برای پیش یابی مقادیر دما و بارش ایران، تحت شرایط گرمایش جهانی، جغرافیا و توسعه، ۲۷: ۳۶-۱۹.

## برزگری و ملکی نژاد: بررسی نیاز آبی بخش کشاورزی تحت شرایط تغییر...

- ۶- عباسی، ف، بابائیان، ا، حبیبی نوخندان، م، گلی مختاری، ل. و ش. ملیوسی. ۱۳۸۹. ارزیابی تأثیر تغییر اقلیم بر دما و بارش ایران در دهه‌های آینده با کمک مدل MAGICC-SCENGEN، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۷۲: ۹۱-۱۱۰.
- ۷- کوچکی، ع.ر، نصیری محلاتی، م، سلطانی، ا، شریفی، ح.ر، کمالی، غ.ع. و پ. رضوانی مقدم. ۱۳۸۲. شبیه سازی تغییرات آب و هوایی ایران در شرایط دو برابر شدن غلظت CO<sub>2</sub> به وسیله مدل‌های عمومی گردش، مجله بیابان، ۲: ۱۹۱-۱۷۸.
- ۸- مهدی زاده، ص، مفتاح هلتی، م، سید قاسمی، س. و ا. مساعدی. ۱۳۹۰. بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر میزان بارش در حوضه سد گلستان، مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۱۸(۳): ۱۱۷-۱۳۲.
- 9- Babaeian, I, Kwon, W. T. and E. S. Im. 2004. Application of weather generator technique for climate change assessment over Korea. Korea Meteorological Research Institute, Climate Research lab.
- 10- Bates, B.C., Kundzewicz, Z.W., Wu, S. and J.P. Palutikof (Eds.). 2008. Climate change and water. Technical paper of the intergovernmental panel on climate change. IPCC Secretariat, Geneva.
- 11- Bormann, B. 2011. Sensitivity analysis of 18 different potential evapotranspiration models to observed climatic change at German climate stations. Climatic Change, 104(3-4): 729-753.
- 12- De la Casa, A.C. and G.G. Ovando. 2014. Climate change and its impact on agricultural potential in the central region of Argentina between 1941 and 2010. Agricultural and Forest Meteorology, 195-196: 1-11.
- 13- Eitzinger, J., Tostna, M. SD., Zalud, Z. and M. Dubrovsky. 2003. A simulation study of the effect of soil water balance and water stress on winter wheat production under different climate change scenarios. Agricultural Water Management, 61(3): 195-217.
- 14- Gil-Alana, L.A. 2012. Long memory, seasonality and time trends in the average monthly temperatures in Alaska. Theoretical and Applied Climatology, 108: 385-396.
- 15- Goyal, R.K. 2004. Sensitivity of evapotranspiration to global warming: A case study of arid zone of Rajasthan (India). Agricultural Water Management, 69: 1-11.
- 16- Hertig E. and J. Jacobeit. 2008. Downscaling future climate change: Temperature scenarios for the Mediterranean area. Global and Planetary Change, 63(2): 127-131.
- 17- Hewitson, B. C. and R. G. Crane. 1996. Climate downscaling: Techniques and application. Climatic Research, 7: 85-95.
- 18- Itenfisu, D., Elliott, R.L., Allen, R.G. and I.A. Walter. 2000. Comparison of reference evapotranspiration calculations across a range of climates. Proceedings of The 4th National Irrigation Symposium. ASAE, Phoenix, AZ.
- 19- Kainuma, M., Matsuoka, Y., Morita, T., Masui, T. and K. Takahashi. 2004. Analysis of global warming stabilization scenarios: The Asian-Pacific Integrated Model, Energy Economics, 26(4): 709-719.
- 20- Khalil, A.A. 2013. Effect of climate change on evapotranspiration in Egypt. Researcher, 5(1): 7-12.
- 21- Khazaei, M.R., Bagher Zahabiyou, B. and B. Saghafian. 2011. Assessment of climate change impact on floods using weather generator and continuous rainfall-runoff model. International Journal of Climatology, 32(13): 1997-2006.
- 22- Kousari, M.R., Asadi Zarch, M.A., Ahani, H. and H. Hakimelahi. 2013. A survey of temporal and spatial reference crop evapotranspiration trends in Iran from 1960 to 2005., Climatic Change (2013) 120: 277-298.

- 23- Li, Y.L., Cui, J.Y., Zhang, T.H. and H. Li. Zhao. 2003. Measurement of evapotranspiration of irrigated spring wheat and maize in a semi-arid region of North China. *Agricultural Water Management*, 61:1-12.
- 24- Mavromatis, T. and J.W. Hansen. 2001. Variability characteristics and simulated crop response of four stochastic weather generators. *Agricultural and Forest Meteorology*, 109(4):283-296.
- 25- Nam, W. H., Hong, E.M. and J.Y. Choi. 2015. Has climate change already affected the spatial distribution and temporal trends of reference evapotranspiration in South Korea?. *Agricultural Water Management*, 150: 129–138.
- 26- Raziei, T., Daryabari, J., Bordi, I., Modarres, R. and L.S. Pereira. 2014. Spatial patterns and temporal trends of daily precipitation indices in Iran. *Climatic Change*, 124: 239–253.
- 27- Remrova, M. and M. Cislerova. 2010. Analysis of climate change effects on evapotranspiration in the watershed Uhlířská in the Jizera Mountains. *Soil and Water Research*, 5 (1): 28–38.
- 28- Richard, S. and Lindzen, R., 1994. On The Scientific basis for global warming scenarios. *Environmental Pollution*, 83(1-2):125-34.
- 29- Semenov, M.A. and E. M. Barrow. 2002. LARS-WG a stochastic weather generator for use in climate impact studies. User's Manual, Version 3.0.
- 30- Semenov, M.A., Brooks, R.J., Barrow, E.M. and C.W. Richardson. 1998. Comparison of the WGEN and LARS-WG stochastic weather generators in diverse climates. *Climate Research*, 10(2): 95-107.
- 31- Tabari, H., Marofi, S., Aeni, A., Talaei, P.H. and K. Mohammadi. 2014. Sensitivity of evapotranspiration to climatic change in different climates. *Global and Planetary Change*, 115: 16–23.
- 32- Tanasijevic, L., Todorovic, M., Pereira, L.S., Pizzigalli, C. and P. Lionello. 2014. Impacts of climate change on olive crop evapotranspiration and irrigation requirements in the Mediterranean region. *Agricultural Water Management* 144: 54–68.
- 33- Tong, L., S. Kang and L. Zhang. 2007. Temporal and spatial variations of evapotranspiration for spring wheat in the Shiyang river basin in northwest China. *Agricultural Water Management*, 87(3): 241-250.
- 34- Xu, Z.X., Chen, Y.N. and J.Y. Li. 2004. Impact of climate changes on water resources in the Tarim river basin. *Water Resource Management*, 18:439-458.
- 35- Zarghami, M., Abdi, A., Babaeian, I., Hassanzadeh, Y. and R. Kanani. 2011, Impacts of climate change on runoffs in East Azerbaijan, Iran. *Global and Planetary Change*, 78: 137-146.
- 36- Zhang, X., Chen, S., Sun, H., Shao, L. and Y. Wang. 2011. Changes in evapotranspiration over irrigated winter wheat and maize in North China Plain over three decades. *Agricultural Water Management*, 98:1097–1104.