

بررسی اثرات تغییر اقلیم بر نیاز آبی و پایداری مصرف آب در بخش کشاورزی دشت یزد- اردکان

فاطمه برزگری^{۱*} و حسین ملکی نژاد^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۱/۲۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۸/۲۰

برزگری، ف. و ملکی نژاد، ح. ۱۳۹۷. بررسی اثرات تغییر اقلیم بر نیاز آبی و پایداری مصرف آب در بخش کشاورزی دشت یزد- اردکان. بوم‌شناسی کشاورزی، ۱۰(۴): ۱۱۶۱-۱۱۷۶.

چکیده

هدف از انجام این پژوهش بررسی تغییرات نیاز آبی و شاخص‌های پایداری مصرف آب در بخش کشاورزی دشت یزد- اردکان با در نظر گرفتن تغییر اقلیم می‌باشد. به منظور انجام این تحقیق، دو دوره زمانی در نظر گرفته شد. دوره اول شامل سال‌های ۲۰۰۵-۱۹۷۱ و دوره دوم شامل سال‌های ۲۰۷۰-۲۰۲۱ می‌باشد. برای پیش‌بینی تغییرات اقلیمی منطقه از داده‌های ایستگاه سینوپتیک یزد در دوره ۲۰۰۵-۱۹۷۱ استفاده شد. داده‌های انتخابی شامل مقادیر روزانه بارش، درجه حرارت حداکثر، درجه حرارت حداقل و ساعات آفتابی بودند که برای بررسی تغییر اقلیم، تحت سناریوی RPC 4.5 در مدل گردش عمومی جو CanESM₂ و نرم‌افزار SDSM 4.2.9 مورد بررسی قرار گرفتند. تبخیر و تعرق و نیاز آبی گیاهان برای دو دوره زمانی منتخب، از طریق گزارش ۵۶ فائو و نرم‌افزار CROPWAT برآورده شد. به منظور بررسی میزان آب مصرفی محصولات شاخص کشاورزی منطقه، پرسش‌نامه‌هایی در سطح منطقه تکمیل گردید. نتایج بررسی‌ها نشان داد، وضعیت مصرف آب در اراضی کشاورزی مطابق با نیاز آبی محصولات نمی‌باشد و به دلیل کمبود آب، کاهش عملکرد محصولات را داریم. از طرفی تا سال ۲۱۰۰ تغییرات دما و توزیع بارش در منطقه مورد مطالعه معنادار خواهد بود و روند افزایشی دما، منجر به افزایش تبخیر و تعرق و بالا رفتن نیاز آبی گیاهان تا ۴ درصد می‌شود. شاخص‌های پایداری مصرف آب کشاورزی نیز، شامل شاخص نسبت تبخیر و تعرق به بارندگی (EPR) و شاخص کمبود حداکثر آب (MD) در دوره‌های اقلیمی فعلی و آتی مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج نشان داد حداکثر افزایش شاخص‌های EPR و MD به ترتیب برابر با ۲۴٪ و ۱۳٪ می‌باشد. لذا اثرات کمبود آب و ناپایداری آب در بخش کشاورزی منطقه مطالعاتی تحت تاثیر تغییرات اقلیمی مشهود خواهد بود. بنابراین لزوم تجدید نظر در کشاورزی منطقه، جلوگیری از افزایش بی‌رویه سطح زیر کشت و بالا بردن راندمان آبی ضروری به نظر می‌رسد.

واژه‌های کلیدی: تبخیر و تعرق، سناریو RCP 4.5، مدل SDSM، نرم‌افزار CROPWAT

مقدمه

جهانی، ناحیه‌ای و محلی به‌خود اختصاص داده است (IPCC, 2014). این مساله، مخصوصاً در کشورهای در حال توسعه که نسبت به این شرایط آسیب‌پذیرترند، دارای اهمیت بیشتری می‌باشد (Pouliotte et al., 2009). از جمله تبعات تغییر اقلیم، تأثیرگذاری آن بر چرخه هیدرولوژیکی است (Bormann, 2011). از آنجایی که مساله آب مهم‌ترین دغدغه مدیران و برنامه‌ریزان در آینده است (Bates et al., 2008)، 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 (Xu et al., 2004). تبخیر و تعرق به‌عنوان یک پارامتر مهم در چرخه هیدرولوژیکی

هرگونه تغییر منظم و معنی‌دار متوسط بلند مدت پارامترهای اقلیمی منطقه، به‌عنوان تغییر اقلیم تعریف می‌شود (Gil-Alana, 2012). واقعیت تغییر اقلیم از موضوعات برجسته محافل علمی و حتی عوام طی چند دهه اخیر بوده و تحقیقات گسترده‌ای را در مقیاس

۱- استادیار دانشکده کشاورزی، دانشگاه پیام نور

۲- دانشیار، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه یزد

* نویسنده مسئول: (Email: fa_barzegar@yahoo.com)

Doi:10.22067/jag.v10i4.62527

دی لاکاسا و اواندو (De la casa & Ovando 2014) و نام و همکاران (Nam et al., 2015) 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. در مطالعه رمروا و سیسلروا (Remrova & Cislserova 2010) با استفاده از سناریوی HadCM₃ تأثیر تغییر اقلیم بر تبخیر و تعرق حوضه کوهستانی جیزرا^۱ مورد بررسی قرار گرفت. این محققین دریافتند که تا سال ۲۱۰۰ تغییرات محسوس در تبخیر و تعرق این حوضه کوهستانی اتفاق نخواهد افتاد. در مطالعه خلیل (Khalil, 2013) تأثیر تغییر اقلیم بر تبخیر و تعرق گیاه مرجع در مصر مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد تبخیر و تعرق گیاه مرجع در دوره‌های آینده افزایش خواهد داشت. در مطالعه‌ای تاناسی جویچ و همکاران (Tanasijevic et al., 2014) 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 A₁B و مدل ECHAM₅ و برای برآورد تبخیر و تعرق گیاهی از گزارش ۵۶ فائو استفاده شد. نتایج این بررسی، افزایش هشت درصدی تبخیر و تعرق را تا سال ۲۰۶۵ میلادی نشان داد. در مطالعه‌ای قهرمان و همکاران (Ghahreman et al., 2016) به بررسی تغییرات تبخیر و تعرق پتانسیل دشت مشهد تا سال ۲۰۷۰، تحت سناریوهای واداشت تابشی RCP 4.5 و RCP 8.5 پرداختند. براساس نتایج حاصل، بیشترین افزایش مقدار تبخیر تعرق پتانسیل در ماه ژانویه تحت دو سناریوی RCP 4.5 و RCP 8.5 به ترتیب با ۱۵/۴ و ۱۶/۴ درصد افزایش نسبت به دوره پایه و نیز بیشترین مقدار کاهش در ماه اکتبر با ۱۲/۵ و ۱۰ درصد کاهش نسبت به دوره پایه مشاهده شد. بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر نیاز آبی محصولات شبکه آبیاری آیدوغموش با استفاده از سناریوی A₂ مدل HADCM₃، حاکی از افزایش ریسک میزان نیاز آبی محصولات می‌باشد، به گونه‌ای که این افزایش تا حدود ۱۰ و ۱۳ درصد به ترتیب برای ریسک ۵۰ و ۲۵ درصد می‌رسد. همچنین بر اساس سطح کشت فعلی شبکه آبیاری آیدوغموش به طور متوسط، حجم تقاضای آب افزایش خواهد یافت (Ashofteh, 2012). هر چند منابع متعددی به بررسی تبخیر و تعرق تحت شرایط تغییر اقلیم پرداخته‌اند ولی همان‌طور که از منابع مختلف برمی‌آید، در بسیاری از موارد، تغییر اقلیم از طریق سناریوهای اقلیمی بررسی نشده و یا در برآورد نیز آبی از سناریوهای قدیمی استفاده شده است. در این پژوهش سعی بر این است تا تغییرات نیاز آبی بخش کشاورزی دشت یزد-اردکان تحت سناریوی حدواسط تغییر اقلیم (RCP4.5) مورد بررسی قرار گیرد. علاوه بر آن برای مشخص نمودن وضعیت تعادل آب کشاورزی، شاخص‌های پایداری مصرف آب کشاورزی نیز تحت

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 تعیین‌کننده نیاز آبی گیاهان، امکان‌پذیر نیست (Goyal, 2004). به‌منظور بررسی تغییرات اقلیمی آینده از مدل‌های اقلیمی استفاده می‌شود. پیش‌بینی اقلیم به‌طور قطعی امکان‌پذیر نبوده و لذا با بررسی احتمالات از طریق سناریوهای اقلیمی صورت می‌گیرد. معروف‌ترین مدل‌های پیش‌بینی اقلیمی، مدل‌های گردش عمومی جو هستند که در مطالعات مختلف به کار گرفته شده‌اند (Roshan et al., 2012; Ashofteh & Massah, 2012; Babaeian et al., 2009; Koocheki et al., 2003; Babaeian et al., 2004; Eitzinger et al., 2003; Hertig et al., 2008; Kainuma et al., 2004; Khazaei et al., 2011; Richard et al., 1994).

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 به‌منظور بررسی تغییرات اقلیمی، از روند تغییرات پارامترهای هواشناسی استفاده شده و بحثی از سناریوهای اقلیمی به‌میان نیامده است. از این گروه می‌توان به مطالعات زیر اشاره نمود.

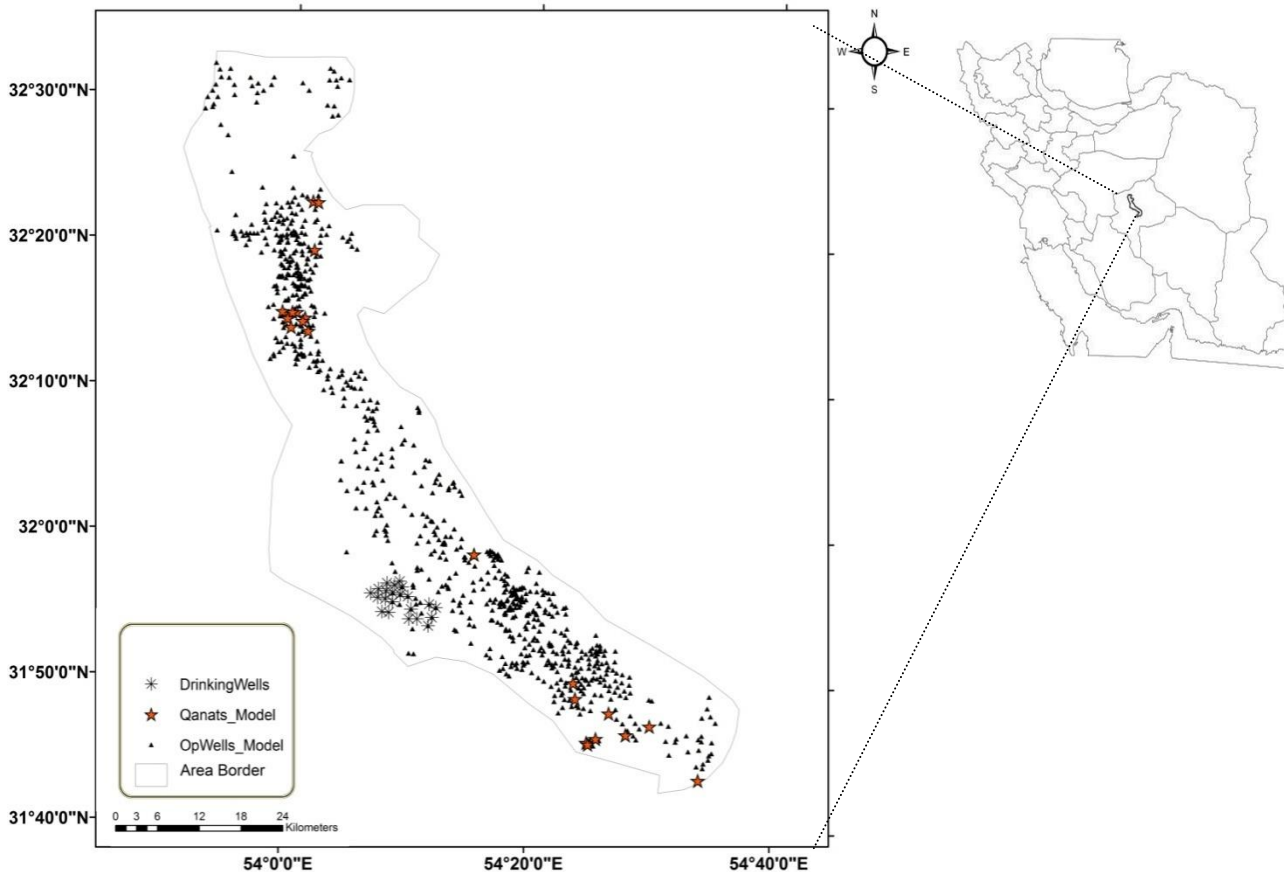
زانگ و همکاران (Zhang et al. 2011) با بررسی تبخیر و تعرق گیاه مرجع در اقلیم‌های مختلف چین، ارتباط معنی‌دار بین تغییرات پارامترهای اقلیمی منطقه‌ای و تبخیر و تعرق گیاه مرجع یافتند. کوثری و همکاران (Kousari et al. 2013) مطالعه مشابهی را در ایران انجام دادند، در مطالعه ایشان، از معادله فائو پن من مانیتیت 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 من‌کنندال 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 (Tong et al., 2007) و رضیعی و همکاران (Raziei et al., 2014) نشان داد تغییرات محسوس در روند افزایشی یا کاهش تبخیر و تعرق گیاه مرجع مشاهده نمی‌شود. طبری و همکاران (Tabari et al., 2014) مقدار تبخیر و تعرق گیاه مرجع را در اقلیم‌های مختلف ایران (هشت 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 ایشان، 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 درصد و مربوط به منطقه خشک بوده است. مطالعات مشابهی توسط

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه، اراضی مربوط به آبخوان یزد- اردکان با مساحت تقریبی ۲۱۴۰ کیلومتر مربع، در محدوده جغرافیایی $31^{\circ}30'N$ تا $32^{\circ}30'N$ طول شرقی و $54^{\circ}30'E$ تا $54^{\circ}40'E$ عرض شمالی واقع شده است. منبع اصلی تأمین 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 است.

تأثیر تغییر اقلیم در نظر گرفته خواهد شد. استان یزد به دلیل واقع شدن در منطقه خشک و رشد قابل ملاحظه جمعیت و صنعت، از نظر منابع آبی بسیار مورد توجه برنامه‌ریزان و دولت‌مردان بوده است. کمبود آب در دهه‌های گذشته، باعث انتقال بین‌حوضه‌ای آب از استان‌های اصفهان و چهارمحال و بختیاری شده است. اخیراً با توجه به بالا رفتن مصرف آب، عدم کفایت این پروژه به خوبی احساس می‌شود. لذا با توجه به مطالب ذکر شده، در پژوهش حاضر به بررسی نقش تغییر اقلیم بر تبخیر و تعرق، نیاز آبی گیاهان و پایداری مصرف آب در بخش کشاورزی در محدوده آبخوان اصلی دشت یزد- اردکان پرداخته شد، تا شاید راه‌گشای مدیران در برنامه‌ریزی آینده منابع آبی باشد.



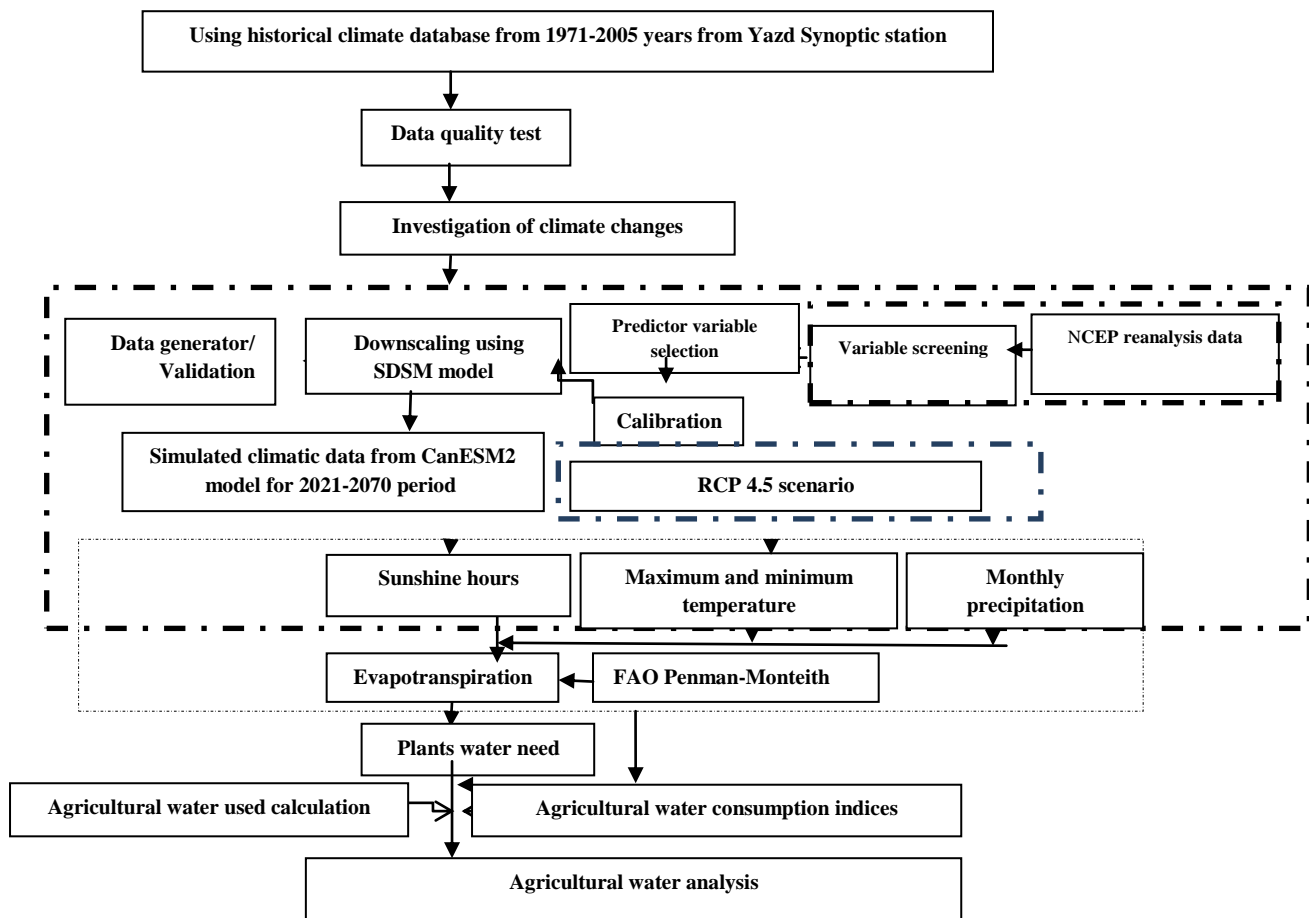
شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه
Fig. 1- The geographical of the study area

اقلیمی، بیش‌بینی اقلیم، برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل، بررسی تغییرات نیاز آبی گیاهان در اثر تغییر اقلیم، وضعیت فعلی مصرف آب

روش تحقیق

مراحل انجام این تحقیق شامل کوچک مقیاس کردن متغیرهای

بخش کشاورزی و شاخص‌های پایداری مصرف آب در کشاورزی در حال حاضر و در آینده می‌باشد که به صورت مختصر در شکل ۲ نمایش داده شده است.



شکل ۲- مراحل انجام تحقیق

Fig. 2- Methodology framework of the research

در گزارش پنجم (AR5^۵) هیات بین‌الدول تغییرات اقلیم ارائه گردیده است (Arora et al., 2011). در گزارش پنجم، دقت شبیه‌سازی نسبت به گزارش پیشین افزایش یافته است. سناریوهای واداشت تابشی (RCP) نیز محدوده وسیع‌تر و مستدل‌تری از روند تولید گازهای گلخانه‌ای نسبت به سناریوهای پیشین ارائه داده‌اند. در مجموع می‌توان گفت عدم قطعیت‌ها در گزارش پیشین کاهش یافته است. مشخصات سناریوهای واداشت تابشی مورد بحث در جدول ۱ ارائه شده است.

کوچک مقیاس کردن پارامترهای اقلیمی

در تحقیق حاضر، برای بررسی اقلیم از داده‌های ایستگاه سینوپتیک یزد در دوره آماری ۱۹۷۱-۲۰۰۵ استفاده شد. جهت برآورد داده‌های بارش، تابش و درجه حرارت‌های آینده از مدل گردش عمومی جو CanESM2^۱ تحت سناریوی واداشت تابشی RCP 4.5 و از مدل ریزمقیاس نمایی آماری SDSM^۲ 4.2.9 جهت ریزمقیاس نمایی داده‌های خروجی استفاده شد. مدل CanESM2 یک مدل جامع و جفت شده و چهارمین نسل از مدل‌های گردش عمومی جفت شده (CGCM4^۳) است و جزء سری مدل‌های CMIP5^۴ می‌باشد که

4-Coupled model intercomparison project 5
5-Fifth assessment report

1- The second generation earth system model
2- Statistical down scaling model
3- Coupled global climate model

جدول ۱- ویژگی‌های سناریوهای RCP (IPCC, 2014)
Table 1- RCP climate change scenario (IPCC, 2014)

| سناریو Scenario | توضیح Description |
|--------------------|---|
| RCP 8.5 | افزایش اثر گازهای گلخانه‌ای بر واداشت تابشی تا ۸/۵ وات بر متر مربع تا سال ۲۱۰۰ Rising radiative forcing pathway leading to 8.5 W.m ⁻² in 2100. |
| RCP 6 | حالت ثبات بدون افزایش گازهای گلخانه‌ای، واداشت تابشی تا ۶ وات بر متر مربع تا سال ۲۱۰۰ Stabilization without overshoot pathway to 6 W.m ⁻² at stabilization after 2100 |
| RCP 4.5 | حالت ثبات بدون افزایش گازهای گلخانه‌ای، واداشت تابشی تا ۴/۵ وات بر متر مربع تا سال ۲۱۰۰ Stabilization without overshoot pathway to 4.5 W.m ⁻² at stabilization after 2100 |
| RCP 2.6 | کاهش واداشت تابشی تا ۳ وات بر مترمربع قبل از سال ۲۱۰۰ و روند کاهشی تابش بعد از آن Peak in radiative forcing at ~ 3 W.m ⁻² before 2100 and decline |

که در آن، ET_0 : تبخیر و تعرق گیاه مرجع ($mm.day^{-1}$)، R_n : تابش خالص در سطح پوشش گیاهی ($MJ.m^{-2}.day^{-1}$)، T : میانگین دمای هوا ($^{\circ}C$)، U_2 : سرعت باد در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین (ms^{-1})، $e_s - e_a$: کمبود فشار بخار در ارتفاع ۲ متری (kpa)، Δ : شیب منحنی فشار بخار ($Kpa^{\circ}C^{-1}$)، γ : ضریب رطوبتی ($Kpa^{\circ}C^{-1}$)، G : شار گرما به داخل خاک ($MJ.m^{-2}.day^{-1}$) است. این روش به دلیل داشتن پایه فیزیکی، به صورت جهانی مورد تأیید قرار گرفته است و از طرف دیگر مرتباً توسط داده‌های لایسیمیتری مورد آزمون و تأیید واقع شده است (Itenfisu et al., 2000). ابتدا برای تعیین تبخیر و تعرق گیاه مرجع، اطلاعات متغیرهای اقلیمی ثبت شده در دوره آماری ۱۹۷۱-۲۰۰۵ متعلق به ایستگاه سینوپتیک یزد، شامل دماهای حداقل و حداکثر، رطوبت نسبی، سرعت باد و ساعات آفتابی، جمع‌آوری و وارد نرم‌افزار CROPWAT شد. سپس تبخیر و تعرق پتانسیل با روش فائو پنمن-مانتیت محاسبه گردید. در مرحله بعد، ضرایب گیاهی در مراحل توسعه اولیه، میانی و نهایی رشد به تفکیک گیاهان مختلف و باتوجه به شرایط اقلیمی منطقه از جداول مربوطه در گزارش ۵۶ فائو استخراج گردید. تاریخ کاشت و برداشت و طول دوره رشد از نرم‌افزار NETWAT برای هر گیاه به‌دست آمد. در نهایت با داشتن تبخیر و تعرق پتانسیل و ضرایب گیاهی و طول دوره رشد با استفاده از نرم‌افزار CROPWAT، مقدار نیاز آبی محصولات در حال حاضر و در آینده محاسبه گردید.

شاخص‌های پایداری مصرف آب بخش کشاورزی

از آنجایی که بخش کشاورزی یکی از عمده‌ترین مصرف کننده آب در دشت یزد-اردکان به شمار می‌رود، تغییر در میزان تبخیر و تعرق و نیاز آبی این بخش، نقش مهمی در تعادل آبی حوضه خواهد داشت. بررسی وضعیت تعادل آبی در بخش کشاورزی منطقه مورد مطالعه براساس وضعیت متغیرهای اقلیمی فعلی و آینده، با استفاده از دو

از بین سناریوهای واداشت تابشی موجود در گزارش پنجم، سناریوی RCP 4.5 به دلیل حدواسط بودن و ارائه شرایط متوسطی از تغییر اقلیم در آینده، انتخاب شد. لازم به ذکر است که مدل SDSM یک ابزار رگرسیون بنیان چندگانه و یکی از بهترین مولدهای داده شرطی می‌باشد که به وفور جهت ریزمقیاس نمایی آماری مورد استفاده قرار می‌گیرد. مراحل پیش‌بینی متغیرهای اقلیمی در دوره‌های آتی در مدل مذکور شامل انتخاب متغیرهای پیش‌بینی کننده و پیش‌بینی شونده، واسنجی مدل، ارزیابی مدل و تولید سناریوهای آتی می‌باشند (Wilby et al., 2014). در این پژوهش از داده‌های اقلیمی ایستگاه سینوپتیک یزد، شامل مقادیر روزانه بارش، دمای کمینه، دمای بیشینه و ساعات آفتابی مربوط به سال‌های آماری ۱۹۷۱-۲۰۰۵ استفاده گردید. داده‌های مربوط به دوره ۱۹۷۱-۱۹۹۰ برای مدل‌سازی و مابقی داده‌ها جهت واسنجی مدل مورد استفاده قرار گرفت. به منظور مدل‌سازی متغیرهای اقلیمی، ابتدا با استفاده از داده‌های تاریخی مدل CanESM2 که در پوشه NCEP قرار دارند، شبیه‌سازی انجام شد و سپس نتایج شبیه‌سازی با داده‌های مشاهداتی مورد مقایسه قرار گرفت. در نهایت، در صورت تأیید مدل برآزش شده، تولید داده‌های اقلیمی آینده در قالب سناریوی منتخب انجام شد.

تخمین تبخیر و تعرق

به منظور تعیین تبخیر و تعرق گیاه مرجع از روش فائو پنمن-مانتیت که مورد تأیید کمیته بین‌المللی آبیاری^۱، سازمان خواربار جهانی^۲ و جامعه مهندسی شهری آمریکا^۳ است، در قالب نرم افزار CROPWAT استفاده شد (معادله ۱):

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

- 1- International commission on irrigation and drainage (ICID)
- 2- Food and agricultural organization (FAO)
- 3- American society of civil engineers (ASCE)

اختلاف به ترتیب مربوط به ماه ژوئن و فوریه با میزان ۱/۹۶ و ۱/۶۵ درجه سانتی‌گراد و کمترین اختلاف مربوط به ماه‌های آوریل و ژانویه با میزان ۰/۱۶ و ۰/۲۲ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. در مورد متغیر بارش، بیشترین و کمترین اختلاف در مقادیر محاسباتی مدل با مقادیر مشاهداتی به ترتیب مربوط به ماه می با مقدار ۲/۴۸ و اکتبر با میزان ۰/۱۶ میلی‌متر می‌باشد. در مورد ساعات آفتابی نیز، بیشترین و کمترین اختلاف در مقادیر محاسباتی مدل با مقادیر مشاهداتی به ترتیب مربوط به ماه‌های فوریه و ژوئن با مقادیر ۰/۹۹ و ۰/۱۹ ساعت می‌باشد. بررسی صحت مدل ساخته شده با معیارهای آماری ضریب همبستگی، مجذور مربعات خطا و ناش-ساتکلیف نیز بیان‌گر شناسایی مناسب الگوی پارامترهای اقلیمی توسط مدل شبیه‌سازی شده می‌باشد.

پیش‌بینی متغیرهای اقلیمی

نتایج حاصل از تولید داده‌های اقلیمی آینده با استفاده از سناریوی RCP 4.5 برای بازه زمانی ۲۰۲۱ تا ۲۰۷۰ میلادی در شکل ۴ آمده است.

جدول ۲- ارزیابی عملکرد مدل به صورت ماهانه در دوره پایه با

استفاده از شاخص‌های خطاسنجی بر حسب درصد

Table 2- Monthly performance of model using measurement error indexes in percent

| متغیر Variable | R ² | RMSE | NSE |
|------------------------------------|----------------|------|------|
| دمای حداکثر Maximum temperature | 0.95 | 1.86 | 0.95 |
| دمای حداقل Minimum temperature | 0.98 | 1.07 | 0.93 |
| بارش Precipitation | 0.89 | 2.13 | 0.58 |
| ساعات آفتابی Sun Hours | 0.74 | 1.7 | 0.75 |

شاخص نسبت تبخیر-تعرق به بارش (EPR¹) و شاخص کمبود حداکثر (MD²) بررسی شد.

$$EPR = \frac{ET_0}{P} \quad (2)$$

در معادله (۲)، EPR شاخص تعادل آب کشاورزی است و برابر با نسبت تبخیر و تعرق مرجع (ET₀) به بارندگی (P) می‌باشد (Liu, 2000). شاخص مذکور برای دوره فعلی و نیز دوره اقلیمی آینده در منطقه مطالعاتی محاسبه گردید.

$$MD = \text{Max } def^i = \frac{\max(D_{Annual}^i)}{\text{Water Demand}^i} \quad (3)$$

در معادله (۳)، MD شاخص کمبود حداکثر سالانه، max(Dⁱ_{Annual}) حداکثر مقدار کمبود سالانه میان تبخیر و تعرق و بارندگی و Water Demandⁱ مقدار نیاز تبخیر و تعرق می‌باشد. زیرنویس i بدین معنی است که رابطه ۱۲ برای هر ماه به صورت جداگانه مورد استفاده قرار گرفته و در نهایت بیشترین کمبود در هر دوره ماهانه به عنوان شاخص کمبود سالانه در نظر گرفته شده است (Moy et al., 1986). شاخص مذکور نیز در منطقه مورد مطالعه، هم شرایط فعلی و هم در شرایط تغییر اقلیم مورد بررسی قرار گرفت.

بررسی وضعیت فعلی آب مصرفی بخش کشاورزی

برای بررسی وضعیت فعلی برداشت آب توسط کشاورزان و سهم محصولات مختلف در آب استحصالی بخش کشاورزی، با استفاده از تحقیق میدانی، مقدار دبی و ساعت کارکرد چاه‌های کشاورزی اصلی و مشاع در منطقه جمع‌آوری شد. از طرفی با استفاده از پرسش‌نامه، مقدار آبدهی، فاصله زمانی بین دو آبیاری و سطح زیرکشت محصولات عمده منطقه به‌دست آمد.

نتایج و بحث

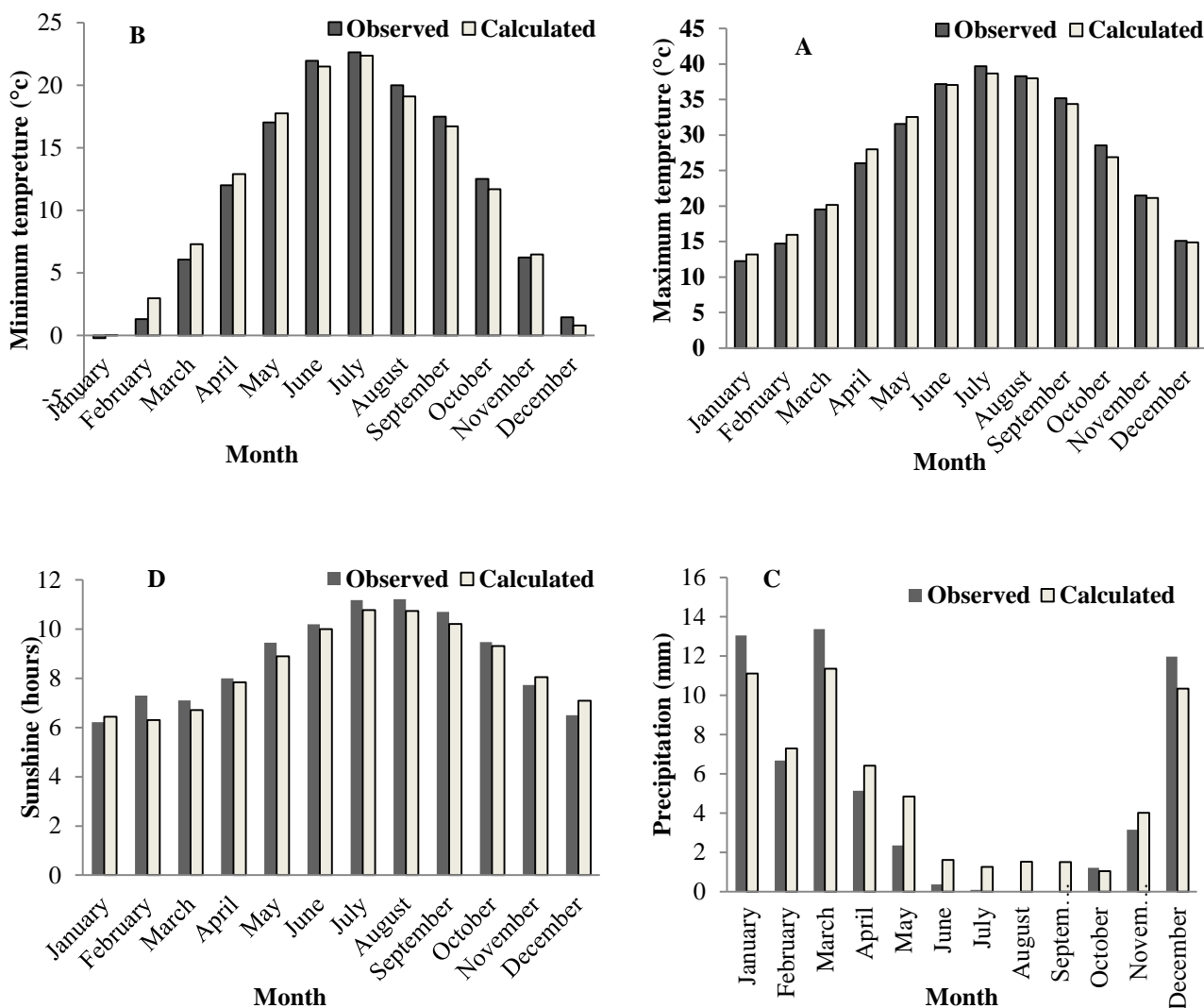
صحت‌سنجی مدل اقلیمی

مهم‌ترین نکته در استفاده از مدل‌های پیش‌بینی اقلیمی، بررسی توان مدل در شبیه‌سازی داده‌های اقلیمی است که این کار از طریق صحت‌سنجی و واسنجی مدل انجام می‌شود. هر کدام از دو دوره ۱۹۷۰-۱۹۹۰ و ۱۹۹۱-۲۰۰۵ میلادی به ترتیب برای واسنجی (شبیه‌سازی دوره پایه) و صحت‌سنجی متغیرهای اقلیمی دمای حداقل و حداکثر و بارش، در مدل SDSM انتخاب شدند. نتایج مربوط به دوره صحت‌سنجی مدل SDSM برای متغیرهای اقلیمی مورد بررسی در شکل ۳ و جدول ۲ آمده است.

با توجه به شکل ۳، در مورد دمای حداکثر و حداقل، بیشترین

1- Evapotranspiration-precipitation ratio

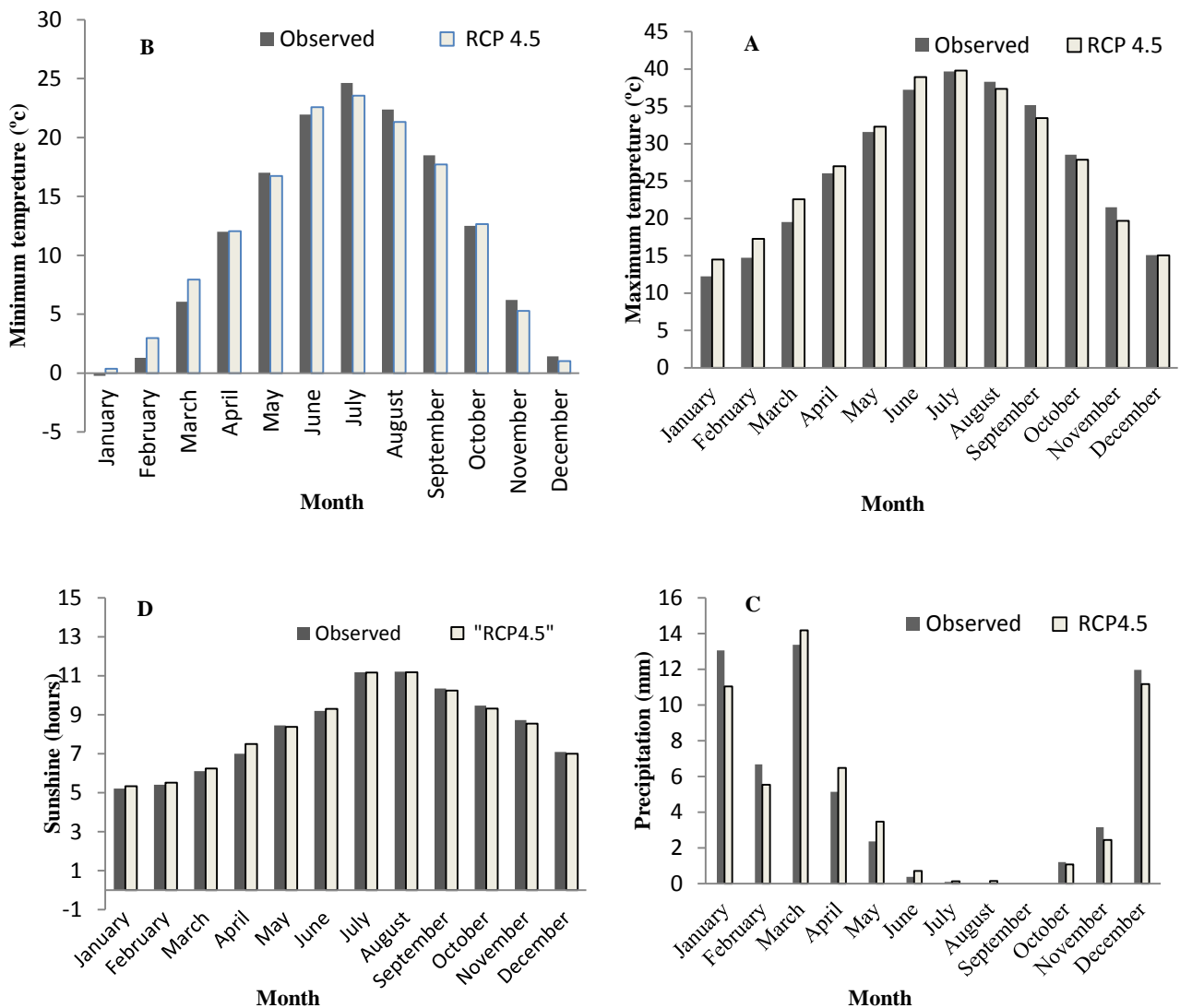
2- Maximum deficit



شکل ۳- مقایسه داده‌های مشاهداتی و محاسباتی دمای حداکثر، بارش، دمای حداقل و ساعات آفتابی دوره پایه در ایستگاه سینوپتیک یزد
 Fig. 3- Observed and generated values of maximum and minimum temperature, precipitation and sunshine for base period in Yazd synoptic station

می‌باشد. روند افزایشی دماهای کمینه و بیشینه در دهه‌های آتی در مطالعات دیگر نیز گزارش شده است. به‌عنوان مثال روشن و همکاران (Roshan et al., 2012) با بررسی ۲۰ مدل GCM، افزایش ۱/۳ تا ۲/۵ درجه سانتی‌گراد را تا سال ۲۰۵۰ برای ایران گزارش نمودند. دوستی و همکاران (Dousti et al., 2013) افزایش ۰/۲ تا ۴ درجه سانتی‌گراد را برای دمای متوسط تحت سناریوی A₂ مدل HadCM3 در حوضه آبخیز تمر استان گلستان پیش‌بینی نمودند. نتایج بررسی‌های عباسی و همکاران (Abassi et al., 2010) با استفاده از الگوهای ECHAM₄ و HadCM₂ بیانگر افزایش میانگین دمای کشور در تمامی استان‌ها تا سال ۲۱۰۰ می‌باشد.

شکل ۴- الف نتایج حاصل از مقایسه پارامتر دمای بیشینه پیش‌بینی شده و مشاهده شده در ایستگاه یزد را نشان می‌دهد. همان‌گونه که از شکل مذکور پیدا است، دمای بیشینه پیش‌بینی شده تحت سناریوی RCP 4.5 در تمام ماه‌های سال به‌غیر از آگوست، سپتامبر، اکتبر و نوامبر دارای روند افزایشی نسبت به مقادیر مشاهده شده است. بیشترین مقدار این افزایش ۳ درجه سانتی‌گراد و مربوط به ماه مارس (مطابق با اسفندماه) می‌باشد. به‌طور کلی در فصل زمستان نسبت به سایر فصل‌ها دمای بیشینه پیش‌بینی شده افزایش بیشتری دارد. روند تغییرات دمای کمینه (شکل ۴- ب) نیز تحت سناریوی مطالعاتی، حاکی از افزایش دمای کمینه در فصل زمستان و بهار



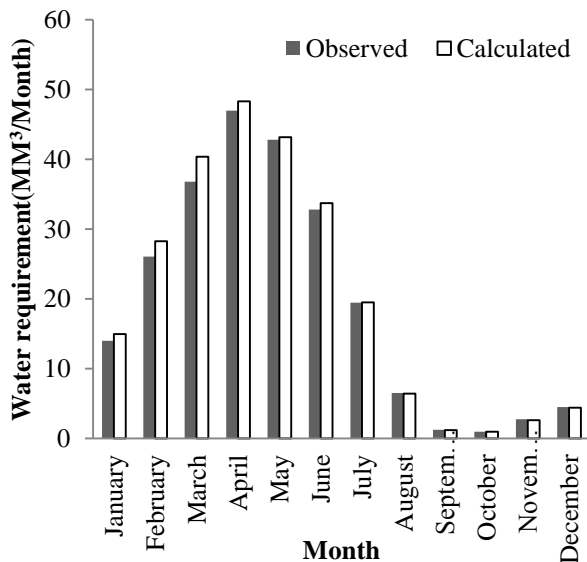
شکل ۴- تغییرات دما، بارش و ساعات آفتابی ماهانه در دوره آینده (۲۰۲۱-۲۰۷۰) نسبت به دوره پایه (۱۹۷۱-۲۰۰۵)

Fig. 4- The changes monthly of maximum and minimum temperature, precipitation and sunshine in study area in future (2021-2070) compared to the base period (1971-2005)

سال کاهش می‌یابد. براساس نتایج بررسی‌های عباسی و همکاران (Abassi et al., 2010) با استفاده از الگوی HadCM₂ بیانگر کاهش میانگین بارندگی کشور به میزان ۲/۵ درصد تا سال ۲۱۰۰ می‌باشد. دلیل کاهش بارندگی را می‌توان افزایش روند گرم شدن کره زمین، تقویت پرفشارهای جنب حاره‌ای و تاثیر منفی آن بر بارش‌های عرض‌های میانه ذکر کرد (Taei Semiromi et al., 2014). متغیر ساعات آفتابی (شکل ۴-د) تغییرات محسوسی در آینده نخواهد داشت، ولی همین تغییرات کم، متناسب با الگوی تغییرات دما می‌باشد.

براساس شکل (۴-ج)، ملاحظه می‌شود که به‌جز بارش ماه‌های مارس، آوریل، می و ژوئن، در سایر ماه‌ها، بارش‌ها در دوره پیش‌بینی شده در مقایسه با دوره آماری دیده‌بانی، کاهش می‌یابند. این مطلب بیان‌گر تغییر الگوی بارش از پاییز به بهار است. در مجموع، بارش این ایستگاه در دوره آتی نسبت دوره مشاهده‌ای گذشته، کاهش خواهد داشت. بابائیان و همکاران (Babaeian et al., 2009) کاهش ۹ درصدی بارش در کل کشور را تا سال ۲۰۳۹ تحت سناریوی A₁ الگوی ECHO-G گزارش نمودند. براساس مطالعه عزیزآبادی فراهانی و همکاران (Azizabadi Farahani et al., 2017) نیز بارش منطقه قره‌سو در استان گلستان تا سال ۲۰۴۸ در تمام ماه‌های

تبخیر و تعرق گیاه مرجع برای شرایط اقلیمی فعلی و دوره اقلیمی پیش‌بینی شده در شکل ۵، ارائه شده است.



شکل ۶- مقایسه نیاز آبی کشاورزی منطقه در حال حاضر و در آینده
Fig. 6- The changes of the agricultural water requirement in study area in future compared to the base period

همکاران (Tanasijevic et al., 2014) و خلیل (Khalil, 2013) هم‌راستا و با نتایج حاصل از بررسی‌های رمروا و سیسلروا (Remrova & Cislerova, 2010) متفاوت می‌باشد. دلیل این تفاوت به شرایط اقلیمی مناطق مورد بررسی برمی‌گردد. مطالعه رمروا و سیسلروا (Remrova & Cislerova, 2010) در یک حوضه کوهستانی انجام شده که دارای اقلیم سردتری نسبت به منطقه مورد مطالعه در این تحقیق است. در حالی که مطالعات تاناسی جویچ و همکاران (Tanasijevic et al., 2014) و خلیل (Khalil, 2013) مربوط به حوضه‌های مدیترانه‌ای و مطالعه آشفته (Ashofteh, 2012)، نیز مربوط به حوضه آیدوغموش در آذربایجان شرقی می‌باشد.

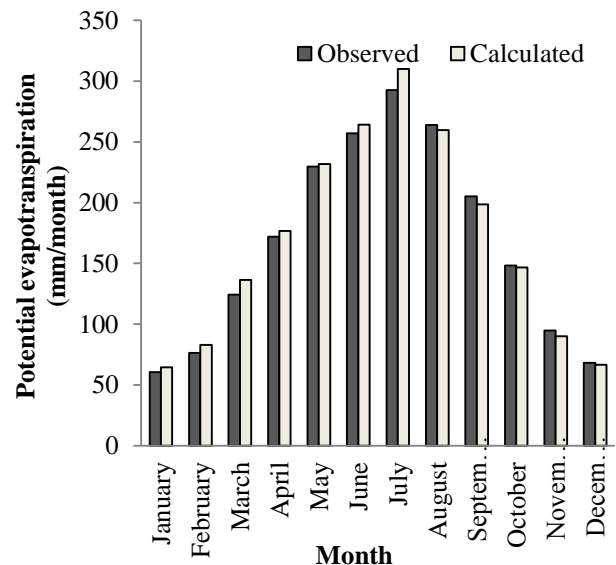
شاخص‌های پایداری مصرف آب بخش کشاورزی

مقادیر فصلی شاخص نسبت تبخیر و تعرق به بارندگی (EPR) تحت تأثیر تغییر اقلیم در شکل ۷ نشان داده شده است. مقایسه مقادیر EPR دوره آبی با مقادیر دوره پایه بیانگر اینست که بیشترین مقدار افزایش شاخص EPR مربوط به فصل زمستان برابر با ۲۴ درصد و کمترین مقدار تغییرات فصلی این شاخص مربوط

تبخیر و تعرق

تبخیر و تعرق گیاه مرجع

نتایج حاصل از به‌کارگیری معادله فائو پنمن ماتنیت، برای تعیین



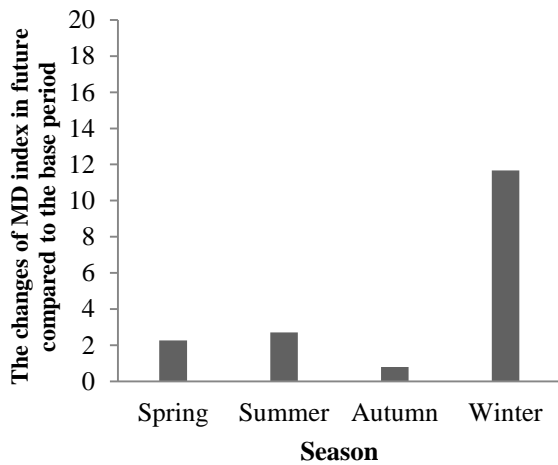
شکل ۵- مقایسه تبخیر و تعرق گیاه مرجع در حال حاضر و در آینده

Fig. 5- The changes of reference evapotranspiration in study area in future compared to the base period

همان‌طور که از شکل ۵ پیداست، تبخیر و تعرق گیاه مرجع در ماه‌های ژانویه تا ژولای تغییرات افزایشی دارد به عبارتی، تغییرات این پارامتر با روند تغییرات دماهای کمینه و بیشینه هم‌راستا است. افزایش تبخیر و تعرق گیاه مرجع در دوره‌های آینده در مطالعات تاناسی جویچ و همکاران (Tanasijevic et al., 2014)، کوثری و همکاران (Kousari et al., 2013) و زانگ و همکاران (Zhang et al., 2011) نیز بیان شده است. همچنین براساس نتایج بررسی قهرمان و همکاران (Ghahreman et al., 2016)، تبخیر و تعرق گیاه مرجع در دشت مشهد، در سال‌های ۲۰۲۱ تا ۲۰۷۰، تحت سناریوهای واداشت تابشی دارای تغییراتی می‌باشد. به‌طوری‌که بیشترین افزایش و بیشترین کاهش تبخیر و تعرق گیاه مرجع به ترتیب مربوط به ماه ژانویه و ماه اکتبر می‌باشد.

از شکل ۶ مشخص است، بیشترین نیاز آبی و برداشت آب از آبخوان، مربوط به هفت ماهه اول سال است. افزایش نیاز آبی تحت شرایط تغییر اقلیم با روند تغییرات تبخیر و تعرق گیاه مرجع هم‌خوانی دارد. در کل مقدار نیاز آبی آینده بخش کشاورزی در منطقه مطالعاتی به اندازه چهار درصد افزایش می‌یابد. نتایج حاصل از این تحقیق با مطالعات آشفته (Ashofteh, 2012)، تاناسی جویچ و

مذکور نیز بیشترین تغییرات فصلی این شاخص مربوط به زمستان و کمترین تغییرات آن متعلق به فصل پاییز می‌باشد.

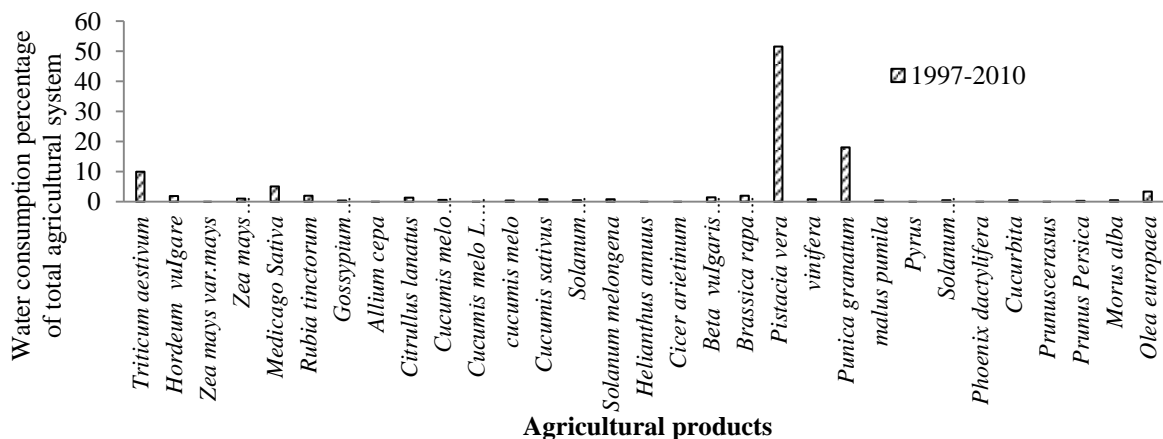


شکل ۸- درصد تغییرات شاخص کمبود حداکثر نسبت به دوره پایه
Fig. 8- The changes of MD index in study area in future compared to the base period

زمستان خواهد بود. دلیل این امر، افزایش دما و به تبع آن افزایش تبخیر و تعرق و نیاز آبی زمستان نسبت به دوره پایه می‌باشد. مطالعه زارعیان و همکاران (Zareian et al., 2015) نیز در حوضه زاینده‌رود، بیانگر افزایش شاخص کمبود حداکثر در دوره‌های آبی تحت تأثیر تغییر اقلیم می‌باشد.

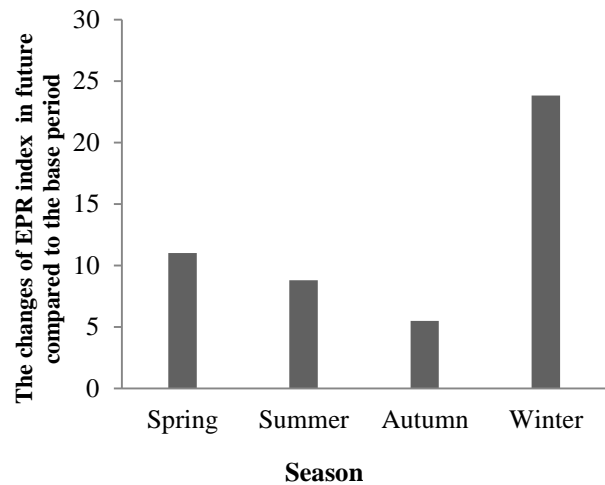
بررسی آب مصرفی محصولات عمده کشاورزی منطقه

شکل ۹، آمار آب مصرفی در بخش کشاورزی را به تفکیک نوع محصولات نشان می‌دهد.



شکل ۹- مقایسه سهم آب مصرفی گیاهان متداول در کشاورزی منطقه
Fig. 9- Comparison of the water consumption of the prevalent crops in the agricultural system of the study area

به فصل پائیز با ۴ درصد می‌باشد. مطالعه زارعیان و همکاران (Zareian et al., 2015) نیز در حوضه زاینده‌رود، بیانگر افزایش EPR در دوره‌های آبی تحت تأثیر تغییر اقلیم می‌باشد. در مطالعه

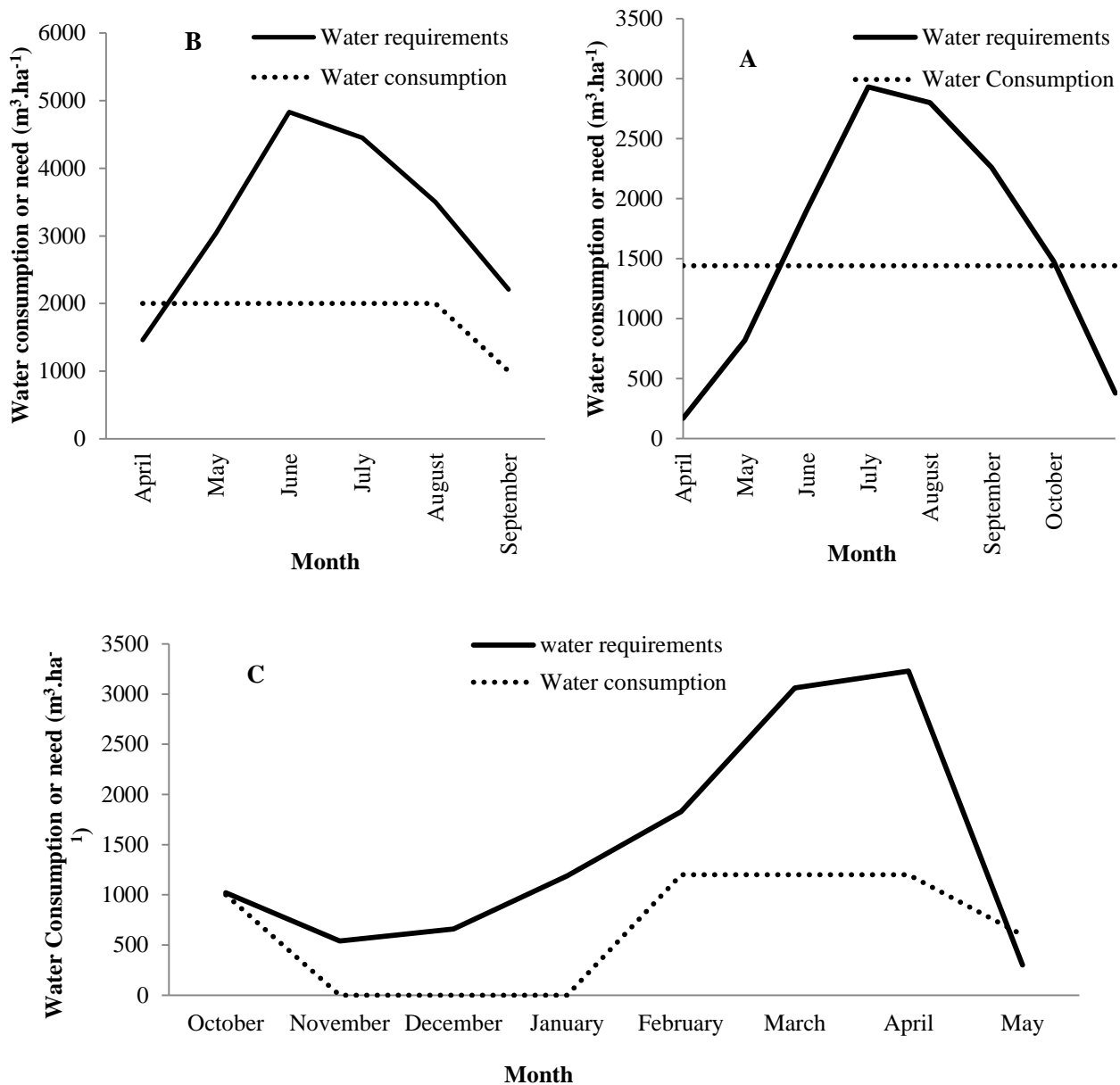


شکل ۷- درصد تغییرات شاخص EPR نسبت به دوره پایه
Fig. 7- The changes of EPR index in study area in future compared to the base period

شکل ۸ نیز مقادیر فصلی شاخص کمبود حداکثر را تحت تأثیر تغییر اقلیم نشان می‌دهد. براساس شکل مذکور می‌توان گفت، مثبت بودن مقدار این شاخص در تمام فصول، بیانگر آن است که به مرور زمان، بخش کشاورزی نقصان بیشتری از آب را احساس خواهد کرد. علاوه بر این، نتایج نشان می‌دهد که با وجود این که فصل تابستان بیشترین مقدار شاخص کمبود حداکثر را دارد، ولی بیشترین درصد افزایش این شاخص نسبت به دوره پایه مربوط به فصل زمستان خواهد بود. به عبارت دیگر، هر چه به سمت دوران آینده پیش می‌رویم، اثرات کمبود آب در بخش کشاورزی، بیشتر متوجه فصل

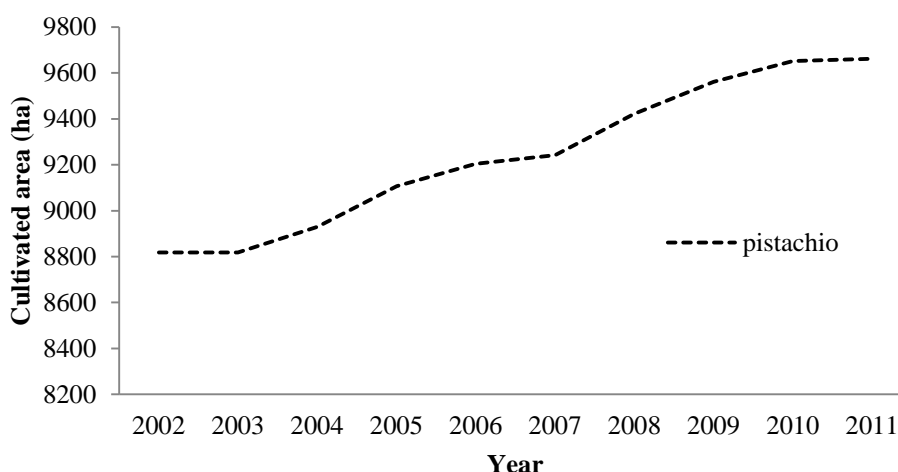
پسته با تنش آبی مواجه است و لذا انتظار می‌رود این امر بر میزان عملکرد در واحد سطح و سودآوری اقتصادی تاثیرگذار باشد. در مورد محصول انار (شکل ۱۰-ب) و گندم (شکل ۱۰-ج) نیز وضعیت مشابهی وجود دارد، آب مصرفی این دو محصول نیز از پرسش‌نامه‌های تکمیل شده در منطقه استخراج گردید.

همان‌طور که از شکل ۹ پیداست، پسته، انار و گندم به ترتیب عمده‌ترین مصرف‌کنندگان آب می‌باشند و پسته مصرف‌کننده بیش از ۵۰ درصد از آب مصرفی در بخش کشاورزی است. مقایسه آب مورد نیاز هر هکتار پسته با آب مصرفی در مزرعه -منتج از پرسش‌نامه‌های تکمیل شده- در شکل (۱۰-الف) آمده است. براساس شکل (10 A) می‌توان گفت، در بیش از نیمی از دوره کشت، محصول



شکل ۱۰- مقایسه آب مورد نیاز محصولات عمده منطقه در مقایسه با آب مصرفی در مزرعه

Fig. 10- Comparison of the water requirement and water used per hectare of main agricultural products



شکل ۱۱- افزایش سطح زیر کشت پسته در محدوده آبخوان یزد-اردکان در دهه ۸۰
 Fig. 11- Increase in the Pistachio cultivated area in Yazd-Ardakan aquifer during 2002-2011 years

اردکان با در نظر گرفتن تغییر اقلیم انجام شد. نتایج این بررسی نشان داد، تا سال ۲۰۷۰ میلادی تغییرات دما و توزیع بارش در منطقه مورد مطالعه معنادار خواهد بود و از طرفی روند افزایشی دما، منجر به افزایش ۴ درصدی نیاز آبی بخش کشاورزی می‌شود. از طرفی بررسی شاخص‌های پایداری آب کشاورزی، حاکی از افزایش ریسک و کم‌بود آب بخش کشاورزی در آینده خواهد بود. بررسی آب مصرفی محصولات مختلف نشان داد، بیش از ۵۰ درصد آب مصرفی آبخوان در بخش کشاورزی متعلق به پسته می‌باشد، از طرفی با توجه به اطلاعات میدانی جمع شده از میزان آب مصرفی محصولات عمده کشاورزی منطقه، این محصول نیز در تنش آبی بوده و عملکرد آن، چندان مطلوب نمی‌باشد. علی‌رغم این مسائل در دهه اخیر ۱۰۰۰ هکتار به اراضی تحت کشت این محصول اضافه شده است. با توجه به این مطلب و مشکلات جدی‌تر کمبود آب در آینده منطقه مورد بررسی، برنامه‌ریزان باید این مساله را جهت برنامه‌ریزی تخصیص منابع آبی آینده در نظر داشته باشند و از طریق تغییر سیستم کشت و یا افزایش راندمان آبیاری در راستای تعدیل اثرات تغییر اقلیم بر بخش کشاورزی اقدام نمایند.

متأسفانه علی‌رغم مساله تنش آبی، به دلیل بالا بودن ارزش افزوده پسته، در سال‌های اخیر افزایش سطح زیر کشت محصول را شاهد بودیم. این مساله در شکل ۱۱ نشان داده شده است. براساس شکل ۱۱، در سال‌های گذشته، سطح زیر کشت محصول در محدوده مطالعاتی، ۱۰۰۰ هکتار افزایش داشته است. افزایش سطح زیر کشت محصولات کشاورزی با توجه به مساله تنش آبی موجود، موجب کاهش عملکرد محصول و به تبع آن پایین آمدن سود اقتصادی خواهد شد. علاوه بر این، با توجه به تغییر اقلیم و افزایش نیاز آبی بخش کشاورزی، باید ضمن جلوگیری از افزایش سطح زیر کشت، برنامه‌هایی برای تغییر الگوی کشت و اصلاح روش‌های آبیاری نیز طراحی شود.

نتیجه‌گیری

از آنجایی که بحران آب یک مساله اساسی در همه جوامع، به خصوص جوامع در حال توسعه است، بررسی راه‌کارهای کاهش این تنش از ارکان اصلی برنامه‌ریزی آینده می‌باشد. این پژوهش به منظور بررسی تغییرات تبخیر و تعرق و نیاز آبی بخش کشاورزی دشت یزد-

منابع

- Abassi, F., Habibi Nokhandan, M., Goli Mokhtari, L., and Malbousi, S. 2010. Climate Change Assessment over Iran in the Future Decades Using MAGICC-SCENGEN Model, Iranian Journal of Physical Geography Research Quarterly 42(72): 91-109. (In Persian with English Summary)
- Arora, V.K., Scinocca, J.F., Boer, G.J., Christian, J.R., Denman, K.L., Flato, G.M., Kharin, V.V., Lee, W.G., and Merryfield, W.J. 2011. Carbon emission limits required to satisfy future representative concentration pathways of greenhouse gases. Geophysical Research Letters 38(5): 1-6.
- Ashofteh, P. 2012. Climate Change Impact on the Crop Water Requirement Using HadCM₃ Model in Aidoghmosh Irrigation Network. Iranian Journal of Irrigation and Drainage 3(6): 142-151. (In Persian with English Summary)

- Ashofteh, P.S., and Massah, A.R. 2012. Investigation of AOGCM Model Uncertainty and Emission Scenarios of Greenhouse Gases Impact on the Basin Runoff under Climate Change, Case study Gharanghu Basin, East Azerbaijan, *Journal of Iran-Water Resources Research* 8(2): 36-47. (In Persian with English Summary)
- Azizabadi Farahani, M., Bakhtiari, B., Ghaderi, K., and Rezapoor, M. 2017. The Survey of Climate Change Impact on Drought Severity- Duration- Frequency Curves Using Copulas. *Iranian Journal of Soil and Water Research* 47(4): 743-754. (In Persian).
- Babaeian, I., Kwon, W.T., and Im, E.S. 2004. Application of weather generator technique for climate change assessment over Korea. Korea Meteorological Research Institute, Climate Research lab.
- Babaeian, I., and NajafiNik, Z. 2006. Evaluation of Khorasan Razavi climate changes for 2010-2030 period. Climatology Institute. Climate Change Research Group.
- Bates, B.C., Kundzewicz, Z.W., Wu, S., and Palutikof, J.P. 2008. Climate change and water. Technical paper of the intergovernmental panel on climate change. IPCC Secretariat, Geneva.
- 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.
- De la Casa, A.C., and Ovando, G.G. 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.
- Dousti, M., Habibnezhad Roshan, M., Shahedi, K., and Mir Yaghoubzade, M.H. 2013. Study of climate indices of Tamar River basin Golestan Province in terms of climate change using by LARS-WG model. *Iranian Journal of the Earth and Space Physics* 39(4): 177-189. (In Persian with English Summary)
- Eitzinger, J., Tasna, M.S.D., Zalud, Z., and Dubrovsky, M. 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.
- Ghahreman, N., Babaeian, I., and Tabatabaei, M. 2016. Evaluation the post processed outputs of dynamic models in estimation potential evapotranspiration changes under RCP scenarios (Case Study: Mashhad plain). *Earth and Space Physics* 42(3): 687-696. (In Persian with English Summary)
- 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.
- 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.
- Hertig, E., and Jacobeit, J. 2008. Downscaling future climate change: Temperature scenarios for the Mediterranean area. *Global and Planetary Change* 63(2): 127-131.
- IPCC, 2014. International Panel on Climate Change (IPCC). Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. AR5.
- Irrigation, Food and Agriculture Organization, 1998. drainage paper 56. FAO, Roma.
- Itenfisu, D., Elliott, R.L., Allen, R.G., and Walter, I.A. 2000. Comparison of reference evapotranspiration calculations across a range of climates. *Proceedings of the 4th National Irrigation Symposium*. ASAE, Phoenix, AZ.
- Kainuma, M., Matsuoka, Y., Morita, T., Masui, T., and Takahashi, K. 2004. Analysis of global warming stabilization scenarios: The Asian- Pacific Integrated Model, *Energy Economics* 26(4): 709-719.
- Khalil, A.A. 2013. Effect of climate change on evapotranspiration in Egypt, *Journal of Researcher* 5(1): 7-12.
- Khazaei, M.R., Bagher Zahabiyou, B., and Saghafian, B. 2011. Assessment of climate change impact on floods using weather generator and continuous rainfall-runoff model. *International Journal of Climatology* 32(13): 1997-2006.
- Kousari, M.R., Asadi Zarch, M.A., Ahani, H., and Hakimelahi, H. 2013. A survey of temporal and spatial reference crop evapotranspiration trends in Iran from 1960 to 2005. *Climatic Change* 120: 277-298.
- Liu, S., Sun, P., Wang, J., and Chen, L. 2000. Hydrological functions of forest vegetation in upper reaches of the Yangtze River. *Journal of Natural Resources* 16: 451-456.
- Moy, W.S., Cohon, J.L., and Reville, C.S. 1986. A programming model for analysis of reliability, resilience and vulnerability of a water supply reservoir. *Water Resources Research* 22: 489-498.
- Nam, W.H., Hong, E.M., and Choi, J.Y. 2015. Has climate change already affected the spatial distribution and temporal trends of reference evapotranspiration in South Korea?, *Agricultural Water Management* 150: 129-138.
- Pouliotte, J., Smit, B., and Westerhoff, L. 2009. Adaptation and development: Livelihoods and climate change in Subarnabad, Bangladesh, *Climate and Development* 1(1): 31-46.
- Raziei, T., Daryabari, J., Bordi, I., Modarres, R., and Pereira, L.S. 2014. Spatial patterns and temporal trends of daily precipitation indices in Iran. *Climatic Change* 124: 239-253.
- Remrova, M., and Cislrova, M. 2010. Analysis of climate change effects on evapotranspiration in the watershed Uhlířská in the Jizera Mountains, *Soil and Water Research* 5(1): 28-38.

- Richard, S., and Lindzen, R. 1994. On the Scientific basis for global warming scenarios. *Environmental Pollution* 83 (1-2): 125-34.
- Roshan, G.R., Khoshakhlagh, F., and Azizi, G. 2012. Assessment of suitable general atmosphere circulation models for forecasting temperature and precipitation amounts in Iran under condition of global warming. *Geography and Development Iranian Journal* 36: 19-27. (In Persian with English Summary)
- Tabari, H., Marofi, S., Aeini, A., Talaei, P.H., and Mohammadi, K. 2014. Sensitivity of evapotranspiration to climatic change in different climates. *Global and Planetary Change* 115: 16–23.
- Taei Semiromi, S., Moradi, H.R., and Khodaghali, M. 2014. Simulation and prediction some of climatic variables by multiple linear model SDSM and atmospheric general circulation models (case study: Neishabour). *Journal of Human and Environment* 12(28): 1-16. (In Persian with English Summary)
- Tanasijevic, L., Todorovic, M., Pereira, L.S., Pizzigalli, C., and Lionello, P. 2014. Impacts of climate change on olive crop evapotranspiration and irrigation requirements in the Mediterranean region. *Agricultural Water Management* 144: 54–68.
- Tong, L., Kang, S., and Zhang, L. 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.
- Wilby, R.L., Dawson, C.W., Murphy, C., Connor, P.O., and Hawkin, E. 2014. The Statistical Down Scaling Model –Decision Centric (SDSMDC): conceptual basis and applications. *Climate Research* 61(3): 251-268.
- Xu, Z.X., Chen, Y.N., and Li, J.Y. 2004. Impact of climate changes on water resources in the Tarim river basin. *Water Resource Management* 18: 439-458.
- Zareian, M.J., Eslamian, S.S., and Safavi, H.R. 2016. Investigating the effects of sustainability of climate change on the agriculture water consumption in the Zayandeh-Rud river basin. *Science and Technology Agriculture and Natural Resources, Water and Soil Science* 20(75): 113-128. (In Persian with English Summary)
- Zhang, X., Chen, S., Sun, H., Shao, L., and Wang, Y. 2011. Changes in evapotranspiration over irrigated winter wheat and maize in North China Plain over three decades. *Agricultural Water Management* 98: 1097–1104.

Investigation of the Effects of Climate Change on Sustainability of Water Need and Water Consumption of Agricultural Section in the Yazd-Ardakan Plain

F.Barzegari* and H. Malekinezhad²

Submitted: 11-02-2017

Accepted: 11-11-2017

Barzegari, F., and Malekinezhad, H. 2019. Investigation of the effects of climate change on sustainability of water need and water consumption of agricultural section in the Yazd-Ardakan plain. *Journal of Agroecology*. 10(4): 1161-1176.

Introduction

Water is a scarce resource in the Middle East region and climate change is expected to exacerbate this situation. Developing countries are vulnerable to these changes, primarily due to their limited adaptive capacities in dealing with extreme events. Therefore, investigation of this phenomenon will be very crucial in such areas. In the past decades, water shortage in Yazd province which is located in arid regions of Iran has resulted in transferring the water from Isfahan. But recently, due to increasing in water demand, inadequacy of this project clearly has felt. Evapotranspiration and agricultural water requirements are two crucial issues of this area which affected by climate change. Thus, considering climate change projections and future agricultural water requirements is necessary to determine water stress risks in the study area. Hence, this study aims to answer the following research questions:

1. Currently, how much irrigation water do we need in the Yazd-Ardakan region?
2. How does future climate change impact future irrigation requirements?
3. How does future climate change influence sustainability of the agricultural water consumption?

Materials and Methods

The data used in this analysis represented into two time periods, including (i) present (values for the period 1971–2005), and (ii) future, called year 2070 (values for the period 2021–2070). To evaluate future climate changes, daily climate data from Yazd Synoptic station for 1971-2005 period have been used. Data, including precipitation, maximum and minimum temperatures and sunshine hours. To investigate the climate changes of Yazd-Ardakan plain in the future period of 2021-2070, RCP 4.5 scenario has been used through SDSM 4.2.9 software. The effect of climate change on reference evapotranspiration and agricultural water needs were estimated. Crop evapotranspiration and irrigation requirements for two periods, were estimated following the standard procedure described in the FAO Irrigation and Drainage Paper 56 (UN-FAO, 2007) and CROPWAT software. Two indices considered to evaluate the sustainability of the agricultural water consumption in the study area. These indices including the ratio of evapotranspiration to the precipitation (EPR) and the ratio of maximum agricultural water deficit to the amount of agricultural water need as deficit index (MD). These indices estimated under present and future climatic conditions. To evaluate the amount of water used for main agricultural products, questionnaires were completed in the area.

Results and Discussion

The results of statistical validation of the predicted values, showed no significant differences between historical and predicted values of precipitation, maximum and minimum temperatures and sunshine. Therefore, suitability of LARS-WG model to simulate climatic data of the study area is confirmed. Investigation of the precipitation in the Yazd station showed that in spring season, precipitation will be declining and in autumn will be increasing. In other words, the distribution of precipitation in the future will have significant changes and as winter precipitation decreases the spring

1- Assistant Professor, Department of Agriculture, Payamnoor University, Iran.

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

(*- Corresponding Author Email: fa_barzegar@yahoo.com)

DOI:10.22067/jag.v10i4.62527

precipitation will have increasing trend. Results showed that monthly minimum and maximum temperature will increase in almost all months. Results of estimating agricultural water requirements showed that due to higher temperature, reference evapotranspiration, crop evapotranspiration and irrigation requirements will be increased up to 4% under climate change conditions. The EPR and MD indexes will increase by 24% and 13% respectively. The results revealed the imbalance between agricultural water use and the precipitation in the study area. In the other hand, results of the questionnaires showed that, the water used in irrigated agricultural areas is not in accordance with the requirements of products and therefore leads to water stress and, consequently, yield reduction of products. Therefore, in these conditions, appropriate management strategies and planning should be implemented to ensure the sustainability of water resources in the Yazd-Ardakan plain.

Conclusion

This work focused on the climate change impact on cultivated area in the Yazd-Ardakan plain considering the possible alterations of crop evapotranspiration and irrigation requirements. According to this study by increasing in maximum temperature in the future, water needs of agricultural section will grow significantly. Therefore, planners and authorities should consider this fact for the future water resources allocation and strategies.

Keywords: CROPWAT software, Evapotranspiration, RCP 4.5scenario, SDSM model