

## بررسی نیاز آبی زراعی تحت ترکیبی از سناریوهای تغییر اقلیم، افزایش بازده آبیاری، تغییر الگوی کشت و توسعه کشت ارقام زودرس، مطالعه موردی: دشت همدان-بهار

علی افروزی<sup>۱</sup>، حمید زارع ایبانه<sup>۲\*</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۷/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۸/۲۱

### چکیده

تغییر اقلیم به واسطه اثرگذاری بر نیاز آبی محصولات زراعی، از موضوعات چالشی مورد تحقیق محققان علم آبیاری است. در این پژوهش اثر تغییر اقلیم بر دمای حداکثر، حداقل، بارندگی و نیاز آبی ۱۲ محصول زراعی گندم، یونجه، سیب زمینی، جو، سیر، خیار، هندوانه، کدو آجیلی، چغندر قند، کلزا، ذرت دانه‌ای و لوبیا در دشت همدان-بهار بررسی و روند تغییرات آن‌ها تا سال ۲۰۵۰ میلادی مطالعه گردید. اثرات اعمال و عدم اعمال راهبردهای تطبیقی افزایش بازده آبیاری، تغییر الگوی کشت و توسعه کشت ارقام زودرس و میان‌رس زراعی در ترکیب با سناریوهای تغییر اقلیم بین سال‌های آبی ۱۳۹۹-۱۴۲۸ مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد بدون اعمال راهبردهای تطبیقی، نیاز خالص آبیاری نسبت به آمارهای موجود، بین ۳/۹۸ تا ۸/۳۸ درصد افزایش خواهد داشت. افزایش بازده آبیاری تا مقدار پتانسیل آن، به‌طور متوسط باعث کاهش ۱۹/۲۳ درصدی نیاز ناخالص آبیاری می‌گردد. اجرای راهبرد تغییر الگوی کشت نیز با حذف محصولات پرآب بر هم‌چون یونجه و توسعه کشت محصولاتی نظیر کلزا به‌طور متوسط موجب کاهش ۱۰/۹ درصدی نیاز خالص آبیاری می‌گردد. کشت جایگزین ارقام زودرس و میان‌رس سیب‌زمینی و توسعه کشت ارقام زودرس ذرت دانه‌ای نیز به‌طور متوسط باعث کاهش ۸/۸۶ درصدی نیاز خالص آبیاری می‌شود. هم‌چنین مقایسه نتایج نشان داد اعمال کلیه راهبردهای فوق به‌طور متوسط ۳۴/۰ درصد از نیاز ناخالص آبیاری می‌کاهد. لذا پیشنهاد می‌شود برای تطبیق با شرایط اقلیمی آبی، هر سه راهبرد فوق مدنظر مدیران اجرایی و کشاورزان قرار گیرد.

**واژه‌های کلیدی:** نیاز خالص آبیاری، نیاز ناخالص آبیاری، تغییر اقلیم، آبیاری تحت فشار، راهبرد تطبیق

### مقدمه

روش لایسیمتری و تراز انرژی به‌ترتیب ۵۴۴/۵ و ۵۳۶/۵ میلی‌متر و میانگین ضرایب گیاهی ( $K_c$ ) را برای مراحل چهارگانه رشد به‌ترتیب ۰/۳، ۰/۸، ۱/۱۴ و ۰/۴ برآورد کردند. شیدائیان و همکاران (۱۳۹۳) با برآورد نیاز خالص آبیاری گیاه برنج تحت خط سیر A2، از سناریوهای انتشار ( $SRES^3$ ) و استفاده از خروجی‌های مدل اقلیمی HadCM3 نشان دادند تغییر اقلیم موجب افزایش تخریب و تعرق پتانسیل ( $ET_0$ )، کاهش بارندگی مؤثر و افزایش نیاز خالص آن تا سال ۲۱۰۰ می‌گردد. میرموسوی و همکاران (۱۳۹۱) نیاز آبی درخت زیتون در استان کرمانشاه را از روش‌های فائو ۵۶ پنمن-مانتیت (FAO-56 PM)، ترن-وایت، بلانی-کریدل اصلاح شده، هارگریوز و پنمن اصلاح شده محاسبه کردند و بیان داشتند روش FAO-56 PM برآورد دقیق‌تری از  $ET_0$  به‌دست می‌دهد. آن‌ها متوسط حداکثر  $ET_0$  ماهانه را ۸/۵ میلی‌متر بر روز و نیاز آبی سالانه ایستگاه روانسر را ۹۲۳/۳ میلی‌متر گزارش نمودند. براهیمی و غازی (۱۳۹۷) آب مورد نیاز اراضی کشاورزی دشت‌های قزوین و فومنات را در قالب  $ET_0$  سالانه طی سال‌های ۲۰۰۵-۱۹۷۶ با هدف به‌روز رسانی و

محدودیت منابع آبی ایجاب می‌کند سهم بخش کشاورزی هر منطقه به‌عنوان عمده‌ترین مصرف‌کننده آب تعیین گردد. در این راستا ناصری و همکاران (۱۳۹۶) حجم آب مصرفی بخش کشاورزی کشور را با احتساب تلفات، طی سال‌های آبی ۸۷-۱۳۸۶ تا ۹۳-۱۳۹۲، حدوداً ۷۱ درصد برآورد کردند. ابراهیمی (۱۳۸۹) روند نیاز آبی محصولات کشاورزی استان خراسان رضوی را رو به رشد دانسته و نیاز آن را با توجه به نتایج مدل جهانی تغییر اقلیم تا سال ۲۰۵۰ با افزایش ۱۹ درصدی پیش‌بینی نمود. فلاح قاهره و همکاران (۱۳۹۵) نیاز خالص آبیاری سیب‌زمینی منطقه تربت حیدریه را از نرم‌افزار کراپ‌وات ۸۰۳/۱ میلی‌متر برآورد نمودند. قائمی بایگی و همکاران (۱۳۹۲) نیاز آبی گندم زمستانه در مشهد را از دو

- ۱- دانشجوی دکتری گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران
  - ۲- استاد گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران
- \*- نویسنده مسئول:  
(Email: zare@basu.ac.ir)

۳/۳ درجه سلسیوس و ارتفاع بارندگی گزارش نمودند و اظهار داشتند که افزایش احتمالی بارندگی‌ها نمی‌تواند جبران‌کننده نیاز بیشتر به آبیاری در اثر افزایش دما باشد (Cho et al., 2019). آشفته و همکاران نیاز آبیاری حوضه آیدوغموش آذربایجان شرقی به روش FAO-56 PM را با مقادیر متغیرهای اقلیمی حاصل از مدل HadCM3 تحت سناریوی A2 طی دوره زمانی ۲۰۳۹-۲۰۲۶ برآورد نمودند. نتایج مطالعه افزایش ۶ درصدی نیاز آبیاری نسبت به دوره مشاهداتی بود (Ashofteh et al., 2017). توکیما و همکاران با بررسی تغییرات نیاز آبیاری در کشور مازنی تحت سناریوهای تغییر اقلیم با مدل کراپ‌وات بیان داشتند طی دوره زمانی ۲۰۹۹-۲۰۲۰ دمای هوا و بارندگی به ترتیب ۰/۲ درجه سلسیوس و ۴ درصد افزایش خواهد داشت که باعث کاهش ۰/۹ درصدی نیاز آبیاری در هر دهه می‌گردد (Tukimat et al., 2017).

دشت و آبخوان همدان-بهار، به دلیل اتکاء بخش‌های کشاورزی، صنعت و شرب شهرستان‌های همدان و بهار به آن و تمرکز ۳۷ درصد از جمعیت استان در حوضه آبریز آن، همواره مورد توجه مدیران و برنامه‌ریزان استانی است. با توجه به تأثیرات احتمالی تغییر اقلیم در تشدید مسئله کمبود آب، لازم است مطالعات مربوط به تغییرات نیاز آبی گیاهان برای مدیریت بهتر آب صورت گیرد. بررسی منابع نشان داد اثر تغییر اقلیم بر تغییرات توأم تبخیر و تعرق و نیازهای خالص و ناخالص آبیاری با لحاظ بازده سامانه‌های آبیاری در این دشت مورد مطالعه قرار نگرفته است. لذا در تحقیق حاضر پایداری مصرف آب در بخش کشاورزی با به‌کارگیری مدل گردش عمومی جو CanESM2، تحت سه سناریوی جدید تغییر اقلیمی rcp در دوره‌های زمانی آینده برای کاهش اثرات منفی تغییر اقلیم مورد بررسی قرار خواهد گرفت. همچنین اثر راهبردهای تطبیقی بر نیاز ناخالص آبیاری و حجم آب زراعی با تعریف سناریوهای افزایش بازده آبیاری و تغییر الگوی کشت در قالب گزارش پنجم IPCC، بررسی می‌گردد.

## مواد و روش‌ها

حوضه آبریز همدان-بهار در استان همدان، موسوم به سیمینه‌رود، از زیر حوضه‌های رودخانه قره‌چای و دریاچه نمک است که با وسعتی بالغ بر ۲۴۶۳ کیلومتر مربع در دامنه شمالی ارتفاعات الوند قرار دارد. این مطالعه در بخشی از محدوده دشت همدان-بهار به وسعت ۴۸۳ کیلومتر مربع مجهز به چاه‌های مشاهداتی انجام گرفت (شکل ۱، راست). اهمیت منابع آب زیرزمینی و اراضی دشت همدان-بهار در معیشت اقتصادی بخش قابل توجهی از جمعیت استان و افت سالیانه تراز آب زیرزمینی به مقدار ۰/۸۴ متر در سطح اطمینان ۹۹ درصد به‌واسطه بهره‌برداری بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی، دلیل انتخاب ناحیه مطالعاتی فوق می‌باشد (شرکت آب منطقه‌ای همدان، ۱۳۹۷). محصولات غالب کشاورزی آن گندم، جو، یونجه، سیب‌زمینی، سیر، خیار، هندوانه، کدوآجیلی، چغندر، کلزا، ذرت‌دانه‌ای و لوبیا است که تبخیر و تعرق (ET<sub>c</sub>)، آن‌ها با محاسبه تبخیر و تعرق گیاه

بازنگری سند ملی آب، از معادله FAO-56 PM به‌ترتیب ۱۳۳۰ تا ۱۵۸۷/۱ و ۷۴۳ تا ۸۰۹ میلی‌متر برآورد نمودند. محاسبات آن‌ها نشان داد به‌طور نمونه در ایستگاه تاکستان دشت قزوین ET<sub>o</sub> سالانه ۴۰/۶ درصد بیشتر از مقدار گزارش سند ملی بود. در مطالعه براتی و همکاران (۱۳۹۷) نیز تبخیر و تعرق در الگوی کشت دشت کرمانشاه به‌طور متوسط ۲۰ درصد و برای دو محصول گندم و جو، ۱۰۰ درصد بیش از مقادیر گزارش سند ملی آب بود. اخوان و همکاران (۱۳۹۴) با استفاده از خروجی‌های مدل HadCM3 در دشت همدان-بهار نتیجه گرفتند که دمای هوا طی سال‌های ۲۰۴۰-۲۰۱۱ میلادی بر پایه خط سیرهای A1B، A2 و B1 از سناریوهای انتشار، به‌ترتیب ۰/۷۷، ۰/۸۸ و ۰/۷۸ درجه سلسیوس، متوسط بارش سالانه ۲/۱، ۵/۹ و ۱۰/۲ درصد و نیاز خالص آبیاری محصولات کشاورزی بین ۲/۶ تا ۲۸/۲ میلی‌متر افزایش می‌یابد. رحمانی و همکاران (۱۳۹۴) با مطالعه اثر پدیده تغییر اقلیم بر طول مراحل رشد و نیاز آبی گیاهان گندم و جو در منطقه بیرجند بیان داشتند که این پدیده باعث کوتاه‌تر شدن طول دوره رشد و کاهش نیاز آبی و عملکرد این محصولات می‌گردد. شهید با بررسی اثرات پدیده تغییر اقلیم بر نیاز آبی برنج در منطقه شمال غرب بنگلادش نتیجه گرفت در پایان قرن بیست و یکم نیاز به آب آبیاری ۰/۸ میلی‌متر بر روز افزایش خواهد داشت (Shahid, 2010). مزید در مطالعه‌ای در کرانه باختری فلسطین اثرات احتمالی پدیده تغییر اقلیم بر تقاضای بخش کشاورزی را با در نظر گرفتن سه سناریوی افزایش دمای ۲، ۴ و ۶ درجه سلسیوس، دو سناریو کاهش ۱۶ درصدی و عدم تغییر بارندگی بررسی نمودند. نتایج ایشان نشان داد افزایش دما می‌تواند نیاز به آب کشاورزی را تا ۱۷ درصد افزایش و تغذیه آب زیرزمینی را تا ۲۱ درصد کاهش دهد و کاهش ۱۶ درصدی بارندگی باعث کاهش ۳۰ درصدی تغذیه آب زیرزمینی می‌گردد (Mizyed, 2009). همچنین در صورتی که افزایش دما و کاهش بارندگی به‌صورت هم‌زمان اتفاق افتد کاهش تغذیه آب زیرزمینی می‌تواند تا ۵۰ درصد باشد. توماس با تلفیق داده‌های اقلیمی تصاویر ماهواره‌ای با اطلاعات مکانی خاک تحت سناریوهای تغییر اقلیم، روند رو به‌رشد نیاز آبیاری در کشور چین را گزارش نمود (Thomas, 2008). ودرهد و ناکس با بررسی رشد نیاز آبیاری در انگلستان و ولز اعلام داشتند نیاز آبیاری در سال ۲۰۲۱ نسبت به سال ۱۹۹۶ میلادی ۴۵ درصد افزایش خواهد داشت (Weatherhead, and Knox 2000). مالچ و همکاران با مطالعه حوضه آبریز رود نیل بیان داشتند افزایش بازده آبیاری قادر به جبران نیاز فزاینده بخش کشاورزی به آب نیست و نیاز آبی این حوضه تا پایان سال ۲۰۵۰ به ۱۲۳ میلیارد متر مکعب در سال می‌رسد که با اعمال دو سناریوی رشد حداکثری بازده آبیاری و بهبود بازده آبیاری مطابق وضع موجود نیز به‌ترتیب ۵ و ۲۶ میلیارد متر مکعب در سال کمبود آب وجود خواهد داشت (Multscha et al., 2017). چو و همکاران اثرات احتمالی پدیده تغییر اقلیم بر مزارع شالیزاری برنج کره جنوبی را براساس گزارش پنجم ارزیابی هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم (IPCC) در قالب روند رو به افزایش دما تا

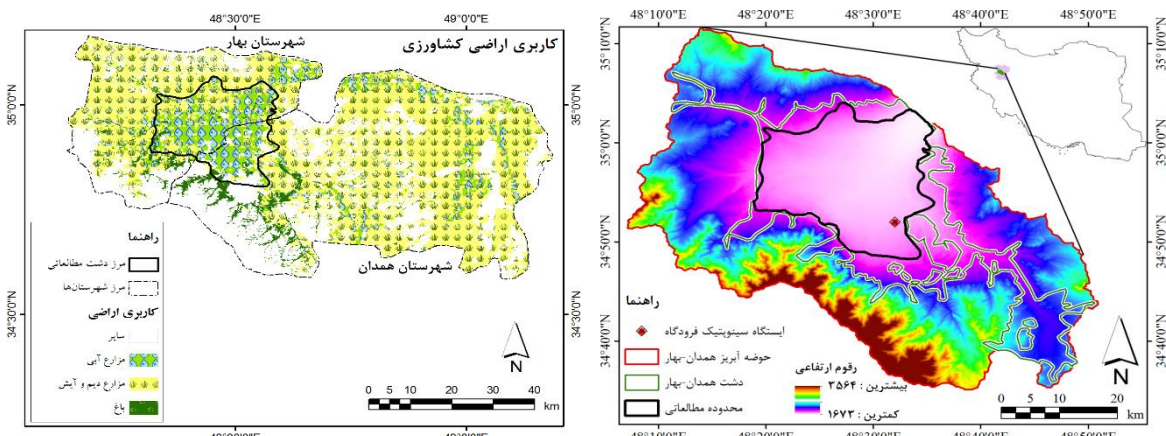
هواشناسی در سال‌های ۲۰۲۰-۲۰۵۰ با مدل تغییر اقلیم استفاده گردید و کنترل محاسبات، مطابق توصیه نشریه شماره ۵۶ فائو به روش هارگریوز-سامانی که تنها به پارامترهای دمای هوای حداقل و حداکثر و تابش خارج از جو نیاز دارد، صورت گرفت (Allen et al., 1998 و Hargreaves and Samani, 1985). نیاز خالص آبیاری ( $I_n$ ) محصولات با کسر بارش مؤثر ( $P_e$ ) محاسباتی به روش سازمان حفاظت خاک آمریکا-پارتمان کشاورزی آمریکا (USDA-SCS) از تبخیر و تعرق گیاه مرجع ( $ET_o$ ) محاسبه و نیاز ناخالص ( $I_g$ ) محصولات نیز با لحاظ بازده سالانه آبیاری ( $E_i$ ) به دست آمد (United States Department of Agriculture, 1993). به همین ترتیب مقادیر حجمی نیاز ناخالص گیاهان با لحاظ سطح زیر کشت محصولات به دست آمد. در این مطالعه حدود و مساحت اراضی آبی، دیم و باغی براساس نقشه کاربری حاصل از اطلاعات سازمان جهاد کشاورزی، اطلاعات محلی و تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ طی سال‌های ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ در محیط ArcGIS ایجاد گردید (شکل ۱، چپ).

مطابق اطلاعات شکل ۱ (چپ)، ۶۲/۹۸ درصد از اراضی شهرستان همدان، ۷۴/۱۳ درصد از اراضی شهرستان بهار و ۸۹/۸۹ درصد از اراضی ناحیه مطالعاتی دارای کاربری زراعت آبی و دیم، آیش و باغی هستند. اراضی باغی در ارتفاعات و اراضی زراعی در بخش‌های هموار دشت قرار دارند. اطلاعات مربوط به مساحت انواع محصولات تحت کشت طی سال‌های زراعی ۱۳۷۷ تا ۱۳۹۵ بیان‌کننده اختصاص ۹۲ درصد از اراضی آبی دشت به کشت محصولات گندم، یونجه، سیب‌زمینی و جو و ۸ درصد به کشت سیر، خیار، هندوانه، کدو آجیلی، چغندر قند و کلزا است. تغییرات بازده کل آبیاری ( $E_i$ ) براساس گزارش‌های قدمی فیروزآبادی و سیدان (۱۳۸۱ و ۱۳۸۶)، رضوانی و جعفری (۱۳۸۳)، سهراب و عباسی (۱۳۸۴)، بهراملو (۱۳۸۶)، پارسای محبی و محسنی موحد (۱۳۸۶)، سازمان جهاد کشاورزی استان همدان (۱۳۸۲ و ۱۳۹۷)، عباسی و همکاران (۱۳۹۵) و حاجیلو و ملکی (۱۳۹۵) در دشت همدان-بهار مطابق شکل ۲ می‌باشد.

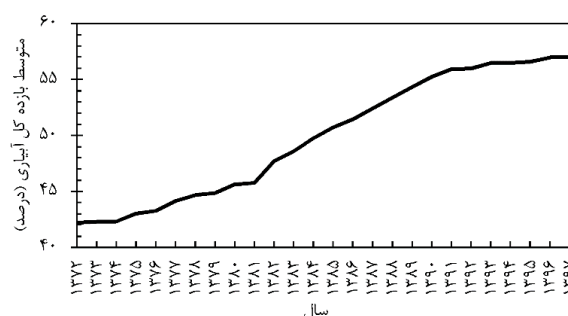
مرجع ( $ET_o$ ) و ترسیم منحنی ضریب گیاهی ( $K_c$ ) هر محصول مطابق راهنمای نشریه شماره ۵۶ فائو محاسبه گردید. برای ترسیم منحنی  $K_c$  طول و تقویم مراحل رشد محصولات از طریق مصاحبه حضوری با کارشناسان خبره سازمان جهاد کشاورزی استان، کارشناسان ادارات جهاد کشاورزی شهرستان‌ها و کشاورزان محلی به دست آمد. مقدار  $ET_o$  از رابطه FAO-56 PM مطابق رابطه ۱ در محیط نرم‌افزار Ref-ET براساس داده‌های هواشناسی محاسبه گردید (Allen, 2016).

$$ET_o = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad (1)$$

در رابطه فوق  $ET_o$  تبخیر و تعرق گیاه مرجع چمن ( $mm \ day^{-1}$ )؛  $R_n$  تابش خالص در سطح محصول ( $MJ \ m^{-2} \ day^{-1}$ )؛  $G$  شار حرارتی خاک ( $MJ \ m^{-2} \ day$ )؛  $T$  متوسط درجه حرارت روزانه هوا در ارتفاع ۲ متری ( $^{\circ}C$ )؛  $u_2$  سرعت باد در ارتفاع ۲ متری ( $m \ s^{-1}$ )؛  $e_s$  فشار بخار اشباع ( $kPa$ )؛  $e_a$  فشار بخار واقعی ( $kPa$ )؛  $e_s - e_a$  کمبود فشار بخار اشباع ( $kPa$ )؛  $\Delta$  شیب منحنی فشار بخار ( $kPa \ ^{\circ}C^{-1}$ ) و  $\gamma$  ثابت سایکرومتریک ( $kPa \ ^{\circ}C^{-1}$ ) است. اطلاعات هواشناسی مورد نیاز شامل داده‌های روزانه دمای هوای حداقل و حداکثر، رطوبت نسبی حداقل و حداکثر، ساعات آفتابی و متوسط سرعت باد از ایستگاه همدید فرودگاه همدان بین سال‌های ۲۰۱۸-۱۹۸۲ اخذ گردید. موقعیت جغرافیایی ایستگاه فرودگاه همدان مطابق شکل ۱ (راست)،  $34^{\circ}87'$  درجه شمالی،  $48^{\circ}53'$  درجه شرقی و ارتفاع  $1741/5$  متر از سطح دریا است. کنترل کیفی داده‌های هواشناسی در مقیاس روزانه و براساس راهنمای نشریه شماره ۷۲ سازمان جهانی هواشناسی انجام و همگنی آن‌ها با آزمون ران بررسی و تأیید گردید (Klein Tank et al., 2009). مقادیر حدی آن‌ها با داده‌های مشاهداتی ایستگاه همدید پایگاه هوایی نوزه در موقعیت  $35^{\circ}20'$  درجه شمالی و  $48^{\circ}72'$  درجه شرقی مطابقت داده شد. همچنین دقت و صحت مقادیر  $ET_o$  محاسباتی با داده‌های لایسِمتری ماهانه مرکز تحقیقات کشاورزی همدان در سال ۱۹۹۷ تأیید شد. برای محاسبه  $ET_o$  در دوره‌های آبی، از پارامترهای پیش‌نمایی شده



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی حوضه آبریز و محدوده مطالعاتی دشت همدان-بهار (راست) و نقشه کاربری اراضی دشت و شهرستان‌های همدان و بهار (چپ)



شکل ۲- روند موجود تغییرات بازده آبیاری کل در دشت همدان-بهار

برای مدل سازی پارامترهای هواشناسی تأثیرگذار در ET<sub>o</sub> و بررسی اثر تغییر اقلیم آبی بر پارامترهای هواشناسی تا افاق ۲۱۰۰ میلادی از مدل جفتی نسل چهارم گردش عمومی جو مرکز مدل سازی و تحلیل اقلیمی کانادا مطابق گزارش پنجم (AR5) هیئت بین الدول تغییر اقلیم (IPCC) تحت عنوان مدل CanESM2<sup>۲</sup> استفاده گردید. در این مدل از سناریوهای rcp<sup>۳</sup> در قالب سه سناریوی rcp2.6، rcp4.5 و rcp8.5 بر پایه واداشت تابشی<sup>۴</sup> ناشی از تفاوت جذب و واجذب انرژی توسط زمین در اثر تابش خورشید استفاده شد. در سناریوی خوش بینانه rcp2.6 ابتدا واداشت تابشی تا ۳ وات بر متر مربع افزایش و سپس در حد ۲/۶ وات بر متر مربع تثبیت می گردد. در سناریوی rcp4.5 واداشت تابشی در حدود ۴/۵ وات بر متر مربع می باشد و در سناریوی بدبینانه rcp8.5 زمین با روند رو به افزایش واداشت تابشی بیش از ۸/۵ وات بر متر مربع تا افاق سال ۲۱۰۰ مواجهه است (Moss et al., 2010). برای مدل سازی پارامترهای هواشناسی و ریزمقیاس نمایی تغییرات اقلیمی، کدنویسی در محیط نرم افزار متلب براساس الگوی مدل آماری SDSM5.3<sup>۵</sup> صورت گرفت. با معرفی داده های هواشناسی ایستگاه فرودگاه به عنوان پیش بینی شونده (Predictand) و ۲۶ پیش بینی کننده (Predictor) تاریخی از مدل CanESM2 به کد نوشته شده نسبت به واسنجی و ساخت مدل تغییر اقلیم اقدام شد. سپس با استفاده از مدل ساخته شده تغییر اقلیم، پارامترهای هواشناسی برای محاسبه ET<sub>o</sub> و نیاز خالص تحت سناریوهای rcp بین سال های ۲۰۲۰ تا ۲۱۰۰ پیش نمایش شدند. از طرفی برای بررسی اثر راهبردهای تطبیقی افزایش بازده آبیاری، تغییر الگوی کشت و توسعه کشت ارقام زودرس و میان رس بر نیاز آبی گیاهان طی سال های آبی ۱۳۹۹ تا ۱۴۲۸، مطالعه روند تغییرات متغیرهای تبخیر و تعرق، نیاز خالص و ناخالص آبیاری با برازش معادله رگرسیون خطی انجام و معنی داری شیب معادله در سطوح اطمینان ۹۵ و ۹۹ تعیین گردید. راهبرد تطبیقی تغییر الگوی کشت در پنج سناریوی S1، S2، S3، S4 و S5 مطابق جدول ۱ تعریف شد. در شکل ۳ نیز درصد الگوی کشت پیشنهادی به تفکیک هر محصول در هر

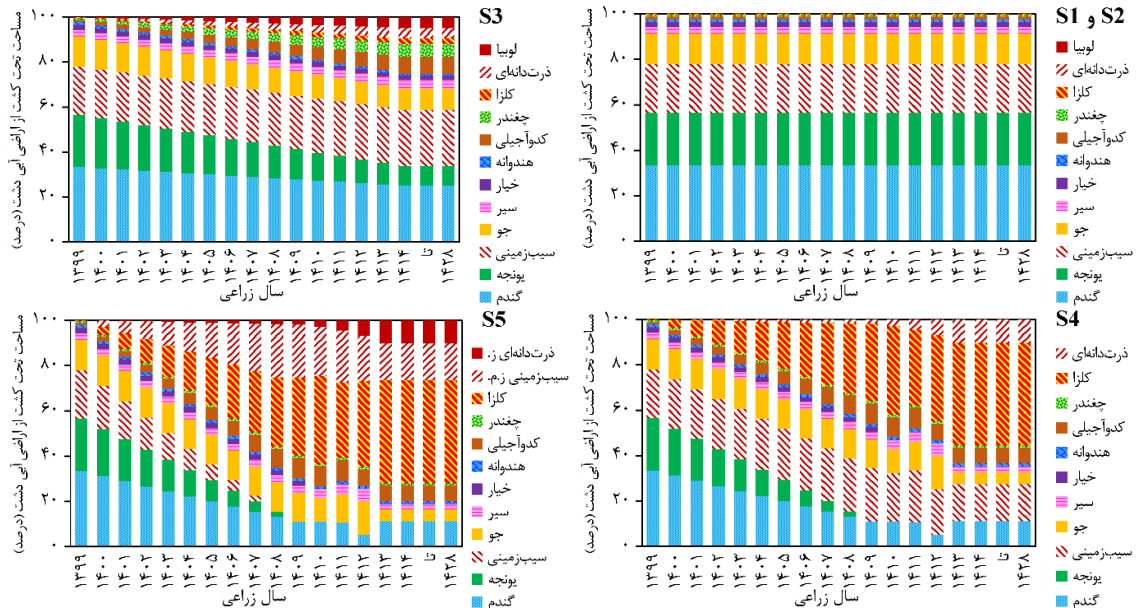
سناریو و برای کل دوره آماری اجرای سناریوها ارائه شده است. در سناریوی S1 الگوی کشت ثابت و برابر میانگین مساحت کشت هر محصول طی دوره های آماری گذشته می باشد. همچنین بازده کلی آبیاری بدون تغییر، مطابق با بازده آبیاری در انتهای دوره آماری ۱۳۹۷، برابر ۵۷/۰۲ درصد است. در سناریو S2 فرض بر عدم تغییر الگوی کشت، عدم توسعه کمی سامانه های نوین آبیاری و ارتقاء کیفی بازده کلی آبیاری است. ارتقاء بازده کلی سامانه های آبیاری بارانی، قطره ای و سطحی به صورت پلکانی از طریق بهبود مدیریت آب در مزرعه و اصلاح سامانه های موجود با در نظر گرفتن سه شیب سالانه ۱، ۰/۷۵ و ۰/۵ درصد در دهه های اول، دوم و سوم، مطابق شکل ۴ است که برای سال ۱۴۲۸ مقادیر بازده ۸۵، ۹۰ و ۶۵ درصد می باشد (عباسی و همکاران، ۱۳۹۵). به عبارت دیگر در سناریوی S2 الگوی کشت یکسان با سناریوی S1 سطح تجهیز اراضی به سامانه های تحت فشار بارانی و قطره ای در حد فعلی ۷۲/۳۳ درصد و میانگین بازده کلی آبیاری دشت روندی صعودی دارد به طوری که در آخرین سال شبیه سازی (سال آبی ۱۴۲۸) معادل ۷۹/۵۸ درصد است. در دو سناریوی S3 و S4 تغییرات بازده کلی آبیاری مشابه سناریوی S2، الگوی کشت روحانی و همکاران (۱۳۸۶) برای سناریوی S3 و الگوی کشت بلالی و همکاران (۱۳۸۹) برای سناریوی S4 مطابق جدول ۱ و شکل ۳ لحاظ شد. روحانی و همکاران (۱۳۸۶) به منظور جبران بیلان منفی آبخوان با عنایت به جنبه های اقتصادی، اجرائی و مقبولیت پذیرش تغییر کشت از سوی کشاورزان، الگویی را برای دشت همدان-بهار ارائه دادند که ضمن توجه به تناوب زراعی، محدودیت سطح زیر کشت محصولات پرآب بر هم چون یونجه و توسعه کشت لوبیا، ذرت دانه ای، کدو آجیلی، چغندر قند و کلزا هم مدنظر قرار گرفت. بلالی و همکاران (۱۳۸۹) نیز الگوی کشت سناریوی S4 را با عنایت به سیاست افزایش قیمت آب کشاورزی علی رغم کاهش نسبی منافع اقتصادی بخش کشاورزی به منظور تعادل بخشی بیلان آب در آبخوان پیشنهاد نمودند. در سناریو S4 افزایش قیمت آب باعث می شود کشاورزان از کشت محصولات پرآب بر مانند یونجه به سمت کشت گیاهانی چون کلزا گرایش یابند. کشت ارقام زراعی زودرس و میان رس به جای ارقام متداول در دشت می تواند موجب کوتاه شدن دوره کشت محصول و در نتیجه کاهش نیاز آبی زراعی گردد. بنابراین الگوی کشت در سناریوی S5 مشابه با الگوی کشت سناریو S4 است که در آن از ارقام زودرس و میان رس سیب زمینی و ارقام زودرس ذرت دانه ای به جای ارقام دیررس استفاده شده است (پرویزی و همکاران، ۱۳۹۰ و دهقانپور و همکاران، ۱۳۸۸). در سناریو S5، به تدریج ارقام زودرس و میان رس سیب زمینی، طی دهه اول اجراء جایگزین ارقام دیررس آن و از ارقام زودرس برای توسعه ذرت دانه ای می گردد (شکل ۳). تغییرات بازده آبیاری نیز در سناریو S5 مطابق سناریو S2 به صورت پلکانی است. مصاحبه های حضوری با کشاورزان و کارشناسان بخش کشاورزی نشان دهنده عدم تمایل کشاورزان به اعمال رژیم های کم آبیاری است. به طوری که اکثر کشاورزان حاضر به پرداخت جرائم مالی ناشی از اضافه برداشت نسبت به دبی مندرج در پروانه چاه کشاورزی و یا خرید و انتقال آب از سایرین هستند. بدین ترتیب اعمال سناریوی کم آبیاری مد نظر قرار نگرفت.

- 1- Fifth assessment report
- 2- The second generation Canadian Earth System Model
- 3- Representative Concentration Pathways
- 4- Radiative forcing
- 5- Statistical downscaling model

جدول ۱- الگوی کشت محصولات در هر سناریو (درصد)

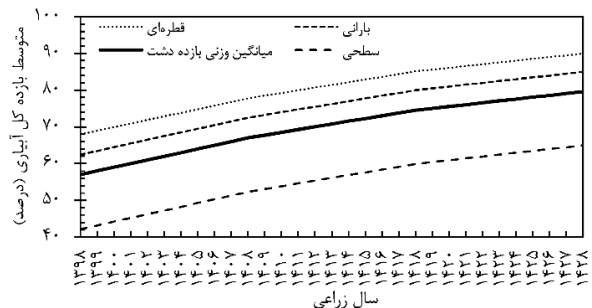
سناریو	گندم	یونجه	سیبزمینی	جو	سیر	خیار	هندوانه	کدو آجیلی	چغندر قند	کلزا	ذرت دانه‌ای	لوبیا	مجموع
S1 و S2	۲۳/۲۹	۲۳/۱۵	۲۱/۳۶	۱۳/۵۴	۲/۷۴	۲/۳۹	۱/۲۱	۱/۱۵	۰/۸۹	۰/۳۶	۰/۰۲	۰/۰۱	۱۰۰
S3*	۲۵/۰۰	۸/۶۷	۲۵/۰۰	۹/۲۷	۴/۱۰	۱/۷۶	۱/۰۰	۷/۵۰	۵/۶۸	۲/۵۰	۴/۵۶	۴/۹۷	۱۰۰
S4** و S5***	۱۱/۱۰	۰/۰۰	۱۶/۳۸	۵/۲۷	۲/۳۹	۰/۰۰	۱/۳۱	۶/۹۹	۰/۹۶	۴۵/۲۷	۱۰/۳۲	۰/۰۰	۱۰۰

\* - فرض شده است الگوی کشت موجود با یک شیب خطی تغییر و پس از ۱۵ سال سناریوی S3 (الگوی روحانی و همکاران، ۱۳۸۶) محقق گردد.  
 \*\* - تغییرات الگوی کشت در سناریو S4 از سال اول تا دهم به صورت خطی، از سال یازدهم تا چهاردهم مطابق الگوی کشت سال‌های اول تا چهارم سناریوی پیشنهادی بلالی و همکاران (۱۳۸۹) با آب به قیمت ۱۵۰۰ ریال در هر متر مکعب (بلالی و همکاران، ۱۳۸۹) و از سال پانزدهم تا انتهای دوره الگوی کشت S4 محقق گردد.  
 \*\*\* - سناریوی S5 به واقع همان سناریوی S4 است، لیکن ارقام سیبزمینی از نوع زودرس و میان‌رس و ذرت‌دانه‌ای از نوع زودرس در نظر گرفته شده‌اند.



شکل ۳- درصد اختصاص داده شده از اراضی آبی دشت همدان -بهار به هر محصول در سناریوهای S1، S2، S3، S4 و S5 (ز، م. به ترتیب مخفف ارقام زودرس و میان‌رس)

تغییرات نیاز ناخالص آبیاری تمامی محصولات اصلی دشت را نشان می‌دهد. از مقایسه شکل ۵-الف و ۵-ب ملاحظه می‌گردد نیاز ناخالص آبیاری محصولات به‌واسطه افزایش بازده کلی آبیاری کاهش یافته است. شکل ۵-ج نیز نشان می‌دهد حجم آب آبیاری محصولات زراعی طی سال‌های آبی ۹۵-۱۳۷۷ برابر ۶۹۲۶ میلیون متر مکعب (MCM) است که سهم چهار محصول یونجه، گندم، سیبزمینی و جو با توجه به سطح زیر کشت آن‌ها، به ترتیب ۲۲۱۴، ۲۰۶۲، ۱۳۹۲، ۶۹۸ میلیون متر مکعب و معادل ۹۲ درصد است. در همین راستا و به‌منظور درک بهتر از روند تغییرات نیاز آبی زراعی، روند تغییرات میانگین وزنی نیازهای خالص و ناخالص آبیاری و حجم مورد نیاز آبیاری با لحاظ اطلاعات سطوح زیر کشت در شکل ۵-د ارائه گردید. شکل ۵-د، نشان می‌دهد تغییرات متوسط وزنی نیاز خالص آبیاری، با شیب ۴/۵ میلی‌متر در سال، دارای روند افزایشی غیر معنی‌دار است. در حالی‌که متوسط وزنی نیاز ناخالص آبیاری، با شیب ۱۳/۹- میلی‌متر در سال، روند کاهشی معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد دارد. این موضوع نقش افزایش بازده کلی آبیاری دشت را نشان می‌دهد که مطابق روابط تعیین نیاز ناخالص آبیاری، تغییر روش آبیاری از سطحی به تحت‌فشار موجب کاهش معنی‌دار نیاز ناخالص آبیاری و کاهش معنی‌دار حجم آب مورد نیاز زراعی است (طلوعی و همکاران، ۱۳۹۴). ضمن آن‌که کاهش منابع آب تجدیدپذیر



شکل ۴- روند پلکانی تغییرات بازده آبیاری کل دشت همدان -بهار در سناریوهای S2، S3، S4 و S5

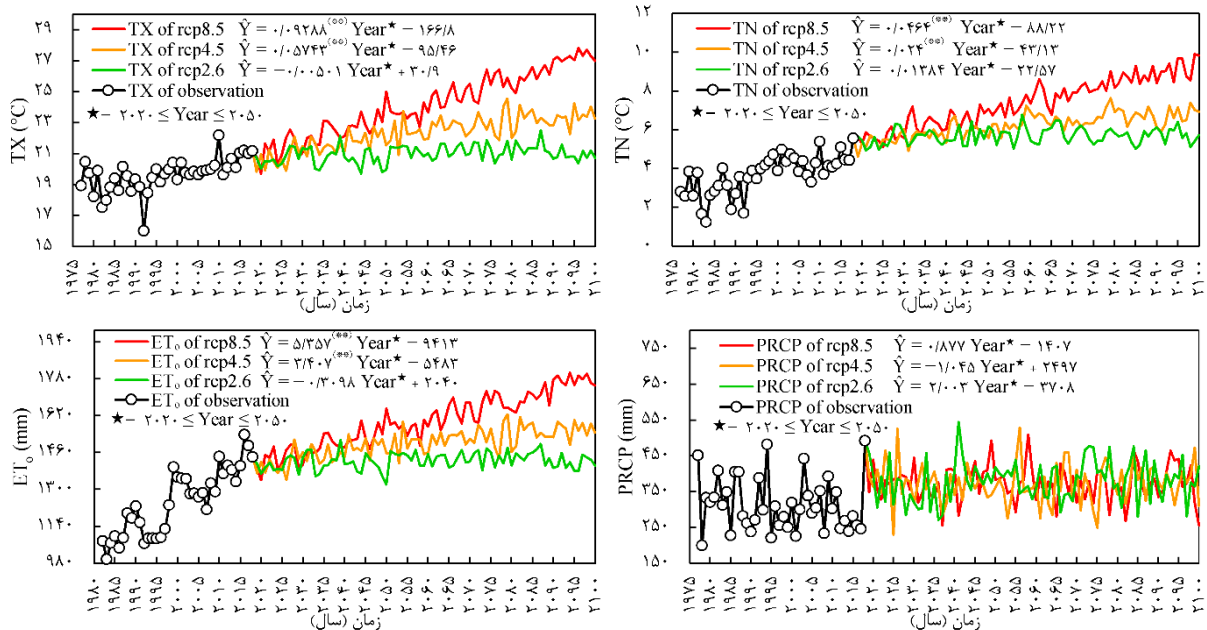
## نتایج و بحث

نتایج محاسبات نیاز آبی محصولات اصلی دشت در قالب نیازهای خالص و ناخالص آبیاری، حجم آب مورد نیاز و روند معنی‌داری تغییرات وزنی نیاز آبی در سطح اطمینان ۹۵ درصد در شکل ۵ آمده است. از شکل ۵-الف ملاحظه می‌شود که طی سال‌های آبی ۹۶-۱۳۶۱ یونجه، چغندر قند، سیر با میانگین ۹۱۶/۸، ۴۹۴/۵، ۶۴۸/۱ میلی‌متر در سال بیشترین نیاز خالص آبیاری و هندوانه، جو، کلزا با میانگین ۴۸۱/۳، ۴۹۵/۵، ۵۳۲/۹ میلی‌متر در سال کمترین نیاز خالص آبیاری را داشته‌اند. شکل ۵-ب نیز



ترمودینامیک است. لیکن بارندگی با تغییرپذیری زمانی و مکانی بسیار بالا، وابسته به حرکات عروجی و عدم تعادلی جو است. لذا طبیعت کوچک مقیاس (محلی) و نوفه‌ای بارش و کوچک بودن نسبت رفتارهای منظم به نامنظم آن سبب کمتر شدن  $r$  بارندگی نسبت به متغیر دمای هوا شده است. سلیمانی و همکاران و گیورگی و لیونلو به دلیل وابستگی بارندگی به فرآیندهای اقلیمی محلی با پیچیدگی‌های بالا، در مقایسه با دمای هوا، پیش‌نمایی بارندگی را بسیار دشوار و همراه با عدم قطعیت بالا گزارش نمودند (Soleimani et al., 2017 و Giorgi, and Lionello, 2008).

متغیرهای اقلیمی دمای هوای حداقل و حداکثر، بارندگی و تبخیر و تعرق گیاه مرجع به صورت روزانه تحت سناریوهای rcp4.5 و rcp2.6 و مدل‌سازی و محاسبه شدند و به منظور اطمینان از صحت مدل‌سازی و محاسبات، نتایج در ادامه داده‌های مشاهداتی تا افق سال ۲۱۰۰ به صورت نمودارهای شکل ۷ ارائه شدند.



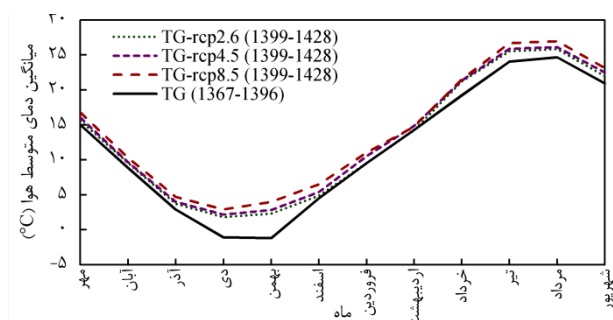
شکل ۷- میانگین سالانه متغیرهای اقلیمی پیش‌نمایی شده و تبخیر و تعرق محاسباتی از روش هارگریوز-سامانی برای دوره‌های آبی

(۱۳۹۷)، اخوان و همکاران (۱۳۹۴) برای دشت همدان-بهار و مصباح زاده و همکاران در منطقه کرمان، هم‌سو است (Mesbahzadeh et al. 2019). میانگین تبخیر و تعرق گیاه مرجع بین سال‌های ۲۰۱۸-۱۹۸۲ برابر ۱۳۴۶ میلی‌متر در سال محاسبه شد که تحت سناریوهای rcp4.5 و rcp2.6 و rcp8.5 و برای سال‌های ۲۰۲۰-۲۰۵۰ به ترتیب ۱۴۵۰، ۱۴۸۹ و ۱۴۸۹ میلی‌متر در سال پیش‌نمایی می‌گردد. بدین ترتیب افزایش دمای هوای حداقل و حداکثر و تبخیر و تعرق گیاه مرجع تحت سناریوی rcp2.6 نسبت به داده‌های ثبت‌شده، کمتر از افزایش آن‌ها در دو سناریوی rcp4.5 و rcp8.5 است. این امر به دلیل ماهیت سناریوی rcp2.6 است که در آن سعی شده تا آثار منفی تغییر اقلیم از طریق کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای با تثبیت واداشت تابشی در حد ۲/۶ وات بر متر مربع مدیریت شود.

مقایسه نتایج مدل‌سازی و مشاهداتی میانگین دمای هوای حداقل ماهانه در شکل ۶ نشان داد مقادیر ضریب همبستگی ( $r$ ) ۰/۹۸ و ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)  $1/55^{\circ}\text{C}$  است. به همین ترتیب مقادیر باقی‌مانده واسنجی روزانه دمای حداقل و هیستوگرام آن در شکل ۶ ناهمبستگی مقادیر باقی‌مانده و تبعیت هیستوگرام آن از توزیع نرمال را تأیید می‌کند که نشان‌دهنده صحت مدل‌سازی است. مشابه چنین نتایجی با  $r=0/99$  و  $RMSE=1/33^{\circ}\text{C}$  برای متغیر دمای هوای حداکثر نیز برقرار است. لیکن برای بارندگی مقادیر  $r$  ۰/۶۳ و  $RMSE=23/79$  میلی‌متر به‌دست آمد. بزرگی میانگین سالیانه بارندگی و وجود مقادیر حدی در مقایسه با دو متغیر دمای هوای حداقل و حداکثر سبب بزرگی RMSE بارندگی و کمتر شدن مقدار  $r$  شده است. ضمن آن‌که نمایه RMSE به‌واسطه ارتباط با توان دوم اختلافات، حساسیت زیادی به وجود مقادیر حدی در سری داده‌ها دارد. از طرفی دمای هوا متغیر حالت بوده و در کنترل تعادل

از شکل ۷ ملاحظه می‌گردد نتایج روند متغیرهای مدل‌سازی شده تحت سناریوهای اقلیمی، به‌صورت منطقی در ادامه سیر داده‌های مشاهداتی و بدون روند پله‌ای (Step trend) است. نتایج حاکی از سیر صعودی دما و تبخیر و تعرق در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. میانگین سالانه دمای هوای حداقل و حداکثر دوره تاریخی (۱۹۷۷-۲۰۱۸) به ترتیب ۳/۷ و ۱۹/۶ درجه سلسیوس ثبت شده است. پیش‌نمایی میانگین سالانه دمای هوای حداقل براساس سناریوهای rcp4.5 و rcp2.6 و rcp8.5 برای سال‌های ۲۰۲۰-۲۰۵۰ به ترتیب ۵/۶، ۵/۷ و ۶/۲ درجه سلسیوس است که حاکی از افزایش آن می‌باشد. برای میانگین سالانه دمای هوای حداکثر نیز مقادیر پیش‌نمایی ۲۱/۴، ۲۰/۷ و ۲۲/۲ درجه سلسیوس به‌دست آمد که افزایش آن را نشان می‌دهد. پیش‌نمایی دمای هوای حداقل و حداکثر با نتایج کریومی و همکاران

شکل ۸ مقادیر میانگین ماهانه دمای هوا را برای داده‌های ثبت‌شده (بین سال‌های آبی ۱۳۹۶-۱۳۶۷) و سناریوهای تغییر اقلیم (سال‌های آبی ۱۳۶۸-۱۳۹۹) نشان می‌دهد. نتایج آزمون دمنومنه‌ای تی<sup>۱</sup> داده‌های شکل ۸، نشان داد در ۷۸ درصد موارد اختلاف معنی‌دار وجود دارد. لذا تغییرات دمای هوا، ناشی از پدیده تغییر اقلیم، می‌تواند بر طول دوره کشت و تقویم زراعی با کاهش نیاز آبی و عملکرد مؤثر باشد (رحمانی و همکاران، ۱۳۹۴). لیکن در این مطالعه نتایج این بخش از کار به‌دلیل محدودیت تطویل مقاله مدنظر قرار نگرفت.



شکل ۸- میانگین دمای هوا ماهانه (TG) سال‌های آبی ۱۳۶۷-۱۳۹۶ برای داده‌های ثبتی و سال‌های آبی ۱۳۹۹-۱۴۲۸ برای سناریوهای تغییر اقلیم

مقایسه  $ET_0$  محاسباتی از رابطه FAO-56 PM و هارگریوز-سامانی نشان داد که خطاهای کوچک در پیش‌نمایی پارامترهای متعدد هواشناسی، به‌منظور اعمال در رابطه FAO-56 PM، باعث خطای برهم‌فزاینده در محاسبه  $ET_0$  می‌گردد. به‌همین دلیل  $ET_0$  محاسباتی از رابطه FAO-56 PM، بر اساس داده‌های پیش‌بینی، به نتایجی دور از واقعیت منجر شد. به‌عبارت دیگر رابطه FAO-56 PM از تعداد متغیرهای هواشناسی بیشتری نسبت به روش هارگریوز-سامانی بهره می‌گیرد که وجود خطا در آن‌ها، به‌صورت تجمعی، موجب خطای بیشتر در محاسبه  $ET_0$  می‌گردد. اخوان و همکاران (۱۳۹۴) نیز برای مطالعه تبخیر و تعرق در سناریوهای آتی اقلیمی دشت همدان-بهار، از روش هارگریوز-سامانی استفاده و نتایج آن را مناسب ارزیابی کردند. بدین ترتیب در شکل ۹ تبخیر و تعرق سالانه گیاه مرجع به‌روش هارگریوز-سامانی ارائه گردید. این نتایج نشان داد روند افزایش  $ET_0$  در سطح اطمینان ۹۹ درصد در دو سناریو rcp4.5 و rcp8.5 در دوره ۲۰۲۰-۲۰۵۰ ادامه‌دار بوده و  $ET_0$  سالانه به ترتیب ۷/۳۱ و ۱۱/۴۱ درصد افزایش خواهد داشت که با افزایش معنی‌دار TN و TX در شکل ۷ هم‌سو است. در صورت تحقق سناریوی خوش‌بینانه rcp2.6 تبخیر و تعرق ۰/۶۵ درصد کاهش غیر معنی‌دار خواهد داشت. لیکن با خروج ایالات متحده از توافق پاریس (COP21<sup>۲</sup>) و در اولویت نبودن کنترل گرمایش جهانی از سوی دول بین‌الملل، تحقق rcp2.6 دور از انتظار و وقوع rcp4.5 و rcp8.5 محتمل‌تر است.

نتایج وضعیت آب‌آبیاری و روند تغییرات آن در سناریوهای ترکیبی تغییر

حالی که در سناریوی rcp8.5 به‌دلیل عدم اتخاذ سیاست کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، مقادیر دمای هوای حداقل، حداکثر و تبخیر و تعرق گیاه مرجع منطقه بیشترین سیر صعودی را دارد. میانگین بارش دوره تاریخی (۲۰۱۸-۱۹۷۷) ۳۱۳ میلی‌متر در سال ثبت شده، در حالی که مدل‌سازی تغییر اقلیم متوسط بارش سالیانه بین سال‌های ۲۰۵۰-۲۰۲۰ را ۳۶۹، ۳۷۰ و ۳۷۸ میلی‌متر در سال به ترتیب تحت سناریوهای rcp2.6، rcp4.5 و rcp8.5 به‌دست داد که افزایش ۱۷/۹، ۱۸/۲ و ۲۰/۸ درصدی بارندگی را نشان می‌دهد. مصباح‌زاده و همکاران در نتایجی مشابه با استفاده از مدل SDSM تحت سناریوهای rcp2.6، rcp4.5 و rcp8.5 بیان داشتند که میانگین بارندگی منطقه کرمان به ترتیب ۹/۳، ۳/۰ و ۳۲/۳ درصد افزایش خواهد یافت (Mesbahzadeh et al. 2019). سلیمانی و همکاران نیز افزایش مقدار بارندگی را تا سال ۲۰۵۰ در استان مازندران و با استفاده از مدل‌های MPI-ESM-LR و MIROC-ESM-CHEM تحت سناریوی rcp2.6 به ترتیب ۵۸/۶ و ۴/۶ درصد پیش‌نمایی کردند (Soleimani et al., 2017). چوینگ‌های و ینگ افزایش ارتفاع بارندگی تا افق ۲۱۰۰ میلادی را تحت سناریوهای rcp2.6، rcp4.5 و rcp8.5 در کره زمین به ترتیب ۲/۵، ۳/۶ و ۵/۹ درصد و در چین ۵/۶، ۸/۸ و ۱۳/۵ درصد پیش‌نمایی کردند (Chong-Hai and Ying, 2012). اخوان و همکاران (۱۳۹۴) نیز براساس نتایج مدل LARS-WG5، افزایش بارندگی دشت همدان-بهار را بر پایه سناریوهای A1B، A2 و B1 به ترتیب ۲/۱، ۵/۹ و ۱۰/۲ درصد گزارش کردند. آزمون معنی‌داری روند تغییرات TN، TX و PRCP در دوره مطالعاتی سال‌های ۲۰۵۰-۲۰۲۰، نشان داد بیشترین شیب افزایش دمای هوای حداقل به ترتیب در سناریوهای rcp8.5، rcp4.5 و rcp2.6 با مقادیر +۰/۰۴۶، +۰/۰۲۴ و +۰/۰۱۴ درجه سلسیوس در سال است که در دو سناریوی rcp4.5 و rcp8.5 در سطح اطمینان ۹۹ درصد معنی‌دار است. تغییرات صعودی دمای هوای حداکثر در سناریوهای rcp8.5 و rcp4.5 با شیب‌های +۰/۰۹۳ و +۰/۰۵۷ درجه سلسیوس در سال و در سطح اطمینان ۹۹ درصد معنی‌دار بود و در سناریوی rcp2.6 شیب تغییرات -۰/۰۰۵ درجه سلسیوس در سال، نزولی و غیر معنی‌دار است. بدین ترتیب ملاحظه می‌گردد علی‌رغم افزایش میانگین دمای هوای حداقل و حداکثر و تبخیر و تعرق گیاه مرجع تحت سناریوی rcp2.6 نسبت به داده‌های تاریخی، شیب روند صعودی دمای هوای حداکثر کمتر شده و برای دمای حداقل و تبخیر و تعرق گیاه مرجع این شیب منفی شده است. این موضوع نشان می‌دهد انجام اقدامات عملی در راستای مقابله با پدیده تغییر اقلیم و تحقق سناریو rcp2.6 آثار خود را بر روی دمای هوا و تبخیر و تعرق در افق ۲۰۵۰-۲۰۲۰ نشان می‌دهد. هم‌چنین شیب تغییرات بارندگی در سناریوهای rcp8.5، rcp4.5 و rcp2.6 غیر معنی‌دار و به ترتیب +۰/۰۹، -۱/۰ و +۲/۰ میلی‌متر در سال به‌دست آمد. مصباح‌زاده و همکاران نیز روند تغییرات بارندگی در سناریوهای rcp8.5 و rcp2.6 را صعودی غیر معنی‌دار و برای سناریو rcp4.5 نزولی غیر معنی‌دار گزارش نمودند (Mesbahzadeh et al. 2019).

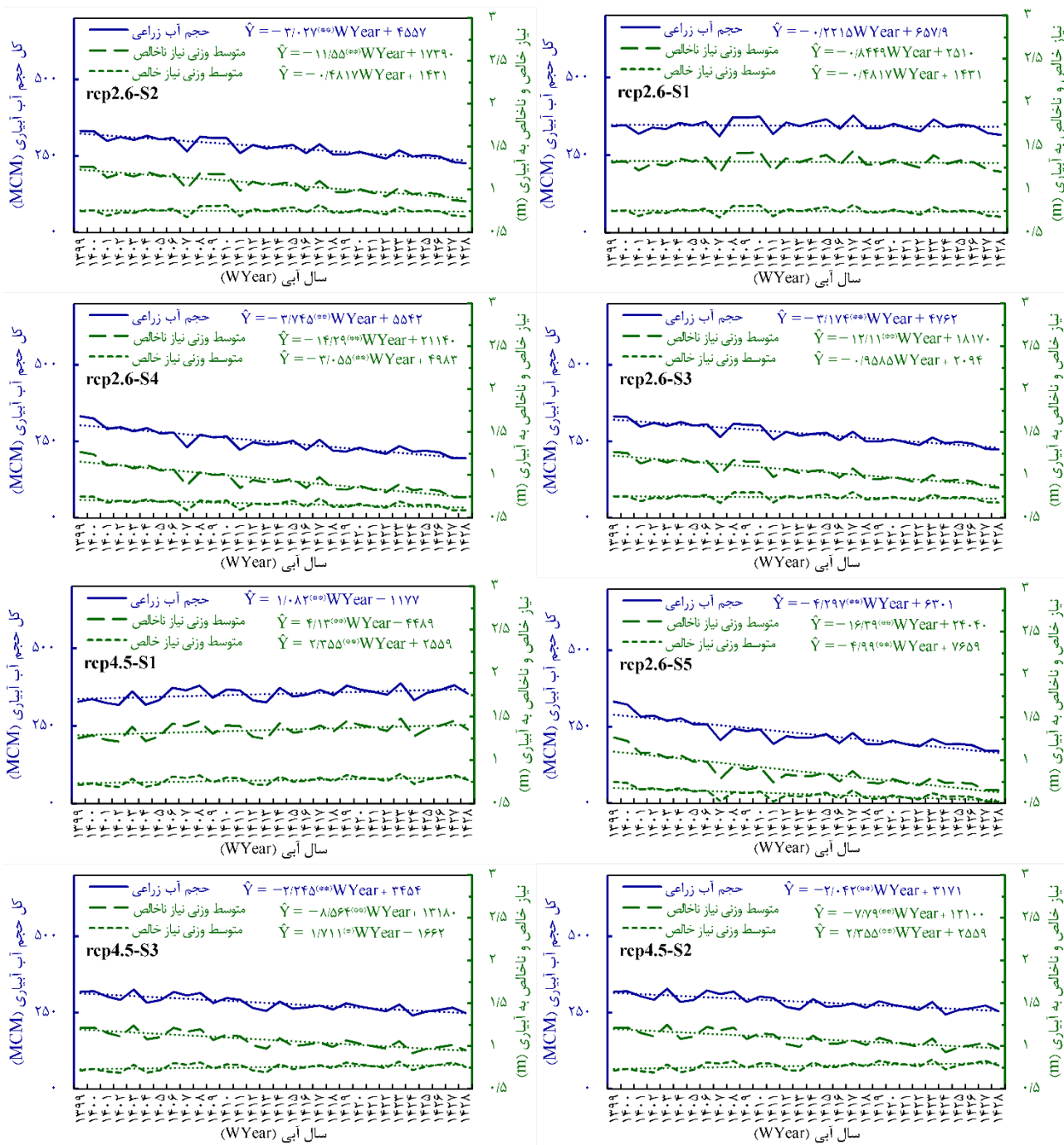
1- Two-sample t-test

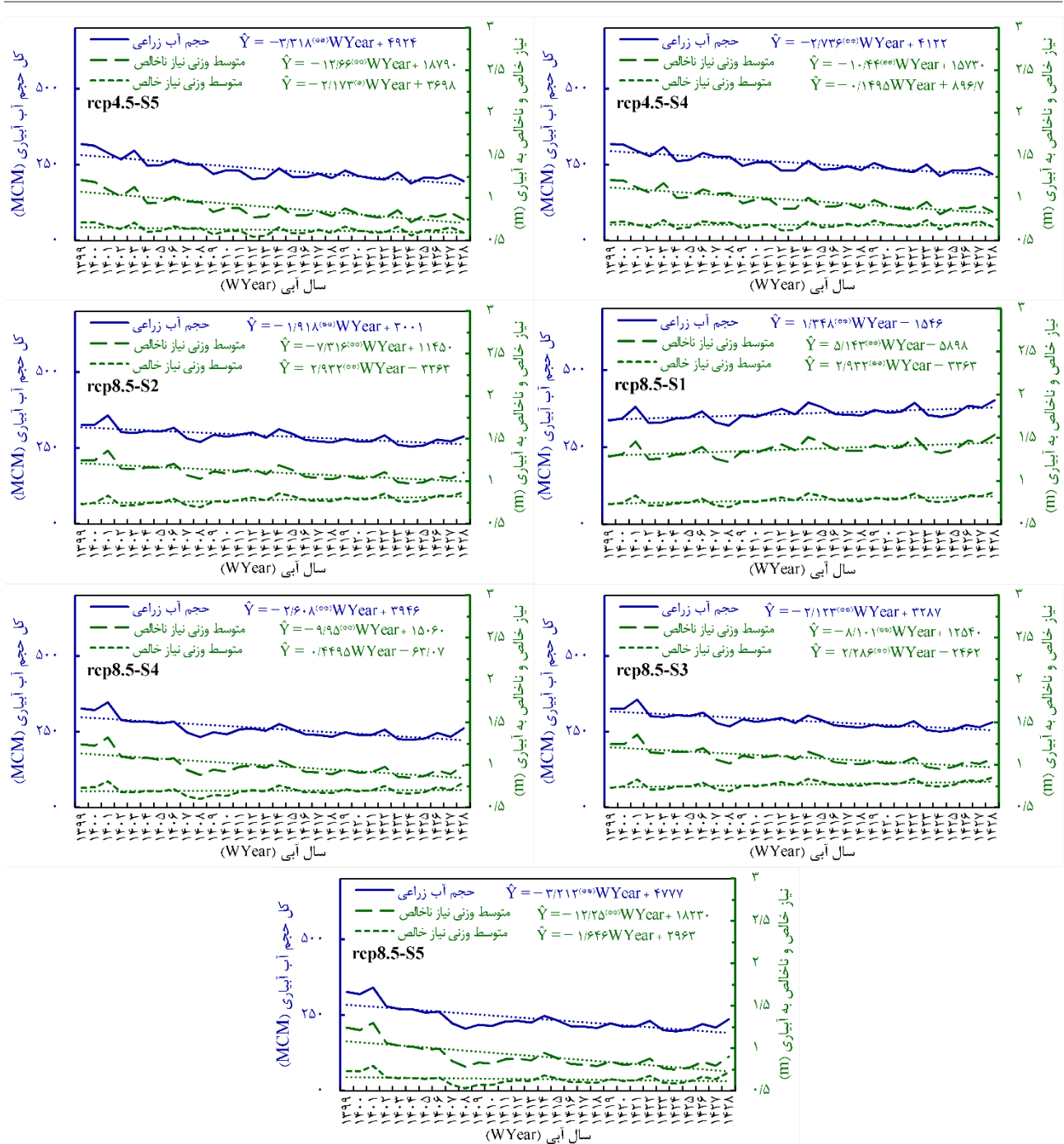
2- The 21st Conference of the Parties of the UNFCCC



اقلیم با سناریوهای S1، S2، S3، S4، S5 به همراه معادلات برازش یافته در شکل ۹ ارائه شده است. در این شکل برای مطالعه اثرات هر یک از راهبردهای تطبیقی تغییر الگوی کشت و توسعه کشت محصولات زودرس و بهبود بازده آبیاری بر تقاضای آب بایستی به ترتیب از شاخص‌های متوسط وزنی نیاز خالص آبیاری و متوسط وزنی نیاز ناخالص آبیاری استفاده شد. به عبارت دیگر تغییر الگوی کشت و توسعه کشت محصولات زودرس با اثرگذاری بر روی نیاز خالص آبیاری موجب تغییر نیاز ناخالص آبیاری می‌گردد، اما بهبود بازده آبیاری تنها موجب کاهش نیاز ناخالص آبیاری می‌شود و بر نیاز خالص آبیاری اثری ندارد. مطابق سناریوهای S1-rcp4.5 و S1-rcp8.5 در شکل ۹ تغییرات نیازهای خالص و ناخالص آبیاری و حجم آب زراعی روندی صعودی و معنی‌دار داشته و تنها در صورت تحقق اقدامات عملی جامعه جهانی در کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، تحت سناریو S1-rcp2.6 تغییرات نیاز خالص و ناخالص آبیاری با شیب جزئی منفی، غیر معنی‌دار است. بدین ترتیب تشدید نیاز آبی در دوره‌های آتی مطابق سناریوهای S1-rcp4.5 و S1-rcp8.5 به صورت بالقوه سبب تضعیف هرچه بیشتر آبخوان زیرزمینی به دلیل برداشت حجم بیشتر آب می‌گردد. متوسط وزنی نیاز خالص آبیاری منطقه مطالعاتی بین سال‌های آبی ۱۳۹۵-۱۳۷۷ برابر ۲۲۱/۶ میلی‌متر در سال است و در سناریوهای S1-rcp2.6-rcp4.5 و S1-rcp8.5 بین سال‌های آبی ۱۳۹۹-۱۳۲۸ به ترتیب ۷۵۰/۳، ۷۶۸/۷ و ۷۸۲/۱ میلی‌متر در سال می‌باشد که رشد ۳/۹۸، ۶/۵۳ و ۸/۲۸ درصدی را نشان می‌دهد. نتایج سناریوهای S2-rcp4.5 و S2-rcp8.5 نشان داد علی‌رغم روند معنی‌دار افزایش نیاز خالص آبیاری، افزایش بازده آبیاری موجب روند کاهشی معنی‌دار نیاز ناخالص آبیاری و به تبع حجم آب زراعی گردید. به طوری که با افزایش پلکانی بازده، متوسط وزنی نیاز ناخالص آبیاری از ۱۳۱۶، ۱۳۴۸، ۱۳۷۲ میلی‌متر در سال در سناریوهای S1-rcp4.5-rcp2.6-rcp8.5 به ۱۰۶۵، ۱۰۸۸، ۱۱۰۷ میلی‌متر در سال در سناریوهای S2-rcp2.6-rcp4.5-S2 و S2-rcp8.5 کاهش می‌یابد که معادل کاهش متوسط ۱۹/۲۳ درصدی نیاز آبی زراعی است. تغییر الگوی کشت مطابق سناریو S3 باعث می‌گردد متوسط وزنی نیاز خالص آبیاری از ۷۶۸/۷ و ۷۸۲/۱ میلی‌متر در سال در سناریوهای S1-rcp2.5-rcp4.5 و S1-rcp8.5 به ۷۳۹/۰، ۷۵۶/۳ و ۷۷۰/۴ میلی‌متر در سال کاهش یابد که به طور متوسط ۱/۵۴ درصد کاهش نسبت به S3 را نشان می‌دهد. در راهبرد تغییر الگوی کشت در سناریوی S3 متوسط وزنی نیاز ناخالص آبیاری از ۱۰۶۵، ۱۰۸۸، ۱۱۰۷ میلی‌متر در سال در سناریوهای S2-rcp2.5-rcp4.5-rcp8.5 به ۱۰۵۰، ۱۰۷۱، ۱۰۹۱ میلی‌متر در سال در سناریوهای S2-rcp4.5-rcp8.5 شده کاهش می‌یابد که موجب کاهش ۱/۴۷ درصدی نیاز آبی زراعی نسبت به سناریو S2 است. بدین ترتیب ملاحظه می‌گردد، افزایش بازده سامانه‌های آبیاری باعث کاهش ۱۹/۲۳ درصدی نیاز ناخالص آبیاری گردید، در حالی که این رقم کاهش با تغییر الگوی کشت در سناریو S3 ۱/۴۷ درصد به دست آمد. بنابراین راهبرد بهبود بازده سامانه‌های آبیاری در سناریو S2 بسیار مؤثرتر از راهبرد تغییر الگوی کشت ارائه شده در سناریو S3 است. در سناریو S4 که

الگوی کشت سخت‌گیرانه‌تری نسبت به سناریو S3 دارد، ملاحظه می‌گردد متوسط وزنی نیاز خالص آبیاری در سناریوهای S4-rcp2.5 و S4-rcp4.5 و S4-rcp8.5 برابر ۶۶۵/۵، ۶۸۵/۵ و ۶۹۸/۵ میلی‌متر در سال است که نسبت به سناریو S1 به طور متوسط کاهش ۱۰/۹ درصدی متوسط وزنی نیاز خالص آبیاری را نشان می‌دهد. همچنین مقادیر متوسط وزنی نیاز ناخالص آبیاری در سناریوهای S4-rcp2.5، S4-rcp4.5 و S4-rcp8.5 به ترتیب برابر ۹۴۸/۱، ۹۷۳/۳، ۹۹۱/۶ میلی‌متر در سال است که نسبت به مقادیر متناظر آن در سناریو S2 به طور میانگین ۱۰/۶ درصد کاهش دارد. بنابراین در بحث کاهش نیاز آبی زراعی ملاحظه می‌گردد که الگوی کشت سناریو S4 نسبت به سناریو S3 اثر بیشتری داشته و افزایش بازده آبیاری در سناریو S2 مؤثرتر از تغییر الگوی کشت در سناریوهای S3 و S4 است. مقایسه مقادیر متوسط نیاز ناخالص در سناریوهای S1 و S4 نشان می‌دهد راهبردهای افزایش بازده سامانه‌های آبیاری همراه با تغییر الگوی کشت به طور متوسط موجب ۲۵/۹ درصد کاهش نیاز ناخالص آبیاری شده و متوسط حجم آب مورد نیاز زراعی از ۳۴۴/۹، ۳۵۲/۴ و ۳۵۹/۶ میلیون متر مکعب در سال در سناریوهای S1-rcp2.6-rcp4.5-S1 و S1-rcp8.5 به ۲۶۱/۹، ۲۶۶/۷ و ۲۶۸/۷ میلیون متر مکعب در سال در سناریوهای S1-rcp2.6-rcp4.5-S1 و S1-rcp8.5 می‌رسد. مقادیر نیاز خالص و ناخالص آبیاری در سناریوهای S5-rcp2.6 و S5-rcp4.5 و S5-rcp8.5 به ترتیب ۶۰۶/۱، ۶۲۵/۶ و ۶۳۶/۴ میلی‌متر در سال به دست آمد که به طور متوسط نیاز خالص آبیاری در آن نسبت به سناریوهای S1 و S4 به ترتیب ۱۸/۸ و ۸/۸۶ درصد کاسته شده و نیاز ناخالص آبیاری در آن ۱۸/۳ درصد نسبت به سناریو S2 کاهش یافته است. مقایسه سناریوهای S1 با S5 کاهش ۳۴/۰ درصدی نیاز ناخالص آبیاری را نشان می‌دهد. همچنین با اعمال سناریو S5 متوسط حجم آب مورد نیاز زراعی در سناریوهای S5-rcp2.6، S5-rcp4.5 و S5-rcp8.5 به ترتیب ۲۲۷/۱، ۲۳۳/۶ و ۲۳۷/۵ میلیون متر مکعب در سال خواهد بود. به طور خلاصه، در بررسی اثرات تفکیکی و ترکیبی راهبردهای ارائه شده، می‌توان بیان داشت که بهبود پلکانی بازده کلی آبیاری در سه دهه موجب کاهش ۱۹/۲۳ درصدی نیاز ناخالص آبیاری، تغییر الگوی کشت مطابق سناریو S4 باعث کاهش ۱۰/۹ درصدی نیاز خالص آبیاری، توسعه کشت ارقام زودرس و میان‌رس سیب‌زمینی و ذرت‌دانه‌ای سبب کاهش ۸/۸۶ درصدی نیاز خالص آبیاری، استفاده از الگوی کشت پیشنهادی سناریو S4 همراه با توسعه کشت ارقام زودرس و میان‌رس سیب‌زمینی و ذرت‌دانه‌ای موجب کاهش ۱۸/۸ درصدی نیاز خالص آبیاری و به کار بستن کلیه راهبردهای فوق موجب کاهش ۳۴/۰ نیاز ناخالص می‌گردد. با این وصف، به منظور تطبیق با شرایط اقلیمی آتی، کاهش فشار بر منابع آب زیرزمینی و تحقق بیشترین صرفه‌جویی، پیشنهاد می‌شود سیاست بهبود بازده سامانه‌های آبیاری در ترکیب با سیاست تغییر الگوی کشت و توسعه کشت محصولات زراعی زودرس و میان‌رس مانند آنچه که در سناریوی S5 ارائه شد، مد نظر مدیران اجرایی و کشاورزان قرار گیرد.





شکل ۹- روند تغییرات متوسط وزنی نیاز خالص و ناخالص آبیاری و حجم آب زراعی در سناریوهای آتی (واحد  $\hat{Y}$  در معادلات برازشی نیازهای خالص و ناخالص mm/year و برای کل حجم آب آبیاری MCM/year)

### نتیجه گیری

طی سال‌های آبی ۹۶-۱۳۶۱ با میانگین ۸/۹۱۶، ۵/۸۴۴ و ۱/۶۴۸ میلی‌متر در سال بیشترین و هندوانه، جو و کلزا با میانگین ۳/۴۸۱، ۵/۴۹۵ و ۹/۵۳۲ میلی‌متر در سال کمترین نیاز خالص آبیاری را داشته‌اند. بررسی‌ها نشان داد طی سال‌های آبی ۹۵-۱۳۷۷ متوسط نیاز خالص آبیاری از ۵/۶۸۰ به ۱/۷۶۱ میلی‌متر در سال افزایش غیر معنی‌دار داشته است. در حالی که نیاز ناخالص آبیاری از ۹/۱۵۲۵ به

در این مطالعه نیازهای خالص و ناخالص آبیاری ۱۲ محصول زراعی گندم، یونجه، سیب‌زمینی، جو، سیر، خیار، هندوانه، کدو آجیلی، چغندر قند، کلزا، ذرت دانه‌ای و لوبیا محاسبه و حجم آب مورد نیاز زراعی با توجه به مساحت تحت کشت محصولات در دشت همدان - بهار برآورد گردید. نتایج نشان داد محصولات یونجه، چغندر قند و سیر

## منابع

- ۱۲۷۵/۶ میلی‌متر در سال و حجم آب مورد نیاز زراعی از ۴۰۵ به ۳۲۲ میلیون متر مکعب در سال کاهش معنی‌دار یافته است. این موضوع نقش افزایش بازده کلی آبیاری را نشان می‌دهد که حاصل توسعه سامانه‌های نوین آبیاری طی سال‌های ۹۷-۱۳۷۲ است. هم‌چنین محاسبات نشان داد نیاز آبی تمامی ۱۲ محصول زراعی در مجموعه سال‌های آبی ۹۵-۱۳۷۷ برابر ۶۹۲۶ میلیون متر مکعب بوده که سهم یونجه، گندم، سیب‌زمینی و جو به ترتیب با ۲۲۱۴، ۲۰۶۲، ۱۳۹۲ و ۶۹۸ میلیون متر مکعب و معادل ۹۲ درصد کل نیاز آبی به‌دست آمد.
- بررسی مؤلفه‌های هواشناسی دشت همدان - بهار نشان داد، سیر صعودی تغییرات دمای هوای حداقل و حداکثر دوره‌های پیشین، در دوره‌های آبی نیز تحت سناریوهای rcp4.5 و rcp8.5 ادامه داشته که موجب افزایش معنی‌دار تبخیر و تعرق گیاهان و به تبع افزایش نیاز خالص آبیاری می‌گردد. برای مقابله با روند افزایش نیاز خالص آبیاری، راهبرد توسعه سامانه‌های نوین آبیاری اتخاذ گردیده که موجب افزایش بازده کلی آبیاری دشت شده است. به‌گونه‌ای که علی‌رغم افزایش متوسط نیاز خالص آبیاری، نیاز ناخالص آبیاری کاهش معنی‌دار داشته است. این موضوع می‌تواند در صورت افزایش پلکانی بازده آبیاری تا حد پتانسیل آن، برای سال‌های آبی ۱۴۲۸-۱۳۹۹ نیز صادق باشد، به طوری که در سه سناریوی ترکیبی rcp2.6-S2، rcp4.5-S2 و rcp8.5-S2 نیاز بخش زراعی به آب ۱۹/۲۳ کاهش درصد می‌یابد. اجرای تغییر الگوی کشت سختگیرانه، طی یک دوره ۱۵ ساله، تحت سناریو S4 با حذف محصولات پرآب بر دشت هم‌چون یونجه و توسعه کشت محصولات نظیر کلزا، موجب کاهش ۱۰/۹ درصدی نیاز خالص آبیاری می‌گردد. مقایسه نتایج حاصل از اعمال دو سناریو S4 و S5 نشان داد که توسعه کشت ارقام زودرس و میان‌رس سیب‌زمینی و ذرت‌دانه‌ای باعث کاهش ۸/۸۶ درصدی نیاز زراعی به آب می‌شود. هم‌چنین مقایسه سناریوهای S1 و S5 نشان داد، افزایش بازده آبیاری، تغییر الگوی کشت و توسعه کشت ارقام زودرس و میان‌رس سیب‌زمینی و ذرت‌دانه‌ای موجب ۳۴/۰ درصد کاهش نیاز ناخالص آبیاری یا کاهش ۱۱۹/۹ میلیون متر مکعب در سال نیاز آب زراعی می‌گردد. تغییرات فوق با لحاظ تغییر در طول دوره رشد محصولات می‌تواند اثرات مؤثری را بر نیاز ناخالص آب آبیاری داشته باشد. لذا برای انجام مطالعات آبی پیشنهاد می‌گردد اثرات تغییر اقلیم بر نیاز آبی محصولات زراعی، با توجه به تغییر طول دوره کشت و تقویم زراعی آن‌ها، مدنظر قرار گیرد. هم‌چنین، شرایط محیطی می‌تواند دسترسی به آب را در حدی محدود نماید که کشاورزان ناگزیر به اعمال سناریوهای کم‌آبیاری علی‌رغم میل باطنی خود و یا پذیرش دستوری آن باشند که به‌عنوان راه‌کاری در آینده قابل تصور است.
- ابراهیمی، ح. ۱۳۸۹. تغییر مصرف آب کشاورزی با توجه به تغییر اقلیم. پژوهش در علوم زراعی، ۳، ۹: ۱۲۰-۱۰۹.
- 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. پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۲۲، ۴: ۴۶-۲۵.
- براتی، خ.، عابدی کویایی، ج.، درویشی، ا.، آذری، آ. و یوسفی، ع. ۱۳۹۷. برآورد نیاز خالص آبیاری گیاهان الگوی کشت دشت کرمانشاه و مقایسه آن با داده‌های سند ملی آب. پژوهش آب در کشاورزی، ۳۲، ۴: ۵۵۴-۵۴۳.
- براهیمی، م. و غازی، ا. ۱۳۹۷. به‌روز رسانی و بازنگری سند ملی آب در دشت‌های قزوین و فومنات. علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی)، ۲۲، ۲: ۲۰۹-۱۹۹.
- بالا، ح.، خلیلیان، ص. و احمدیان، م. ۱۳۸۹. بررسی نقش قیمت‌گذاری آب در بخش کشاورزی بر تعادل منابع آب زیر زمینی. نشریه اقتصاد توسعه کشاورزی (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲: ۱۹۴-۱۸۵.
- بهراملو، ر. ۱۳۸۶. مقایسه راندمان انتقال آب در کانال‌های آبیاری پوشش‌دار بتنی با پوشش سنگ و ملات در مناطق سردسیری (مطالعه موردی: دشت بهار-همدان). پژوهش کشاورزی: آب، خاک و گیاه در کشاورزی، ۲: ۷۷-۶۷.
- پارسای مجیبی و س.ج. و محسنی موحد، س.ا. ۱۳۸۶. ارزیابی و مقایسه عملکرد سیستم‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت دائمی، کلاسیک ثابت فصلی و ویل موو در همدان. اولین سمینار علمی طرح ملی آبیاری تحت فشار و توسعه پایدار، کرج، ایران، دوم اسفند ۱۳۸۶.
- پرویزی، خ.، سوری، ج. و محمودی، ر. ۱۳۹۰. بررسی اثر تاریخ کاشت بر عملکرد کل و میزان عملکرد قابل فروش ارقام سیب‌زمینی در همدان. نشریه علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۵، ۱: ۹۳-۸۲.
- پرهیزکاری، ا. و مظفری، م.م. ۱۳۹۵. ارزیابی اثرات انتشار گازهای گلخانه‌ای و تغییرات اقلیم بر عرضه و تقاضای آب آبیاری و تولیدات کشاورزی در حوزه‌های آبخیز استان قزوین. پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز ۱۴.۷: ۱۵۱-۱۴۱.
- حاجیلو، ع. و ملکی، ع. ۱۳۹۵. بررسی تاثیر زمان آبیاری بر راندمان کاربرد و پتانسیل در ربع پایین اراضی در آبیاری بارانی. اولین کنفرانس بین‌المللی آب، محیط زیست و توسعه پایدار، اردیبل، ۶ تا ۸ مهر.
- دهقانپور، ز.، سبزی، م.ح.، زمانی، م.، مزین، ا.، حسن‌زاده مقدم، ه.، محسنی، م.، استخر، ا.، صادقی، ف. و گنجه‌ای، ر. ۱۳۸۸. دهقان، هیبرید جدید ذرت‌دانه‌ای زودرس-متوسط‌رس (سینگل کراس ۴۰۰). به‌نژادی نهال و بذر ۱-۲۵: ۳۶۸-۳۶۵.

- استان همدان. سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان همدان، ۲۵۰ صص.
- قدمی فیروزآبادی، ع. و سیدان، س. م.، ۱۳۸۶. ارزیابی راندمان کاربرد آبیاری شیاری تحت مدیریت زارعین (مطالعه موردی: دشت بهار-همدان). پژوهش کشاورزی: آب، خاک و گیاه در کشاورزی، ۷: ۳. ۷۹-۸۹.
- کریمی، م.، کاکلی، س. و رفعتی، س. ۱۳۹۷. شرایط و مخاطرات اقلیمی آینده ایران در تحقیقات اقلیمی. نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، ۵: ۳. ۲۲-۱.
- میرموسوی، س.ح.، پناهی، ح.، اکبری، ح. و اکبرزاده، ی. ۱۳۹۱. واسنجی روش‌های برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع ( $ET_0$ ) و محاسبه‌ی نیاز آبی گیاه ( $ET_c$ ) زیتون در استان کرمانشاه. جغرافیا و پایداری محیط، ۳: ۴۵-۶۴.
- ناصری، ا.، عباسی، ف. و اکبری، م. ۱۳۹۶. برآورد آب مصرفی در بخش کشاورزی به روش بیلان آب. تحقیقات مهندسی سازه‌های آبیاری و زهکشی، ۱۸: ۶۸. ۳۳-۱۷.
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., and Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56.
- Allen, R.G. 2016. REF-ET: Reference evapotranspiration calculation software for FAO and ASCE standardized equations. Version 4.1. for Windows, University of Idaho.
- Ashofteh, P. S., Bozorg-Haddad, O., and Loáiciga, H. A. 2017. Development of adaptive strategies for irrigation water demand management under climate change. Journal of irrigation and drainage engineering, 143.2: 04016077.
- Cho, G. H., Ahmad, M. J., Lee, S., Choi, K. S., Nam, W. H., and Kwon, H. J. 2019. Influence mechanism of climate change on paddy farming practices and irrigation water demand. Paddy and water environment, 1-13.
- Chong-Hai, X. U., and Ying, X. 2012. The projection of temperature and precipitation over China under RCP scenarios using a CMIP5 multi-model ensemble. Atmospheric and Oceanic Science Letters, 5.6: 527-533.
- Giorgi, F. and Lionello, P., 2008. Climate change projections for the Mediterranean region. Global and planetary change. 63.2-3: 90-104.
- Hargreaves, H.G. and Samani, Z. 1985. Reference crop evapotranspiration from temperature. Applied Engineering in Agriculture, 1: 96-99.
- Klein Tank, A. M. G., F. W. Zwiers, and X. Zhang, 2009. Guidelines on analysis of extremes in a changing climate in support of informed decisions for adaptation, climate data and monitoring. WCDMP-No. 72, WMO-TD No. 1500, 56pp.
- Mesbahzadeh, T., Miglietta, M.M., Mirakbari, M., Soleimani Sardoo, F., and Abdolhoseini, M. 2019. Joint
- رحمانی، م.، جامی الاحمدی، م.، شهیدی، ع. و هادیزاده ازغندی، م. ۱۳۹۴. تأثیر تغییر اقلیم بر طول مراحل رشد و نیاز آبی گندم (Triticum aestivum L.) و جو (Hordeum vulgare L.) (مطالعه موردی: دشت بیرجند). نشریه بوم‌شناسی کشاورزی، ۷: ۴. ۴۶۰-۴۴۳.
- رضوانی، س.م. و جعفری، ع.م. ۱۳۸۳. بررسی عملکرد سیستم‌های آبیاری بارانی اجرا شده در مزارع سیب‌زمینی تحت مدیریت زارعین. کارگاه فنی آبیاری بارانی (توانمندی‌های و چالش‌ها)، کرج، ۲۵ بهمن.
- روحانی، س.، پیکانی، غ.ر. و تقدیری، ب. ۱۳۸۶. تعیین الگوی زراعی بهینه با تأکید بر پایداری منابع آب: مطالعه موردی در دشت بهار-همدان. پژوهش کشاورزی: آب، خاک و گیاه در کشاورزی، ۷: ۱. ۸۵-۹۶.
- سازمان جهاد کشاورزی استان همدان، ۱۳۸۲. گزارش اندازه‌گیری راندمان سیستم‌های آبیاری بارانی اجرائی استان همدان.
- سازمان جهاد کشاورزی استان همدان، ۱۳۹۷. خلاصه گزارشات نظارت بر بهره‌برداری طرح‌های آبیاری تحت فشار و کم فشار شهرستان‌های نهاوند، کبودرآهنگ و بهار.
- سهراب، ف. و عباسی، ف. ۱۳۸۴. ارزیابی بازده آبیاری طی چند دهه گذشته در سطح کشور. مجموعه مقالات کارگاه فنی آبیاری سطحی مکانیزه، کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، ۷۰-۵۷.
- شرکت آب منطقه‌ای استان همدان، ۱۳۹۷. گزارش سالانه منابع آب زیرزمینی دشت همدان-بهار.
- شیدائیان، م.، ضیاء‌تبار احمدی، م.خ. و فضالوی، ر. ۱۳۹۳. تأثیر تغییر اقلیم بر نیاز خالص آبیاری و عملکرد محصول برنج (مطالعه موردی: دشت تجن). نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۸: ۶. ۱۲۹۷-۱۲۸۴.
- طلوعی، ظ.، دلاور، م.، مرید، س. و احمدزاده، ح. ۱۳۹۴. تحلیل عدم قطعیت تأثیر سیستم‌های آبیاری تحت فشار بر جریان خروجی از حوضه دریاچه ارومیه، مطالعه موردی: حوضه زربینه‌رود. تحقیقات منابع آب ایران، ۱۱: ۲. ۱۴۵-۱۳۵.
- عباسی، ف.، سهراب، ف. و عباسی، ن. ۱۳۹۵. ارزیابی وضعیت راندمان آب آبیاری در ایران. تحقیقات مهندسی سازه‌های آبیاری و زهکشی، ۱۷: ۶۷. ۱۲۸-۱۱۳.
- فلاح قالمهری، غ.ع.، باعقیده، م. و رضایی، ح. ۱۳۹۵. برآورد نیاز آبی محصول سیب زمینی در اقلیم تربت حیدریه و تخمین تبخیر و تعرق واقعی براساس تبخیر و تعرق مرجع انسان و محیط زیست، ۳۷: ۴۹-۶۰.
- قائم‌بایگی، م.، رائینی سرجاز، م. و موسوی بایگی، م. ۱۳۹۲. برآورد ضریب گیاهی و تبخیر تعرق گندم رقم گاسکوژن در مشهد با استفاده از روش تراز انرژی. مهندسی آب و آبیاری، ۳: ۱۱. ۶۸-۵۸.
- قدمی فیروزآبادی، ع. و سیدان، س. م.، ۱۳۸۱. بررسی عملکرد سیستم‌های آبیاری و معرفی بهترین گزینه‌ها به منظور افزایش بازده آبیاری در

010-9895-5.

- Soleimani, A., Hosseini, S. M., Bavani, A. R. M., Jafari, M., and Francaviglia, R. 2017. Simulating soil organic carbon stock as affected by land cover change and climate change, Hyrcanian forests (northern Iran). *Science of the total environment*, 599: 1646–1657.
- Thomas, A. 2008. Agricultural irrigation demand under present and future climate scenarios in China. *Global and planetary change*, 60.3–4: 306–326.
- Tukimat, N.N.A., Harun, S. and Shahid, S. 2017. Modeling irrigation water demand in a tropical paddy cultivated area in the context of climate change. *Journal of water resources planning and management*, 143.7: 05017003.
- United States Department of Agriculture, 1993. Chapter-2: irrigation water requirements. Part 623, *National Engineering Handbook*. USDA Soil conservation service engineering division, USA
- Weatherhead, E.K. and Knox J.W. 2000. Predicting and mapping the future demand for irrigation water in England and Wales. *Agricultural water management*, 43.2: 203–218.
- modeling of precipitation and temperature using copula theory for current and future prediction under climate change scenarios in arid lands (case study, Kerman province, Iran). *Advances in Meteorology*, 2019. DOI: 10.1155/2019/6848049
- Mizyed, N. 2009. Impacts of climate change on water resources availability and agricultural water demand in the West Bank. *Water resources management*, 23.10: 2015–2029.
- Moss, R. H., Edmonds, J. A., Hibbard, K. A., Manning, M. R., Rose, S. K., Van Vuuren, D. P., ... and Meehl, G. A. 2010. The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature*, 463.7282, 747.
- Multscha, S., Elshamyb, M.E., Batarseha, S., Seidb, A.H., Fredea, H.-G. and Breuera, L. 2017. Improving irrigation efficiency will be insufficient to meet future water demand in the Nile basin. *Journal of hydrology: regional studies*, 12: 315–350.
- Shahid, S. 2010. Impact of climate change on irrigation water demand of dry season Boro rice in northwest Bangladesh. *Climatic change*, DOI: 10.1007/s10584-

## Investigation of Agricultural Water Demand under the Combination Scenarios of Climate Change, Irrigation Efficiency Enhancement, Cropping Pattern Changes, and the Development of Early-Maturing Cultivars: a Case Study of Hamedan-Bahar Plain

A. Afruzi<sup>1</sup>, H. Zare Abyaneh<sup>2\*</sup>

Received: Oct.17, 2019

Accepted: Nov.12, 2019

### Abstract

Climate change is a challenging topic for irrigation researchers as it has affected crop water demand. In the present study, the effects of climate change on minimum temperature, maximum temperature, precipitation, and the water demand of 12 crops including wheat, alfalfa, potato, barley, garlic, cucumber, watermelon, pumpkin, sugar beet, rapeseed, grain maize, and bean were investigated and also a trend analysis was carried out up to the year 2050. The impacts of implementing and not implementing the irrigation efficiency enhancement, the cropping pattern changes and the development of the early-maturing cultivars as the adaptation strategies in combination with climate change scenarios were investigated between the water years 1399–1428 (2020–2050). The results showed that without implementing the adaptation strategies, the net irrigation water requirement would increase by 3.98% to 8.38% compared with the recorded data. Growth in the irrigation efficiency up to the potential efficiency would cause a 19.23% reduction in the gross irrigation requirement on the average. By implementing the cropping pattern changes strategy through stopping the cultivation of some water-intensive crops such as alfalfa and developing the cultivation of rapeseed, net irrigation water requirement would decrease by 10.9%. By replacing late-maturing potatoes by the early and medium-maturing cultivars and developing of early-maturing grain maize cultivation, net irrigation requirement decreased by 8.86%. Furthermore, the results revealed that implementing all the above-mentioned adaption strategies would reduce the gross irrigation requirement by 34.0%. Hence, the three above-mentioned strategies can be used as the measures that executive managers and farmers choose to implement in order to adapt to climate change.

**Keywords:** Net irrigation requirement, Gross irrigation requirement, Climate change, Pressurized irrigation, Adaption strategy

1- Ph.D. Student, Water Science and Engineering Department, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

2- Professor of Water Science and Engineering Department, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

(\*- Corresponding Author Email: zare@basu.ac.ir)