

## اثرات تغییر اقلیم بر کارکرد سیستم آبیاری تحت فشار (مطالعه موردی: آبیاری قطره‌ای سد ستارخان، آذربایجان شرقی)

سعید پوریوسف<sup>۱\*</sup>، امیر حسین ناظمی<sup>۲</sup> و سید علی اشرف صدرالدینی<sup>۳</sup>

### چکیده

سیستم‌های آبیاری تحت فشار طراحی شده براساس شرایط اقلیمی گذشته، ممکن است عملکردشان به دلیل افزایش تقاضای آب، تحت تأثیر قرار گیرد. هدف اصلی این پژوهش، بررسی اثرات تغییر اقلیم بر مدیریت بهره‌برداری سیستم و ساعت‌های کارکرد قطره‌چکان در شبکه آبیاری تحت فشار سد ستارخان است. برای تعیین تأثیر تغییر اقلیم بر بارش و دما از ریزمقیاس نمایی آماری LARS-WG و خروجی‌های مدل گردش عمومی جو HadCM3 تحت سناریوهای A1B، B1 و A2 برای دوره زمانی ۲۰۴۶-۲۰۶۵ میلادی استفاده شد. نتایج به دست آمده نشان از افزایش دما و کاهش بارش در منطقه بودند. در مرحله بعدی براساس مقادیر بارش و دمای پیش‌بینی شده، نیاز آبیاری سیب با استفاده از CROPWAT محاسبه شد. نتایج به دست آمده نشان از این است که نیاز آبیاری سیب نسبت به وضعیت موجود در تمام سناریوهای اقلیمی روند افزایشی داشته که این روند متأثر از افزایش دما و کاهش بارندگی در حوضه است. با افزایش دما و کاهش بارش در حوضه و همچنین افزایش نیاز آبیاری، ضرورت اعمال اصلاح در نحوه مدیریت بهره‌برداری از سیستم مشخص شد که افزایش مدت آبیاری به‌عنوان یک راه‌حل پیشنهاد می‌شود. بنابراین نتایج نشان می‌دهد که ساعت کارکرد سیستم در تمام سناریوهای اقلیمی نسبت به وضعیت موجود ۱۰/۲۸ درصد افزایش خواهد یافت.

**واژه‌های کلیدی:** تغییر اقلیم، ساعت‌های کارکرد، شبکه‌های آبیاری تحت فشار، CROPWAT، LARS-WG.

**ارجاع:** پوریوسف س.، ناظمی ا. ح. و اشرف صدرالدینی س. ع. ۱۳۹۸. اثرات تغییر اقلیم بر کارکرد سیستم آبیاری تحت فشار (مطالعه موردی: آبیاری قطره‌ای سد ستارخان، آذربایجان شرقی). مجله پژوهش آب ایران. ۱۳: ۹-۱.

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز.

۲- استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز.

۳- استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز.

\* نویسنده مسئول: [s.pouryousef@gmail.com](mailto:s.pouryousef@gmail.com)

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۹/۰۹

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۸/۱۸

## مقدمه

به دلیل افزایش روز افزون صنایع و به واسطه آن افزایش استفاده از سوخت‌های فسیلی و تغییر کاربری اراضی، توازن مقادیر گازهای گلخانه‌ای در اتمسفر زمین بر هم خورده و مقادیر آن به‌ویژه میزان گاز دی‌اکسیدکربن افزایش یافته است. این افزایش سبب می‌شود تا امواج مادون قرمز ساطع شده از زمین بیش از پیش توسط گازهای گلخانه‌ای جذب شده و باعث گرم‌تر شدن اتمسفر کره زمین شود. گرم‌تر شدن کره زمین نیز به سهم خود بر وضعیت اجزاء دیگر سیستم اقلیم تأثیر گذاشته و سبب پدیده تغییر اقلیم می‌شود. هم‌اکنون مدل‌های گردش عمومی با وجود برخی کاستی‌های موجود در آن‌ها، مطمئن‌ترین ابزار برای پیش‌بینی وضعیت آینده اقلیمی جهان هستند. اساس کار کلیه مدل‌های گردش عمومی بر گرمایش جهانی و اثر افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای استوار است و پی‌آمدهای بعدی اقلیمی همگی براساس افزایش دمای سطح زمین پیش‌بینی می‌شوند (جیورجی و میرنس، ۱۹۹۱). یکی از محدودیت‌های اصلی استفاده از مدل‌های گردش عمومی جو در بررسی‌های ارزیابی تأثیر تغییر اقلیم در سطوح منطقه‌ای، بزرگ بودن مقیاس سلول محاسباتی آن‌ها، نسبت به منطقه مورد بررسی است. از آنجا که مهم‌ترین ورودی این مدل‌ها میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در دوره‌های آتی بوده و از طرف دیگر محاسبه و تعیین انتشار این گازها در دوره‌های آتی به طور قطعی ممکن نیست، از این‌رو سناریوهای مختلفی که شامل چگونگی تغییرات این گازها در آینده می‌باشد، ارائه شده است که آن‌ها را سناریوهای انتشار می‌نامند. هیأت بین‌دول تغییر اقلیم در سال ۱۹۹۸ سری جدید سناریوهای انتشار با نام SRES را ارائه داد. در این سناریوها میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای با توجه به پیش‌بینی محرک‌هایی مانند میزان جمعیت، نرخ رشد اقتصادی و میزان اهمیت به محیط‌زیست برای دوره‌های آتی تعیین می‌شود.

در سال‌های اخیر بررسی‌های انجام شده از سوی پژوهش‌گران در خصوص بررسی اثرات تغییر اقلیم روی نیاز آبیاری با استفاده از مدل‌های ناحیه‌ای و آماری در مقیاس‌های گوناگون، افزایش چشم‌گیری داشته است که این مسئله نشان از اهمیت این موضوع دارد. باتیس و همکاران (۲۰۰۸) نتیجه گرفتند که پدیده تغییر اقلیم می‌تواند با تغییر در میزان تبخیر و تعرق گیاهان و مدت،

شدت و زمان بارش‌ها، عملکرد محصولات همچنین تقاضای آب در بخش کشاورزی را تحت تأثیر قرار دهد. به‌عنوان نمونه دول (۲۰۰۲) نشان داد که در دو سوم اراضی زراعی جهان، نیاز خالص آبیاری در دهه‌های ۲۰۲۰ و ۲۰۷۰ افزایش می‌یابد. همچنین تغییر اقلیم در بیشتر مناطق سبب جابجایی فصل رشد و تغییر الگوی کشت خواهد شد. الگلی و همکاران (۲۰۰۷) اثر تغییر اقلیم بر تقاضای آب آبیاری را با استفاده از داده‌های خروجی مدل‌های HAD و CCC در حوضه آرکانزاس در جنوب شرقی کلرادو بررسی کردند. نتایج نشان از افزایش تقاضای آب آبیاری در هر دو مدل است. پرز و همکاران (۲۰۱۰) به بررسی آسیب‌پذیری شبکه‌های توزیع آبیاری تحت تغییرات اقلیم پرداخته‌اند. ایشان نتیجه گرفتند که جبران ظرفیت پمپاژ مورد نیاز منطقه پالمر فوئنته اسپانیا برای تقاضاهای آینده، مشکل خواهد بود. داکچ و لامادلنا (۲۰۱۰) به تأثیر تغییر اقلیم روی عملکرد سیستم‌های آبیاری تحت فشار پرداخته‌اند. نتایج نشان می‌دهد که تغییر اقلیم، تعداد شیرهای هیدرانت را در حدود ۵۴ تا ۶۰ درصد افزایش خواهد داد و همچنین دریافتند که هزینه لوله‌های سیستم توزیع آب، اگر با توجه به تقاضا آبیاری آینده طراحی بشوند تا ۲۰ الی ۲۷ درصد افزایش خواهد یافت.

در این پژوهش به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر مدیریت بهره‌برداری سیستم و ساعت‌های کارکرد قطره چکان در شبکه آبیاری تحت فشار سد ستارخان پرداخته شده است. برای تعیین اثرات تغییر اقلیم بر دما و بارش از یک مدل استوکاستیک تلفیقی با نتایج مدل گردش عمومی HadCM3 استفاده شد. براساس مقادیر بارش و دمای پیش‌بینی شده با استفاده از ریزمقیاس‌نمایی آماری، از نرم‌افزار CROPWAT برای محاسبه نیاز آبیاری استفاده شد.

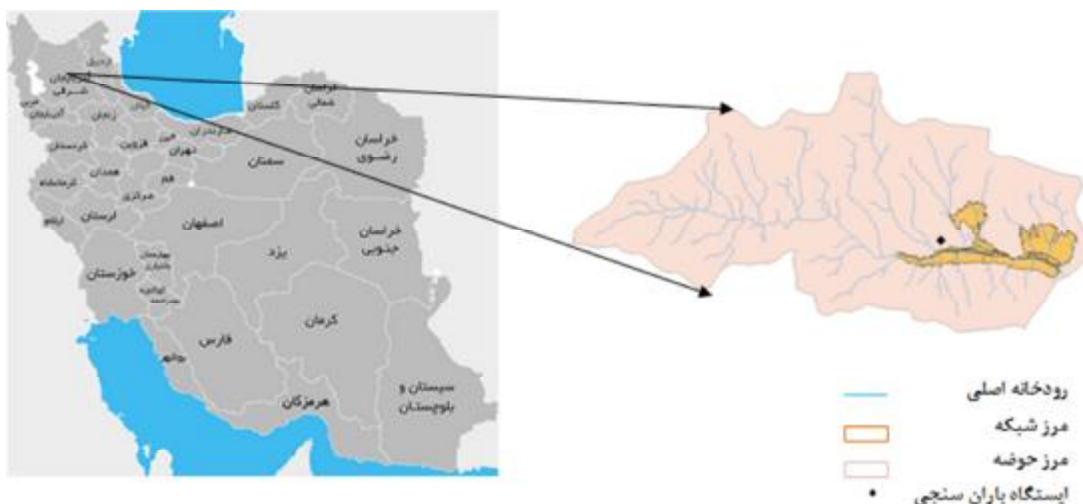
## مواد و روش‌ها

## منطقه مورد بررسی

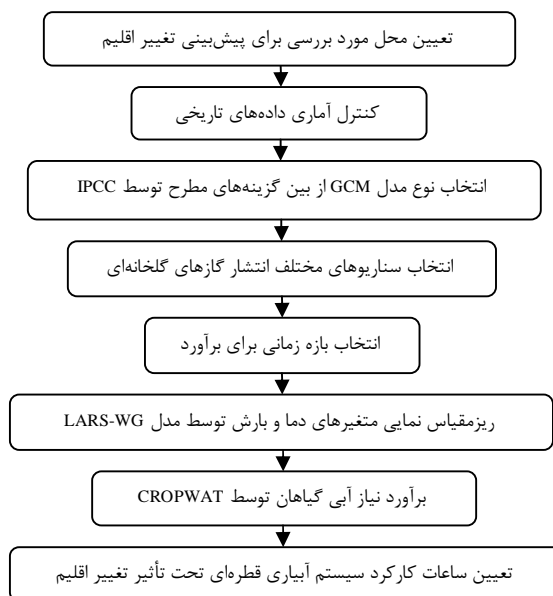
شبکه آبیاری تحت فشار ستارخان در شهرستان اهر با مختصات جغرافیایی بین عرض‌های ۲۳' ۳۸° تا ۳۲' ۳۸° شمالی و طول ۵۵' ۴۶° تا ۱۷' ۴۷° شرقی، در فاصله ۱۲۰ کیلومتری شمال شرق تبریز و در استان آذربایجان شرقی قرار گرفته است. در طرح شبکه سد ستارخان با

هواشناسی کشور تهیه شد. این داده‌ها شامل آمار دراز مدت ۲۵ ساله در فاصله سال‌های ۱۹۸۶-۲۰۱۰ میلادی شامل دمای حداقل، دمای حداکثر، بارش و ساعت آفتابی به صورت روزانه هستند. شکل ۱ موقعیت شبکه آبیاری تحت فشار ستارخان را در حوضه آبریز اهرچای نشان می‌دهد. و شکل ۲ مراحل انجام پژوهش را به صورت شماتیک نشان می‌دهد.

توجه به شرایط طرح به ویژه توپوگرافی نامناسب اراضی، شبکه فرعی به صورت تحت فشار، شامل قطره‌ای برای باغات و بارانی برای انواع زراعت انتخاب گشده است. در این پژوهش برای بررسی اثرات تغییر اقلیم روی ساعات کارکرد سیستم قطره‌ای از طرح آبیاری قطره‌ای روستای الوار واحد ۳ به مساحت ۲۴/۰۹۸۵ هکتار استفاده شده است. داده‌های لازم برای این پژوهش از سازمان



شکل ۱- موقعیت شبکه آبیاری تحت فشار ستارخان در حوضه آبریز اهرچای



شکل ۲- مراحل انجام پژوهش

کای-اسکور مقایسه قرار گرفت. این آزمون‌ها با فرض این که داده‌های هواشناسی مشاهداتی و تولید شده با مدل به صورت تصادفی از توزیع‌های موجود گرفته شده هستند، انجام شد. همچنین در این آزمون‌ها فرض صفر بر این است که توزیع‌های آماری داده‌های مشاهداتی و تولید شده یکسان باشد. در هر تست احتمال یکسان بودن توزیع احتمالاتی دو سری داده‌های مشاهداتی و تولیدی به صورت کمی مشخص می‌شود (سمنوف و بارو، ۱۹۹۷).

در این پژوهش تغییرات متغیرهای دمای میانگین و بارش در افق ۲۰۵۵ (۲۰۴۶-۲۰۶۵) نسبت به دوره مبنا (۲۰۱۰-۱۹۸۶) بررسی شد. سناریوهای در نظر گرفته شده در این خصوص شامل سه سناریوی A1B و B1، A2 و A1B هستند.

#### مدل CROPWAT

مدل CROPWAT، یک مدل مدیریت آبیاری برای ارزیابی نیاز آبی محصول و نیاز آبیاری است که از سوی سازمان غذا و کشاورزی توسعه یافته شده است (کلارک و همکاران، ۱۹۹۸). الگوریتم محاسبه نیاز آبی محصول و نیاز آبیاری در این مدل، مبنی بر برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل با استفاده از معادله پنمن-مانتیت-فائو و پارامترهای محصول است. این مدل، تعیین آب مورد نیاز آبیاری را در سه مرحله تعیین می‌کند (بیدآبادی، ۱۳۸۲): در مرحله اول با استفاده از پارامترهای مؤثر در نیاز آبی گیاهان از قبیل دما، ساعت‌های آفتابی، سرعت باد و رطوبت نسبی و با بهره‌گیری از بهترین و آخرین فرمول تجربی موجود یعنی معادله پنمن-مانتیت-فائو، تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع  $ET_0$  تعیین می‌شود. معادله پنمن-مانتیت مورد استفاده برای تبخیر و تعرق گیاه مرجع براساس معادله (۱) است:

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

$ET_0$  تبخیر و تعرق سطح گیاه مرجع چمن بر حسب (میلی‌متر بر روز)،  $R_n$  تشعشع خالص بر حسب (میلیون ژول بر مترمربع بر روز)،  $G$  شدت جریان گرمایی خاک بر حسب (میلیون ژول بر مترمربع بر روز)،  $T$  میانگین درجه حرارت هوا بر حسب (درجه سلسیوس)،  $U_2$  سرعت باد در ارتفاع ۲ متری بر حسب (متر بر ثانیه)،  $e_a - e_d$  کمبود فشار

#### مدل LARS-WG

مدل LARS-WG یکی از مشهورترین مدل‌های مولد داده‌های تصادفی وضع هوا است که برای تولید بارش روزانه، تابش، دمای حداکثر و حداقل روزانه در یک ایستگاه تحت شرایط اقلیم حاضر و آینده استفاده می‌شود. نسخه اولیه LARS-WG در بوداپست در سال ۱۹۹۰ میلادی به‌عنوان بخشی از پروژه ارزیابی ریسک‌های کشاورزی در کشور مجارستان ابداع شد (راسکو و همکاران، ۱۹۹۱). مولدهای تصادفی آب و هوا می‌توانند سری‌های زمانی روزانه فرضی از داده‌های اقلیمی در هر طولی تولید کنند (سمنوف و همکاران، ۱۹۹۸). هسته اصلی این مدل استفاده از زنجیره مارکف است که از آن برای مدل‌سازی رخداد بارش زیاد استفاده شده است. مدل LARS-WG برای هر یک از متغیرهای دمای حداکثر و حداقل، تشعشع خورشیدی و تعداد ساعت‌های آفتابی توزیع نیمه‌تجربی جداگانه‌ای در نظر می‌گیرد. در مدل فرض بر این است که دما دارای توزیع نرمال بوده و متوسط و انحراف معیار دمای روزانه براساس سری فوریه محدود تغییر می‌کند. برای دماهای حداکثر و حداقل، فرض می‌شود که خود همبستگی زمانی در طول سال برای یک ایستگاه مشخص به صورت ثابت باشد. در خصوص تشعشع خورشیدی نیز، توزیع‌های نیمه‌تجربی با بازه‌های مساوی استفاده قرار می‌شود (سمنوف و بروکس، ۱۹۹۹).

برای بررسی عملکرد نتایج شبیه‌سازی در مدل LARS-WG از آزمون‌های آماری برای مقایسه داده‌های تولید شده در مدل و داده‌های دوره پایه (مشاهداتی) استفاده می‌شود. این آزمون‌های مقایسه برای بررسی چگونگی روند ریزمقیاس نمایی در قالب تعیین مشخصات داده‌های مشاهداتی انجام می‌شود. میانگین، واریانس و توزیع سری‌های خشک و تر، دمای حداقل و حداکثر، بارش و تشعشع خورشیدی به صورت روزهای گرم و سرد مورد مقایسه قرار می‌گیرند. سطح معنی‌داری ۵ درصد معیار آزمون‌های آماری است. میانگین ماهانه مقادیر بارش، دمای حداقل و حداکثر و تشعشع خورشیدی با استفاده از آزمون  $t$ -استیودنت مقایسه شدند. برای هر ماه، آزمون  $F$  روی واریانس مقادیر روزانه انجام شده و واریانس مقادیر متوسط ماهانه در سال‌های مختلف بررسی شد. توزیع بازه‌های گرم و سرد و پیوندهای خشک و تر با آزمون

## نتایج و بحث

## اعتبارسنجی مدل

از آنجا که توانمندی مدل مولد داده‌های آب و هوایی تأثیر مستقیمی بر برآورد و ارزیابی صحیح تغییر اقلیم منطقه در دوره آینده دارد، پس این بخش با هدف تحلیل توانمندی مدل LARS-WG در همانندسازی داده‌های اقلیمی دوره گذشته ارائه می‌شود. برای تأیید توانمندی مدل، نمودارهای میانگین و انحراف معیار مشاهداتی و شبیه‌سازی شده با مدل در دوره آماری ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۰ بررسی شد. نمودارهای میانگین و انحراف معیار مشاهداتی و شبیه‌سازی شده متغیرهای بارش، دمای حداقل و دمای حداکثر در مقیاس ماهانه در شکل‌های ۳ تا ۵ ارائه شده‌اند.

در شکل ۳، میانگین بارش واقعی و شبیه‌سازی شده به همراه انحراف معیار آن‌ها رسم شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهداتی هماهنگی بسیار خوبی باهم دارند. در شکل ۴ توانمندی مدل در شبیه‌سازی دمای حداقل ماهانه و انحراف معیار آن نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهداتی هماهنگی خوبی با همدیگر دارند. همچنین برای دمای حداکثر نیز روندی مشابه دمای حداقل دیده می‌شود که در شکل ۵ به طور کامل مشهود است.

## نتایج برآورد تغییر اقلیم در حوضه

بعد از اعمال داده‌های خام روزانه به نرم‌افزار LARS-WG، مقدار تغییرات دما و بارش به کمک خروجی‌های مدل گردش عمومی HadCM3 تحت سناریوهای A1B، B1 و A2 برای بازه زمانی ۲۰۴۶-۲۰۶۵ میلادی به صورت شکل‌های ۶ و ۷ رسم شده است. در شکل ۶ تغییرات متوسط بارش ماهانه به ازای سناریوهای مختلف (A1B، A2 و B1) در بازه زمانی ۲۰۴۶-۲۰۶۵ در سطح حوضه مورد نظر نشان داده شده است. با توجه به شکل ۶، میزان بارش در ماه‌های ژانویه، نوامبر و دسامبر افزایش یافته که این افزایش نامحسوس است و به طور کلی میانگین بارش در سطح حوضه در افق ۲۰۵۵ در مقایسه با دوره پایه (مشاهداتی) کاهش می‌یابد. این کاهش در ماه‌های مختلف در حدود ۰/۵ تا ۱۰ میلی‌متر متغیر بوده و بیشترین کاهش مربوط به فصل تابستان است.

بخار اشباع بر حسب (کیلو پاسکال)،  $\Delta$  شیب تغییرات فشار بخار با درجه حرارت بر حسب (کیلوپاسکال بر سلسیوس) و  $\gamma$  عدد ثابت سایکرومتری بر حسب (کیلوپاسکال بر سلسیوس) است.

در مرحله دوم با استفاده از ETo محاسبه شده در مرحله اول یا با ETo ورودی به مدل با معرفی ضریب گیاهی (Kc) و سایر خصوصیات گیاهی لازم، نیاز آبی گیاه مورد نظر یا مجموع گیاهان مورد کشت در مزرعه (براساس الگوی کشت داده شده) براساس معادله (۲) تعیین شد:

$$ET_{crop} = K_c ETo \quad (2)$$

در مرحله سوم با استفاده از مدل‌های محاسبه کننده باران مؤثر از باران اندازه‌گیری شده، باران مؤثر محاسبه و از آب مورد نیاز محاسبه شده در مرحله دوم کم و نیاز آب آبیاری براساس معادله (۳) تعیین شد:

$$Ir = ET_{crop} - EffectiveRain \quad (3)$$

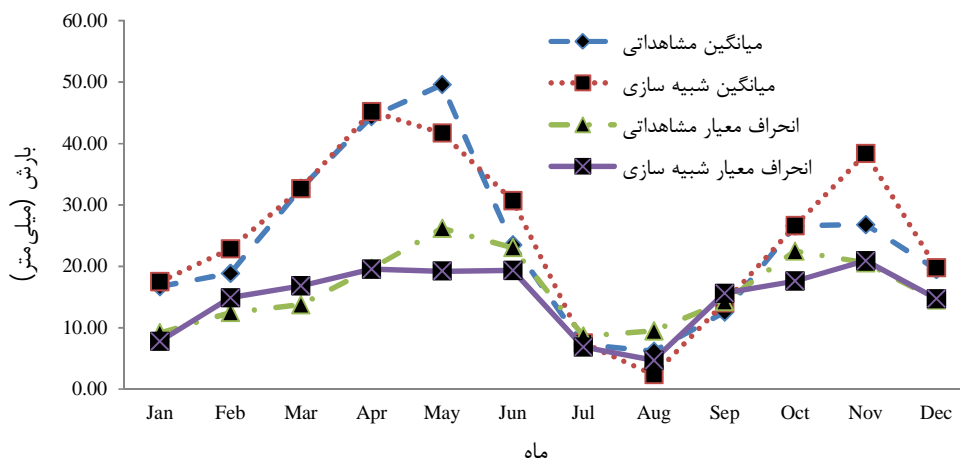
## تعیین ساعت‌های کارکرد سیستم قطره‌ای

پس از انتخاب قطره چکان اگر qa دبی متوسط آن باشد برای تأمین نیاز ناخالص آبیاری لازم است ساعت کارکرد (Ta) آن در دوره‌ای که به حداکثر آب نیاز است محاسبه شود. بدین منظور از معادله (۴) می‌توان استفاده کرد (علیزاده، ۱۳۸۰).

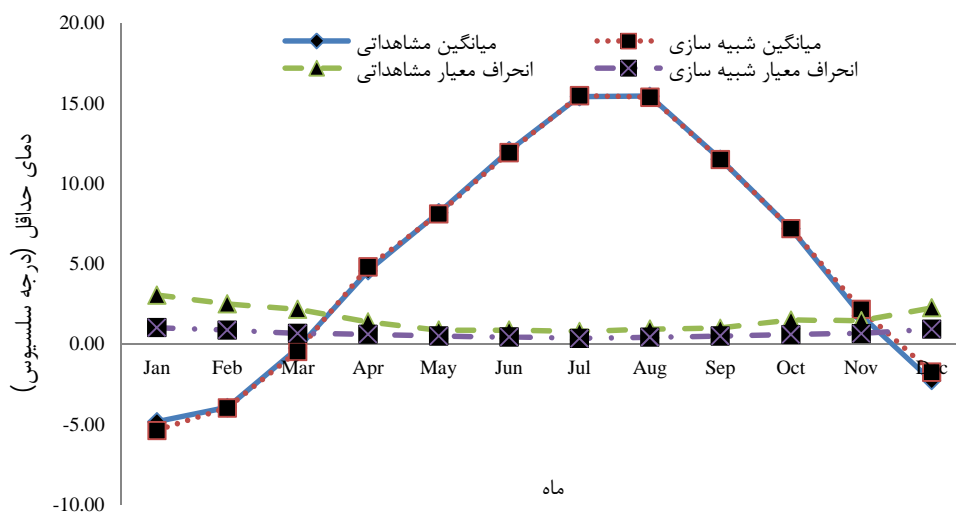
$$T_a = \frac{G}{N_p q_a} \quad (4)$$

که در آن Ta مدت آبیاری در روز برای تأمین نیاز آبیاری در دوره‌ای که نیاز آبی حداکثر است (ساعت در روز)، G حجم ناخالص آب مورد نیاز هر گیاه در روز یا دوره‌ای که نیاز آبی حداکثر است (لیتر در روز)،  $N_p$  تعداد قطره‌چکان‌های اختصاص داده شده برای هر گیاه و qa دبی متوسط هر قطره چکان (لیتر در ساعت) است.

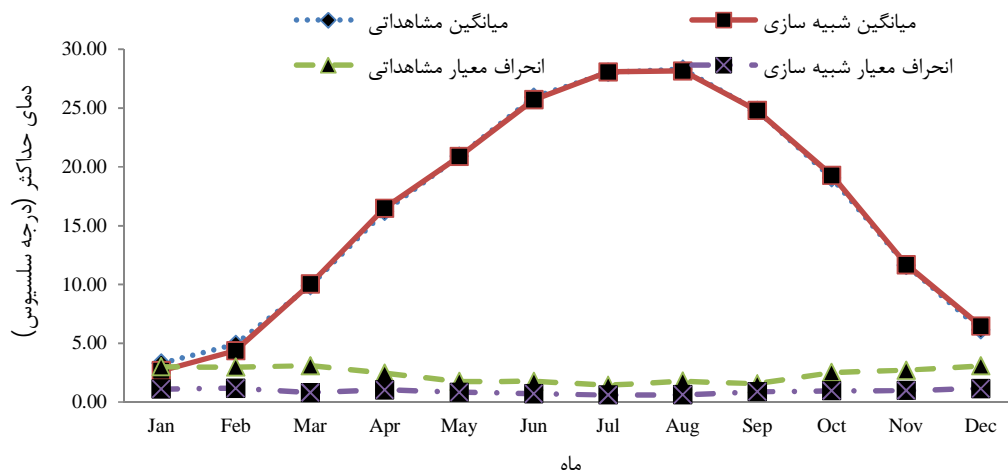
در این پژوهش از داده‌های ماهانه هواشناسی شامل میانگین دما، رطوبت نسبی، سرعت باد و ساعت‌های آفتابی برای محاسبه نیاز آبیاری سبب با استفاده از خروجی مدل HadCM3 تحت سه سناریوی A2، B1 و A1B برای افق ۲۰۵۵ استفاده شده است.



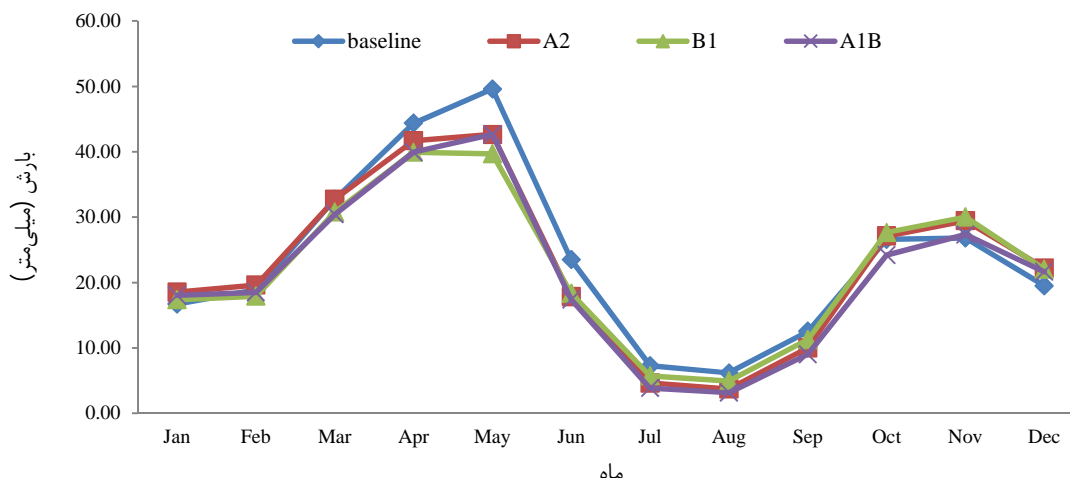
شکل 3- میانگین و انحراف معیار مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده بارش ماهانه (میلی‌متر)



شکل 4- میانگین و انحراف معیار مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده دمای حداقل ماهانه (درجه سلسیوس)



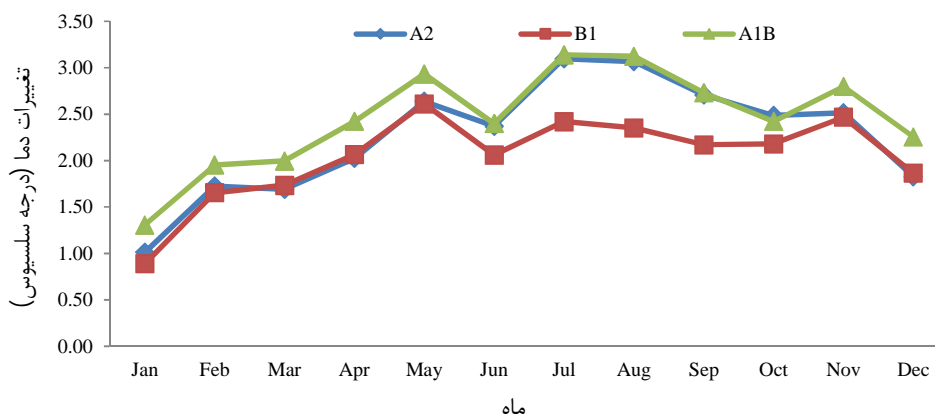
شکل 5- میانگین و انحراف معیار مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده دمای حداکثر ماهانه (درجه سلسیوس)



شکل ۶- میانگین بارش ماهانه (میلی‌متر) در سال‌های ۲۰۴۶ تا ۲۰۶۵ به ازای سناریوهای مختلف در مقایسه با دوره پایه

پیش‌بینی می‌شود که در افق ۲۰۵۵، دما به طور متوسط به میزان ۲/۲۵ درجه سلسیوس نسبت به دوره پایه افزایش یابد.

در شکل ۷ نیز اختلاف دما در سال‌های ۲۰۴۶ تا ۲۰۶۵ به ازای سناریوهای مختلف نسبت به دوره پایه نشان داده شده است. با توجه به این شکل، بیشترین اختلاف پیش‌بینی شده مربوط به سناریوی A1B است و به طور کلی



شکل ۷- تغییرات مطلق دما (درجه سانتی‌گراد) در سال‌های ۲۰۴۶ تا ۲۰۶۵ به ازای سناریوهای مختلف در مقایسه با دوره پایه

است که به نظر می‌رسد وقوع خشک‌سالی در سال‌های آینده رخ خواهد داد و ضروری است اقدامات لازم در این خصوص انجام شود.

براساس شکل‌های ۶ و ۷ تغییرات کلی بارش و دما به صورت جدول ۱ خواهد بود. داده‌های این جدول نشانگر کاهش کلی بارش و افزایش دما در حوضه آبریز اهرچای

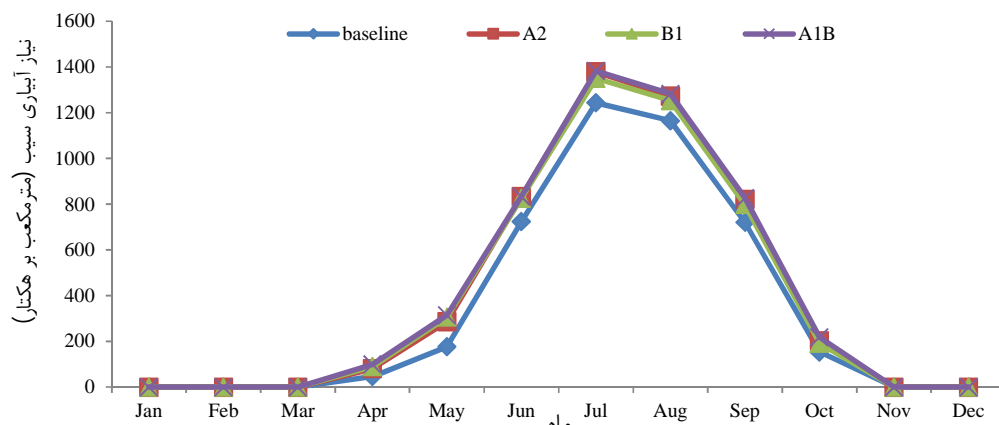
جدول ۱- تغییرات میانگین سالانه بارش و دما در حوضه آبریز اهرچای

تغییرات در بارش سالانه (mm (%))	تغییرات دما (درجه سلسیوس)	سناریوهای انتشار	افق مورد مطالعه (میلادی)
-۲۸/۴۹(-۱۰/۰۱)	۲/۴۶	A1B	۲۰۴۶-۲۰۶۵
-۱۴/۳۱(-۵/۰۳)	۲/۲۶	A2	
-۱۸/۹۷(-۶/۶۶)	۲/۰۴	B1	

## اثرات تغییر اقلیم روی نیاز آبیاری

بعد از اعمال داده‌های ماهانه هواشناسی به نرم‌افزار CROPWAT، نیاز آبیاری درخت سیب براساس وضعیت اقلیمی موجود محاسبه و همچنین به کمک خروجی‌های مدل گردش عمومی HadCM3 تحت سناریوهای A1B،

B1 و A2 برای افق ۲۰۵۵ (۲۰۴۶-۲۰۶۵) میلادی در شکل ۸ آورده شده است. شکل ۸ نشان می‌دهد که با افزایش دما و کاهش بارندگی در شبکه، نیاز آبیاری درخت سیب تحت سناریوهای مختلف افزایش خواهد یافت.



شکل ۸- نیاز آبیاری سیب (مترمکعب بر هکتار) برای وضعیت موجود و با استفاده از خروجی مدل HadCM3 برای افق ۲۰۵۵ میلادی تحت سناریوهای A1B، B1 و A2

## اثرات تغییر اقلیم روی ساعات کارکرد سیستم‌های قطره‌ای

در این بخش به محاسبه ساعت کارکرد درخت سیب پرداخته شده است که فاصله این درختان از همدیگر ۵\*۶ متر است. همچنین تعداد قطره‌چکان‌های به کار رفته برای هر درخت ۵ عدد است. بعد از اعمال داده‌های ماهانه هواشناسی به نرم‌افزار CROPWAT و محاسبه نیاز آبیاری درخت سیب، ساعات‌های کارکرد باغ سیب مشخص شد. هم اکنون این سیستم ۶ ساعت در روز کار می‌کند. همچنین تغییرات ساعات‌های کارکرد سیستم قطره‌ای به

کمک خروجی‌های مدل گردش عمومی HadCM3 تحت سناریوهای A1B، B1 و A2 برای افق ۲۰۵۵ (۲۰۴۶-۲۰۶۵) میلادی در مقایسه با وضعیت موجود محاسبه گردید و در جدول ۲ ارائه شده است. همان‌طور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود ساعات‌های کارکرد سیستم قطره‌ای نسبت به وضعیت موجود در تمامی سناریوهای اقلیمی افزایش داشته که این وضعیت متأثر از افزایش نیاز آبیاری است. با توجه به افزایش حجم آب مورد نیاز درخت سیب، افزایش مدت آبیاری به‌عنوان یک راه‌حل پیشنهاد می‌شود.

جدول ۲- تغییرات ساعات‌های کارکرد سیستم قطره‌ای نسبت به وضعیت موجود با استفاده از خروجی مدل HadCM3 تحت سناریوهای A1B، B1 و A2 برای افق ۲۰۵۵ میلادی

تغییرات ساعات کارکرد (%)	سناریوهای انتشار	افق مورد مطالعه (میلادی)
۱۱/۲۸	A1B	۲۰۴۶-۲۰۶۵
۱۰/۹۶	A2	
۸/۶۲	B1	

## نتیجه‌گیری

در این پژوهش اثرات تغییر اقلیم بر مدیریت بهره‌برداری سیستم و ساعات‌های کارکرد قطره چکان درخت سیب در

شبکه آبیاری تحت فشار سد ستارخان در دوره ۲۰۴۶ تا ۲۰۶۵ بررسی شد. برای تعیین تأثیر تغییر اقلیم بر بارش و دما از ریزمقیاس نمایی آماری LARS-WG و



7. Elgaali E. Garcia L. A. and Ojima D. S. 2007. High resolution modeling of the regional impacts of climate change on irrigation water demand. *Climatic Change*. 84: 441-461.
8. Giorgi F. and Mearns L. O. 1991. Approaches to the simulation of regional climate change: a review. *Rev. Geophys.* 29: 191-216.
9. Pérez Urrestarazu L. Smout I. K. Rodríguez Díaz J. A. and Carrillo Cobo M. T. 2010. Irrigation distribution networks' vulnerability to climate change. *Irrigation and Drainage Engineering*. 136(7): 486-493.
10. Racsco P. Szeidl L. and Semenov M. A. 1991. A serial approach to local stochastic weather models. *Ecological Modeling*. 57: 27-41.
11. Semenov M. A. and Barrow E. M. 1997. Use of a stochastic weather generator in the development of climate change scenarios. *Climate Change*. 35: 397-414.
12. Semenov M. A. and Brooks R. J. 1999. Spatial interpolation of the LARS-WG stochastic weather generator in Great Britain. *Climate Research*. 11: 137-148.
13. Semenov M. A. Brooks R. J. Barrow R. M. and Richardson C. W. 1998. Comparison of the WGEN and LARS-WG stochastic weather generators for diverse climates. *Climate Research*. 10: 95-107.

خروجی‌های مدل گردش عمومی جو HadCM3 در حوضه آبریز اهرچای تحت سناریوهای A1B، B1 و A2 برای دوره زمانی ۲۰۴۶-۲۰۶۵ میلادی استفاده شد. در مرحله بعدی براساس مقادیر بارش و دمای پیش‌بینی شده، نیاز آبیاری سیب با استفاده از CROPWAT محاسبه و برای دوره مورد نظر تحت سناریوهای مختلف مقایسه شدند. با توجه به نتایج به‌دست آمده، مقدار بارش در حوضه در مقایسه با دوره پایه کاهش یافت. به ازای کلیه سناریوها، بیشترین کاهش در مقدار بارش در ماه می (May) رخ خواهد داد. همچنین مقدار دما در سطح حوضه در مقایسه با دوره پایه به طور متوسط به میزان ۲/۲۵ درجه سلسیوس افزایش خواهد داشت. همچنین نیاز آبیاری سیب در شبکه نسبت به وضعیت موجود در تمام سناریوهای اقلیمی روند افزایشی داشته که این روند متأثر از افزایش دما و کاهش بارندگی در حوضه است. با افزایش دما و کاهش بارش در حوضه و همچنین افزایش نیاز آبیاری، ضرورت اعمال اصلاح در نحوه مدیریت بهره‌برداری از سیستم مشخص شد پس نتایج نشان می‌دهد که ساعت‌های کارکرد سیستم قطره‌ای افزایش خواهد یافت. با توجه به افزایش حجم آب مورد نیاز گیاهان، افزایش مدت آبیاری به‌عنوان یک راه‌حل ممکن و آسان پیشنهاد می‌شود.

#### منابع

۱. بیدآبادی م. ۱۳۸۲. کراپ‌وات، آموزش نرم‌افزار (تحت ویندوز) نیاز آب و برنامه آبیاری گیاهان. انتشارات جهاد دانشگاهی، شعبه واحد تهران. ۱۳۶ ص.
۲. علیزاده ا. ۱۳۸۰. اصول و عملیات آبیاری قطره‌ای. انتشارات دانشگاه امام رضا (ع)، مشهد. ۴۵۰ ص.
3. Bates B. C. Kundzewicz Z. W. Wu S. and Palutikof Eds J. P. 2008. *Climate Change and Water*. Technical paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC Secretariat, Geneva. 210 p.
4. Clarke D. Smith M. and El-Askari K. 1998. New software for crop water requirements and irrigation scheduling. *Irrigation and Drainage Engineering*. 47(2): 45-58.
5. Daccache A. and Lamaddalena N. 2010. Climate change impacts on pressurized irrigation systems. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Engineering Sustainability*. 163(2): 97-105.
6. Doll P. 2002. Impact of climate change and variability on irrigation requirements: a global perspective. *Climatic change*. 54: 269-293.

