

## The Effect of Climate Change on Rice Irrigation Requirement under RCP Scenarios (Case Study: Anzali)

SABA HOSEINI TABESH<sup>1</sup>, ZAHRA AGHASHARIATMADARI<sup>\*1</sup>

1. Department of Irrigation & Reclamation Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.  
(Received: Apr. 26, 2020- Revised: Aug. 18, 2020- Accepted: Aug. 24, 2020)

### ABSTRACT

Agriculture is directly affected by climate conditions and changes; therefore, it is essential to understand the effects of climate change on agricultural water resources in order to adapt negative effects on sustainable crop production. In this study using three scenarios; RCP2.6, RCP4.5 and RCP8.5 of the HadGEM2-ES climate model, the future climate data (precipitation, minimum and maximum temperatures) for two periods (2020-2039 and 2040-2059) were forecasted under climate change and based on a 20-years basic period (1985-2005) climate data using LARS-WG software. The base-period evapotranspiration was estimated using Hargreaves-Samani method and they were converted to Fao-Penman-Monteith method by Coefficient (G) in order to improve accuracy. According to this, irrigation requirement of rice (most important and major crop in Gilan province) and evapotranspiration were compared between the past and future. Results declared that the average annual maximum and minimum temperatures for the periods of (2020-2039) and (2040-2059) in comparison to the base period, will increase 2.2 and 2.1, 3.2 and 2.8 °C respectively. Also, the average monthly rainfall under all three scenarios will increase 11.8 and 13.6 millimeters for the proposed future periods, respectively. In addition, the net irrigation changes of rice for the both proposed periods will increase 0-31% and 0-45%, respectively. The trend of evapotranspiration changes is ascending and the range of changes during the two periods will be 0.4%-13.6% and 6.1%-27.6%, respectively. This method demonstrated the outlook of climate change impacts on irrigation to the farmers. The results of this study suggest that it is necessary to understand climate change impacts on agriculture, for improved agricultural management planning. The results of this study highlight the need to pay more attention to the effects of climate change on reliable agricultural management and planning.

**Keywords:** Irrigation Requirement, Hargreaves-Samani, Fao-Penman-Monteith, Climate Change, RCP Scenarios.

## تأثیر تغییر اقلیم بر نیاز آبیاری برنج تحت سناریوهای واداشت تابشی (مطالعه موردی: انزلی)

صبا حسینی تابش<sup>۱</sup>، زهرا آقاشریعتمداری<sup>۱\*</sup>

۱. گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.  
 (تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۲/۷ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۵/۲۸ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۶/۳)

### چکیده

کشاورزی به طور مستقیم تحت تاثیر شرایط اقلیمی و تغییرات آن است. بنابراین به منظور سازگاری با آثار منفی تغییر اقلیم بر کشاورزی پایدار، بررسی اثرات تغییر اقلیم بر آب مصرفی در این بخش ضروری است. در این مطالعه با استفاده از سه سناریو RCP4.5، RCP5.5 و RCP2.6 از گزارش پنجم IPCC و مدل گردش جوی HadGEM2-ES، داده‌های اقلیمی آینده (دمای بیشینه، دمای کمینه و بارش) تحت شرایط تغییر اقلیم با استفاده از نرم‌افزار LARS WG طی دو دوره (۲۰۳۹-۲۰۲۰) و (۲۰۵۹-۲۰۴۰) بر اساس دوره پایه (۲۰۰۵-۱۹۸۵) پیش‌بینی شده است. تبخیرتغرق دوره پایه از روش هارگریوز-سامانی محاسبه و با استفاده از ضریب (G) به تبخیرتغرق به روش فائو-پنمن-مانتیت تبدیل گردید تا دقت محاسبات افزایش یابد. بر این اساس به مقایسه تبخیرتغرق و نیاز آبیاری برنج (کشت غالب و استراتژیک استان گیلان) در آینده و گذشته پرداخته شده است. نتایج نشان داد در دوره (۲۰۳۹-۲۰۲۰) میانگین سالانه دمای بیشینه و کمینه به ترتیب به میزان ۲/۲ و ۲/۱ درجه سانتیگراد نسبت به دوره پایه (۲۰۰۵-۱۹۸۵) افزایش می‌یابد. همچنین در دوره (۲۰۵۹-۲۰۴۰) نسبت به دوره پایه (۲۰۰۵-۱۹۸۵) میانگین سالانه دمای بیشینه و کمینه به ترتیب به میزان ۳/۲ و ۲/۸ درجه سانتیگراد افزایش می‌یابد. میانگین ماهانه بارش تحت سه سناریو در دوره‌های (۲۰۳۹-۲۰۲۰) و (۲۰۵۹-۲۰۴۰) به ترتیب ۱۱/۸ و ۱۳/۶ میلی‌متر نسبت به دوره پایه افزایش خواهد یافت. نتایج این پژوهش نشان داد تغییرات نیاز آبیاری خالص برنج طی دوره‌های (۲۰۳۹-۲۰۲۰) و (۲۰۵۹-۲۰۴۰) نسبت به دوره پایه به ترتیب ۰ تا ۳۱٪ و ۰ تا ۴۵٪ افزایش خواهد داشت. روند تغییرات تبخیرتغرق مرجع صعودی است و دامنه تغییرات آن طی دو دوره مذکور به ترتیب (۱۳/۶٪ - ۰/۴٪) و (۲۷/۶٪ - ۶/۱٪) می‌باشد. روش مذکور چشم‌اندازی از اثرات تغییر اقلیم بر آبیاری به کشاورزان ارائه می‌کند. نتایج این پژوهش ضرورت توجه بیشتر به تاثیرات تغییر اقلیم بر مدیریت و برنامه‌ریزی مطمئن کشاورزی را آشکار می‌سازد.

واژه های کلیدی: نیاز آبی، هارگریوز-سامانی، فائو-پنمن - مانیتیت، تغییر اقلیم، سناریوهای واداشت تابشی.

### مقدمه

هر گونه تلاش برای بهبود بازده مصرف آب، باید بر پایه برآورد-هایی با ضریب اطمینان بالا در زمینه تبخیرتغرق باشد (2013 Simaiee et al.). همچنین بیشترین تاثیر تغییر اقلیم بر کشاورزی از طریق تغییرات چرخه‌ی آبشناسی است که تبخیرتغرق یکی از مهم‌ترین عناصر این چرخه می‌باشد. (Döll 2002) به بررسی اثر تغییر اقلیم بر نیاز خالص آبیاری گیاهان زراعی کل اراضی جهان که تا سال ۱۹۹۵ مجهز به سیستم‌های آبیاری شده‌اند با استفاده از داده‌های اقلیمی خروجی مدل‌های GCM پرداخت. وی گیاهان کشت شده را به دو دسته برنج و غیر برنج تقسیم کرد و با در نظر گرفتن طول دوره‌ی رشد ثابت (۱۵۰ روز)، نیاز خالص آبیاری را برآورد نمود. نتایج نشان داد که نیاز خالص آبیاری حدود دو سوم مناطق در دهه‌های ۲۰۲۰ و ۲۰۷۰ افزایش خواهد یافت که علت آن

کشور ایران به لحاظ اقلیمی جزو کشورهای خشک و نیمه‌خشک جهان محسوب می‌شود، از طرفی متوسط بارندگی سالانه آن حدود یک‌سوم متوسط بارندگی خشکی‌ها و کمتر از یک‌سوم بارندگی متوسط کره زمین و از طرفی دیگر میزان تبخیر در آن حدود سه برابر تبخیر خشکی‌های زمین می‌باشد (Jahanbakhsh et al., 2001). در کشور ما بخش کشاورزی ۹۴٪ کل آب مصرفی را به خود اختصاص می‌دهد که بیشترین میزان تبخیرتغرق (ET<sub>o</sub>) در این بخش رخ می‌دهد (Zahedi and Khatibi, 2008). از آنجایی‌که تبخیرتغرق بخش مهمی از بیلان آبی مناطق خشک و نیمه‌خشک را به خود اختصاص می‌دهد، برآورد صحیح آن اهمیت بسزایی در حفظ بهینه منابع آب موجود را دارد. بنابراین

Sarafroozeh *et al.* (2014) اثرات تغییر اقلیم پیش‌بینی شده توسط مدل گردش عمومی HadGEM2-ES تحت سناریو A1 طی دو دوره‌ی (۲۰۷۰-۲۰۹۹) و (۲۰۴۰-۲۰۶۹) را در تبریز بر روی مصرف واقعی آب گیاه گندم با استفاده از مدل کراپ‌وات ارزیابی کردند. نتایج نشان داد که در دوره (۲۰۴۰-۲۰۶۹) نسبت به دوره پایه (۱۹۶۱-۱۹۹۰) میانگین سالانه دمای بیشینه و کمینه به ترتیب به میزان ۲/۷ و ۲/۹ درجه سانتیگراد افزایش و میزان بارندگی سالانه به میزان ۸ درصد کاهش خواهد داشت. در چنین شرایطی مصرف آب گیاه گندم ۸/۳٪ افزایش خواهد یافت. در دوره ۲۰۷۰-۲۰۹۹ میانگین درجه حرارت حداکثر و حداقل سالانه هر دو به میزان ۴/۴ درجه سانتیگراد افزایش و مقدار بارندگی به میزان ۱۶/۳٪ کاهش خواهد یافت. در چنین شرایطی مصرف آب گیاه گندم ۶/۹٪ افزایش خواهد یافت.

Darzi-Naftchali *et al.* (2015) تغییرات دمای حداقل، دمای حداکثر و بارندگی در استان مازندران تا سال ۲۱۰۰ تحت سناریوهای A2, A1B, و B1 را بررسی کردند. پیش‌بینی‌ها تحت سناریوهای مذکور با به‌کارگیری مدل ریزمقیاس نمایی LARS-WG و مدل گردش جوی HADCM3 انجام شد. نتایج نشان داد میانگین دمای حداکثر و حداقل در ماه‌های گرم بیشتر از ماه‌های سرد افزایش می‌یابد. میانگین افزایش دمای حداقل برای کلیه سناریو ها در دوره‌های آتی ۱/۶۵ درجه سانتیگراد است. این درحالی است که این مقدار برای دمای حداکثر ۱/۳۱ درجه سانتیگراد است. مقدار بارندگی در ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس، آوریل، اکتبر و نوامبر نسبت به دوره پایه افزایش و در سایر ماه‌ها کاهش خواهد داشت.

Darzi-Naftchali *et al.* (2016) با استفاده از داده‌های هواشناسی دوره پایه (۲۰۱۰-۱۹۸۰) ایستگاه‌های بابلسر، قائمشهر، نوشهر و رامسر و مدل ریزمقیاس ساز LARS-WG، داده‌های هواشناسی دوره ۲۰۱۱ تا ۲۱۰۰ تحت سناریوهای مختلف اقلیمی تولید شد. بر اساس مقادیر دمای حداقل و حداکثر، بازه‌ی زمانی مشترک مناسب برای کشت در دوره‌ی پایه و آتی تعیین شد. ارزیابی کارایی مدل با استفاده از آماره‌های مختلف نشان‌دهنده کارایی مناسب آن برای شبیه‌سازی وضعیت اقلیمی آینده در منطقه مطالعه بود. در اثر تغییر اقلیم، کشت برنج می‌تواند ۲ تا ۲۳ روز زودتر انجام شود و تعداد روزهای لازم برای رسیدگی فیزیولوژیکی نیز بین ۱ تا ۲۰ روز کاهش خواهد یافت. با وجود کوتاه‌تر شدن طول دوره‌ی کشت، تاریخ‌های کشت دیر هنگام به دلیل اثرات منفی دمای زیاد و کاهش آب سبز، سبب افزایش نیاز آب آبیاری خواهد شد.

بالا رفتن درجه حرارت و در نتیجه افزایش تبخیرتعرق و نیز غیر همگن بودن توزیع مکانی بارندگی‌ها می‌باشد. همچنین تغییر اقلیم در اکثر مناطق باعث جابجایی دوره‌ی رشد و تغییر الگوی کشت خواهد شد.

باتوجه به رشد جمعیت، افزایش روزافزون نیاز به مواد غذایی و تغییر منابع آب و خاک متاثر از تغییر اقلیم، ارزیابی اثرات آن بر روی مصرف آب کشاورزی از اهمیت بالایی برخوردار است. از آنجایی که امنیت غذایی در نتیجه تغییر اقلیم به خطر می‌افتد، پرداختن به مواردی چون توسعه سیستم‌های آبیاری، پذیرش رقم‌های سازگار با دما، سازگاری عملیات زراعی و آبیاری کشاورزان ضروری به نظر می‌رسد (Sarafroozeh *et al.*, 2014). گیاهان به عنوان منابع غذایی مهم‌ترین منبع تامین‌کننده‌ی انرژی حیات برای انسان و دام هستند. بنابراین عواملی که بر رشد گیاهان و در پی آن افزایش تولید آن‌ها تأثیر می‌گذارد، اهمیت بسیاری دارند. از بین عوامل موثر بر رشد گیاه، آب ضروری‌ترین و مهم‌ترین آن‌ها است. نتایجی که از تحقیقات سال‌های متمادی در زمینه رابطه آب و عملکرد گیاه به دست آمده نمایانگر رابطه‌ی تنگاتنگ میان کاهش آب مورد نیاز و کاهش محصول در مراحل مختلف رشد است. کمبود آب نه تنها موجب کاهش محصول می‌شود، بلکه فرم رشد را نیز تغییر می‌دهد و ضمن تأثیر بر مقدار فتوسنتز، بر کیفیت محصول، تشکیل گل و بذر آثار منفی ایجاد می‌کند (Doorenbos and Pruitt, 1984). بنابراین تعیین آب مورد نیاز گیاه برای تامین حداکثر رشد و تحصیل حداکثر محصول و همچنین اطلاع از کل آب مصرفی و در پی آن تعیین ظرفیت کانال‌ها و مخازن آب، یکی از مهم‌ترین بخش‌های مطالعاتی در یک طرح آبیاری زهکشی است (Amiri and Siahi, 2009).

MirSane *et al.* (2010) اثر تغییر اقلیم بر نیاز خالص آبیاری، طول دوره‌ی رشد و تاریخ کشت گیاه ذرت در دشت قزوین در دوره‌های آتی را محاسبه کردند. برای این کار از خروجی مدل اقلیمی CGCM2 تحت سناریوی A2 استفاده شد و برآورد نیاز آبی توسط معادله هارگریوز-سامانی صورت گرفت. نتایج نشان داد که نیاز خالص آبیاری برای گیاه ذرت افزایش قابل ملاحظه‌ای پیدا می‌کند.

Tavakoli *et al.* (۲۰۱۱) مصرف آب کشاورزی در دشت تربت حیدریه را بررسی و اقدام به محاسبه تبخیرتعرق به سه روش هارگریوز-سامانی، بلانی-کریدل و فائو-پنمن مانیتیت کردند. افزایش دما به میزان ۴/۲ و ۶ درجه‌ی سانتیگراد به دست آمد و نیاز آبیاری در آینده محاسبه شد. تا میزان تغییرات آن مشخص گردد.

میانگین (MR) و درصد خطای تخمین (PE) با روش فائو- پنمن-مانتیت مقایسه شدند. نتایج نشان داد در اقلیم سرد و نیمه خشک، سرد و معتدل، گرم و خشک، سرد و خشک و گرم و مرطوب به ترتیب شامل شهرهای ارومیه، شهرکرد، زاهدان، مشهد و اهواز مدل مک کینگ اصلاح شده، در اقلیم گرم و مرطوب بندرعباس مدل والیانتراس ۵ و در اقلیم های مدیترانه ای، نیمه مرطوب و مرطوب شامل شهرهای گرگان، ساری و رشت مدل دروگرز و آن برآورد بهتر و نزدیک تری به روش فائو- پنمن-مانتیت داشتند. با توجه به امتیازهای داده شده به هر روش براساس شاخص ارزیابی MAE و RMSE، مدل های مک کینگ اصلاح شده، دروگرز و آن، والیانتراس و هارگریوز سامانی و براساس شاخص PE مدل های دروگرز و آن، مک کینگ اصلاح شده، والیانتراس و هارگریوز سامانی به عنوان مدل برتر انتخاب شدند.

تاکنون برای برآورد نیاز آبیاری از اطلاعات هواشناسی سال-های گذشته استفاده شده است، اما تغییر اقلیم بر نرمال های بلند مدت متغیرهای هواشناسی تاثیر می گذارد و پیامدهای ناشی از آن در ابعاد مختلف ظاهر می شود. در این پژوهش اثرات تغییر اقلیم و پیامدهای آن بر نیاز آبیاری بررسی می شود و با استفاده از سه سناریو RCP2.6، RCP4.5، RCP8.5 از گزارش پنجم IPCC و مدل گردش جوی HadGEM2-ES-2 میزان متغیرهای هواشناسی (دمای بیشینه و دمای کمینه) با استفاده از نسخه ۶ نرم افزار LARS WG طی دو دوره ۲۰۲۰-۲۰۳۹ و ۲۰۴۰-۲۰۵۹ براساس دوره فعلی (۲۰۰۵-۱۹۸۵) محاسبه شده است. چون مطالعه مربوط به اقلیم است و متوسط های بلند مدت مد نظر می باشد، این دوره در نظر گرفته شده است و هدف مقایسه و نشان دادن تاثیرات تغییر اقلیم بر متغیرهای هواشناسی و پیرو آن نیاز آبیاری بوده است. در بین عوامل موثر بر محاسبه نیاز آبیاری، عامل تبخیرتقرق از اهمیت بسزایی برخوردار است که در این مطالعه به آن پرداخته شده است. در این مبحث تبخیرتقرق دوره فعلی از روش هارگریوز- سامانی محاسبه شد و با استفاده از ضریب (G) به تبخیرتقرق به روش فائو- پنمن-مانتیت تبدیل گردید تا دقت محاسبات افزایش یابد. بر این اساس به مقایسه ی تبخیرتقرق و نیاز آبیاری گیاه انتخابی (برنج) در آینده و گذشته پرداخته شده است.

## مواد و روش ها

### منطقه مورد مطالعه

در این مطالعه ایستگاه سینوپتیک انزلی متعلق به سازمان هواشناسی کشور به عنوان ایستگاه مطالعاتی انتخاب شد که در شکل (۱) قابل مشاهده است. موقعیت جغرافیایی منطقه و

Acharjee *et al.* (2017) اثرات تغییر اقلیم را در دو دوره ی ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ بر روی برنج بورو در شمال غربی بنگلادش با استفاده از مدل کراپوات برآورد نمودند. بررسی آن ها نشان داد که تبخیرتقرق پتانسیل روزانه با توجه به افزایش دما، افزایش می یابد. نیاز آبی برنج بورو تا سال ۲۰۵۰ به مقدار ۵/۶٪ و ۹/۱٪ به ترتیب تحت سناریو RCP4.5 و RCP8.5 کاهش می یابد. همچنین تا سال ۲۰۸۰ نیاز آبی برنج بورو ۳/۸٪ و ۶/۱۷٪ به ترتیب تحت سناریو RCP4.5 و RCP8.5 کاهش می یابد.

Obada *et al.* (2017) به بررسی روند تغییرات تبخیرتقرق پتانسیل فائو- پنمن-مانتیت در گذشته و آینده در شهر بنین واقع در غرب آفریقا پرداختند. نتایج نشان داد در مقیاس فصلی مقدار تبخیرتقرق پتانسیل فائو- پنمن-مانتیت تحت سناریو RCP4.5 و RCP8.5 از ۱۵ تا ۲۵٪ افزایش می یابد.

Islam *et al.* (2018) متغیرهای هواشناسی را در بنگلادش با استفاده از مدل عمومی جوی FGOAL، HADCM3 و IPCM4 تحت سناریوهای SRESA1B تولید کرده تا نیاز آبیاری طراحی برنج پادی را بررسی کنند. میانگین نرخ تغییرات نیاز آبیاری در مقایسه با دوره پایه در سه مدل عمومی جوی ۳/۰۱- تا ۱۱/۱۶ درصد می باشد و خروجی این مطالعه می تواند به عنوان داده های پایه در توسعه مدیریت منابع آب کشاورزی مورد استفاده قرار بگیرد.

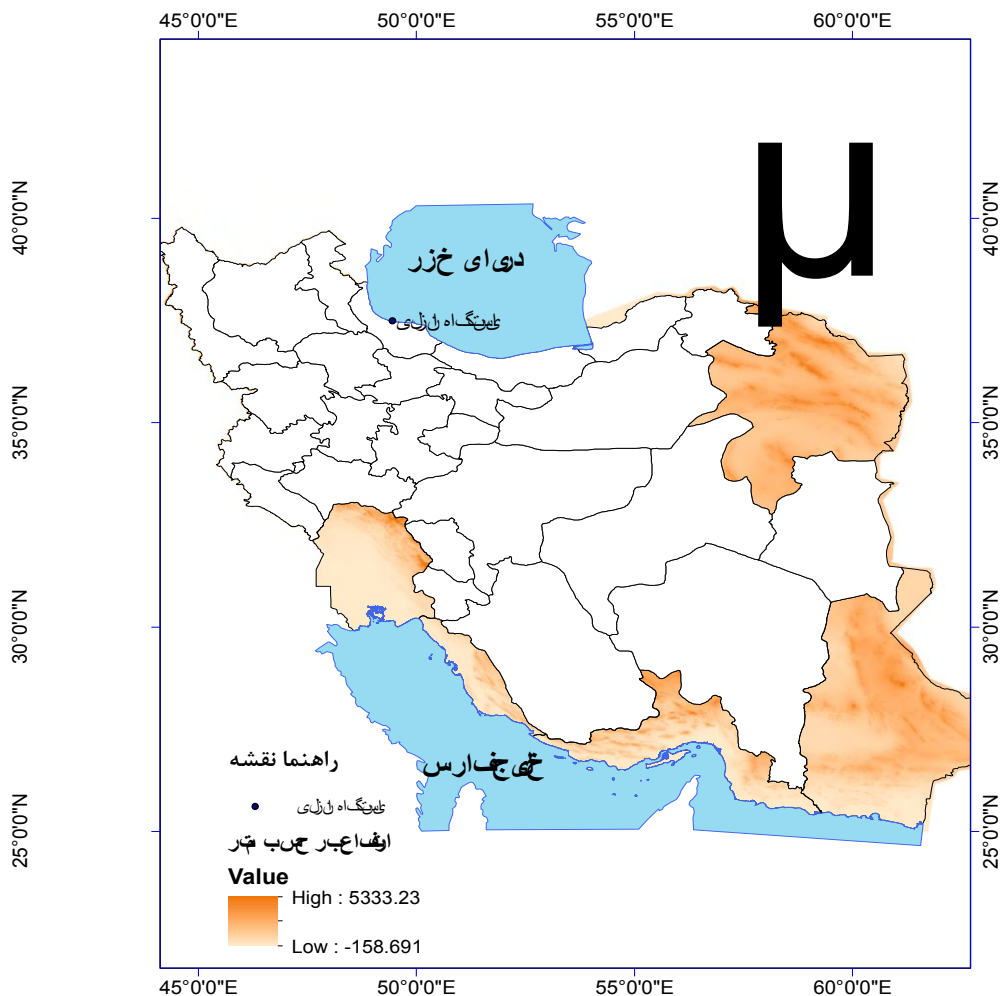
Arshad *et al.* (2019) با استفاده از مدل SDSM در منطقه پنجاب با به کارگیری مدل عمومی جوی HadCM3 تحت سناریوهای H3A2، H3B2 به شبیه سازی متغیرهای هواشناسی از سال ۱۹۶۱ تا ۲۰۹۹ پرداختند. نتایج نشان داد دمای بیشینه و دمای کمینه و سرعت باد افزایش می یابد. خروجی های ریزمقیاس نمایی ها، به عنوان داده های ورودی مدل CROPWAT استفاده شد تا میزان نیاز آبیاری دوره ی پایه (۱۹۹۰-۱۹۶۱) و دوره های آتی (۲۰۸۰ و ۲۰۵۰ و ۲۰۲۰) به دست آید. در نهایت نیاز آبیاری گیاه برنج تحت سناریوهای مذکور روند صعودی خواهد داشت.

Piri and Taher, (2019) به بررسی روش های مختلف تبخیر و تفرق گیاه مرجع در اقلیم های مختلف ایران و اعتبارسنجی این روش ها با روش فائو- پنمن-مانتیت پرداختند. برای انجام این کار از داده های هواشناسی ۳۰ ساله (۱۹۸۸-۲۰۱۷) نُه شهر کشور (شهرکرد، ارومیه، مشهد، زاهدان، بندرعباس، اهواز، گرگان، رشت و ساری) استفاده شد. ابتدا تبخیر تفرق مرجع به روش فائو- پنمن-مانتیت به صورت روزانه به دست آمد. سپس، مقادیر تبخیر و تفرق مرجع با ۲۴ روش دیگر نیز محاسبه شد و با استفاده از شاخص های آماری جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانگین خطای مطلق (MAE)، نسبت

همچنین مشخصات جغرافیایی و ویژگی‌های اقلیمی ایستگاه شده است. مذکور براساس سیستم طبقه‌بندی دومارتن درجدول (۱) آورده

جدول ۱- مشخصات اقلیمی و جغرافیایی ایستگاه انزلی

ایستگاه	عرض جغرافیایی (درجه)	طول جغرافیایی (درجه)	ارتفاع از سطح دریا (متر)	نوع اقلیم
انزلی	۳۷/۴۹	۴۹/۴۵	-۲۶	بسیار مرطوب



شکل ۱- نقشه موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه (انزلی)

داده‌های مورد استفاده در این پژوهش عبارتند از:

الف- داده‌های روزانه‌ی دمای بیشینه (سانتی‌گراد)، دمای- کمینه (سانتیگراد)، رطوبت نسبی (درصد)، ساعات آفتابی (ساعت) و سرعت‌باد در ارتفاع دو متری (متر بر ثانیه) ایستگاه هواشناسی سینوپتیک انزلی از مرکز اطلاعات و آمار سازمان هواشناسی کشور دریافت شد. داده‌های روزانه از سال‌های ۱۹۸۵ تا ۲۰۰۵ دوره پایه و مشاهداتی، در نظر گرفته شد. همچنین بر روی داده‌ها کنترل کیفی صورت گرفته است. از آنجائی که این دوره‌ی بیست ساله از جهت میزان خلای آماری مناسب بود،

ب- داده‌های شبیه‌سازی شده خروجی مدل HadGEM2-

ES (دمای بیشینه، دمای کمینه و بارش) تحت سه سناریو RCP4.5, RCP8.5, و RCP2.6 برای دو دوره (۲۰۳۹-۲۰۲۰) و (۲۰۴۰-۲۰۵۹) به مشخصات ایستگاه موردنظر تولید شد. مدل‌های گردش عمومی جو معتبرترین ابزار برای شبیه‌سازی شرایط اقلیمی آینده هستند. در این پژوهش از مدل HadGEM2- ES که یکی از مدرن‌ترین مدل‌ها است و توسط مرکز شبیه‌سازی مت‌هدلی با همکاری هیات بین دولتی تغییرات اقلیم IPCC با توجه به سناریو پنجم طراحی شده است، استفاده شد. به منظور ریزمقیاس‌نمایی داده‌های بزرگ‌مقیاس در خروجی مدل‌های

پردازنده و سپس نیاز آبی گیاه انتخابی (برنج) مورد بررسی قرار گرفت.

به منظور محاسبه تبخیرتقرق رابطه‌ی فائو-پنمن-مانتیت به دلیل مطابقت بالایی که با مقادیر واقعی دارد در اولویت است.

$$ET_0 = \frac{0.0408\Delta(R_n - G) + \gamma \left[ \frac{890}{T + 273} \right] U_2 (e_a - e_d)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)} \quad (\text{رابطه ۳})$$

این رابطه دارای متغیرهای نسبتاً زیادی است که استفاده از آن را دشوار می‌سازد. متغیرهای هواشناسی موثر در این رابطه عبارتند از:

دمای بیشینه (سانتیگراد)، دمای کمینه (سانتیگراد)، رطوبت-نسبی (درصد)، ساعات آفتابی و سرعت باد در ارتفاع دو متری (متر بر ثانیه).

داده‌های مورد نیاز در مقیاس روزانه از سازمان هواشناسی ایران گرفته شد و به مقیاس ماهانه تبدیل گردید و متوسط بلند مدت ماهانه آن‌ها محاسبه شده و با استفاده از نرم-افزار CROPWAT مقادیر  $(ET_0)$  های ماهانه در دوره فعلی (۲۰۰۵-۱۹۸۵) به‌طور بلندمدت به دست آمد. از آنجا که اگر از روش فائو-پنمن-مانتیت برای برآورد مقادیر  $(ET_0)$  ها در آینده استفاده شود باید متغیرهای نسبتاً زیادی پیش‌بینی گردد، برای حل این مشکل از روش هارگریوز-سامانی برای برآورد مقادیر  $(ET_0)$  استفاده شد و به کمک ضرایب (G) به فائو-پنمن-مانتیت تبدیل گردید. روش هارگریوز - سامانی فقط به داده‌های دما نیازمند است و این امر باعث سهولت محاسبات می‌شود.

$$ET_0 = 0.0023 R_a (T + 17.8) \sqrt{TR} \quad (\text{رابطه ۴})$$

که در آن:

$TR$ : تفاوت متوسط بیشینه‌ی دما از کمینه‌ی دما در دوره‌ی مورد نظر (ماه)

$T$ : دمای متوسط ماهانه

$R_a$ : تابش برون زمینی (میلی متر برروز) است.

بر این‌اساس ابتدا میانگین بلند مدت ماهانه‌ی دما در فاصله‌ی سال‌های ۲۰۰۵-۱۹۸۵ محاسبه شد. سپس با استفاده از روش هارگریوز-سامانی و فائو-پنمن-مانتیت مقادیر تبخیرتقرق مرجع بلند مدت ماهانه ایستگاه مورد مطالعه به دست آمد. با تقسیم مقادیر  $(ET_0)$  های به دست آمده از روش فائو-پنمن-مانتیت بر مقادیر  $(ET_0)$  حاصل از روش هارگریوز-سامانی در مقیاس ماهانه ضرایب تبدیل آن‌ها (G) در هر ماه به دست آمد که با استفاده از آن‌ها می‌توان تبخیرتقرق مرجع روش هارگریوز-سامانی را به فائو-پنمن-مانتیت درآینده تبدیل کرد. از آنجایی که طول فصل رشد نیز در اثر تغییر اقلیم دچار تغییر خواهد شد، در این مطالعه میانگین تبخیرتقرق مرجع  $(ET_0)$  ماهانه بلندمدت

گردش عمومی جو GCM، از مدل LARS-WG استفاده شد. فرآیند تولید داده‌ها در مدل مذکور شامل سه بخش واسنجی، صحت‌سنجی و شبیه‌سازی می‌باشد. برای انجام دو مرحله‌ی اول، آمار ۲۰ ساله (۲۰۰۵-۱۹۸۵) دمای حداقل، دمای حداکثر ایستگاه انزلی وارد مدل شده و با مقایسه‌ی مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده بر اساس معیارهای ارزیابی، صحت مدل در ایستگاه‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفت.

### روش‌های مورد استفاده

### برآورد نیاز آبیاری خالص

نیاز آبیاری (irrigation requirement) به مقدار آبی گفته می‌شود که لازم است تا گیاه با حداکثر توان خود رشد نموده و تولید محصول نماید (Alizadeh, 2013). آب مورد نیاز گیاه به صورتی که در مراحل رشد طبیعی محدودیتی از بابت آب نداشته باشد عبارت است از مجموع آب مصرفی برای تعرق و ساختمان اجزای گیاه و تبخیر از سطح مجاور  $ET_c$ . تبخیرتقرق گیاهی در شرایط استاندارد  $(ET_c)$  عبارت است از تبخیرتقرق گیاه در مدت زمان دوره‌ی رشد در سطح گسترده با خاک حاصلخیز، عاری از امراض، در شرایط بهینه رطوبتی که شرایط آب و هوایی موجود دارای بازدهی کامل باشد (Allen et al., 1998).

از حاصل ضرب  $ET_0$  در ضریب گیاهی به دست می‌آید:

$$ET_c = ET_0 \times K_c(ET_c) \quad (\text{رابطه ۱})$$

مقدار نیاز آبیاری گیاهان یا مجموع تبخیرتقرق واقعی، به-طور معمول بر مبنای اندازه‌گیری تبخیرتقرق گیاه مرجع  $(ET_0)$  و دخالت دادن ضریب گیاهی مربوط تعیین می‌شود. تبخیرتقرق گیاه مرجع،  $ET_0$ ، نشان دهنده مقدار تبخیرتقرق نوع معینی از پوشش سبز با ارتفاع ۸ تا ۱۵ سانتی‌متر است که در سطح گسترده کشت شده و دارای رشد فعال با پوشش کامل زمین و سایه انداز، بدون تنش آبی است.

مقدار آب خالص مورد نیاز برای آبیاری گیاه (In) برحسب میلی‌متر در دوره‌ی مورد نظر از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود:

$$In = ET_c - (P_e + G_e + W_b) \quad (\text{رابطه ۲})$$

بارندگی موثر (میلی‌متر)،  $P_e$  که در آن

$G_e$ : سهم آب زیرزمینی در تامین نیاز آبیاری گیاهان (میلی‌متر)

$W_b$ : آب ذخیره‌شده در خاک در آغاز هر دوره (میلی‌متر) باتوجه به توضیحات فوق تبخیرتقرق مرجع یکی از مهم-ترین بخش‌ها در محاسبات نیاز آبیاری است. در این پژوهش ابتدا در شرایط تغییر اقلیم به بررسی تغییرات مقادیر تبخیرتقرق مرجع



۲۰۴۱-۲۰۶۰ انجام شد. اساس تعریف این سناریوها، واداشت تابشی در قرن ۲۱ می‌باشد.

هیات بین دولتی تغییر اقلیم در منابع الکترونیکی خود گزارش کرد بدون اتخاذ هیچ گونه سیاست‌های کاهش آثار و مقابله با پیامدهای اقلیمی، آب و هوای کره‌ی زمین در خط سیر سناریو انتشار RCP8.5 پیش خواهد رفت. به‌طوریکه این روند منجر به واداشت تابشی به میزان ۸/۵ وات برمترمربع در سال ۲۱۰۰ می‌گردد. در این هنگام غلظت کربن‌دی‌اکسید به ppm ۱۰۰۰ تا سال‌های ۲۰۸۰ رسیده و پس از آن روند کاهشی خواهد داشت. این سناریو توسط تیم مدلسازی MESSAGE و موسسه IIASA به سرپرستی پروفیسور کیوان ریاحی در موسسه بین‌المللی آنالیزهای سیستم‌های کاربردی IIASA اتریش توسعه و طراحی شد. سناریو RCP 4.5 توسط گروه مدل‌سازی MiniCAM طراحی شده است و در آن واداشت تابشی ناشی از گازهای گلخانه‌ای قبل از سال ۲۰۴۰ در مقدار ۴/۵ وات برمترمربع ثابت می‌ماند. در سناریو RCP2.6 واداشت تابشی از گازهای گلخانه‌ای قبل از سال ۲۱۰۰ در مقدار ۲/۶ وات برمترمربع ثابت می‌ماند. این سناریو فرض می‌کند بیشترین مقدار گازهای گلخانه‌ای بین سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰ انتشار یافته و پس از آن کاهش می‌یابد. آخرین بازخوانی این گزارش ۴ نوامبر ۲۰۱۹ می‌باشد و آدرس تارنمای آن در فهرست منابع ذکر گردیده است (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2019). مدل اقلیمی مورد استفاده در این پژوهش مدل HadGEM2-ES است که توسط مرکز شبیه‌سازی مت‌هدلی با همکاری هیات بین دولتی تغییرات اقلیم IPCC با توجه به سناریو پنجم طراحی شده و از مدرن‌ترین مدل‌های جهانی است (Jones et al., 2011).

**بحث در رابطه با مدل‌های ریزمقیاس‌نمایی LARS-WG, IDW و SDSM**

یکی از مشکلات خروجی مدل‌های GCM بزرگ مقیاس بودن آن‌ها است که استفاده از ابزارهای ریزمقیاس را برای تبدیل داده‌های بزرگ مقیاس جهانی به داده‌های اقلیمی برای منطقه مورد نظر ضروری کرده است. بدین منظور، مدل‌ها و روش‌های مختلفی توسعه یافته‌اند که قطعیت و صحت نتایج هر کدام از آن‌ها در منطقه مورد نظر می‌بایست بررسی گردد تا بتوان به نتایج واقعی‌تری در آینده دست یافت.

عملکرد مدل‌های SDSM, LARS-WG و IDW در ریزمقیاس‌نمایی داده‌های دما و بارش در منطقه پارس‌آباد بررسی شد. کالیبراسیون و صحت‌سنجی دو مدل LARS-WG و SDSM

(۲۰۰۵-۱۹۸۵) در منطقه انزلی به دست آمده است تا بر حسب نوع گیاه مورد کشت و دخالت دادن ضریب گیاه مدنظر، میزان تبخیرتعرق استاندارد ( $ET_c$ ) مربوطه محاسبه گردد.

### تولید داده‌های هواشناسی تا سال ۲۰۶۰

مدل‌های مولد تولید مصنوعی داده‌های هواشناسی دارای دو رویکرد آماری هستند: مدل‌های نوع ریچاردسون که جهت شبیه‌سازی بارش از روش زنجیره مارکوف استفاده می‌کنند و در این روش ابتدا تر یا خشک بودن روز بررسی می‌گردد و سپس میزان بارش روز تر براساس بارش‌های روز قبل و بعد محاسبه می‌شود. دومین نوع مدل‌های تولیدکننده داده‌های هواشناسی مدل‌های نوع سریال هستند که توزیع نیمه تجربی را به کار می‌برند و به جهت تولید داده‌های هواشناسی، در ابتدا طول گام‌های خشک و مرطوب شبیه‌سازی می‌شود که مشهورترین آن‌ها مدل LARS-WG است (Babaeian et al., 2004). در این الگو از توزیع‌های نیمه تجربی برای سری‌های روزانه خشک و تر، بارش و تشعشع خورشیدی به نحو مطلوبی استفاده می‌شود. دوره‌های فصلی میانگین‌ها به وسیله سری‌های فوریه متناهی مرتبه ۳ الگوبندی می‌شود و باقیمانده‌های الگو (خطاهای الگو) به وسیله توزیع نرمالی به طور تقریبی محاسبه می‌شود. در این مطالعه به منظور ریزمقیاس‌نمایی داده‌های بزرگ‌مقیاس در خروجی مدل‌های گردش عمومی جو GCM، از مدل LARS-WG استفاده شد. فرآیند تولید داده‌ها در مدل مذکور شامل سه بخش واسنجی، صحت‌سنجی و شبیه‌سازی می‌باشد. برای انجام دو مرحله‌ی اول، آمار ۲۰ ساله (۲۰۰۵-۱۹۸۵) دمای حداقل و دمای حداکثر در ایستگاه انزلی وارد مدل شده و با مقایسه‌ی مقادیر مشاهده شده و شبیه‌سازی شده بر اساس معیارهای ارزیابی، صحت مدل مورد بررسی قرار گرفت. به طور نمونه اگر دمای کمینه از دمای بیشینه بیشتر باشد، خطای مربوطه نشان داده می‌شود و همچنین برازش توزیع‌های نیمه‌تجربی سری‌های داده‌ها به صورت ماهانه و دوره‌های خشک و تر بررسی می‌گردد.

برای اعتبارسنجی مدل LARS-WG با توجه به یک سری پارامترهای آماری از قبیل، میانگین خطای مطلق (MAE)، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و ضریب تعیین  $R^2$  که روابط آن‌ها در زیر آمده است و همچنین بررسی آزمون‌های آماری و Pvalue بین داده‌های مشاهداتی و داده‌های تولیدشده کارایی مدل LARS-WG در این مطالعه تعیین می‌گردد.

با استفاده از مدل HadGEM2-ES و تحت سناریوهای RCP2.6, RCP4.5 و RCP8.5 از گزارش پنجم IPCC شبیه‌سازی مولفه‌های اقلیمی دما طی دو دوره بیست ساله ۲۰۲۱-۲۰۴۰ و

نیز ایستگاه رشت با خطای مطلق ۰,۲۶ و اریبی ۰,۲۳ بیشترین انحراف را داشته است. در مورد عملکرد مدل در پارامتر تابش نیز، ایستگاه رشت با خطای مطلق ۰,۳۱ و اریبی ۰,۰۸ بیشترین انحراف را داشته است. براساس نتایج بدست آمده، مدل لارس از توان لازم جهت مدل‌سازی اقلیمی استان گیلان برخوردار بوده است. همچنین (Ababaiee et al., 2012) نشان دادند در استان-های شمالی عملکرد مدل LARS-WG بهتر از استان‌های جنوبی است در نتیجه با توجه به نتایج به دست آمده در استان گیلان می‌توان از مدل استفاده کرد.

### بحث و نتایج

#### بحث در رابطه با مدل‌های ریزمقیاس نمایی LARS-WG, IDW و SDSM

در این مطالعه با مقایسه میانگین ماهانه مشاهداتی و تولید شده متغیرهای هواشناسی بارش، دمای کمینه، دمای بیشینه با استفاده از پارامترهای آماری RMSE, MAE و R<sup>2</sup> (جدول ۲) مشخص شد که مدل کارایی لازم برای تولید داده‌های ماهانه برای متغیرهای مذکور در ایستگاه انزلی را دارا می‌باشد و با استفاده از سناریوها می‌توان مقادیر آن‌ها را پیش‌بینی کرد. مقدار احتمال (P-Value) به دست آمده از آزمون آماری کلموگروف اسمیرنوف نشان‌دهنده آن بود که در رابطه با دمای بیشینه، دمای کمینه و بارش برای ماه‌های سال در سطح معنی‌داری ۰,۹۵٪ فرض صفر (داده‌های تولید شده مشابه داده‌های مشاهداتی است) صحیح است (جدول ۳).

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |f_i - y_i| \quad (\text{رابطه ۵})$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2}{n}} \quad (\text{رابطه ۶})$$

جدول ۲- بررسی آماری متغیرهای هواشناسی تولید شده و مشاهداتی در

دوره پایه (۱۹۸۵-۲۰۰۵)

آماره خطا سنجی			متغیر اقلیمی
MAE	RMSE	R <sup>2</sup>	
۶/۳	۷/۰۴	۰/۹۹	بارش
۰/۰۹	۰/۱۱	۰/۹۹	دما بیشینه
۰/۳	۰/۴۱	۰/۹۹	دما کمینه

در مورد دما نشان داد که دو مدل دارای توانایی بیشتری در شبیه-سازی دما نسبت به بارش می‌باشند و در تمام مدل‌ها، برای بیشتر ماه‌های گرم، افزایش دما مشاهده گردید. بطورکلی، نتایج نشان دادند که هر سه مدل عملکرد مشابه و خوبی برای شبیه‌سازی و ریزمقیاس کردن داده‌های دما دارند. در مورد بارش نتایج سه مدل تفاوت قابل توجهی نسبت به یکدیگر نشان دادند و شدت کاهش و افزایش بارش نسبت به دوره پایه در مدل IDW نسبت به دو مدل دیگر بیشتر و در مدل LARS-WG نسبت به دو مدل دیگر کمتر است. اما در مورد تبخیر و تعرق محاسبه شده، نتایج دو مدل SDSM و IDW حاکی از افزایش تبخیر و تعرق در تمامی ماه‌ها حتی به میزان ناچیز و حداکثر در اواخر بهار و تابستان می‌باشد (Dehghan et al., 2015).

Salajeghe et al. (2017) دو روش ریزمقیاس نمایی SDSM و LARS-WG را با در نظر گرفتن معیارهای خطا، از لحاظ بارش روزانه، دماهای حداقل و حداکثر روزانه در دو ایستگاه سینوپتیک روانسر و کرمانشاه مقایسه کردند. در هر دو مدل دوره زمانی ۱۹۸۸-۱۹۶۱ و ۱۹۸۹-۲۰۰۱ به ترتیب برای انجام واسنجی و صحت‌سنجی در نظر گرفته شدند. نتایج کلی نشان داد که مدل SDSM در دو ایستگاه موردبررسی، در هر دو مرحله واسنجی و صحت‌سنجی، برای دماهای حداقل و حداکثر روزانه عملکرد بهتری نسبت به الگوی LARS-WG دارد، درحالی‌که برای بارش روزانه، مدل LARS-WG دارای عملکرد بهتری می‌باشد.

در نتیجه برای پاسخ به این سوال که آیا این روش برای این منطقه مناسب است، باید به نتایج ارزیابی مدل در منطقه گیلان استناد کرد. (Jabarjan et al., 2016) به بررسی و ارزیابی توان مدل ریزمقیاس نمایی لارس در داده‌سازی و پیش‌بینی اقلیم استان گیلان پرداختند. براین اساس از داده‌های دیده‌بانی روزانه ایستگاه‌های سینوپتیک این استان که دارای طول داده حداقل ۱۵ سال بوده‌اند، طی سال‌های ۱۹۹۵ تا ۲۰۰۹ میلادی استفاده شده است. متغیرهای مورد بررسی شامل؛ بارش، دمای حداقل، دمای حداکثر و تابش بوده‌اند. نتایج این پژوهش نشان داده است که بیشترین خطای مطلق داده‌های تولیدشده بارش، ۱۴,۴۸ و مربوط به ایستگاه آستارا بوده، همچنین بیشترین اریبی بارش نیز مربوط به همین ایستگاه و به میزان ۴,۳۵- بوده است. اما عملکرد مدل در داده‌سازی دمای حداقل و حداکثر بسیار مطلوب بوده و بیشترین خطای مطلق دمای حداقل مربوط به ایستگاه انزلی و به مقدار ۰,۱۷ و با اریبی ۰,۰۶۵ بوده است. در مورد دمای حداکثر



جدول ۳- مقادیر P Value متغیرهای هواشناسی در مقیاس ماهانه با استفاده

از مدل LARS-WG			
ماه	دمای بیشینه	دمای کمینه	بارش
JAN	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۰۵
FEB	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۴
MAR	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۵
APR	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۴
MAY	۰/۰۴	۰/۰۲	۰/۰۴
JUN	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۵
JUL	۰/۰۵	۰/۰۲	۰/۰۲
AUG	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۳
SEP	۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۰۶
OCT	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۴
NOV	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۴
DEC	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۳

آشکارسازی اثرات تغییر اقلیم بر متغیرهای هواشناسی برای آشکارسازی اثرات تغییر اقلیم بر متغیرهای هواشناسی، میانگین‌های ماهانه تمامی سری‌های زمانی بارش، دمای کمینه و دمای بیشینه با یکدیگر مقایسه شدند. نتایج این مقایسه برای دوره‌ی پایه و سری داده‌های تولید شده برای دوره‌های آینده تحت سناریوهای مختلف به شرح زیر می‌باشد: میانگین دمای کمینه و بیشینه ماهانه در تمامی ماه‌ها و تحت همه‌ی سناریوها نسبت به دوره-ی پایه افزایش را نشان می‌دهند (جدول ۴ و ۵). در بین سناریوهای اقلیمی، سناریو RCP8.5 نسبت به دیگر سناریو ها افزایش دمای بیشتری را نشان می‌دهد. میانگین ماهانه‌ی بارش نیز در تمامی ماه‌ها و تحت همه‌ی سناریوها نسبت به دوره پایه افزایش می‌یابد (جدول ۶). میزان بارش پیش‌بینی شده تحت سناریو RCP2.6 در برخی ماه‌ها بیشتر از RCP4.5 می‌باشد اما در تمامی ماه‌ها کمتر از RCP8.5 است. یکی از اثرات تغییر اقلیم، تغییرات نامنظم بارش در آینده می‌باشد که در جدول (۶) مشخص می‌باشد.

جدول ۴- میانگین ماهانه بیشینه طی دوره‌ی پایه و دوره‌های آینده تحت سناریوهای مختلف انتشار

۲۰۴۰-۲۰۵۹		۲۰۲۰-۲۰۳۹				دوره پایه	ماه
RCP8.5	RCP4.5	RCP2.6	RCP8.5	RCP4.5	RCP2.6		
۱۲	۱۱/۷	۱۱	۱۱/۱	۱۰/۴	۱۰/۸	۸/۹	JAN
۱۳	۱۳/۳	۱۱/۸	۱۲/۴	۱۱/۱	۱۱/۸	۹/۵	FEB
۱۶/۴	۱۵/۶	۱۵/۱	۱۵/۲	۱۴/۷	۱۴/۷	۱۲/۹	MAR
۱۸/۵	۱۸/۴	۱۷/۹	۱۷/۷	۱۷/۶	۱۷/۴	۱۵	APR
۲۴/۵	۲۳/۹	۲۳/۷	۲۳/۴	۲۳/۱	۲۳/۲	۲۱/۱	MAY
۳۱/۲	۳۰/۶	۲۹/۹	۲۹/۵	۲۹/۶	۲۹/۲	۲۷/۲	JUN
۳۳/۷	۳۳/۵	۳۲/۴	۳۲/۱	۳۱/۷	۳۲/۱	۲۹/۲	JUL
۳۴/۴	۳۳/۹	۳۲/۹	۳۲/۵	۳۲/۱	۳۲/۱	۲۹/۴	AUG
۳۲/۲	۳۰/۶	۲۹/۷	۲۹/۳	۲۹/۱	۲۹/۲	۲۶/۴	SEP
۲۶	۲۵/۳	۲۴/۹	۲۴/۴	۲۴/۴	۲۴/۲	۲۲/۳	OCT
۲۰/۶	۲۰	۱۹/۲	۱۹/۱	۱۹	۱۹/۱	۱۷/۴	NOV
۱۵/۸	۱۵/۴	۱۴/۷	۱۴/۸	۱۴/۵	۱۴/۷	۱۲/۸	DEC

جدول ۵- میانگین ماهانه کمینه طی دوره‌ی پایه و دوره‌های آینده تحت سناریوهای مختلف انتشار

۲۰۴۰-۲۰۵۹		۲۰۲۰-۲۰۳۹				دوره پایه	ماه
RCP8.5	RCP4.5	RCP2.6	RCP8.5	RCP4.5	RCP2.6		
۷/۲	۷/۱	۶/۱	۶/۸	۶/۲	۶/۳	۴	JAN
۸/۹	۸/۵	۷/۸	۸/۵	۷/۴	۷/۹	۵/۸	FEB
۱۱/۲	۱۰/۸	۱۰/۵	۱۰/۵	۱۰	۹/۹	۸/۳	MAR
۱۴/۶	۱۴/۱	۱۴/۱	۱۴	۱۳/۵	۱۳/۷	۱۱/۴	APR
۱۹/۴	۱۹	۱۸/۸	۱۸/۵	۱۸/۴	۱۸/۴	۱۶/۶	MAY
۲۵/۶	۲۵	۲۴/۵	۲۴/۱	۲۴	۲۳/۸	۲۲	JUN
۲۷/۷	۲۷/۱	۲۶/۵	۲۶/۴	۲۶	۲۶/۱	۲۳/۷	JUL
۲۸/۱	۲۷/۵	۲۶/۷	۲۶/۳	۲۶	۲۶/۲	۲۳/۷	AUG
۲۵/۹	۲۵	۲۳/۸	۲۳/۹	۲۳/۶	۲۳/۷	۲۱/۱	SEP
۲۰/۷	۲۰	۱۹/۶	۱۹/۱	۱۹	۱۹/۲	۱۷/۴	OCT
۱۴/۲	۱۳/۶	۱۳/۲	۱۳/۳	۷/۱۲	۱۳	۱۱/۵	NOV
۱۰/۸	۹/۹	۹/۶	۱۰/۲	۹/۹	۹/۳	۷/۷	DEC

جدول ۶- میانگین ماهانه بارش طی دوره‌ی پایه و دوره‌های آینده تحت سناریوهای مختلف انتشار

ماه	دوره پایه	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5
JAN	۱۴۰	۱۴۶	۱۵۲/۹	۱۵۱/۹	۱۴۸/۷	۱۵۰/۵	۱۵۱/۷
FEB	۹۲/۴	۹۹/۵	۹۹/۲	۱۰۲	۱۰۵/۲	۱۰۳/۸	۱۰۷/۸
MAR	۶۳/۱	۸۱/۲	۸۰	۷۹/۴	۸۱/۷	۷۹/۴	۸۰/۲
APR	۸۲/۹	۹۹/۵	۹۹/۴	۱۰۳/۵	۱۰۴	۹۸/۸	۱۰۴/۵
MAY	۲۰/۸	۴۱/۷	۴۲/۳	۳۷/۱	۴۵/۷	۴۲/۱	۴۵
JUN	۳۳/۰	۳۹/۸	۳۷/۶	۴۰/۳	۴۷/۴	۳۷/۳	۴۱/۴
JUL	۳۴/۶	۴۰/۳	۳۸/۶	۳۸/۹	۴۳/۷	۴۱/۳	۳۷/۴
AUG	۷۷/۳	۸۳	۸۵/۱	۸۳/۱	۸۴/۸	۸۳/۵	۸۹/۶
SEP	۲۲۷/۶	۲۴۶/۳	۲۲۶/۳	۲۴۶/۹	۲۴۱/۲	۲۴۱/۵	۲۴۳/۷
OCT	۲۳۶/۴	۲۴۷/۹	۲۵۰/۹	۲۴۷/۴	۲۴۹	۲۴۸/۲	۲۵۳/۵
NOV	۲۳۶/۷	۲۴۹/۹	۲۵۱/۸	۲۵۳/۱	۲۵۴/۱	۲۵۰/۴	۲۵۴/۱
DEC	۲۴۸	۲۶۰/۵	۲۵۵/۷	۲۵۷/۷	۲۵۷	۲۶۰	۲۶۱/۴

متغیرهای مورد نیاز محاسبه تبخیرتغرق مرجع به روش فائو- پنمن- مانیتث در مقیاس ماهانه در دوره‌ی فعلی ۲۰۰۵-۱۹۸۵ محاسبه شد. در گام بعدی مقادیر تبخیرتغرق مرجع ( $ET_0$ ) به روش هارگریوز- سامانی محاسبه شد. سپس ضرایب تبدیل ( $G$ )

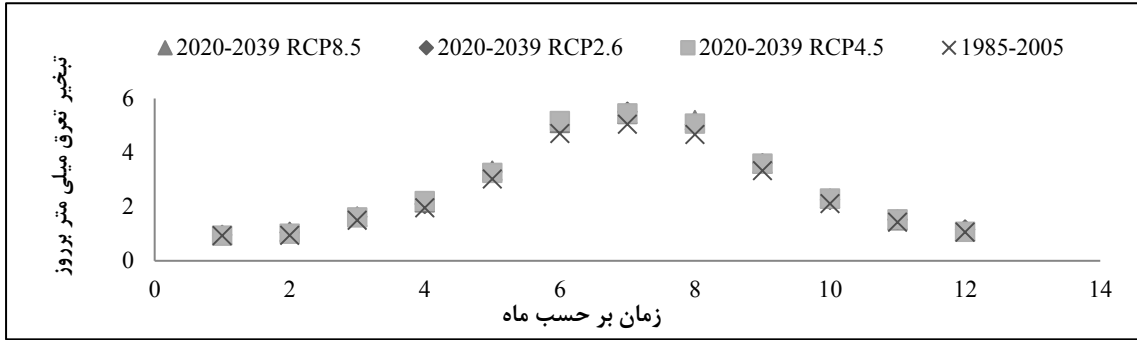
متغیرهای مورد نیاز محاسبه تبخیرتغرق مرجع به روش فائو- پنمن- مانیتث در مقیاس ماهانه در دوره‌ی فعلی ۲۰۰۵-۱۹۸۵ محاسبه شد. در گام بعدی مقادیر تبخیرتغرق مرجع ( $ET_0$ ) به روش هارگریوز- سامانی محاسبه شد. سپس ضرایب تبدیل ( $G$ )

جدول ۷- محاسبه‌ی تبخیرتغرق مرجع به روش فائو- پنمن- مانیتث و هارگریوز سامانی دوره پایه و ضریب  $G$

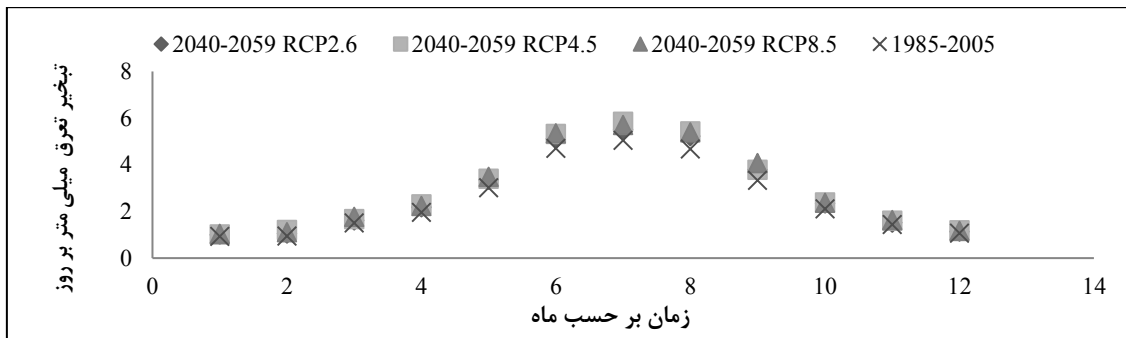
ماه	فائو- پنمن - مانیتث	هارگریوز- سامانی	ضریب تبدیل
January	۰/۹	۰/۸	۱/۱
February	۰/۹	۰/۸	۱/۲
March	۱/۵	۱/۰	۱/۶
April	۲/۰	۰/۹	۲/۱
May	۳/۰	۱/۲	۲/۵
June	۴/۷	۱/۵	۳/۱
July	۵/۰	۱/۶	۳/۱
August	۴/۷	۱/۶	۲/۸
September	۳/۳	۱/۵	۲/۲
October	۲/۱	۱/۳	۱/۶
November	۱/۴	۱/۲	۱/۲
December	۱/۰	۱/۰	۱/۰
Average	۲/۶	۱/۲	۲/۱

داده‌های مورد نظر برای محاسبه تبخیرتغرق مرجع توسط نرم‌افزار LARS-WG تحت سناریوهای مذکور محاسبه شد. تبخیر تغرق مرجع استاندارد دوره‌ی گذشته (۲۰۰۵-۱۹۸۵) با دوره‌های (۲۰۲۰-۲۰۳۹) و (۲۰۴۰-۲۰۵۹) تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 مقایسه شده است

داده‌های مورد نظر برای محاسبه تبخیرتغرق مرجع توسط نرم‌افزار LARS-WG تحت سناریوهای مذکور محاسبه شد. تبخیر تغرق مرجع استاندارد دوره‌ی گذشته (۲۰۰۵-۱۹۸۵) با دوره‌های (۲۰۲۰-۲۰۳۹) و (۲۰۴۰-۲۰۵۹) تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 مقایسه شده است



شکل ۲- نمودار تبخیر تعرق مرجع در دوره‌ی فعلی (۱۹۸۵-۲۰۰۵) و دوره‌ی آینده (۲۰۲۰-۲۰۳۹) تحت سناریوهای RCP2.6, RCP4.5 و RCP8.5



شکل ۳- نمودار تبخیر تعرق مرجع در دوره‌ی فعلی (۱۹۸۵-۲۰۰۵) و دوره‌ی آینده (۲۰۴۰-۲۰۵۹) تحت سناریوهای RCP2.6, RCP4.5 و RCP8.5

جدول ۸- درصد تغییرات مقدار تبخیر تعرق مرجع (ET0) تحت سناریوهای مختلف در ماه‌های مختلف در دوره‌های آینده

۲۰۴۰-۲۰۵۹			۲۰۲۰-۲۰۳۹			ماه
RCP8.5	RCP4.5	RCP2.6	RCP8.5	RCP4.5	RCP2.6	
درصد تغییرات						
۱۱/۵	۸/۵	۷/۸	۲/۸	۰/۴	۳/۲	JAN
۱۷/۹	۲۷/۶	۱۱/۸	۱۳/۶	۶/۴	۱۲/۰	FEB
۱۷/۵	۱۱/۶	۷/۹	۸/۹	۷/۱	۸/۵	MARCH
۱۳/۶	۱۷/۲	۱۱/۲	۱۰/۱	۱۲/۸	۷/۰	APR
۱۵/۴	۱۲/۴	۱۱/۴	۱۰/۲	۷/۴	۸/۸	MAY
۱۳/۸	۱۳/۰	۸/۷	۸/۴	۹/۸	۷/۰	JUN
۱۲/۸	۱۵/۷	۹/۰	۷/۵	۷/۸	۹/۰	JUL
۱۵/۵	۱۶/۱	۱۱/۷	۱۱/۴	۸/۷	۷/۷	AUG
۲۲/۰	۱۳/۵	۱۳/۶	۷/۹	۷/۹	۸/۴	SEP
۱۲/۴	۱۲/۶	۱۱/۰	۹/۲	۹/۳	۶/۷	OCT
۱۳/۹	۱۱/۵	۶/۱	۵/۱	۷/۰	۶/۸	NOV
۹/۰	۱۱/۶	۷/۰	۲/۹	۱/۲	۹/۰	DEC



شکل ۴- تغییرات رطوبت نسبی و کمبود اشباع در مقیاس بلندمدت ماهانه‌ی دوره‌ی فعلی (۱۹۸۵-۲۰۰۵)

از آنجایی که برنج کشت استراتژیک استان گیلان محسوب می‌شود، با در نظر گرفتن پیش‌فرض‌های نرم‌افزار CROPWAT به

این پارامتر در فصول بهار و تابستان افزایش و در فصول پاییز و زمستان کاهش یافته است. نکته قابل توجه در شکل‌های (۲ و ۳) پیش‌بینی افزایش میانگین‌های بلند مدت تبخیر تعرق تحت هر دو سناریو در فصول بهار و تابستان است. همچنین با گذشت از دوره-ی بیست ساله‌ی اول، میزان تبخیر تعرق مرجع پیش‌بینی شده تحت تمامی سناریوها از واقعیت فاصله‌ی بیشتری می‌گیرد که ناشی از تجمع گازهای گلخانه‌ای و افزایش به دام انداختن انرژی گرمایی خورشید می‌باشد که خود موجب گرم‌تر شدن کره زمین و افزایش تبخیر تعرق مرجع می‌گردد. بیشترین درصد تغییرات نرمال بلندمدت تبخیر تعرق مرجع در ماه جولای رخ می‌دهد و از آنجایی که باید با میانگین بلندمدت کمبود اشباع رابطه‌ی عکس داشته باشد، این پدیده قابل توجیه است (شکل ۴). در جدول (۸)، درصد تغییرات نرمال بلندمدت تبخیر تعرق مرجع تحت سناریو-های مختلف نشان داده شده است که این تغییرات نامنظم می‌باشد.

#### بررسی تغییرات نیاز آبیاری برنج

در دوره‌ی (۲۰۳۹-۲۰۲۰) نیاز آبیاری ۰ تا ۳۱٪ نسبت به دوره‌ی پایه افزایش می‌یابد و در دهه‌ی چهارم فصل رشد گیاه بیشترین تغییرات رخ خواهد داد. همچنین در دوره‌ی بعدی (۲۰۵۹-۲۰۴۰) نیاز آبیاری ۰ تا ۴۵٪ نسبت به دوره‌ی پایه افزایش خواهد داشت و در دهه‌ی پانزدهم فصل رشد بیشترین تغییرات رخ می‌دهد (جدول ۹).

محاسبه نیاز آبیاری آن در دوره گذشته و آینده پرداخته شد. تغییرات نیاز آبیاری بر حسب درصد در جدول (۹) نمایش داده شده است.

#### بررسی محاسبه‌ی تبخیر تعرق مرجع دوره‌ی فعلی

باتوجه به جدول (۷) در فصل زمستان کمترین مقادیر نرمال‌های بلندمدت ۲۰ ساله تبخیر تعرق مرجع وجود دارد و در فصول بهار و تابستان افزایش می‌یابد. بیشترین مقدار در ماه جولای (۱۰ تیر تا ۱۰ مرداد) می‌باشد و پس از آن کاهش می‌یابد. ساعات آفتابی، تابش و دما رابطه‌ی مستقیم، امارطوبت نسبی رابطه‌ی عکس با تبخیر تعرق دارد. از آنجاکه سرعت باد تغییرات زیادی نداشته است در نتیجه بر تغییرات میانگین تبخیر تعرق ماهانه نیز موثر نمی‌باشد. همان‌طور که در جدول (۷) مشاهده می‌شود مقادیر تبخیر تعرق مرجع به روش هارگریوز- سامانی کمتر از مقادیر آن به روش فائو پنمن-مانتیت است (به غیر از سه ماه فوریه، آوریل و مارچ). از آنجاکه رابطه فائو-پنمن-مانتیت متاثر از متغیرهای هواشناسی بیشتری است و از دقت بالاتری برخوردار می‌باشد، با واقعیت تطابق بیشتری دارد. باتوجه به توضیحات بالا تفاوت معنی‌دار ضریب تبدیل در ماه جولای از بقیه‌ی ماه‌ها مشاهده می‌شود.

#### مقایسه‌ی تبخیر تعرق مرجع دوره‌ی فعلی با دوره‌های آینده

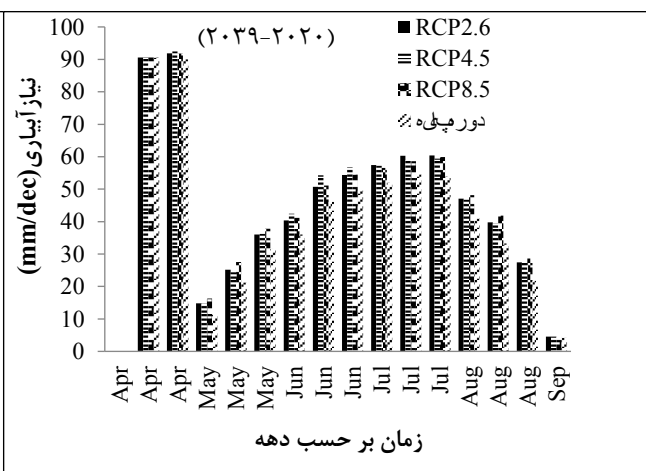
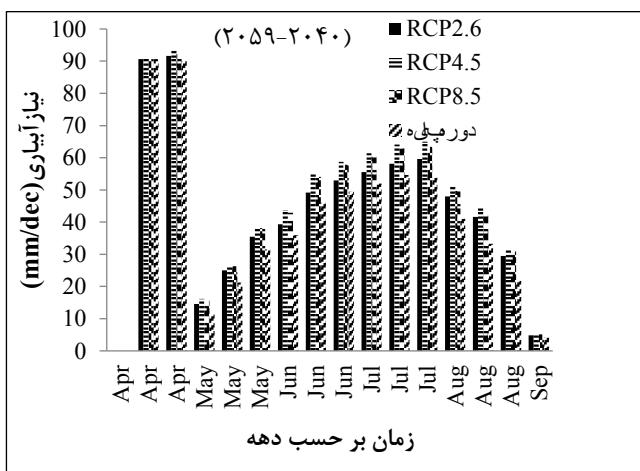
با نگاه اجمالی به تغییرات نرمال ماهانه تبخیر تعرق مرجع در دوره (۲۰۳۹-۲۰۲۰) با دوره‌ی پایه (شکل ۲)، مشاهده شد که

جدول ۹- درصد تغییرات نیاز آبیاری دوره‌های آینده نسبت به دوره‌ی پایه تحت تمام سناریو ها

۲۰۴۰-۲۰۵۹			۲۰۲۰-۲۰۳۹			مراحل رشد	ماه
RCP8.5	RCP4.5	RCP2.6	RCP8.5	RCP4.5	RCP2.6		
درصد تغییرات							
۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	-	Apr
۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	جوانه زنی	Apr
۲/۴	۴/۱	۱/۸	۲/۱	۲/۸	۲/۱	جوانه زنی	Apr
۳۸/۰	۴۳/۴	۲۹/۲	۴۴/۲	۳۰/۰	۳۱/۰	جوانه زنی	May
۲۴/۰	۲۳/۱	۱۷/۹	۲۹/۷	۱۵/۱	۱۸/۹	آغازین	May
۲۰/۶	۲۰/۶	۱۲/۳	۱۹/۶	۱۴/۶	۱۳/۹	آغازین	May
۱۹/۲	۲۱/۱	۹/۲	۱۴/۴	۱۷/۸	۱۲/۲	توسعه	Jun
۱۷/۳	۱۹/۷	۶/۷	۱۰/۸	۱۷/۸	۱۰/۰	توسعه	Jun
۱۶/۸	۱۸/۶	۷/۱	۱۰/۱	۱۴/۵	۹/۹	توسعه	Jun
۱۶/۰	۱۸/۱	۶/۷	۸/۶	۱۰/۰	۱۰/۴	میانی	Jul
۱۵/۲	۱۷/۴	۶/۴	۷/۳	۷/۹	۱۰/۴	میانی	Jul
۱۷/۶	۲۰/۶	۱۰/۶	۱۱/۱	۱۰/۲	۱۲/۰	میانی	Jul
۲۱/۲	۲۵/۶	۱۷/۱	۱۷/۶	۱۴/۱	۱۴/۸	میانی	Aug
۲۶/۱	۳۳/۳	۲۴/۹	۲۵/۵	۱۸/۶	۱۹/۵	انتهایی	Aug
۴۲/۴	۴۴/۷	۳۵/۹	۳۱/۸	۲۶/۲	۲۶/۳	انتهایی	Aug
۲۱/۴	۱۶/۷	۱۴/۳	۹/۵	۹/۵	۹/۵	انتهایی	Sep

سازمان خواروبار جهانی ۳۰ روز در نظر گرفته شده است که بیشترین نیاز آبیاری برنج مربوط به همین دوره است (شکل ۵). همچنین از این زمان به بعد کاهش بارش (جدول ۶) و افزایش دما (جدول ۵) مشاهده می‌شود. در نتیجه نیاز آبیاری نیز افزایش خواهد یافت. از آنجایی که این مرحله از حساسیت بالایی برخوردار است، باید از بروز هرگونه تنش آبی جلوگیری شود. نیاز آبیاری در دوره‌های آبی تحت تمامی سناریو ها نسبت به دوره‌ی پایه افزایش می‌یابد

به دلیل تغییر اقلیم زمان کشت و طول فصل رشد تغییر خواهد کرد که موضوع بحث این پژوهش نیست اما این نکته حائز اهمیت است که با افزایش دمای پیش‌بینی شده، مراحل رشد گیاهان به طور کلی سریعتر از حالت عادی رخ می‌دهند و طول دوره کشت کاهش می‌یابد در نتیجه نیاز آبیاری به طور کلی کاهش می‌یابد. در نهایت با توجه به اقلیم منطقه، برآیند این دو اثر مشخص خواهد شد. به طور متوسط طول دوره‌ی کشت برنج در منطقه‌ی بندرانزلی ۱۵۰ روز و تاریخ شروع کشت آن از ۱۵ اردیبهشت ماه می‌باشد. دوره‌ی جوانه‌زنی برنج طبق استانداردهای



شکل ۵- نیاز آبیاری دوره‌های پایه و آینده تحت تمام سناریوها

(۱۹۸۵) میانگین سالانه دمای بیشینه و کمینه به ترتیب به میزان ۳/۲ و ۲/۸ درجه سانتیگراد افزایش می‌یابد. همچنین میزان تغییرات ماهانه‌ی بارش تحت همه‌ی سناریوها طی دوره‌های (۲۰۳۹-۲۰۲۰) و (۲۰۴۰-۲۰۵۹) به ترتیب ۱۱/۸ و ۱۳/۶ میلی-متر نسبت به دوره پایه خواهد بود. روند تغییرات تبخیرتقرق مرجع صعودی است و دامنه‌ی تغییرات (۱۳/۶٪ - ۰/۴٪) و (۲۷/۶٪ - ۰/۶٪) می‌باشد. این بدین معناست که در خوشبینانه‌ترین حالت (RCP2.6) طی دوره‌های (۲۰۳۹-۲۰۲۰) و (۲۰۴۰-۲۰۵۹)، کمترین تغییرات به میزان ۰/۴٪ و ۶/۱٪ رخ خواهد داد و در بدبینانه‌ترین حالت آن (RCP8.5) بیشترین میزان تغییرات ۱۳/۶ و ۲۷/۶ پیش‌بینی می‌شود. روند تغییرات تبخیرتقرق مرجع در دوره‌ی فعلی و دوره‌های آینده تحت تمام سناریوها یکسان بوده و همگی در ماه جولای به بیشترین مقدار می‌رسد. پس از آن روند کاهشی پیدا می‌کند و میزان تبخیرتقرق پیش‌بینی شده در سناریوهای RCP8.5 و RCP4.5 بیشتر از مقادیر آن در سناریو RCP2.6 است و این امر بر مبنای فرضیات این سناریوها منطقی است.

در ماه جولای (۱۰ تیر تا ۱۰ مرداد) که دما به بیشترین

بررسی معنی‌داری تغییرات نیاز آبیاری و تبخیرتقرق مرجع دوره‌های آبی نسبت به دوره پایه برای بررسی معنی‌داری افزایش تبخیرتقرق و نیاز آبیاری از آزمون تی استیودنت جفت نمونه‌ای استفاده شد به این صورت که فرض اولیه برابر بودن میانگین آن‌ها در دوره پایه و دوره آبی است. اما به دلیل آنکه قدر مطلق آماره محاسباتی از آماره بحرانی بزرگتر است فرض اولیه رد می‌شود. در واقع افزایش تبخیرتقرق و نیاز آبیاری نسبت به دوره پایه در سطح خطا ۵٪ معنی‌دار است. همچنین برای بررسی معنی‌داری افزایش دمای کمینه، دمای بیشینه و بارش از آزمون آماری کلموگروف اسمیرنوف استفاده شد و نتایج نشان داد افزایش دمای کمینه و بیشینه نسبت به دوره پایه در سطح خطای ۵٪ معنی‌دار است.

### نتیجه‌گیری

بر اساس این پژوهش در دوره (۲۰۲۰-۲۰۳۹) میانگین سالانه دمای بیشینه و کمینه به ترتیب به میزان ۲/۲ و ۲/۱ درجه سانتی‌گراد نسبت به دوره پایه (۱۹۸۵-۲۰۰۵) افزایش می‌یابد.

همچنین در دوره (۲۰۴۰-۲۰۵۹) نسبت به دوره پایه (۲۰۰۵-۲۰۰۵)

پژوهش در آن است که مقادیر آن مشخصا در منطقه انزلی حاصل گردیده است که از مناطق استراتژیک تولید برنج در ایران می-باشد.

روش مذکور چشم اندازی از اثرات تغییر اقلیم بر آبیاری به کشاورزان ارائه می دهد و موجب می گردد تا طراحان سیستم های آبیاری و سازه های آبی با دقت نظر در افزایش تبخیر تعرق و نیاز آبیاری این منطقه، آینده نگری بیشتری نسبت به مسئله داشته باشند و مدیریت و برنامه ریزی مطمئن تری را در نظر بگیرند.

افزایش نیاز آبیاری در آینده زنگ خطری برای برنج کاران آن منطقه محسوب می شود لذا توصیه می گردد هرگونه اقدام لازم در راستای سازگاری با این پیامد تغییر اقلیم مانند بازسازی و تعمیرات سازه های آبی موجود، استفاده از رقم های سازگارتر و افزایش آگاهی و بینش کشاورزان اتخاذ گردد. همچنین توصیه می شود هنگام طراحی هر نوع سازه آبی در این منطقه اثرات تغییر اقلیم بر نیاز آبیاری و تبخیر تعرق در نظر گرفته شود.

### سپاس گذاری

از زحمات و راهنمایی ارزشمند جناب آقای دکتر امیری در انجام این تحقیق تشکر می نمایم. همچنین این پژوهش با همکاری سازمان هواشناسی کشور انجام شده است. بدین وسیله قدردانی خود را از همکاری این سازمان اعلام می داریم.

"هیچ گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

### REFERENCES

- Ababaiee, B. Mirzaiee, F. & Sohrabi, T. (2012). Assessment of LARS-WG model at 12 Coastal meteorology station in Iran. *Iranian Water Research Journal*, 9(5), 217-222. (In Farsi)
- Acharjee, T. K. Ludwig, F. van Halsema, G. Hellegers, P. and Supit, I. (2017). Future changes in water requirements of Boro rice in the face of climate change in North-West Bangladesh. *Agricultural water management*, 194, 172-183.
- Alizadeh, A. (2013). *Soil, Water, Plant Relationship*. (4th Ed). Mashhad: Sadjad University of Technology. (In Farsi)
- Allen, R. G, Periera, L. S. Raes, D. and Smith, M. (1998). Crop Evapotranspiration (guidelines for computing crop water requirements), *FAO Irrigation and Drainage Paper*, (No. 56), (pp.5 - 9). Rome, Italy.
- Amiri, A. and Siah, M. (2009). *Design of Irrigation Canals and Related Structure*. (3rd Ed). (pp. 32-49). Tehran: University of Tehran. (In Farsi)
- Arshad, A. Zhang, Z. Zhang, W. and Gujree, I. (2019). Long-Term Perspective Changes in Crop Irrigation Requirement Caused by Climate and Agriculture Land Use Changes in Rechna Doab, Pakistan. *Water*, 11(8), 1567.
- 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., 98pp.
- Dehghan, Z. Fathian, F. Islamian, S. (2015). Assessment of comparison assessment of LARS-wg, SDSM & IDW for Simulating and Downscaling Temperature and Rain. *Soil and Water science and agricultural industrie*, 29(5), 1376-1390. (In Farsi)
- Döll, P. (2002). Impact of climate change and variability on irrigation requirements: a global perspective. *Climatic change*, 54(3), 269-293.
- Doorenbos, J. Pruitt, W. O. (1984). Guidelines for predicting crop water requirements, *FAO Irrigation and Drainage Paper* 24, Rome, Italy.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2019). *Representative Concentration Pathways (RCPs.)*. Retrieved November 4, 2019, from <https://sedac.ciesin.columbia.edu/ddc/ar5/scenario/process/RCPs.html>.
- Islam, A. T. Shen, S. H. and Yang, S. B. (2018).

مقدار خود می رسد، رطوبت نسبی به کمترین مقدار خود خواهد رسید (شکل ۴). این بدان معناست که تفاوت بخار موجود در جو با حداکثر مقدار بخاری که در همان درجه ی هوا می تواند وجود داشته باشد، بیشینه است و اتمسفر بالاترین ظرفیت بخارپذیری را دارد. از این رو بیشترین تبخیر در این ماه اتفاق می افتد. بعد از این ماه روند نزولی در میزان تبخیر تعرق مرجع رخ می دهد و این طبق موارد مذکور منطقی است.

برنج، کشت غالب و استراتژیک استان گیلان (انزلی) محسوب می شود. از آنجایی که خودکفایی در محصولات استراتژیک تضمین کننده امنیت، استقلال و ثبات سیاسی کشور می باشد، در این تحقیق تلاش شده اثرات تغییر اقلیم بر نیاز آبیاری این محصول ویژه در این منطقه مورد بررسی قرار گیرد. نتایج این پژوهش نشان داد افزایش نیاز آبیاری خالص برنج طی دوره های (۲۰۳۹-۲۰۲۰) و (۲۰۵۹-۲۰۴۰) نسبت به دوره پایه به ترتیب ۰ تا ۳۱٪ و ۰ تا ۴۵٪ می باشد.

نتایج این تحقیق در مقایسه با (Obada et al. (2017) و (Acharjee et al. (2017) که نشان دادند در نتیجه تغییر اقلیم تبخیر تعرق مرجع افزایش می یابد، همخوانی دارد. همچنین در مقایسه با نتایج تحقیق (Döll (2002), Arshad et al. (2019), (Islam et al. (2018) و (Darzi-Naftchali et al. (2016) که ثابت کردند در نتیجه تغییر اقلیم، نیاز آبیاری خالص، درجه حرارت و تقاضای آب افزایش خواهند یافت نیز همخوانی دارد. برتری این



- Predicting design water requirement of winter paddy under climate change condition using frequency analysis in Bangladesh. *Agricultural Water Management*, 195, 58-70.
- Jahanbakhsh, S. Movahed danesh, A. Molavi, A. (2001). Analysis of estimation models Of Evapotranspiration on Tabriz Climatological Station. *Journal of Agricultural Science*. 11(2), 51-65. (In Farsi)
- Jones, C. D. Hughes, J. K. Bellouin, N. Hardiman, S. C. Jones, G. S. Knight, J. Liddicoat1, S. O'Connor, F. M. Andres, R. J. Bell, C. Boo, K. O. Bozzo, A. Butchart, N. Cadule, P. Corbin, K. D. Doutriaux-Boucher, M. Friedlingstein, P. Gornall, J. Gray, L. Halloran, P. R. Hurtt, G. Ingram, W. J. Lamarque, J.F. Law, R. M. Meinshausen, M. Osprey, S. Palin, E. J ParsonsChini, L. Raddatz, Sanderson, M. G. Sellar, A. A. Schurer, A. Valdes, P. Wood, N. Woodward, S. Yoshioka, M and M. Zerroukat. (2011). The HadGEM2-ES implementation of CMIP5 centennial simulations. *Geoscientific Model Development*, 4(3), 543-570.
- Mir Sane, M. Masah, A. Bloukazari, S. (2010). Assessment of Climate Change Impact on Net Water Requirement for Maize In The Future. In: Proceedings of 3<sup>rd</sup> National Conference of Irrigation Network Of Irrigation and Drainage 1-3 March. Shahid Chamran University. Ahvaz, Iran. (In Farsi)
- Darzi-Naftchali, A., Maldar-Badeli, M., Ziatabar-Ahmadi, M., & Karandish, F. (2015). Analysis Impacts of Climate change on Sustainable agriculture in MAZANDARAN Prvince. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 9(6), 994-1004. (In Farsi)
- Darzi-Naftchali, A., & Karandish, F. (2016). Management of rice cultivation under climate change at Mazandaran Province, *Water Research in Agriculture*, 30(3), 333-346. (In Farsi)
- Obada, E. Alamou, E. Chabi, A. Zandagba, J. and Afouda, A. (2017). Trends and Changes in Recent and Future Penman-Monteith Potential Evapotranspiration in Benin (West Africa). *Hydrology*, 4(3), 38.
- Piri, H. Taher, M. (2019). Evaluation of 24 models of reference evapotranspiration in different climates of Iran. *Iranian Journal of Eco Hydrology*, 3(6), 611-622. (In Farsi)
- Sarafroozeh, F. Jalali, M. Jalali, T. and Jamali, A. (2014). Assessing the effects of future climate change on wheat water consumption in Tabriz. *Geographic Space*, 2 (37 and 37): 81-96 (In Farsi)
- Simaiee, A. Homaiee, M. Noroozi, A. (2013). Assessment SEBAL Model to Evapotranspiration Estimation by MODIS and TM Data. *Water and Soil Resources Conservation*. 2 (4), 29-40. (In Farsi)
- Tavakoli, A. Ebrahimi, H., Tavskoli, E. (2011). Impact Of Climate Change On Agricultural Water Consumption In TORBAT E HEIDARIYE Between The Years Of 2071 and 2100 In: Proceedings of The First National Congress Meteorology And Agricultural Water Management, Tehran, University Of Tehran, Iran. (In Farsi)
- Zahedi, M. and Khatibi, M. (2008). *Hydrology*, Tehran: Samt. (In Farsi)
- Salaajegheh, A. Rafiei, E. Moghaddamia, A. Malekian, A. Araghinejad, SH. Khalighi, SH. Pourjam. A. (2017). Performance assessment of LARS-WG and SDSM downscaling models in simulation of precipitation and temperature. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 2(48), 253-262. (In Farsi)
- Jabarian et al. (2016). Downscaling the atmospheric general circulation model's data and its application in simulating the climatic parameters (Case study: Guilan province). *Journal of Natural Environment*, 1(69), 143-158. (In Farsi)