تأثیر تغییر اقلیم بر تبخیر-تعرق درشرایط گرم‌ومرطوب(مطالعه موردی:جنوب‌وجنوب‌شرق ایران)

عاطفه ارفع[۱] عباس خاشعی سیوکی[۲*] محسن حمیدیان‌پور[۳]

۱- دانشجو دکتری، سازه‌های آبی دانشگاه تربیت مدرس

۲- استاد، گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه بیرجند

۳- استادیار، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه سیستان و بلوچستان

تاریخ دریافت: ۹۸/۱۲

تاریخ پذیرش: ۹۹/۱۲

نوع مقاله: پژوهشی

چکیده

با توجه به پدیده تغییر اقلیم و در پی آن تغییرات نیازآبی گیاه شناخت و ارزیابی تغییر اقلیم در دهه‌های آینده با هدف برنامه‌ریزی محیطی مناسب در جهت سازگاری با شرایط آتی اقلیم و کاهش اثرات آن امری کاملاً بایسته می‌باشد. عمده ترین عامل مصرف منابع آبی در مناطق خشک و نیمه خشک کشاورزی و به تبع آن تبخیر-تعرق است، لذا آگاهی از روند تغییرات و پیش بینی آن نقش موثری را در برنامه ریزی، توسعه و مدیریت منابع آب ایفا می‌کند. پژوهش پیش روی با استفاده از مدل ریز مقیاس نمایی لارس دبلیو جی نخست مقدار دما را در سه دوره‌ی زمانی (۳۰-۲۰۱۱، ۶۵-۲۰۴۶ و ۱۰۰-۲۰۸۱) با استفاده از چهار مدل گردش عمومی جو (IPCM، INCM3، HADCM3 و NCCCSM) در سه سناریوی مختلف (جهان همراه با توسعه پایدار، جهان ثروتمند و جهان جداشده) محاسبه کرده سپس تغییرات تبخیر-تعرق را در جنوب شرق کشور در سه دوره ذکر شده برای ۸ ایستگاه مورد بررسی قرار می‌دهد. بدین منظور از معادله تورنت‌وایت برای محاسبه تبخیر-تعرق استفاده شد. که ابتدا مقادیر دمای ماهانه چهار مدل با سه سناریوی برای دوره‌ی آتی ریزمقیاس شدند. نتایج نشانگر روند افزایشی دما و در پی آن افزایش تبخیر- تعرق در دوره‌ی آتی است. افزایش تبخیر-تعرق به طور متوسط درمدل NB1 از دیگر مدل‌ها کمتر بوده و در ایستگاه کرمان کمترین مقدار و در ایرانشهر بیشترین مقدار را دارد. تغییرات نسبی تبخیر-تعرق تا سال ۲۰۹۹ در ایستگاه کرمان ۱۰/۶۹۲ (mm/day) و در ایستگاه ایرانشهر ۲۳/۱۹۴ (mm/day) می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: آب و هوا، اقلیم گرم و مرطوب، تبخیر-تعرق، تغییر اقلیم.

مقدمه

سه چالش اساسی جامعه جهانی در قرن بیست و یکم عبارتند از تغییر اقلیم، کمبود آب و بیابان‌زایی. هیات بین‌الدول تغییر اقلیم در گزارش ارزیابی چهارم (IPCC[۲]) تایید می‌کند که تغییر اقلیم می‌تواند بوسیله تغییر متوسط اقلیمی و یا تغییرپذیری خصوصیات آن ایجاد شود. به طور کلی IPCC در مسئله تغییر اقلیم به هر تغییری در اقلیم در طول زمان تاکید دارد که این تغییرات می‌تواند هم دارای منشاء طبیعی باشد و هم انسانی (IPCC, 2007). پژوهش‌های زیادی نشان داده‌اند که تغییر اقلیم با افزایش میزان CO_2 مرتبط است که چه بسا سهم کشورهای پیشرفته و توسعه‌یافته متفاوت می‌باشد و آسیب‌های عمده‌ای در مناطق عرض‌های پایین ایجاد می‌کند (Reilly et al., 2001; Darwin & Kennedy, 2000; Parrey et al., 2004). گزارش‌های ارزیابی چهارم IPCC حاکی از آن است که به دلیل افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای در دهه‌های گذشته در جو زمین، خروج امواج حرارتی از زمین با موانع بیشتری روبرو شده است که افزایش دمای هوا را به دنبال داشته است. این افزایش به میزان ۰/۳ تا ۰/۶ درجه سانتی‌گراد در طول قرن گذشته بوده، که در دهه‌های اخیر شتاب بیشتری یافته است. این در حالی است که اگر انتشار این گازها کاهش نیابد متوسط دمای سطحی کره زمین ۱ تا ۳/۵ درجه سانتی‌گراد تا سال ۲۱۰۰ افزایش می‌یابد. به نظر می‌رسد این گرمایش جهانی سبب افزایش مقادیر حدی و شرایط بد آب و هوایی در دوره‌های نه چندان دور می‌شود. دگرگونی در مقادیر حدی باعث بروز تغییرات اساسی اجتماعی و زیست محیطی می‌گردد. طبق گزارشات سازمان ملل، فراوانی وقوع سیل و دیگر شرایط حدی اقلیمی هر ساله دو برابر می‌شود.

* نویسنده مسئول: عباس خاشعی سیوکی Abbaskhashei@birjand.ac

2. The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-05]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1399.8.4.1.2]

کشور ایران دارای اقلیم خشک و نیمه‌خشک است که ریزش‌های کمِ جوی، رگبارهای شدید، وقوع جریان‌های سیلابی و تبخیر (تبخیر-تعرق) زیاد از ویژگی‌های آن به شمار می‌آید پژوهش حاضر سعی در ارزیابی و پهنه بندی تبخیر-تعرق گیاه و هم تبخیر-تعرق (گیاه مرجع) به عنوان ابزاری اساسی برای مدیریت آب دارد. رطوبت نسبتاً بالا و برودت هوا در کاستن از پتانسیل تبخیر-تعرق نقش اساسی دارد. وجود بی نظمی و نوسانات زیاد در سری های زمانی بارندگی سالانه از عوامل اصلی کمبود منابع آب و به تبع آن افزایش تبخیر-تعرق در مناطق خشک و نیمه خشک ایران است (زارع ابیانه، ۱۳۸۹).

انگیزه تولید سری‌های زمانی آب-هوایی طولانی مدت استفاده آن در تحلیل ریسک مخاطرات هیدرولوژیکی و کشاورزی مانند محاسبه دوره بازگشت شرایط حدی (سیل، بارش‌های سنگین و سیل‌آسا و خشک‌سالی) می‌باشد (حمیدیان‌پور و همکاران، ۱۳۹۵). داده‌های روزانه هوا یکی از ورودی‌های اصلی مدل‌های ریاضی اگروهیدورلوژیکی است، ولی بیشتر طول سری زمانی این داده‌ها برای ارزیابی احتمال وقوع حوادث ناکافی هستند. علاوه بر این، سری‌های زمانی مشاهده شده تنها یک "واقعیت" از آب و هوا را نشان می‌دهند، در حالی که یک مولد هوا می‌تواند بسیاری از "واقعیت‌ها" و پس از آن ، طیف وسیع‌تری از شرایط ممکن را شبیه سازی نماید. در واقع این مدل‌ها ابزاری برای پیش‌بینی وضع هوا یا اقلیم در مقیاس زمانی سال یا کمتر نیستند بلکه آن‌ها برای بررسی اثرات و ارزیابی اقلیم دهه‌های آتی در مقیاس زمانی دهه و بالاتر طراحی شده‌اند (بابائیان و همکاران،۱۳۸۵). از مدل‌هایی که برای ریزمقیاس نمایی آماری استفاده می‌شود. می‌توان به MET& Roll، GEM، WGEN،USCLIMATE، LARS-WG، CLIGEN، SDSM، ASD و... اشاره کرد. مدل LARS-WG۱ یکی از مشهورترین مدل‌های مولد داده‌های تصادفی وضع هوا است که برای تولید بارش روزانه، تابش، دمای حداکثر و حداقل دما در یک ایستگاه تحت شرایط اقلیم حاضر و آینده استفاده می‌شود. کارایی دو مدل LARS-WG و WGEN در ۱۸ ایستگاه اروپا و آمریکا و آسیا توسط Semenov و Barrow(۱۹۹۷)، بررسی شده است و کارایی بهتر مدل LARS-WG نشان داده شد . در واقع داده-های ریزمقیاس‌شده دما را به عنوان ورودی در فرمول تورنت وایت به منظور شبیه‌سازی تبخیر-تعرق استفاده شده اند که مدل ها روند افزایش را برای متغیرهای بارش و دما پیش‌بینی نمودند که در نهایت فرمول تورنت وایت روند افزایشی را برای تبخیر-تعرق نشان داد. Harmsen و همکاران (۲۰۰۹) نیز پژوهش‌هایی پیرامون این موضوع در غرب پورتوریکو داشته و نشانگر این است که با تغییر اقلیم تبخیر-تعرق نیز افزایش می‌یابد. اما در ایران علی‌رغم اهمیت موضوع تحقیقات کامل و قابل ملاحظه‌ای صورت نگرفته است. تنها به صورت موردی و در گستره محدود تر به عنوان مثال در تبریز و خراسان رضوی مورد بررسی قرار گرفته است. در این خصوص فراوانی و بزرگی رویدادهای حدی جوی احتمالاً با گرمایش جهانی افزایش می‌یابد. به هر حال روشن نیست چگونه این رویدادها ممکن است بر محصولات کشاورزی اثر بگذارند. Bae و همکاران (۲۰۰۸) با استفاده از مدل LARS-WG داده‌های دو مدل اقلیمی (ECHO-G وNCAR/MM5) را به منظور آگاهی از تغییرات بالقوه منابع آب استفاده کردند و نتایج آنها تغییرات مکانی و زمانی را در حوضه مورد مطالعه تایید کردند که در مجموع تغییرات نسبی را در مولفه‌های بیلان آب (بارش، تبخیر و رواناب) تشخیص دادند (Dracu & Vicuna, 2005; Tubiello et al., 2000; Rodriguez et al., 2007; Baguis et al., 2010). در این پژوهش نخست با از چند مدل و سناریو اقلیمی (۳×۴) موجود در نرم‌فزار ریزمقیاس‌نمایی LARS-WG5.1 میزان دما در سه دوره‌ی زمانی محاسبه و سعی شده است تا با استفاده از فرمول تورنت وایت به بررسی و ارزیابی تبخیر-تعرق در ایستگاه‌های جنوب و جنوب‌شرق ایران پرداخته شود و اثر تغییر اقلیم بر عنصر تبخیر-تعرق در این منطقه بررسی شود.

مواد و روش‌ها

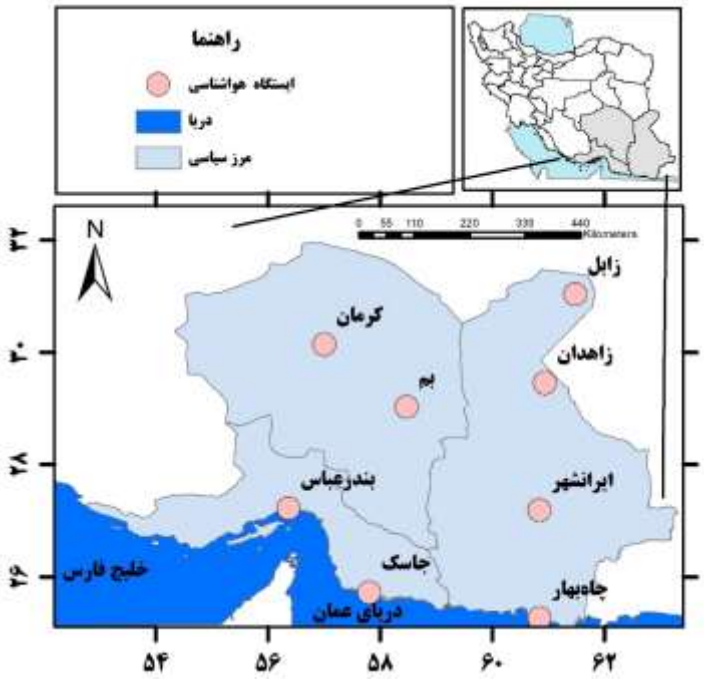
موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

منطقه جنوب و جنوب‌شرق ایران (شکل ۱) طبق آخرین آمار هواشناسی کشور تقریبا از کمترین بارش تجمعی سالانه و بیشترین متوسط دمایی سالانه برخوردار می‌باشد. لذا بررسی تغییر اقلیم، اثرات آن و اقدامات لازم جهت پیشگیری حائز اهمیت می‌باشد. جدول (۱) ویژگی‌های ایستگاه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

1. Long Ashton Research Station Weather Generator (LARS-WG).

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-05]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1399.8.4.1.2]



شکل (۱): موقعیت جغرافیایی شهرهای مورد بررسی

جدول (۱): مشخصات جغرافیایی و میانگین‌های دوره‌ی پایه داده‌های مشاهده شده بارش و دما در ایستگاه‌های مورداستفاده

نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع (متر)	بارش (میلیمتر)	دما
بم	۸۵/۳۵	۲۹/۱	۱۰۶۶/۹	۷۱/۳۳	۲۳/۲۵
بندرعباس	۵۶/۳۶	۲۷/۲۱	۹/۸	۱۸۱/۷۳	۸۱/۲۶
چابهار	۶۰/۶۲	۲۵/۲۸	۸	۱۱۳/۳	۲۶/۲۲
ایرانشهر	۶۰/۷	۲۷/۲	۵۹۱/۱	۱۰۱/۴۷	۲۶/۸۴
جاسک	۵۷/۷۶	۲۵/۶۳	۵/۲	۱۴۲/۴۷	۲۷/۲۶
کرمان	۵۶/۹۶	۳۰/۲۵	۱۷۵۳/۸	۱۳۸/۴۱	۱۶/۰۳
زابل	۶۱/۴۸	۳۰/۰۳	۴۸۹/۲	۵۹/۲۶	۲۲/۲۶
زاهدان	۶۰/۸۸	۲۹/۴۶	۱۳۷۰	۷۷/۷۵	۱۸/۷۴

داده‌های مورد نیاز

در این پژوهش از متوسط دمای روزانه استفاده شده است. دوره‌ی زمانی ۲۰۰۷-۱۹۸۳ به عنوان دوره‌ی مشاهداتی انتخاب گردید. داده‌های ذکر شده از سازمان هواشناسی کشور دریافت گردیدند. داده‌های مورد نیاز مدل‌های گردش عمومی شامل: HADCH3، IPSLM ، NCCCM3 و IPSLM4 با سه سناریوی A1B ، A2 وB1 جدول (۳) از دو مرجع شامل شبکه داده‌های تغییر اقلیم کانادا[1] و بانک داخلی داده‌های مدل LARS-WG5.1 استخراج گردیدند.

مدل‌های گردش جو

به منظور ارزیابی تغییر اقلیم جنوب و جنوب‌شرق ایران از جدیدترین نسخه نرم‌افزاری مدل ریزمقیاس نمایی LARS-WG 5.1[2] استفاده شد. نسخه جدید مدل LARS-WG گزارش چهارم تغییر اقلیم IPCC را مد نظر قرار داده است، بنابراین از خروجی‌های ۱۵ مدل گردش عمومی با سناریوهای A1B ، A2 و B1 استفاده می‌کند. در این مقاله از ۴ مدل اقلیمی که دارای ۳ سناریوی انتشار مشترک ذکر شده در بالا بوده‌اند، استفاده می‌نماییم (برای اطلاعات بیشتر به مقاله

[1]. www.cccsn.cannada
[2] . LARS-WG is available from http://www.lars.bbsrc.ac.uk/model/larswg.html

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-05]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1399.8.4.1.2]

Semenov و همکاران ۲۰۱۰ مراجعه شود). جدول (۲) به طور خلاصه به مهم‌ترین ویژگی‌های این مدل‌ها اشاره دارد (Nakicenovic & Swart، ۲۰۰۰).

جدول (۲): مشخصات مدل‌های گردش عمومی مورد استفاده در مطالعه

نام مدل اقلیم جهانی	نام مخفف مدل	مرکز تحقیقاتی	کشور	تفکیک مکانی
IPSL-CM4	IPCM4	Institute Pierre Simon Laplace	فرانسه	$2.5^{\circ} \times 3.75^{\circ}$
INM-CM3	INCM3	Institute for Numerical Mathematics	روسیه	$4^{\circ} \times 5^{\circ}$
HADCM3	HADCM3	U. k. Metrological Office	انگلستان	$2.5^{\circ} \times 3.75^{\circ}$
CCSM3	NCCCSM	National Center for atmospheric	آمریکا	$1.4^{\circ} \times 1.4^{\circ}$

سناریوهای تغییر اقلیم

در نسخه جدید نرم‌افزار LARS-WG5.1 کلیه خروجی‌های متغییرهای اقلیمی مدل‌های گردش عمومی مبتنی بر سناریوهای گزارش ویژه[1] هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم هستند. با توجه به اینکه فرضیه اصلی این سناریوها مبتنی بر نحوه افزایش غلظت CO_2 است. بنابراین جدول (۳) خلاصه‌ای از فرضیات بکار رفته در سناریوهای انتشار یادشده را ارائه می‌دهد.

جدول (۳): غلظت CO2(ppm) برای سناریوهای انتشار منتخب بر اساس گزارش ویژه گروه IPCC

سناریو		فرضیه‌های اصلی در سناریو	۲۰۱۱-۳۰	۲۰۴۶-۶۵	۲۰۸۱-۱۰۰
جهان همراه با توسعه پایدار	B1	تغییر در ساختارهای اقتصادی، همراه با بهبود و افزایش سطح توجه به محیط زیست. در واقع جهان توسعه پایدار محیط زیست و جوامع اجتماعی را مد نظر دارد و تلاش بیشتری در ارتباط با تکنولوژی پاک می‌کند و جمعیت جهان به ۷ بیلیون نفر در سال ۲۱۰۰ می‌رسد.	۴۱۰	۴۹۲	۵۳۸
جهان ثروتمند	A1B	این سناریو با رشد اقتصادی سریع (۲ ٪ رشد) توصیف می‌شود، رشد جمعیتی کم (۰/۲۷ ٪ رشد) و ابداع فن‌آوری‌های جدید و موثر، جهانی که در آن همگرایی فرهنگی و اقتصادی حاکم است و به طور کلی کاهش اساسی در اختلافات منطقه‌ای د، د، آمد سا انه وجود دا، د	۴۱۸	۵۴۱	۶۷۴
جهان جدا شده	A2	مشخصات فرهنگی مناطق مختلف را تفکیک می‌کند در واقع جهان ناهمگن‌تر شده و احتمالاً همکاری‌های بین‌المللی بسیار کمتر می‌شود. به ارزش‌های خانوادگی، سنت-های محلی و رشد جمعیت بالا (۰/۸۳ ٪ رشد) تاکید می‌شود. روی رشد اقتصادی (۱/۶۵ ٪ رشد) تمرکز کمتر می‌شود.	۴۱۴	۵۴۵	۷۵۴

منبع: (Nakicenovic & Swart، ۲۰۰۰)

روش مورد استفاده برای محاسبه تبخیر-تعرق

تورنت وایت

با محاسبه دما به روش فوق برای بدست آوردن تبخیر-تعرق ماهانه از excel استفاده شد و نمودار تبخیر-تعرق و معادله‌ی خط برای ۱۲ مدل گردش عمومی جو در بازه‌ی ۱۰۰ سال در ۸ ایستگاه رسم گردید (روابط ۱تا ۴).

$$ET_{\circ} = \left[16 \times N_m \left(\frac{10 \times T_m}{I}\right)^{a}\right] \quad (۱)$$

$$a = (6.75 \times 10^{-7} \times I^3) - (7.71 \times 10^{-5} \times I^2) + (1.797 \times 10^{-2} \times I) + 0.497 \quad (۲)$$

$$i_m = \left(\frac{T_m}{5}\right)^{1.5} \quad (۳)$$

$$I = \sum i_m \quad (۴)$$

که در آن a: ضریب، N_m: ضریب اصلاحی، T_m: متوسط دما هوا $\left[^{o}c\right]$، I: نمایه حرارتی سالانه و i_m: نمایه حرارتی ماهانه می‌باشد.

1- Special Report Emissions scenarios (SRES).

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-05]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1399.8.4.1.2]

نتایج و بحث

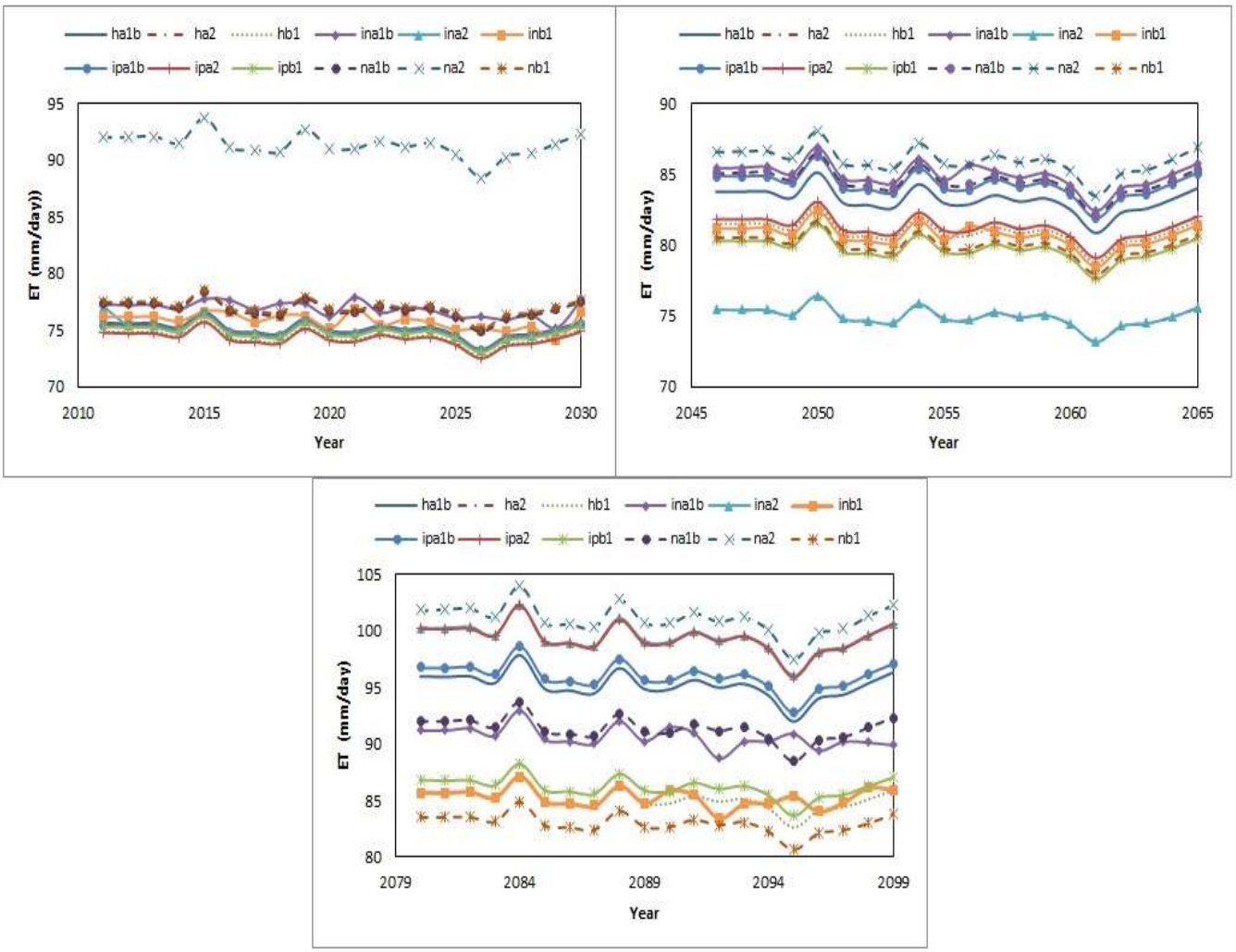
پس از بررسی و مقایسه مدل‌ها به منظور تعیین مدلی که کمترین میزان تبخیر-تعرق را طی ۱۰۰ سال آینده داراست، سناریو B_1 (جهان همراه با توسعه پایدار) در اغلب ایستگاه‌ها دارای کمترین تبخیر تعرق و سناریو A_1B (جهان ثروتمند) دارای بیشترین تبخیر-تعرق می‌باشد. روند افزایش تبخیر-تعرق در ۱۲ مدل به صورت مقایسه‌ای به شرح زیر است. با توجه به نمودارها کرمان دارای کمترین (۷۳/۰۴ mm/year) و ایرانشهر دارای بیشترین (۶۳۵/۰۲ mm/year) مقدار تبخیر-تعرق است. در ادامه به تحلیل و بررسی روند تبخیر-تعرق هر شهر می‌پردازیم.

کرمان

با توجه به جدول (۴) کمترین میزان تبخیر تعرق مربوط به بازه اول و مدل IPA_2 و بیشترین آن مربوط به بازه سوم و مدل NA_2 می‌باشد همچنین شکل (۲) نشان می‌دهد که تبخیر-تعرق در هر سه دوره دارای روند افزایشی می‌باشد.

جدول (۴): کمترین و بیشترین میزان تبخیر-تعرق در هر بازه در کرمان

بازه	کمترین روند تبخیر تعرق		بیشترین روند تبخیر تعرق		سناریو
	مدل	میزان (mm/year)	مدل	میزان (mm/year)	
۲۰۱۱-۳۰	IPA_2	۷۲/۵۸	NA_2	۹۳/۷۰	A_2
۲۰۴۶-۶۵	INA_2	۷۳/۲۰	NA_2	۸۸/۰۷	A_2
۲۰۸۰-۹۹	NB_1	۸۰/۶۵	NA_2	۱۰۴/۰۴	B_1 , A_2



شکل (۲): روند کلی تبخیر-تعرق در ۱۰۰ سال آینده در کرمان؛ الف) بازه ۳۰-۲۰۱۱، ب) بازه ۶۵-۲۰۴۵، ج) بازه ۹۹-۲۰۸۰

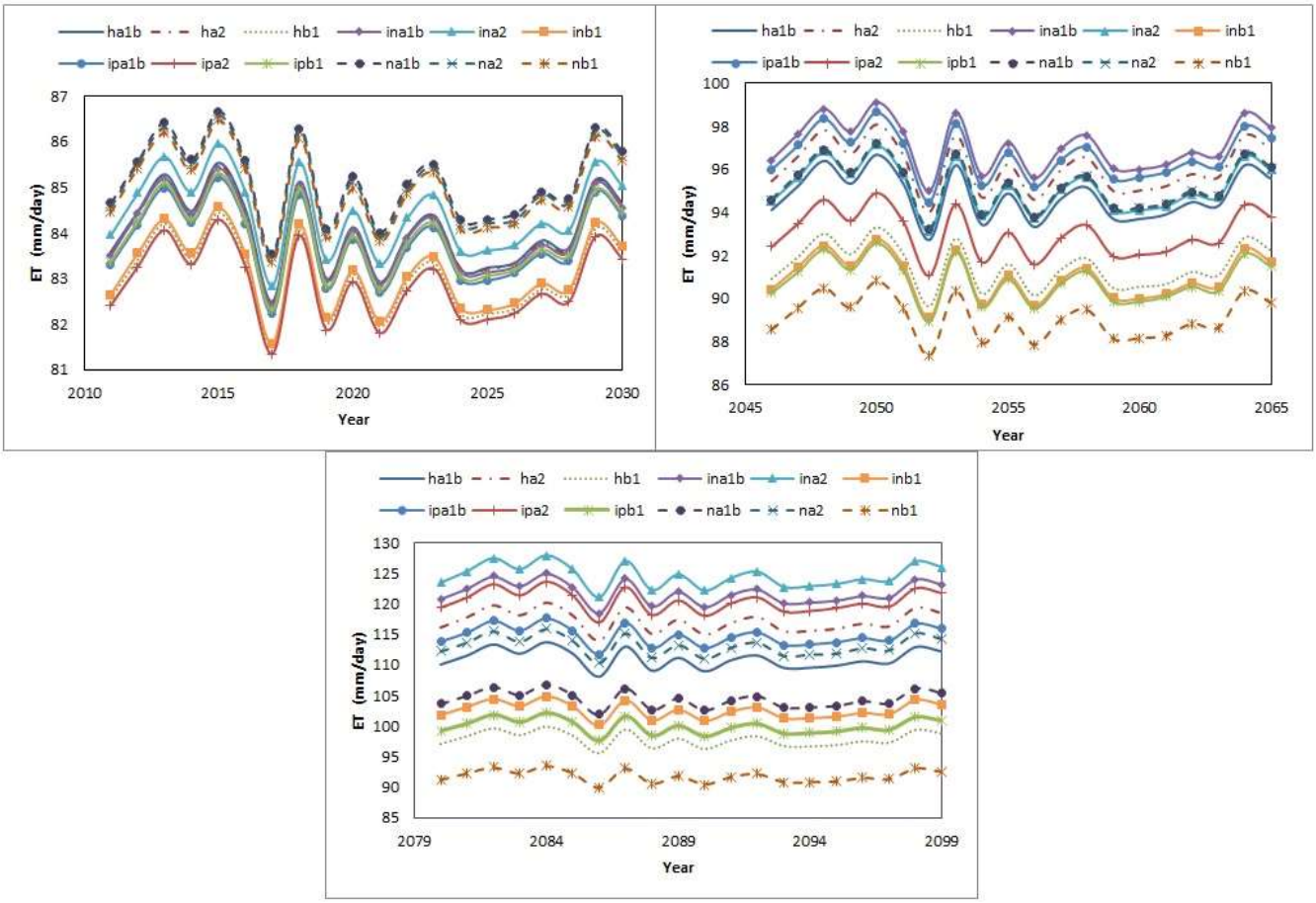
[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-05]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1399.8.4.1.2]

زاهدان

جدول (۵) بیان‌گر آن است که در بازه اول مدل IPA_2 دارای کمترین میزان و مدل NA_2 در بازه سوم بیشترین میزان تبخیر-تعرق را داراست، شکل (۳) نیز روند صعودی تبخیر-تعرق را در دوره‌های مورد بررسی نشان می‌دهد.

جدول (۵): کمترین و بیشترین میزان تبخیر-تعرق در هر بازه در زاهدان

بازه	کمترین روند تبخیر تعرق		بیشترین روند تبخیر تعرق		سناریو
	مدل	میزان (mm/year)	مدل	میزان (mm/year)	
۲۰۱۱-۳۰	IPA_2	۸۱/۳۴	NA_1B	۸۹/۶۷	A_2, A_1B
۲۰۴۶-۶۵	INA_1B	۹۹/۱۱	NB_1	۸۷/۳۴	A_1B, B_1
۲۰۸۰-۹۹	NB_1	۸۹/۸۱	NA_2	۱۲۷/۹۵	B_1 , A_2



شکل (۳): روند کلی تبخیر-تعرق در ۱۰۰ سال آینده در زاهدان؛ الف) بازه ۳۰-۲۰۱۱، ب) بازه ۶۵-۲۰۴۵، ج) بازه ۹۹-۲۰۸۰

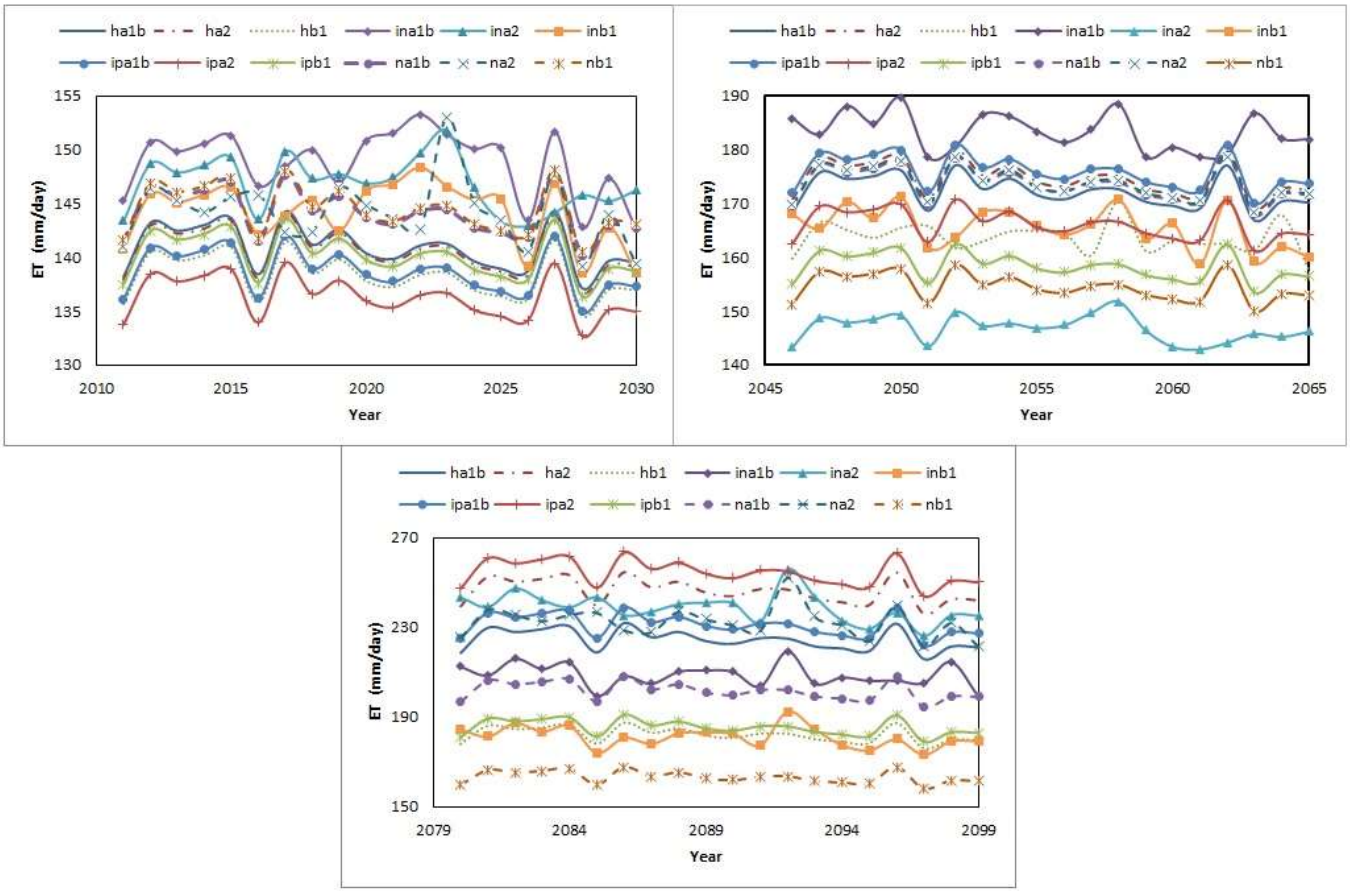
زابل

مدل IPA_2 کمترین میزان و مدل IPA_2 بیشترین میزان تبخیر-تعرق را در شهر زابل دارند (جدول ۶)، تبخیر-تعرق در این ایستگاه با توجه به شکل (۴) از روند افزایشی برخوردار است.

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-05]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1399.8.4.1.2]

جدول (۶): کمترین و بیشترین میزان تبخیر-تعرق در هر بازه در زابل

بازه	کمترین روند تبخیر تعرق		بیشترین روند تبخیر تعرق		سناریو
	مدل	میزان (mm/year)	مدل	میزان (mm/year)	
۲۰۱۱-۳۰	IPA_2	۱۳۲/۷۳۱	NA_1B	۱۵۳/۲۰۷	A_2, A_1B
۲۰۴۶-۶۵	INA_2	۱۴۲/۹۴۴	INA_1B	۱۸۹/۶۱۲	A_2, A_1B
۲۰۸۰-۹۹	NB_1	۱۵۸/۳۷۲	IPA_2	۲۶۳/۲۱۵	B_1, A_2



شکل (۴): روند کلی تبخیر-تعرق در ۱۰۰ سال آینده در زابل؛ الف) بازه ۳۰-۲۰۱۱، ب) بازه ۶۵-۲۰۴۵، ج) بازه ۹۹-۲۰۸۰

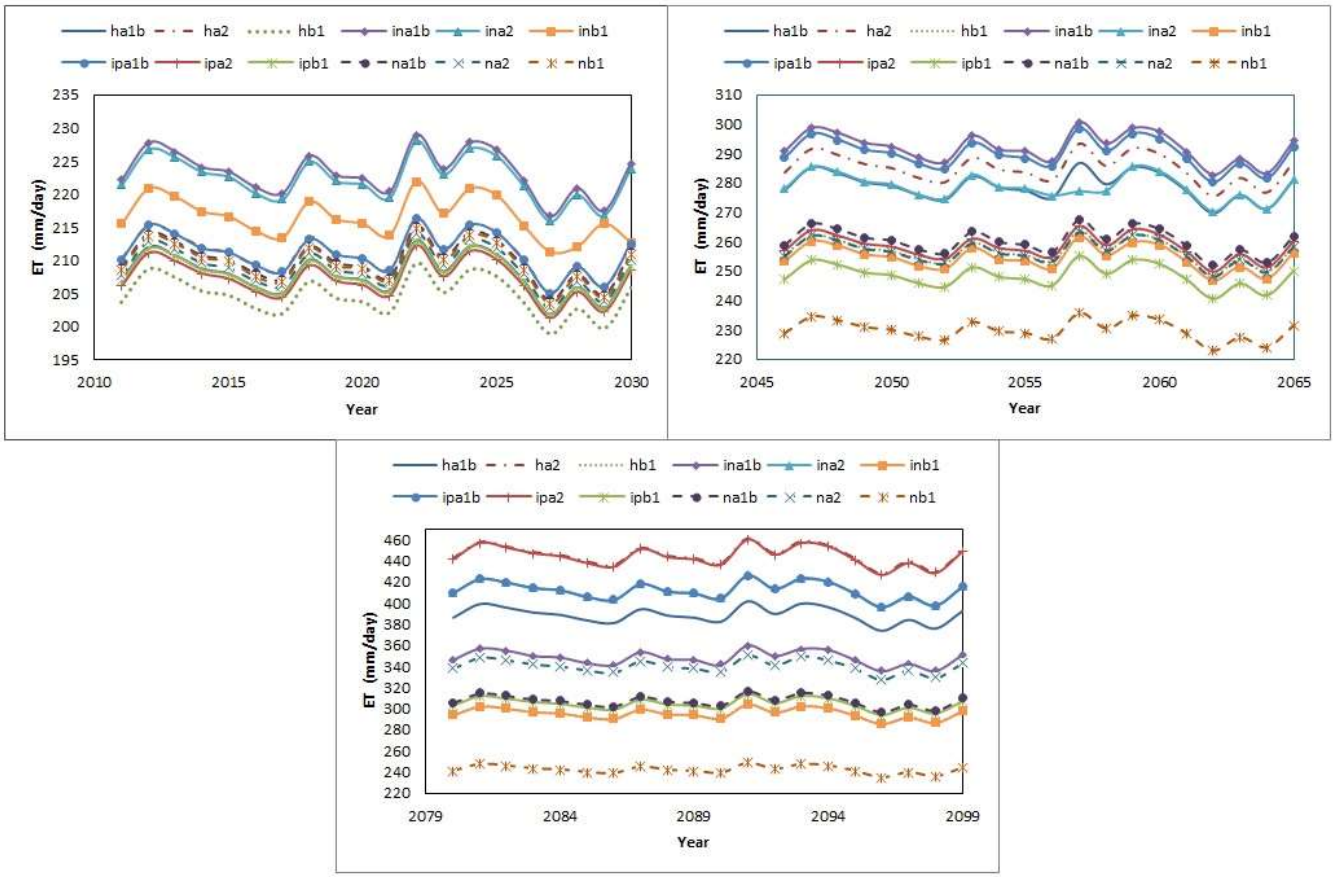
بندرعباس

همانطور که در جدول (۷) مشاهده می‌شود کمترین میزان تبخیر-تعرق مربوط به مدل HB_1 از بازه اول و بیشترین میزان آن در مدل IPA_2 از بازه ۳ می‌باشد. شکل(۵) مشاهده می‌شود تبخیر-تعرق سیر صعودی دارد.

جدول (۷): کمترین و بیشترین میزان تبخیر-تعرق در هر بازه در بندرعباس

بازه	کمترین روند تبخیر تعرق		بیشترین روند تبخیر تعرق		سناریو
	مدل	میزان (mm/year)	مدل	میزان (mm/year)	
۲۰۱۱-۳۰	HB_1	۱۹۹/۰۱۱	INA_1B	۲۲۸/۹۷۸	B_1, A_1B
۲۰۴۶-۶۵	NB_1	۲۰۰/۹۰۶	INA_1B	۳۰۰/۸۴۱	B_1, A_1B
۲۰۸۰-۹۹	NB_1	۲۳۴/۷۲۳	IPA_2	۴۵۹/۷۸۱	B_1, A_2

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-05]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1399.8.4.1.2]



شکل(۵): روند کلی تبخیر-تعرق در ۱۰۰ سال آینده در بندرعباس؛ الف) بازه ۳۰-۲۰۱۱، ب) بازه ۶۵-۲۰۴۵، ج) بازه ۹۹-۲۰۸۰

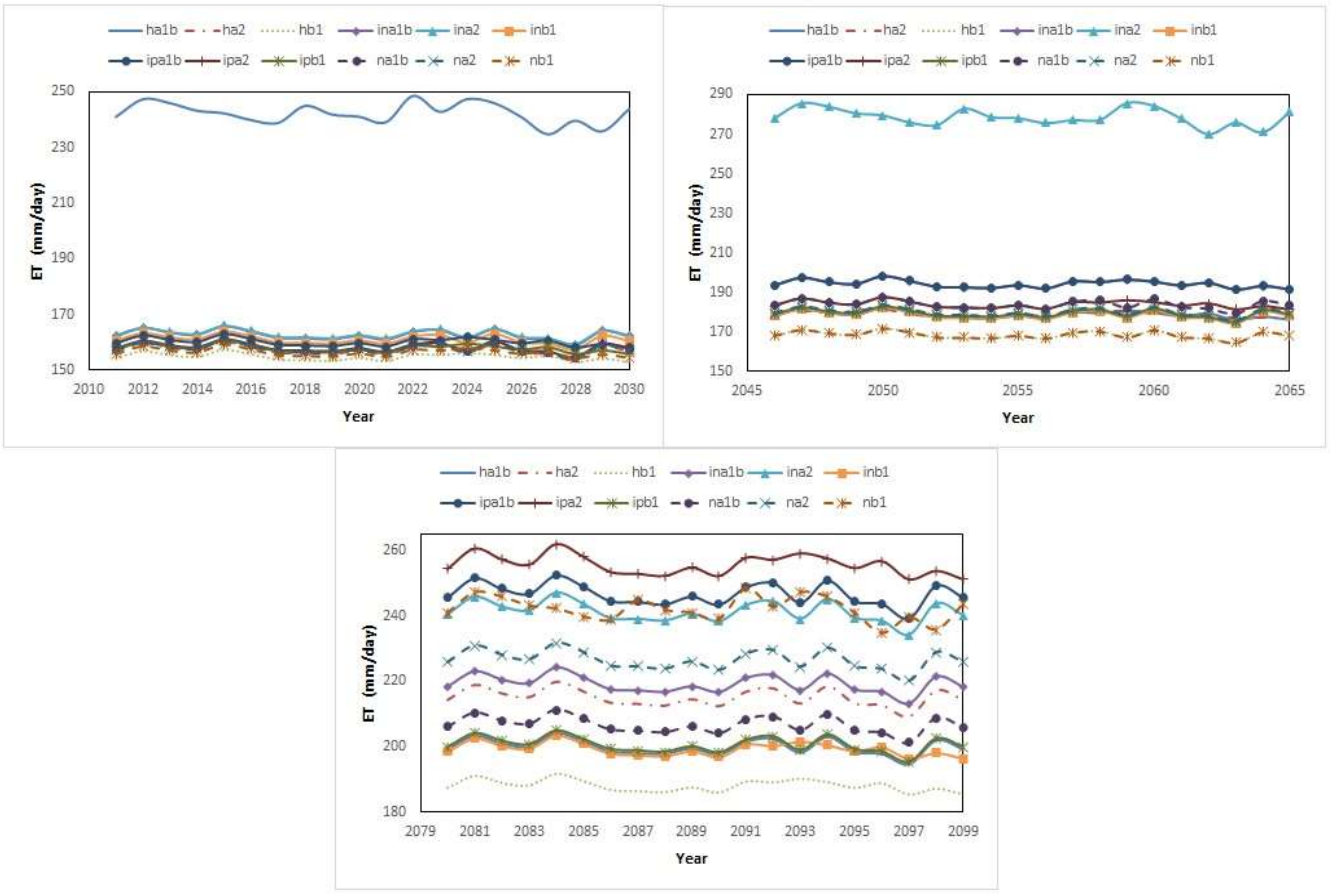
چابهار

با توجه جدول (۸) مدل HB_1 از بازه اول و مدل INA_2 از بازه دوم به ترتیب دارای کمترین و بیشترین میزان تبخیر-تعرق در چابهار می‌باشند. روند افزایشی تبخیر-تعرق در شکل(۶) قابل مشاهده است.

جدول (۸): کمترین و بیشترین میزان تبخیر-تعرق در هر بازه در چابهار

بازه	کمترین روند تبخیر تعرق		بیشترین روند تبخیر تعرق		سناریو
	مدل	میزان (mm/year)	مدل	میزان (mm/year)	
۳۰-۲۰۱۱	HB_1	۱۵۲/۷۲۶	HA_1B	۲۴۸/۷۰۵	B_1, A_1B
۶۵-۲۰۴۶	NB_1	۱۶۴/۷۵۳	INA_2	۲۸۵/۶۱۹	B_1, A_2
۹۹-۲۰۸۰	HB_1	۱۸۵/۳۲۸	IPA_2	۲۶۱/۸۶۳	B_1, A_2

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-05]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1399.8.4.1.2]



شکل (۶): روند کلی تبخیر-تعرق در ۱۰۰ سال آینده درچابهار؛ الف) بازه ۳۰-۲۰۱۱، ب) بازه ۶۵-۲۰۴۵، ج) بازه ۹۹-۲۰۸۰

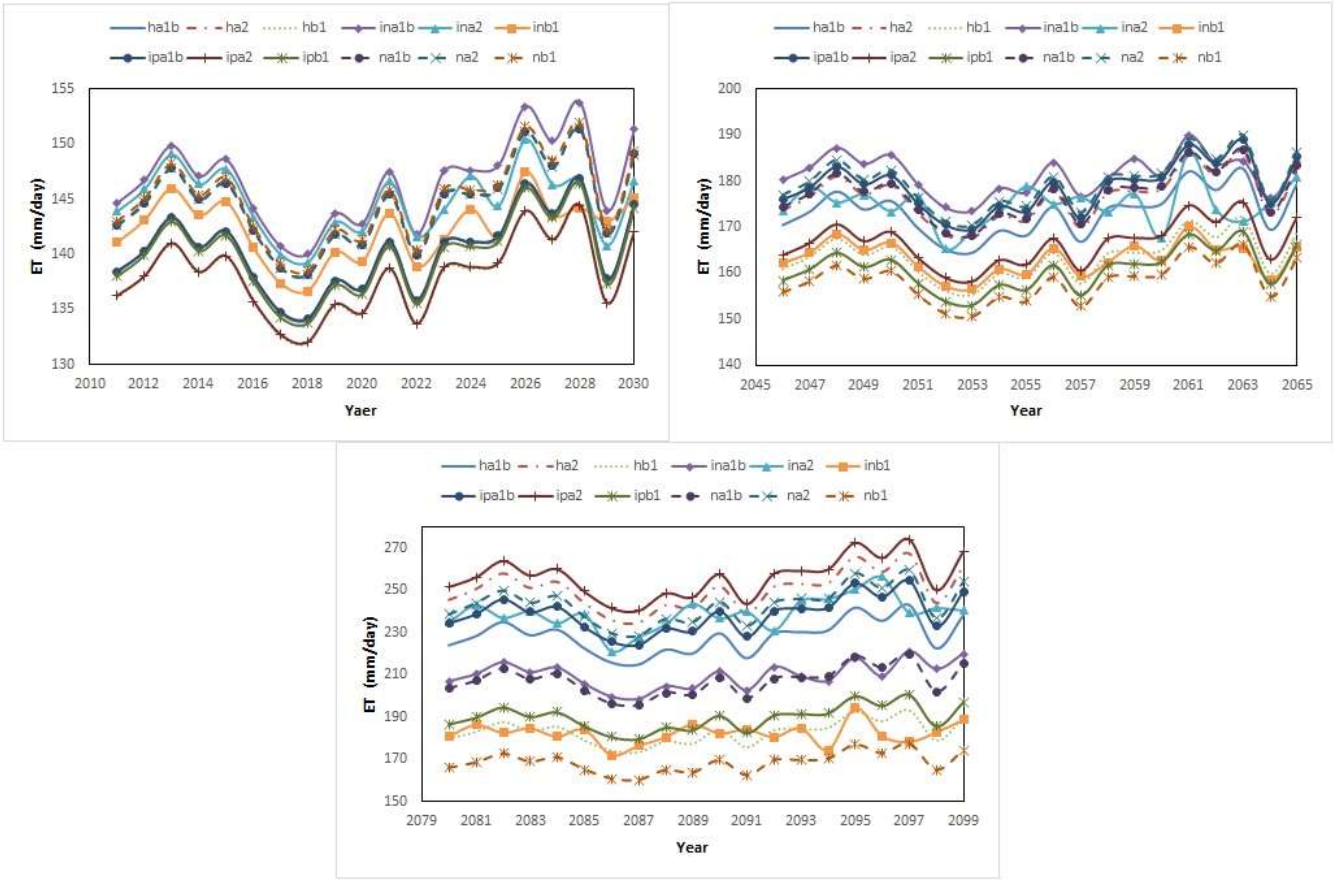
بم

کمترین و بیشترین میزان تبخیر-تعرق در مدل IPA_2 به ترتیب از بازه اول و سوم می‌باشد (جدول ۹). شکل(۷) نشانگر افزایشی بودن روند تبخیر-تعرق است.

جدول (۹): کمترین و بیشترین میزان تبخیر-تعرق در هر بازه در بم

بازه	کمترین روند تبخیر تعرق		بیشترین روند تبخیر تعرق		سناریو
	مدل	میزان (mm/year)	مدل	میزان (mm/year)	
۲۰۱۱-۳۰	IPA_2	۱۳۲/۰۴۱	INA_1B	۱۵۳/۷۸۲	A_2, A_1B
۲۰۴۶-۶۵	NB_1	۱۵۰/۶۲۵	NA_2	۱۸۹/۸۱۲	B_1, A_2
۲۰۸۰-۹۹	NB_1	۱۶۰/۱۹۸	IPA_2	۲۷۴/۲۲۰	B_1, A_2

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-05]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1399.8.4.1.2]



شکل (۷): روند کلی تبخیر-تعرق در ۱۰۰ سال آینده در بم؛ الف) بازه ۳۰-۲۰۱۱، ب) بازه ۶۵-۲۰۴۵، ج) بازه ۹۹-۲۰۸۰

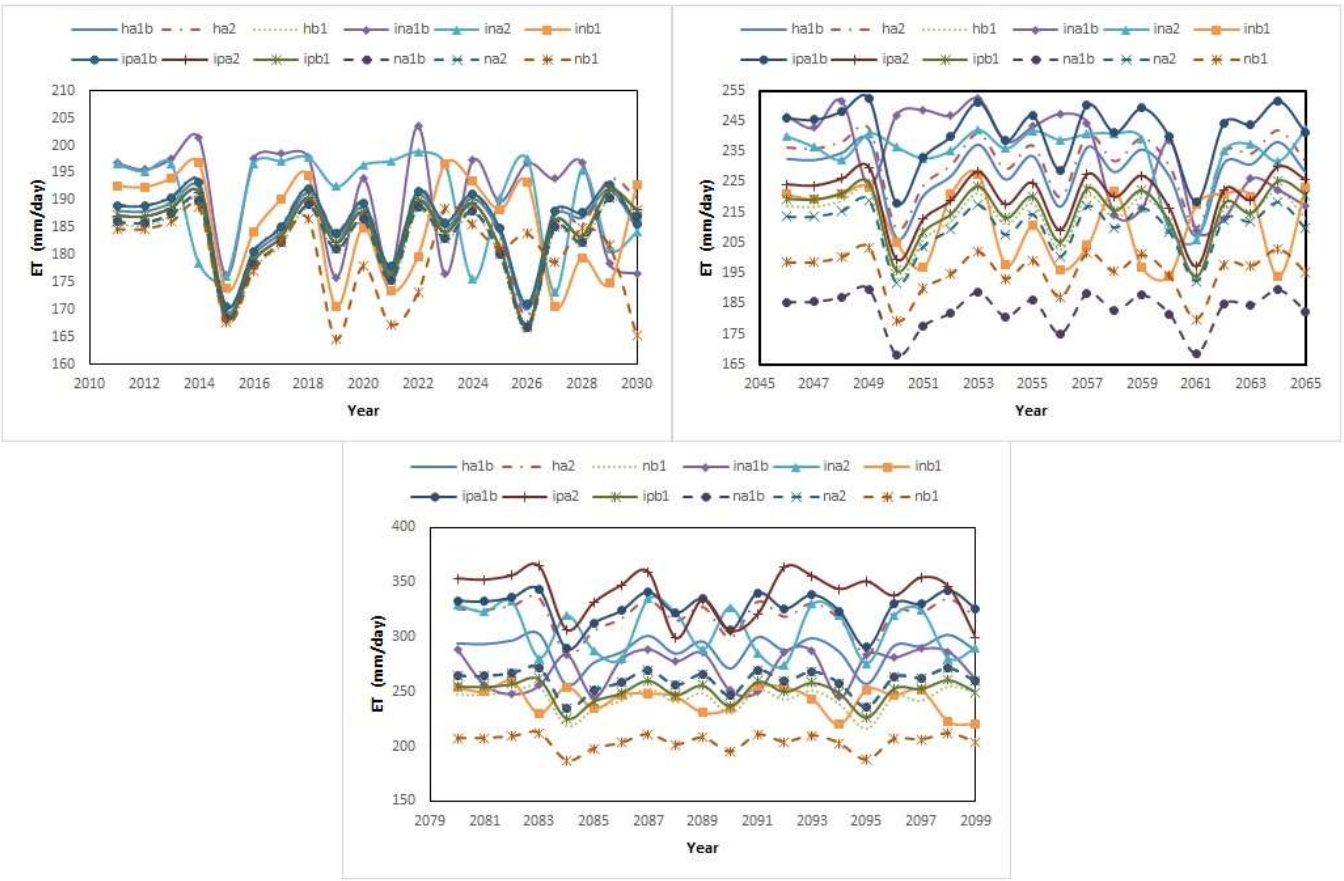
جاسک

با توجه به جدول (۱۰) در بازه ۱ مدل NB_1 دارای کمترین میزان تبخیر-تعرق و در بازه سوم مدل IPA_2 بیشترین تبخیر-تعرق را دارد. در شکل (۸) روند افزایشی تبخیر-تعرق قابل مشاهده است.

جدول (۱۰): کمترین و بیشترین میزان تبخیر-تعرق در هر بازه در جاسک

بازه	کمترین روند تبخیر تعرق		بیشترین روند تبخیر تعرق		سناریو
	مدل	میزان (mm/year)	مدل	میزان (mm/year)	
۳۰-۲۰۱۱	NB_1	۱۶۴/۶۴۲	INA_1B	۲۰۳/۶۸۴	B_1, A_1B
۶۵-۲۰۴۶	NB_1	۱۷۹/۴۶۲	IPA_1B	۲۵۲/۴۷۸	B_1, A_1B
۹۹-۲۰۸۰	NB_1	۱۸۷/۰۶۷	IPA_2	۳۶۴/۱۸۶	B_1, A_2

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-05]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1399.8.4.1.2]



شکل (۸): روند کلی تبخیر–تعرق در ۱۰۰ سال آینده در جاسک؛ الف) بازه ۳۰-۲۰۱۱، ب) بازه ۶۵-۲۰۴۵، ج) بازه ۹۹-۲۰۸۰

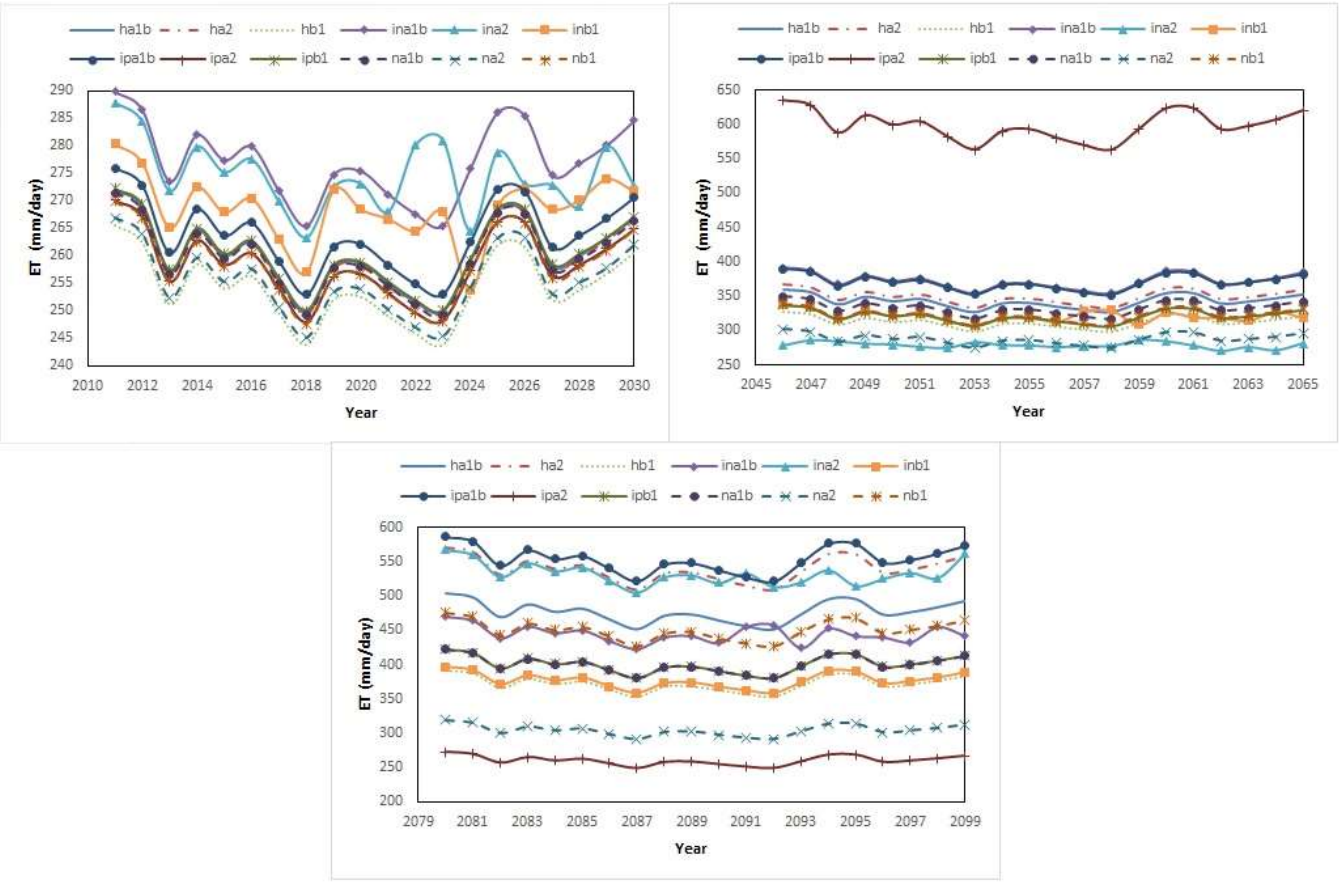
ایرانشهر

در بازه اول، مدل HB_1 دارای کمترین میزان تبخیر–تعرق و بیشترین مقدار آن در بازه دوم و مدل IPA_2 قابل مشاهده است (جدول ۱۱). شکل (۹) بیانگر سیر افزایشی تبخیر–تعرق است.

جدول (۱۱): کمترین و بیشترین میزان تبخیر–تعرق در هر بازه در ایرانشهر

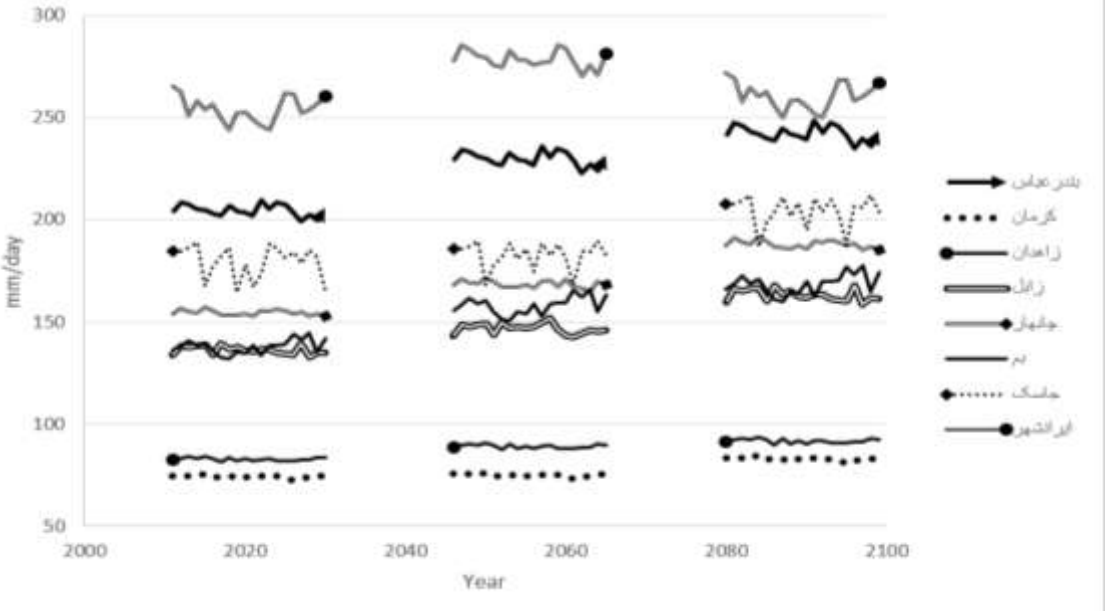
بازه	کمترین روند تبخیر تعرق		بیشترین روند تبخیر تعرق		سناریو
	مدل	میزان (mm/year)	مدل	میزان (mm/year)	
۲۰۱۱-۳۰	HB_1	۲۴۳/۹۰۹	INA_1B	۲۸۹/۹۵۹	B_1, A_1B
۲۰۴۶-۶۵	INA_2	۲۷۰/۱۵۶	IPA_2	۶۲۳/۳۴۳	A_2
۲۰۸۰-۹۹	IPA_1B	۲۵۰/۰۷۸	IPA_2	۵۸۵/۸۲۷	A_1B, A_2

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-05]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1399.8.4.1.2]



شکل (۹): روند کلی تبخیر-تعرق در ۱۰۰ سال آینده درایرانشهر؛ الف) بازه ۳۰-۲۰۱۱، ب) بازه ۶۵-۲۰۴۵، ج) بازه ۹۹-۲۰۸۰

باید در نظر داشت که میزان محصول برداشتی با میزان تبخیر-تعرق رابطه مستقیم دارد اما افزایش میزان تبخیر-تعرق متقابلا باعث افزایش میزان آب مصرفی توسط گیاه شده و تقاضا آب را در بخش کشاورزی بالا برده و با توجه به بحران آب پیش رو مناسب نمی‌باشد. اما از طرف دیگر با توجه به نرخ رشد جمعیت و افزایش تقاضی مواد غذایی باید تولید محصول گیاهی را افزایش داد.



شکل (۱۰): مقایسه روند کلی تبخیر-تعرق

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-05]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1399.8.4.1.2]

شکل (۱۰) روند کلی تبخیر-تعرق تا سال ۲۰۹۹ در ۸ ایستگاه بیان می‌کند.

که کرمان دارای کمترین و ایرانشهر دارای بیشترین میزان تبخیر-تعرق می‌باشند. شکل مورد نظر به خوبی روند افزایش میزان تبخیر و تعرق را در تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه نمایش می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌گردد. به جز ایستگاه ایرانشهر که در دوره‌ی میانی (۶۵-۲۰۴۶) میزان تبخیر و تعرق آن نسبت به دوره‌ی پایانی بیشتر است. تمامی ایستگاه‌ها یک روند افزایش منظم را نمایش می‌دهد. با توجه به افزایش دما افزایش تبخیر و تعرق را به دنبال خواهیم داشت که این روند بر منابع آب کشور و به ویژه منطقه خشک و نیمه خشک جنوب شرق و شرق کشور تاثیر بسزایی خواهد گذاشت.

نتیجه‌گیری

آب و هوا مهم‌ترین عامل تغییرپذیری سالانه تولید محصولات کشاورزی حتی در محیط‌هایی با عملکرد و فناوری بالاست. امروزه موضوع تغییر اقلیم جهانی بسیار مورد توجه دانشمندان و سیاست‌گذاران عرصه‌های بین‌المللی قرار گرفته است زیرا هر تغییری در آب و هوا، عدم قطعیت مربوط به محصولات زراعی را افزایش خواهد داد. به همین دلیل آگاهی از چگونگی وقوع این فرایند و اثرات آن بر نظام‌های زراعی می‌تواند در ارائه برنامه‌های جامع برای مقابله و یا آمادگی در برابر مخاطرات حاصله، مؤثر واقع شود. در این پژوهش با استفاده از زیر مقیاس نمائی داده‌های مدل‌های گردش عمومی جو HADCM3, INCM3, IPCM4, NCCCSM با سناریوهای B_1, A_2, A_1B توسط مدل LARS-WG5 به پیش‌بینی آماره‌های اقلیمی جنوب و جنوب شرق ایران در دوره ۹۹-۲۰۱۱ پرداخته شد. سپس اثرات احتمالی تغییر اقلیم بر نیاز آبی گیاه مرجع مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل نشان داده که این منطقه در ۹۰ سال آینده با پدیده گرمایش جهانی روبه‌رو شده و تغییرات مشهودی نیز در الگوی بارش و تبخیر-تعرق رخ خواهد داد و در اثر این عوامل، نیاز آبی گیاه مرجع در مقایسه با دوره کنونی در شهرهای مختلف این ناحیه دچار تغییر خواهد شد. در ایستگاه‌های مورد بررسی مدل NB_1 دارای کمترین میزان تبخیر-تعرق را داراست که بیانگر مدل گردش جوی NCCCSM تحت سناریو B_1 (جهان همراه با توسعه پایدار) است. تغییر اقلیم باعث افزایش روند تبخیر-تعرق می‌شود. ابراهیمی و همکاران (۱۳۸۴) در دشت مشهد و Harmsen و همکاران (۲۰۰۹) نیز پژوهش‌هایی پیرامون این موضوع در غرب پورتوریکو داشته و نشانگر این است که با تغییر اقلیم تبخیر-تعرق نیز افزایش می‌یابد.

بنابراین مدیریت صحیح منابع آبی در این شهرها ضروری بوده و همت وافر مسئولان اجرایی جهت اطلاع رسانی به کشاورزان منطقه و بهینه‌سازی زمانی و میزان آبیاری در شرایط کمبود آب آتی را می‌طلبد.

منابع

۱. ابراهیمی، ح.، ا. علیزاده و س. جوانمرد (۱۳۸۴). بررسی وجود تغییر دما در دشت مشهد به عنوان نمایه تغییر اقلیم در منطقه، نشریه تحقیقات جغرافیایی، زمستان ۱۳۸۴، دوره ۲۰، شماره ۴ (پیاپی ۷۹)، از صفحه ۵ تا ۱۸.

۲. بابائیان، ا. و نجفی نیک، ز. (۱۳۸۵). معرفی و ارزیابی مدل LARS-WG برای مدل‌سازی پارامترهای هواشناسی استان خراسان در دوره ۱۹۶۱تا ۲۰۰۳، مجله نیوار، شماره ۶۲ و۶۳، پاییز و زمستان ۱۳۸۵ صفحه ۴۹ تا ۶۹.

۳. حمیدیان‌پور، م.، م. باعقیده و م. عباس‌نیا (۱۳۹۵). ارزیابی تغییرات دما و بارش جنوب‌شرق ایران با استفاده از ریزمقیاس نمایی خروجی مدل‌های مختلف گردش عمومی جو در دورهٔ ۲۰۱۱-۲۰۹۹. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۴۸(۱)، ۱۰۷-۱۲۳. DOI: 10.22059/jphgr.2016.57030.

۴. زارع ابیانه، ح.، م. بیات ورکشی، ع. سبزی‌پرور، ا. معروفی و ع. قاسمی (۱۳۸۹). ارزیابی روش‌های مختلف برآورد تبخیر تعرق گیاه مرجع و پهنه‌بندی آن در ایران. نشریه پژوهش‌های جغرافیای طبیعی (پژوهش‌های جغرافیایی)، زمستان ۱۳۸۹، دوره ۴۲، شماره ۷۴، از صفحه ۹۵ تا صفحه ۱۰۹.

5. An Assessment of the Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC, Climate Change (2007): Synthesis Report.
6. Bae D. H. Jung W. and Chang H. *(2008). Potential changes in Korean water resources estimated by high-resolution climate simulation*. Journal Climate Research, *Vol. 35: 213-226.*
7. Baguis P. Roulin E. Williams P. and Ntegeka V. *(2010). Climate change scenarios for precipitation and crop evapotranspiration over central Belgium.* Theoretical Applied Climatology. *99:273-286.*
8. Darwin R. and Kennedy D. *(2000). Economic effects of CO2 fertilization of crops: transforming changes in yield into changes in supply*. Environmental Modeling and Assessment. *53, 157-168*

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-05]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1399.8.4.1.2]

9. Dracu J A. and Vicuna S. *(2005). An Overview of Hydrology and Water Resources Studies on Climate Change: the California Experience*. Proc. EWRI 2005: Impacts of Global Climate Change.
10. Harmsen E. W. Miller N. L. Schlegel N. J. and Gonzalez J.E. *(2009). Seasonal climate change impacts on evapotranspiration, precipitation deficit and crop yield in Puerto Rico.* Agricultural Water Management, Elsevier, *vol. 96(7), pages 1085-1095*, July.
11. Nakicenovic N. and Swart R. *(2000). Emissions scenarios. Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge.
12. Parrey M. L. Rosenzweig C. Iglesias A. Livermore M. and Fischer G. *(2004). Effects of climate change on global food production under SRES emissions and socio-economic scenarios*. Global Environmental Change, *14: 53–67.*
13. Reilly J. Tubiello F. N. McCarl B. and Melillo J. *(2001). Impacts of Climate change and variability on agriculture. In: USNational Assessment Foundation Document.* National Assessment Synthesis Team, US Global Change Research Program, Washington, DC.
14. Rodrıguez J. Weatherhead J. Knox W. and Camacho E. *(2007). Climate change impacts on irrigation water requirements in the Guadalquivir river basin in Spain.* Regional Environmental Change. *7:149–159.*
15. Semenov M A. and Stratonovitch P. *(2010). Use of multi-model ensembles from global climate models for assessment of climate change impacts*. CLIMATE RESEARCH, *Vol. 41: 1–14, 2.*
16. Semenov M.A. and Barrow E.M. *(1997). Use of a stochastic weather generator in the development of climate change scenarios*. Climatic Change *35: 397-414*
17. Tubiello F. N. Donatelli M. Rosenzweig C. and Stockle C. O. (*2000). Effects of climate change and elevated CO2 on cropping systems: model predictions at two Italian locations*. Eur. J. Agron. *13: 179–189.*

The effect of climate change on evapotranspiration in warm and humid conditions (Case study: South and Southeast of Iran)

Atefe Arfa[1], Abbas Khashei siouki[2*] , Mohsen Hamidian pour[3]

1. Ph.D. student, hydraulic structures department, Tarbiat Modares University
2. Professor, department of water engineering, University of Birjand
3. Assistant professor, University of Sistan & Baluchestan

Received: 2020/02
Accepted: 2021/03

Abstract

Due to climate change and changes in plant water needs, it is necessary to evaluate climate change in the coming decades with the aim of appropriate environmental planning to adapt to future climate conditions. The main factor of water resource consumption in arid and semi-arid regions is agriculture and consequently evapotranspiration, so knowledge of the change and its prediction plays an effective role in the planning, development, and management of water resources. The present study uses the Lars WG Model. Using this model, the temperature in three time periods (2011-2030, 2046-65, and 2081-2100) with four general atmospheric circulation models (IPCM, INCM3, HADCM3, and NCCCSM) in three different scenarios (world with sustainable development, rich world, and the isolated world) has been calculated, then the evapotranspiration changes were examined in the Southeast of the country in the three mentioned periods for eight stations. For this purpose, the Thornthwaite equation was used to calculate evapotranspiration. The results show an increasing trend of temperature followed by an increase in evapotranspiration in the coming period. The average increase in evapotranspiration in the NB1 model is less than other models and has the lowest value and the highest value in Kerman and Iranshahr, respectively. The relative changes of evapotranspiration until 2099 in Kerman and Iranshahr stations are 10.692 (mm/day) and 23.194 (mm/day), respectively.

Keywords: Weather, Warm and humid climate, Evapotranspiration, Climate Change.

* Abbaskhashei@birjand.ac

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-05]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1399.8.4.1.2]