دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز

# وضعیت تبخیر و تعرق ایستگاه یزد تحت تاثیر عدم قطعیت سناریوهای انتشار گازهای گلخانه ای و مدل‌های موجود

م. ت. دستورانی[۱]، س. پورمحمدی[۲]، ع. ر. مساح بوانی[۳] و م. ح. رحیمیان[۴]

۱- دانشیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه یزد، نویسنده مسئول: mdastorani@yazduni.ac.ir
۲- کارشناس ارشد مدیریت مناطق بیابانی، دانشگاه یزد
۳- استادیار دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران، پردیس ابوریحان
۴- کارشناس آبیاری و زهکشی، مرکز ملی تحقیقات شوری

**چکیده**

**پدیده تبخیر و تعرق از جمله مهمترین عوامل موثر بر خشکسالی است که در سایه تغییرات اقلیمی، در آینده روند متفاوتی نسبت به گذشته خواهد داشت. باید توجه داشت که برآورد تبخیر و تعرق یک منطقه در دوره‌های آتی تحت تاثیر تغییر اقلیم، با عدم قطعیت‌های مختلفی همراه خواهد بود که عدم لحاظ آنها در محاسبات می‌تواند به نتایج غیر کاربردی منتهی شود. از اینرو در تحقیق حاضر به بررسی تاثیر عدم قطعیت مربوط به روابط برآورد تبخیر و تعرق و همچنین سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای بر تبخیر و تعرق ایستگاه یزد در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ میلادی پرداخته می‌شود. به این منظور ابتدا با استفاده از روشهای هارگریوز- سامانی و تورنت وایت تبخیر و تعرق مرجع ایستگاه یزد در دوره پایه ۱۹۶۱ تا ۱۹۹۰ تعیین شد. سپس به کمک خروجی مدل چرخش عمومی جو HadCM3 تحت دو سناریوی انتشار گازهای گلخانه ای A2 و B2 به شبیه‌سازی تبخیر و تعرق مرجع ایستگاه یزد در دوره آتی پرداخته شد. با استفاده از دو پارامتر دمای کمینه و دمای بیشینه، تبخیر و تعرق مرجع سالهای ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹ ایستگاه یزد محاسبه شد. نتایج این تحقیق نشان داد که هر دو پارامتر دمای کمینه و بیشینه افزایش محسوسی را در دوره آتی تحت دو سناریوی A2 و B2 در ایستگاه یزد خواهند داشت. اما تبخیر و تعرق بدست آمده از داده‌های شبیه‌سازی شده دوره آتی توسط روش هارگریوز- سامانی تغییر محسوسی را نسبت به گذشته در هر دو سناریو نشان نداده است. این در حالی است که تبخیر و تعرق محاسباتی به روش تورنت وایت حدود ۰/۴ میلیمتر در هر روز بیشتر از دوره پایه بدست آمده است که با توجه به ماهیت این پدیده همین مقدار اندک نیز قابل صرف‌نظر کردن نخواهد بود.**

**واژه های کلیدی: تغییر اقلیم، مدل چرخش عمومی، تبخیر و تعرق مرجع، ایستگاه یزد**

## مقدمه

بین پدیده‌های اقلیمی طبیعت روابط پیچیده‌ای وجود دارد. از مهمترین روابطی که می‌توان به آن اشاره نمود رابطه بین تبخیر و تعرق با تعداد زیادی از پارامترهای اقلیمی می باشد. برای انجام عمل تبخیر بایستی آب برای تبخیر، سطحی به نام سطح تبخیر کننده و به علاوه انرژی کافی نیز وجود داشته باشد.

[ Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-12-24 ]

برای ادامه یافتن عمل تبخیر بایستی یک مکانیزم انتقال، رطوبت موجود در اتمسفر مجاور سطح تبخیر کننده را به نقطه دیگری منتقل نماید تا اتمسفر مجاور سطح تبخیر کننده از حالت اشباع خارج شده و تبخیر متوقف نگردد (۱). پدیده تبخیر و تعرق یک پدیده منطقه‌ای است نه نقطه‌ای و با توجه به تغییرات مکانی عوامل دخیل در تبخیر اعم از سطح تبخیر کننده و عوامل محیطی مؤثر بر آن، در برآورد مقدار تبخیر یا تبخیر و تعرق بایستی اقدام به مدل‌سازی توزیعی در مکان نمود (۳). حدود ۶۴٪ بارشهای جو به علت تبخیر و تعرق از سطح زمین است و در واقع تبخیر و تعرق مرتبط کننده سه جزء مهم زیست کره، آب کره و اتمسفر می باشد (۲۱). اقلیم یک ناحیه شامل اتمسفر، سطح زمین و پوشش آن، موجودیت توده آبهای سطحی و مقادیر انرژی خورشیدی دریافتی، دارای چنان پیچیدگی و پویایی است که درک کامل آن در گرو مدل‌های منطقه‌ای (مدلهایی که مخصوص یک منطقه خاص باشد) و بعضاً مدل‌سازی های بسیار پیچیده می‌باشد (۶). تقاضای اتمسفر برای تبخیر به وسیله فاکتورهای اقلیمی و هواشناسی کنترل می‌شود، در حالی که رطوبت به وسیله فاکتورهای خاک، میزان ذخایر سطحی و زیر قشری و گیاه کنترل می‌شود. بنابراین، تبخیر و تعرق تحت تأثیر عوامل اقلیمی، زیستی و خاک می‌باشند (۲۰). در ارتباط با تبخیر و تعرق و پارامترهای اقلیمی موثر بر آن تحقیقات زیادی صورت گرفته، در زیر به تعدادی از آنها اشاره می‌شود. در تحقیقی که توسط پورمحمدی و همکاران (۱۷) در استان یزد انجام گرفت بررسی نقش عوامل فیزیوگرافیکی بر پارامترهای اقلیمی موثر بر تبخیر و تعرق مورد بررسی قرار گرفت و نقشه تبخیر و تعرق این استان توسط معادله هارگریوز- سامانی تهیه شد. در تحقیق دیگری که در حوزه منشاد استان یزد در خصوص آنالیز حساسیت عوامل موثر بر تبخیر و تعرق انجام گرفت نتایج نشان داد که در هر یک از فصول سال مهمترین عوامل موثر بر تبخیر و تعرق متفاوت خواهند بود (۱۶). یکی از مسائل مهم در ارتباط با تبخیر و تعرق تاثیرپذیری آن تحت تاثیر تغییرات اقلیمی در آینده خواهد بود. در ارتباط با اثرات تغییر اقلیم در آینده تحقیقات زیادی انجام شده که در اینجا به اختصار آورده شده است. در تحقیقی که توسط آذرانفر (۴) در حوزه زاینده رود انجام گرفته است، تغییرات بارش و دما با استفاده از کوچک مقیاس کردن به روش آماری مورد بررسی قرار گرفته که در نتیجه انتظار افزایش دما بین ۲ تا ۵ درجه در دوره‌های آینده و همچنین افزایش بارش در ماههای دسامبر و ژانویه وجود دارد. در تحقیقی که توسط مساح بوانی و همکاران (۱۲) انجام شد اثر عدم قطعیت مربوط به پارامترهای روش مونت کارلو، بر توزیع تجمعی احتمالاتی رواناب ورودی به سد زاینده‌رود در دوره آتی (۲۰۷۰-۲۰۹۹) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که تغییر در تعداد نمونه‌های تولید شده از توزیعهای احتمالاتی سناریوهای تغییر اقلیم دما و بارندگی، روش تولید نمونه و در نظر گرفتن همبستگی بین سناریوهای تغییر اقلیم دما و بارندگی، تاثیر خاصی روی توزیع تجمعی احتمالاتی رواناب در

[ Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-12-24 ]

فصول مختلف ندارد. اما توزیع‌های احتمالاتی یکنواخت و نرمال تغییرات زیادی در توزیع تجمعی احتمالاتی رواناب ورودی به سد خواهد داشت. در تحقیقی که توسط دانش‌کار آراسته (۷) انجام گرفت با استفاده از تعداد زیادی تصویر همزمان بارش و دمای ماهانه در سطح کشور ایران به بررسی مکانی و زمانی تغییر اقلیم در ایران پرداخته شد. تحقیق انجام شده تاثیرات ایجاد شده در منابع آب کشور در اثر تغییرات اقلیم را نشان می دهد. در تحقیقی که توسط خوشحال دستجردی و همکاران (۱۱) صورت گرفت با استفاده از مدل گودار (۲۳) به بررسی تغییر اقلیم شهر تبریز پرداخته شد و با توجه به مدل‌های آمبروتیک و هایتروگراف تغییر اقلیم تبریز با توجه به شرایط دو برابر شدن گاز Co2 به صورت کاهش مدت و شدت دوره سرد و کاهش روزهای یخبندان و افزایش دما خود را نشان می‌دهد. در تحقیقی که توسط نوخندان و عباسی (۱۵) در مورد تغییر اقلیم مناطق شمال شرقی کشور با استفاده از مدل MAGICC/SCENGEN (۲۳) انجام گرفت و از داده های خروجی مدل HadCM2 (۲۳) استفاده شد این نتیجه حاصل شد که تا سال ۲۱۰۰ بارش از ۲/۵ تا ۲۰ درصد افزایش خواهد داشت. در مطالعه‌ای که در غرب کشور توسط نوریان (۱۴) در زمینه تغییر اقلیم انجام گرفت با استفاده از داده‌های سینوپتیکی از سال ۱۹۵۰ تا ۲۰۰۵ به این نتیجه رسیدند که دما در حال افزایش و بارندگی در حال کاهش می‌باشد. درتحقیق دیگری که توسط بابائیان (۵) در مورد تغییر اقلیم در ایران انجام گرفت از مدل PRECIS (۲۳) در دوره اقلیمی ۲۰۷۱ تا ۲۱۰۰ و با استفاده از داده‌های پایه ۱۹۶۱ تا ۱۹۹۰ و تحت دو سناریوی A2 و B2 (در قسمت مواد و روشها به اجمال معرفی شده‌اند) به این نتیجه رسیدند که دما بویژه در مرکز و شمال غربی کشور بین ۵ تا ۶ درجه افزایش خواهد یافت و بارندگی در زاگرس غربی و سواحل جنوب شرقی خزر بین ۴۵ تا ۶۰ میلیمتر کاهش خواهد یافت. در تحقیق دیگری در زمینه اثرات تغییر اقلیم بر خشکسالی در ایستگاه یزد با استفاده از مدل HadCM3 (۲۳) تحت دو سناریوی A2 و B2 توسط دستورانی و همکاران (۸) انجام گرفت. نتایج این تحقیق عدم قطعیت وقوع خشکسالی را در ایستگاه یزد تحت دو سناریوی مذکور نشان داد. یو و همکاران (۲۴) به بررسی تاثیر تغییر اقلیم روی میزان تبخیر و تعرق در چمنزارهای جنوب تایوان براساس دو سناریوی مختلف پرداختند و به این نتیجه رسیدند که میزان تبخیر و تعرق تحت هر دو سناریوی استفاده شده در آینده رو به افزایش است. هارمسن و همکاران (۱۰) تاثیرات تغییر اقلیم را روی تبخیر و تعرق، بارندگی و بازده محصول در پورتوریکو مورد بررسی قرار دادند و دریافتند که در اثر پدیده تغییر اقلیم در این منطقه در آینده فصول مرطوب مرطوبتر و فصول خشک خشکتر خواهد شد.

وگهنکل و کرسبائوم (۲۲) تاثیر پدیده تغییر اقلیم را روی تبخیر و تعرق، تغذیه سفره‌های زیرزمینی و شرایط کم آبی در منطقه شمال شرق آلمان مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که تحت تاثیر این پدیده

[ Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-12-24 ]

دما، تبخیر و تعرق و کم آبی با افزایش مواجه بوده و بر عکس میزان بارندگی و تغذیه سفره‌ها رو به کاهش خواهد بود. رمروا و سیسلروا (۱۸) اثرات پدیده تغییر اقلیم روی تبخیر و تعرق را در حوزه‌ای در جمهوری چک مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار داده و به این نتیجه رسیدند که در منطقه مورد مطالعه تغییرات تبخیر و تعرق در آینده قابل توجه نخواهد بود. گرچه تاکنون تحقیقات متفاوتی در زمینه تاثیر تغییر اقلیم بر تبخیر و تعرق انجام شده است، ولی در اکثر آنها عدم قطعیت‌های مربوط در محاسبات لحاظ نشده که این امر می‌تواند از درجه کاربردی بودن نتایج نهائی بکاهد. لذا در تحقیق حاضر در نظر است تا به بررسی تاثیر چند منبع عدم قطعیت بر تبخیر و تعرق ایستگاه یزد در دوره‌های آتی پرداخته شود. تا از نتایج کسب شده بتوان جهت برنامه‌ریزی‌های آینده مربوط به نیاز آبی گیاهان و نیز مدیریت صحیح منابع آب منطقه استفاده کرد.

## مواد و روشها

منطقه مطالعاتی این تحقیق ایستگاه سینوپتیک یزد واقع در دشت یزد- اردکان در استان یزد می‌باشد. این ایستگاه در طول جغرافیایی ″۳۸ ′۲۰ °۵۴ شرقی و عرض ″۱۶ ′۵۳ °۳۱ شمالی واقع شده است. برای انجام تحقیق مذکور سه مجموعه متفاوت از داده‌های اقلیمی مورد استفاده قرار گرفتند:

۱- داده‌های دریافتی از ایستگاه سینوپتیک یزد به عنوان داده‌های مشاهداتی این تحقیق (از سال ۱۹۶۱ تا ۱۹۹۰).

۲- داده‌های حاصل از مدل HadCM3 تحت سناریوی A2 که به دو دوره آماری ۱۹۹۰-۱۹۶۱ (گذشته) و ۲۰۳۹-۲۰۱۰ (آینده) تفکیک می‌شوند.

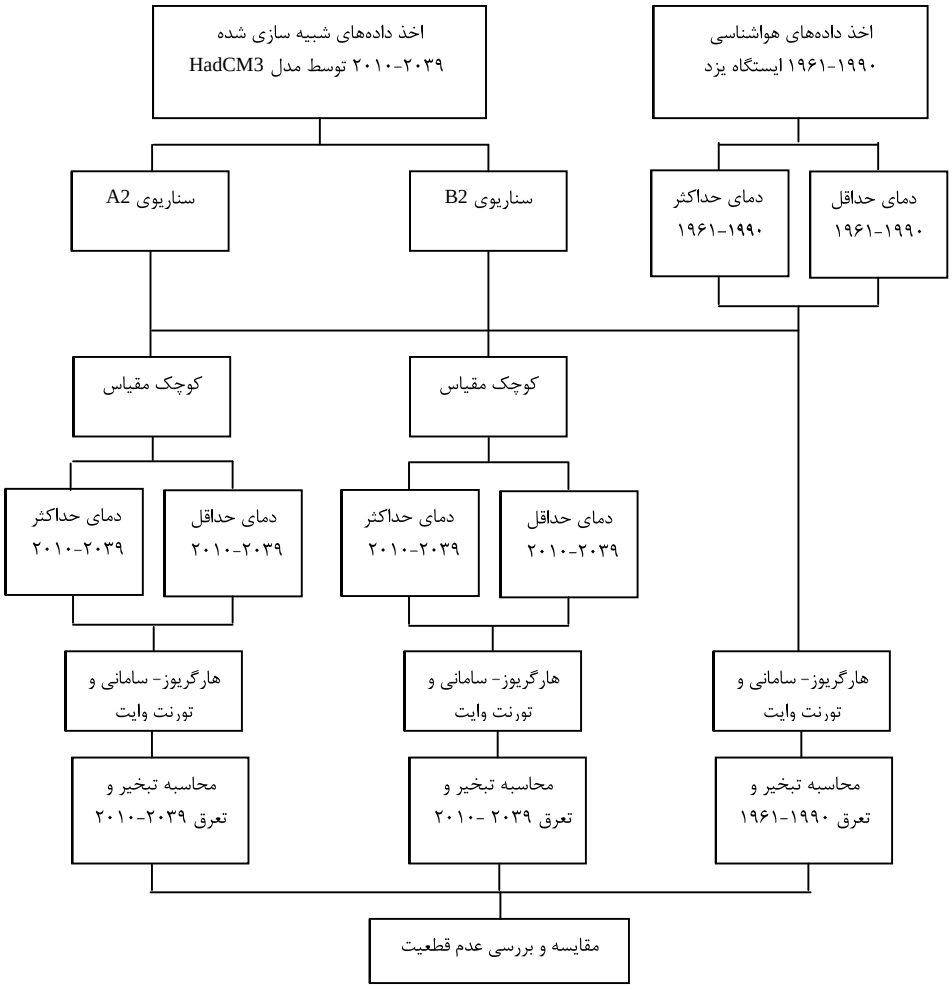
۳- داده‌های دریافتی از مدل HadCM3 تحت سناریوی B2 که به دو دوره آماری ۱۹۹۰-۱۹۶۱ (گذشته) و ۲۰۳۹-۲۰۱۰ (آینده) تفکیک می‌شوند.

هر یک از این سه مجموعه مشتمل بر دو پارامتر دمای حداقل و دمای حداکثر می‌باشند که همگی بصورت روزانه خواهند بود. این پارامترها جهت محاسبه تبخیر و تعرق مرجع ضروری هستند. در نهایت با در اختیار داشتن این سه مجموعه داده، امکان محاسبه پدیده تبخیر و تعرق (مربوط به دوره‌های گذشته و آینده) و مقایسه آنها با یکدیگر بوجود خواهد آمد که در ادامه به تشریح بیشتر آنها خواهیم پرداخت. در شکل ۱ مراحل مختلف انجام تحقیق نمایش داده شده است.

**- محاسبه تبخیر و تعرق مرجع**

جهت محاسبه تبخیر و تعرق مرجع در دوره‌های گذشته و آتی از دو روش هارگریوز- سامانی و تورنت وایت استفاده شد که علت انتخاب این روشها به غیر از سادگی، همخوانی آن با اقلیم ایران بوده است (۲).

[ Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-12-24 ]




شکل ۱- مراحل مختلف انجام تحقیق.

در روش هارگریوز- سامانی مقدار تبخیر و تعرق به کمک رابطه ۱ محاسبه می‌گردد (۱):

$$ET_{\circ} = 0.1315(K_T).R_a.TD^{0.5}(T+17.8) \qquad (۱)$$

و مقدار $K_T$ توسط رابطه ۲ محاسبه می‌شود:

$$K_T = 0.00185(TD)^2 - 0.0433TD + 0.4023 \qquad (۲)$$

در این روابط $ET_o$ تبخیر و تعرق مرجع برحسب میلیمتر در هر ماه (یا دوره زمانی مورد نظر)، TD اختلاف دمای حداکثر و حداقل ماهانه برحسب درجه سانتیگراد، T متوسط درجه حرارت ماهانه برحسب سانتیگراد که با میانگین‌گیری از حداکثر و حداقل دما محاسبه شده است. عدد $R_a$ نیز تابش برون زمینی برحسب میلیمتر آب بوده که با توجه به عرض جغرافیایی ایستگاه هر نقطه و برای هر یک از ماههای سال تغییر کرده و از جداول موجود در این زمینه استخراج گردیده است (۱). جهت بررسی عدم قطعیتهای مربوط به روابط محاسباتی تبخیر و تعرق، از روش تورنت وایت نیز جهت محاسبه

[ Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-12-24 ]

تبخیر و تعرق مرجع استفاده و با نتایج حاصل از روش هارگریوز- سامانی مقایسه شده است (لازم به ذکر است معادلات هارگریوز- سامانی و تورنت وایت دارای همبستگی بیش از ۹۰٪ با معادله فائو-پنمن مانتیث (۱۹ و ۹) که معتبرترین رابطه برآورد تبخیر و تعرق می باشد (فائو ۵۶)، هستند). اساس این محاسبه نیز داشتن دمای متوسط ماهانه ($T_m$) است که با کمک آن نمایه حرارتی ماهانه (i) و سپس سالانه (I) و همچنین ضریب مربوطه (a) محاسبه شده و نهایتاً تبخیر و تعرق مرجع ماهانه از طریق رابطه ۳ بدست خواهد آمد (۲).

$$ET_o = 16\left(\frac{10T_m}{I}\right)^a \qquad (۳)$$

**- معرفی اجمالی سناریوهای A2 و B2**

فعالیت‌های اقتصادی جوامع و متعاقب آن رشد صنایع و کارخانه‌ها و تغییرات کاربری اراضی از عوامل اصلی افزایش گازهای گلخانه‌ای می‌باشند. از اینرو لازم است تا وضعیت اقتصادی-اجتماعی کره زمین در دوره‌های آتی بررسی گردد. بطورکلی یک سناریوی غیر اقلیمی حاوی اطلاعاتی از وضعیت اقتصادی-اجتماعی و میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در اتمسفر کره زمین است که به آن سناریوی انتشار[1] نیز گفته می‌شود. IPCC[2] یا هیئت بین دول تغییر اقلیم که در سال ۱۹۸۸ بوسیله سازمان هواشناسی جهانی WMO[3] و برنامه محیط زیست سازمان ملل UNEP[4] تاسیس شد، وظیفه شناخت تمام جنبه‌های پدیده تغییر اقلیم را عهده‌دار است و سری اولیه سناریوهای انتشار را در سال ۱۹۹۲ با نام IS92 (IPCC Scenario) (IS92a-IS92f) ارائه کرد. در این سناریوها مقادیر گازهای گلخانه‌ای با نرخی ثابت تا سال ۲۱۰۰ افزایش می‌یابد. در سال ۱۹۹۶، IPCC سری جدید سناریوهای انتشار را به منظور به روز کردن و جایگزینی سناریوهای IS92 با نام SRES[5] ارائه کرد. در مجموع ۴۰ زیر سناریوی متفاوت SRES که در برگیرنده طیف وسیعی از تغییرات رشد جمعیت انسان در آینده، عوامل اقتصادی و تکنولوژیکی موثر بر انتشار گازهای گلخانه‌ای و ذرات معلق می‌باشد ارائه شده است. هر کدام از این زیر سناریوها مربوط به یکی از گروههای A1، A2، B1 و B2 می‌باشد. سناریوی A2 از نوع منطقه‌ای است که شرایط اقتصادی را بیشتر مد نظر دارد. موضوع در برگیرنده خانواده سناریوهای A2 تقویت نیروهای جمعیتی منطقه‌ای با تاکید بر ارزش خانواده‌ها و رسوم خانوادگی، رشد زیاد جمعیت و وابستگی کمتر به پیشرفت سریع اقتصادی می‌باشد. سناریوی B2 نیز همانند سناریوی A2 منطقه‌ای می‌باشد که به امر حفظ محیط زیست توجه بیشتری دارد. در سناریوی B2 تاکید بر راه حل‌های منطقه‌ای برای تقویت مسائل اقتصادی، اجتماعی و محیط زیست می‌باشد. این یک دنیای ناهمگون با سرعت تغییرات تکنولوژی کمتر اما با تنوع بیشتر می‌باشد. اما تاکید قوی در این سناریو بر ابتکار عمل جامعه و نوآوری‌های آن برای یافتن راه‌حل‌های منطقه‌ای نسبت به راه‌حل‌های جهانی می‌باشد (۱۲).

**-کوچک مقیاس نمودن[6]:**

روشهای مختلفی برای کوچک مقیاس نمودن وجود دارد که یکی از آنها روش

1- Emission scenario
2- Intergovernmental Panel of Climate Change
3- World Meteorological Organization
4- United Nation Environmental Program
5- Special Report on Emission Scenarios
6- Downscaling

[ Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-12-24 ]

تصادفی[1] است. برای انجام این کار ابتدا پس از اخذ داده‌های روزانه مشاهداتی ایستگاه یزد مربوط به دوره ۱۹۹۰-۱۹۶۱، میانگین‌های ماهانه دمای حداقل ($T_{min}$) و دمای حداکثر ($T_{max}$) هر یک به صورت مجزا محاسبه گردیدند. به عنوان مثال برای دمای حداقل در ماه ژانویه مقداری معادل $\overline{T}_{Jan\,(1961-1990)}$ بدست آمد. برای سایر ماههای سال نیز مقادیر میانگین دمای حداقل محاسبه گردیدند. همچنین پس از کسب داده‌های دمای حداقل و دمای حداکثر از مدل HadCM3 تحت دو سناریوی A2 و B2 و جداسازی هر یک از آنها به دو دوره آماری ۱۹۹۰-۱۹۶۱ و ۲۰۳۹-۲۰۱۰، اقدام به میانگین‌گیری از آنها به صورت ماهانه شد. به عنوان مثال در ماه ژانویه برای دمای حداقل سناریوی A2 دو مقدار $T_{Jan(1961-1990)}$ و $T_{Jan(2010-2039)}$ بدست آمدند. سپس اختلاف این دو در آن ماه محاسبه شد:

$$\Delta T_{Jan} = T_{Jan\,(2010-2039)} - T_{Jan\,(1961-1990)} \qquad (۴)$$

مقدار $\Delta T_{Jan}$ نشان‌دهنده اختلاف بین دمای حداقل ماه ژانویه در دوره گذشته و آینده تحت سناریوی A2 نهایتا جهت محاسبه میانگین ماهانه دمای حداقل در ماه ژانویه برای دوره آینده، از میانگین ماهانه مشاهداتی ($\overline{T}_{Jan(1961-1990)}$) و مقدار $\Delta T_{Jan}$ استفاده می‌شود:

$$\overline{T}_{Jan(2010-2039)} = \overline{T}_{Jan(1961-1990)} + \Delta T_{Jan} \qquad (۵)$$

با این کار، میانگین‌های ماهانه دمای حداقل در دوره آتی (۲۰۳۹-۲۰۱۰) تحت سناریوی A2 بدست می‌آیند. به همین ترتیب برای دمای حداقل سناریوی B2 و دمای حداکثر سناریوهای A2 و B2، همین اقدامات صورت گرفت تا مقادیر ماهانه آنها برای دوره آتی محاسبه گردد. سپس با استفاده از نرم افزار ClimGen (۱۳) و مقادیر ماهانه دمای حداکثر و دمای حداقل دوره آتی (۲۰۳۹-۲۰۱۰)، به مقادیر روزانه این متغیرها در دوره آتی شبیه‌سازی شدند. به این ترتیب داده‌های مربوط به دمای حداقل و دمای حداکثر برای دوره ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹ تحت دو سناریوی A2 و B2 شبیه‌سازی گردیدند. سپس این مقادیر به مدلهای هارگریوز- سامانی و تورنت وایت معرفی شده و تبخیر و تعرق مرجع ایستگاه یزد در دوره‌های آتی محاسبه و با نتایج مربوط به دوره ۱۹۹۰-۱۹۶۱ مقایسه و نتایج ارائه شد.

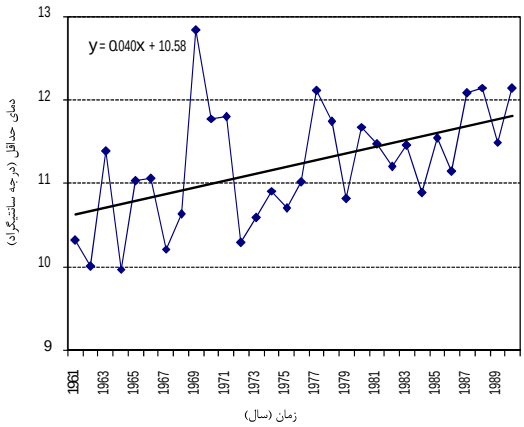
## نتایج و بحث

دمای بیشینه و دمای کمینه ایستگاه یزد در دوره پایه (۱۹۹۰-۱۹۶۱) در شکل ۲ نمودار مربوط به دمای کمینه و بیشینه ایستگاه یزد در دوره ۱۹۹۰-۱۹۶۱ مشاهده می‌شود. همانطور که در نمودار مربوط به دمای کمینه مشاهده می‌شود بازه دمایی این دوره از ۱۰ درجه سانتی‌گراد در سال ۱۳۶۲ تا ۱۲/۱ درجه سانتی‌گراد در سالهای ۱۹۷۷، ۱۹۸۷ و ۱۹۸۸ می‌باشد. با توجه به منحنی مذکور روند کمینه دما در ایستگاه یزد مثبت بوده و در طی این سی سال با افزایش حدود ۲ درجه سانتی‌گراد روبرو بوده است. در ارتباط با نمودار بیشینه دمای ایستگاه یزد نیز در این دوره سی ساله روند افزایشی بوده به طوری که

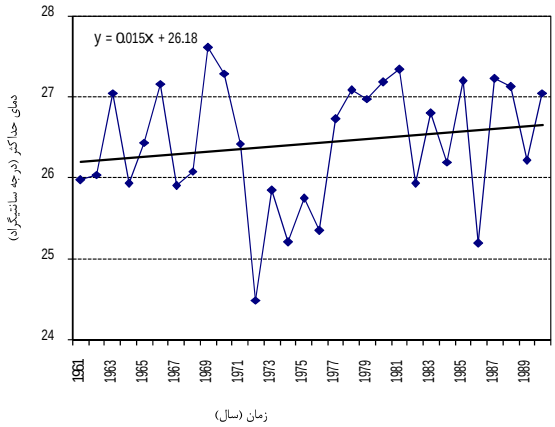
1- Stochastic downscaling

[ Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-12-24 ]

دما از ۲۶ درجه سانتی‌گراد در سال ۱۹۶۱ به ۲۷/۱ درجه سانتی‌گراد در سال ۱۹۹۰ رسیده است. بیشترین دما در این دوره با مقدار ۲۷/۳ درجه سانتی‌گراد در سال ۱۹۷۰ رخ داده است و کمترین آن ۲۴/۵ درجه سانتی‌گراد در سال ۱۹۷۲ بوده است. همانطور که مشاهده می‌شود افزایش دما در طی این دوره سی ساله بیش از ۲ درجه سانتی‌گراد می‌باشد.




(الف)

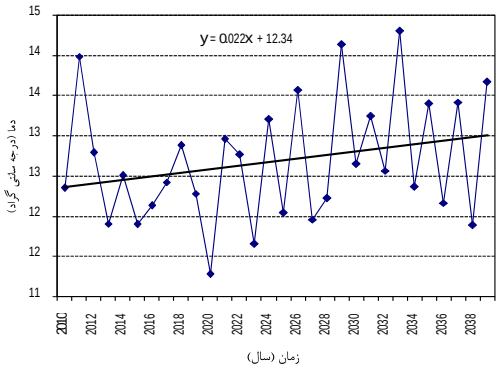



(ب)

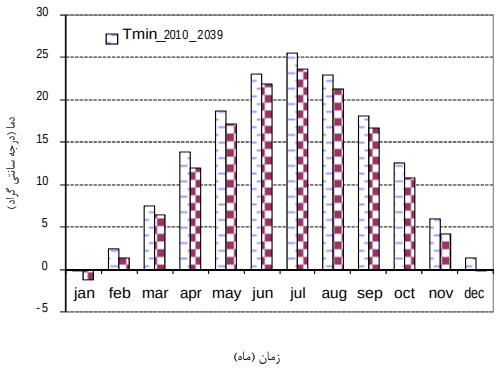
شکل ۲- الف) دمای کمینه و ب) دمای بیشینه ایستگاه یزد در دوره پایه ۱۹۹۰-۱۹۶۱.

دمای بیشینه و کمینه متوسط شبیه‌سازی شده ایستگاه یزد تحت سناریوی A2 در شکل ۳ (الف) دمای کمینه سالانه ایستگاه یزد در دوره زمانی ۲۰۳۹-۲۰۱۰ تحت سناریوی A2 مشاهده می‌شود. براساس این شکل نوسانات دمای کمینه در طی ۳۰ سال زیاد بوده به طوری که از ۱۱/۲ درجه سانتی‌گراد در سال ۲۰۲۰ تا ۱۴/۳ درجه سانتی‌گراد در سال ۲۰۳۳ متغیر می‌باشد. در کل روند نمودار کمینه دما رو به افزایش بوده و دمای کمینه ۳ (ب) میانگین بلند مدت ماهانه دمای کمینه ایستگاه یزد در دوره زمانی ۲۰۳۹-۲۰۱۰ تحت سناریو A2 در قیاس با دوره ۱۹۹۰-۱۹۶۱ نشان داده شده است. با توجه به شکل ملاحظه می‌شود که دمای کمینه دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ در تمامی ماهها نسبت به دوره ۱۹۹۰-۱۹۶۱ افزایش خواهد داشت.

[ Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-12-24 ]




(الف)




(ب)

شکل ۳- الف) دمای کمینه سالانه ایستگاه یزد در دوره زمانی ۲۰۳۹-۲۰۱۰ تحت سناریوی A2، ب) میانگین بلند مدت ماهانه دمای کمینه ایستگاه یزد در دوره زمانی ۲۰۳۹-۲۰۱۰ در قیاس با دوره زمانی ۱۹۹۰-۱۹۶۱ تحت سناریوی A2.

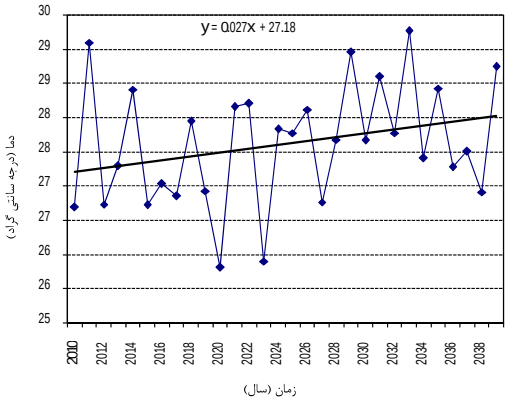
در شکل ۴ (الف) دمای بیشینه سالانه ایستگاه یزد در دوره زمانی ۲۰۳۹-۲۰۱۰ تحت سناریوی A2 مشاهده می‌شود. طبق این نتایج، نوسانات دمای بیشینه در طی ۳۰ سال زیاد بوده به طوری که از ۲۵/۷ درجه سانتی-گراد در سال ۲۰۲۰ تا ۲۹/۳ درجه سانتی‌گراد در سال ۲۰۳۳ خواهد رسید (البته متوسط تغییرات با توجه به نمودار در این ۱۳ سال ۰/۴ درجه سانتی‌گراد می باشد). با توجه به نمودارهای ۳ (الف) و ۴ (الف) می‌توان دریافت که بیشترین دمای کمینه و بیشینه مربوط به سال ۲۰۳۳ است. در کل روند نمودار دمای بیشینه رو به افزایش بوده و دما در سالهای آتی افزایش خواهد داشت در شکل ۴ (ب) میانگین درازمدت ماهانه دمای بیشینه ایستگاه یزد در دوره زمانی ۲۰۳۹-۲۰۱۰ تحت سناریوی A2 در قیاس با دوره ۱۹۹۰-۱۹۶۱ نشان داده شده است. با توجه به این نتایج دمای بیشینه دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ در تمامی ماهها نسبت به دوره ۱۹۹۰-۱۹۶۱ افزایش داشته است.

در جدول ۱ میانگین بلند مدت ماهانه دمای کمینه و بیشینه در دوره پایه (۱۹۹۰-۱۹۶۱) و دوره آتی (۲۰۳۹-۲۰۱۰) تحت سناریوی A2 نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود متوسط دمای کمینه دوره آتی ۱/۵ درجه سانتی‌گراد و متوسط دمای بیشینه دوره آتی ۱/۲ درجه سانتی‌گراد نسبت به دوره گذشته افزایش یافته است.

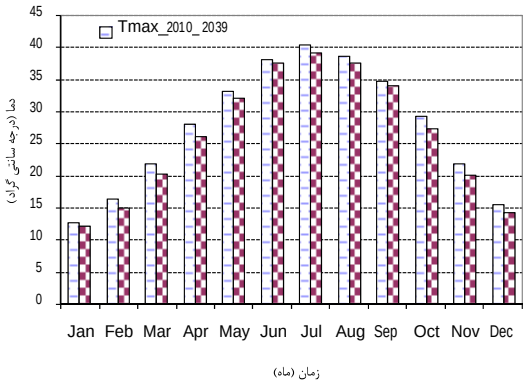
براساس نتایج بدست آمده از شبیه‌سازی‌های مدل HadCM3 تحت سناریوی A2 برای منطقه یزد، می‌توان چنین نتیجه گرفت که ایستگاه یزد در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ شاهد روند افزایشی دمای کمینه و بیشینه خواهد بود. این در حالی است که متوسط دراز مدت ماهانه هر دو متغیر اقلیمی مورد مطالعه در ایستگاه یزد در دوره

[ Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-12-24 ]

۲۰۳۹-۲۰۱۰ نسبت به دوره ۱۹۹۰-۱۹۶۱ افزایش خواهد یافت.




(الف)




(ب)

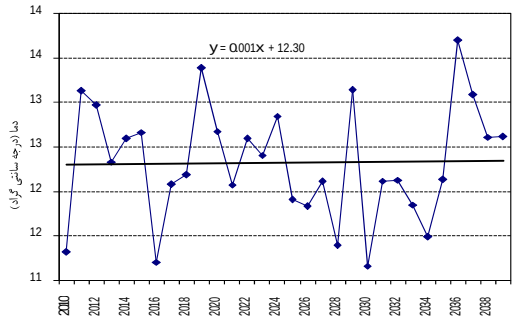
شکل ۴- الف) دمای بیشینه سالانه ایستگاه یزد در دوره زمانی ۲۰۳۹-۲۰۱۰ تحت سناریوی A2 ب) میانگین درازمدت ماهانه دمای بیشینه ایستگاه یزد در دوره زمانی ۲۰۳۹-۲۰۱۰ در قیاس با دوره زمانی ۱۹۹۰-۱۹۶۱.

جدول ۱- میانگین بلند مدت ماهانه دمای کمینه و بیشینه در دوره پایه (۱۹۹۰-۱۹۶۱ ) و دوره آتی (۲۰۳۹-۲۰۱۰) تحت سناریوی A2

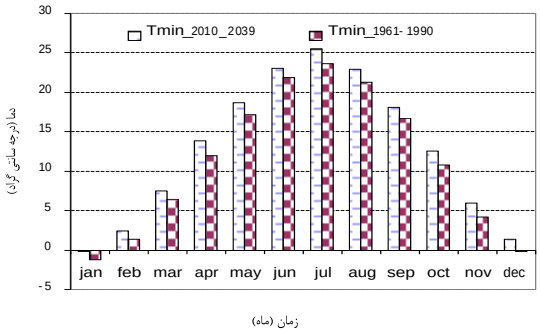
| میانگین دمای کمینه بلند مدت ماهانه (۱۹۹۰-۱۹۶۱) | میانگین دمای بیشنه بلند مدت ماهانه (۱۹۹۰-۱۹۶۱) | میانگین دمای کمینه بلند مدت ماهانه تحت سناریوی A2 (۲۰۳۹-۲۰۱۰) | میانگین دمای بیشینه بلند مدت ماهانه تحت سناریوی A2 (۲۰۳۹-۲۰۱۰) |
|---|---|---|---|
| ۱۱/۲ | ۲۶/۴ | ۱۲/۷ | ۲۷/۶ |

دمای بیشینه و دمای کمینه شبیه‌سازی شده ایستگاه یزد تحت سناریوی B2 در شکل ۵ (الف) دمای کمینه سالانه ایستگاه یزد در دوره زمانی ۲۰۳۹-۲۰۱۰ تحت سناریو B2 مشاهده می‌شود. نوسانات دمای کمینه در طی ۳۰ سال زیاد بوده به طوری که از ۱۱/۲ درجه سانتی‌گراد در سال ۲۰۳۰ تا ۱۴/۵ درجه سانتی‌گراد در سال ۲۰۳۶ متغیر می‌باشد. در کل روند نمودار کمینه دما رو به افزایش بوده و دما در سالهای آتی افزایش خواهد داشت. در شکل ۵ (ب) میانگین بلند مدت ماهانه دمای کمینه ایستگاه یزد در دوره زمانی ۲۰۳۹-۲۰۱۰ تحت سناریوی B2 و در قیاس با دوره ۱۹۹۰-۱۹۶۱ نشان داده شده است. با توجه به شکل می‌توان دریافت که دمای کمینه دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ در تمامی ماهها نسبت به دوره ۱۹۹۰-۱۹۶۱ افزایش خواهد داشت.

[ Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-12-24 ]



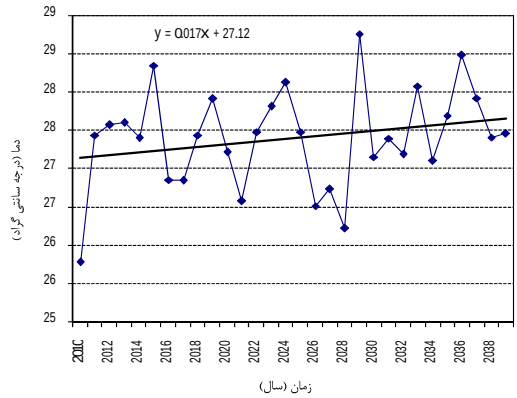

(الف)



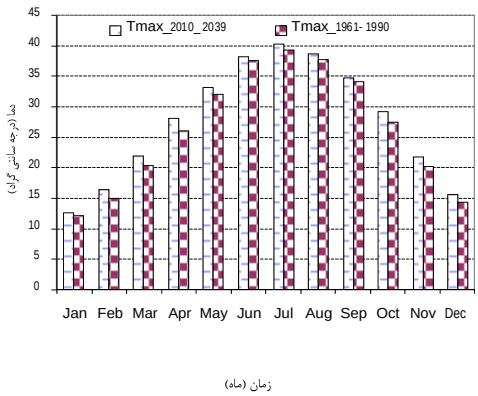

(ب)

شکل ۵- الف) دمای کمینه سالانه ایستگاه یزد در دوره زمانی ۲۰۳۹-۲۰۱۰ تحت سناریوی B2، ب) میانگین بلند مدت ماهانه دمای کمینه ایستگاه یزد در دوره زمانی ۲۰۳۹-۲۰۱۰ در قیاس با دوره زمانی ۱۹۹۰-۱۹۶۱ تحت سناریوی B2.

در شکل ۶ (الف) دمای بیشینه سالانه ایستگاه یزد در دوره زمانی ۲۰۳۹-۲۰۱۰ تحت سناریوی B2 نشان داده شده است. نوسانات دمای بیشینه در طی ۳۰ سال نسبتا زیاد بوده به طوری که از ۲۵/۷ درجه سانتی‌گراد در سال ۲۰۱۰ تا ۲۸/۷ درجه سانتی‌گراد در سال ۲۰۲۹ خواهد بود (البته متوسط تغییرات با توجه به نمودار در این ۱۹ سال ۰/۴ درجه سانتی‌گراد می‌باشد). در کل روند نمودار دمای بیشینه رو به افزایش بوده و دما در سالهای آتی افزایش خواهد داشت. در شکل ۶ (ب) میانگین بلند مدت ماهانه دمای بیشینه ایستگاه یزد در دوره زمانی ۲۰۳۹-۲۰۱۰ تحت سناریو B2 و در قیاس با دوره ۱۹۹۰-۱۹۶۱ نشان داده شده است. دمای بیشینه دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ در تمامی ماهها بجز دو ماه فوریه و نوامبر نسبت به دوره ۱۹۹۰-۱۹۶۱ افزایش داشته است.




(الف)




(ب)

شکل ۶- الف) دمای بیشینه سالانه ایستگاه یزد در دوره زمانی ۲۰۳۹-۲۰۱۰ تحت سناریوی B2 ب) میانگین بلند مدت ماهانه.

[ Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-12-24 ]

دمای بیشینه ایستگاه یزد در دوره زمانی ۲۰۳۹-۲۰۱۰ در قیاس با دوره زمانی ۱۹۹۰-۱۹۶۱ تحت سناریوی B2 در جدول ۲ میانگین بلند مدت ماهانه دمای کمینه و بیشینه در دوره پایه (۱۹۹۰-۱۹۶۱) و دوره آتی (۲۰۳۹-۲۰۱۰) تحت سناریوی B2 نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود دمای کمینه دوره آتی ۱/۱ درجه سانتی‌گراد و دمای بیشینه دوره آتی ۱ درجه سانتی‌گراد نسبت به دوره گذشته افزایش یافته است.

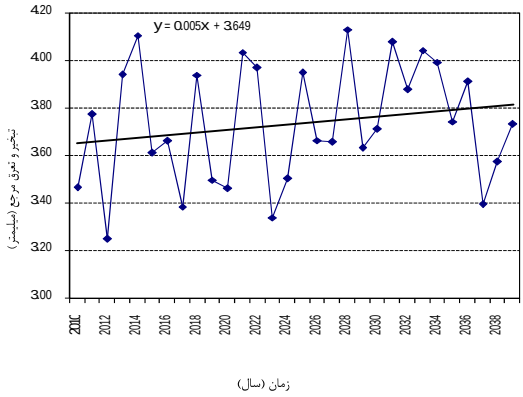
جدول ۲- میانگین بلند مدت ماهانه دمای کمینه و بیشینه در دوره پایه (۱۹۹۰-۱۹۶۱ ) و دوره آتی (۲۰۳۹-۲۰۱۰) تحت سناریوی B2

| میانگین دمای کمینه بلند مدت ماهانه (۱۹۹۰-۱۹۶۱) | میانگین دمای بیشینه بلند مدت ماهانه (۱۹۹۰-۱۹۶۱) | میانگین دمای کمینه بلند مدت ماهانه تحت سناریوی B2 (۲۰۳۹-۲۰۱۰) | میانگین دمای بیشینه بلند مدت ماهانه تحت سناریوی B2 (۲۰۳۹-۲۰۱۰) |
|---|---|---|---|
| ۱۱/۲ | ۲۶/۴ | ۱۲/۳ | ۲۷/۴ |

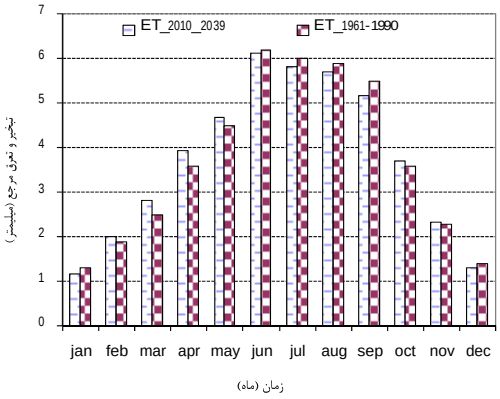
با توجه به نتایج بدست آمده از سناریوی B2 برای ایستگاه یزد چنین استنباط می‌شود که دو متغیر دمای کمینه و بیشینه نشان از روند افزایشی سالانه برای دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ و افزایش دمای درازمدت ماهانه این دوره نسبت به دوره مشاهداتی دارد.

مقادیر تبخیر و تعرق مربوط به دو سناریوی A2 و B2 و قیاس با دوره‌های گذشته در شکل ۷ (الف) میزان تبخیر و تعرق مرجع شبیه‌سازی شده برای دوره آتی (۲۰۳۹-۲۰۱۰) تحت سناریوی A2 نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود روند تبخیر و تعرق طی این دوره افزایشی است. کمترین میزان تبخیر مربوط به سال ۲۰۱۲ به مقدار ۳/۲ میلیمتر در روز بوده است و بیشترین میزان آن مربوط به سال ۲۰۲۹ با مقدار ۴/۱ میلیمتر در روز می‌باشد. شکل ۷ (ب) نیز نمودار مربوط به مقایسه میانگین دراز مدت ماهانه تغییرات تبخیر و تعرق مرجع در ماههای مختلف در دوره گذشته و آتی تحت سناریوی A2 را نشان می‌دهد. همانطوری که ملاحظه می‌شود میزان تبخیر و تعرق مرجع شبیه‌سازی شده مربوط به دوره آتی تحت سناریوی A2 در ماههای مارس، آوریل، می و اکتبر بیشتر از تبخیر و تعرق‌های این ماهها در دوره پایه ۱۹۹۰-۱۹۶۱ می‌باشد. و از ماه جولای تا دسامبر (به غیر از ماه اکتبر) تبخیر و تعرق در دوره پایه زیادتر از دوره آتی می باشد. همچنین تبخیر و تعرق مربوط به ژانویه و فوریه مربوط به دوره پایه کمی بیشتر از دوره آتی تخمین زده شده است. می‌توان چنین نتیجه گرفت که در فصل بهار تبخیر و تعرق در دوره‌های آتی تحت سناریو A2 افزایش خواهد داشت و در سایر فصول یا تبخیر و تعرق کاهش می‌یابد یا تغییرات معنی داری بویژه در فصل زمستان نمی‌کند.

[ Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-12-24 ]




(الف)



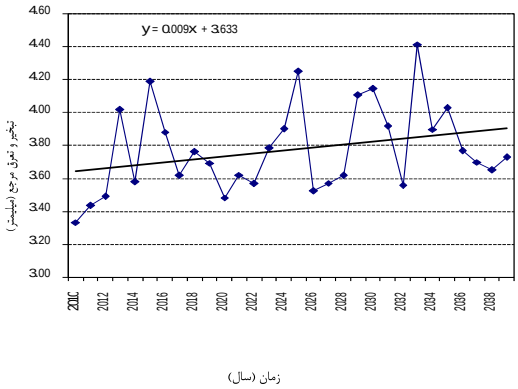

(ب)

شکل ۷- الف) تغییرات تبخیر و تعرق مرجع در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ تحت سناریوی A2، ب) مقایسه تغییرات تبخیر و تعرق مرجع در ماههای مختلف در دوره گذشته و آتی تحت سناریوی A2.

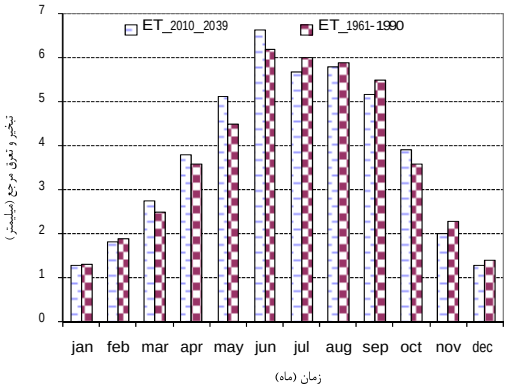
در شکل ۸ (الف) سری زمانی تبخیر و تعرق مرجع در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ تحت سناریوی B2 مشاهده می‌شود. همانطور که از نمودار مشخص است روند تبخیر و تعرق در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ تحت سناریوی B2 رو به افزایش می‌باشد. بیشترین میزان تبخیر و تعرق در این دوره۳۰ ساله مربوط به سال ۲۰۳۳ با مقدار ۴/۵ میلیمتر در روز و کمترین میزان آن حدود ۳/۳ میلیمتر در روز در سال ۲۰۱۰ می باشد. در قسمت (ب) مربوط به شکل ۸ میانگین دراز مدت ماهانه تبخیر و تعرق مرجع در ماههای مختلف سال در دوره گذشته و آتی تحت سناریوی B2 نشان داده شده است. براساس این شکل تبخیر و تعرق مرجع در ماههای مارس، آوریل، می، ژوئن و اکتبر بیشتر از تبخیر و تعرق این ماهها در دوره پایه ۱۹۹۰-۱۹۶۱ می‌باشد. همچنین از ماه جولای تا دسامبر (به غیر از ماه اکتبر) تبخیر و تعرق در دوره پایه زیادتر از دوره آتی بوده و در ژانویه و فوریه تبخیر و تعرق دوره پایه کمی بیشتر از دوره آتی خواهد بود. می‌توان چنین نتیجه گرفت که همچون سناریوی A2 در فصل بهار تبخیر و تعرق در دوره‌های آتی تحت سناریوی B2 نیز افزایش خواهد داشت و در سایر فصول یا تبخیر و تعرق کاهش می‌یابد یا تغییرات معنی داری بویژه در فصل زمستان نمی‌کند. در جدول ۳ میانگین تبخیر و تعرق بلندمدت روزانه در دوره پایه و آینده تحت سناریوهای A2 و B2 نشان داده شده است. در این مرحله تبخیر و تعرق دو دوره به کمک روش تورنت وایت نیز محاسبه و با روش هارگریوز- سامانی مقایسه شده است.

در جدول ۳ میانگین تبخیر و تعرق بلندمدت روزانه در دوره پایه و آینده تحت سناریوهای A2 و B2 نشان داده شده است. در این مرحله تبخیر و تعرق دو دوره به کمک روش تورنت وایت نیز محاسبه و با روش هارگریوز- سامانی مقایسه شده است.

[ Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-12-24 ]




(الف)




(ب)

شکل ۸- الف) تغییرات تبخیر و تعرق مرجع در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ تحت سناریوی B2، ب) مقایسه تغییرات تبخیر و تعرق مرجع در ماههای مختلف در دوره گذشته و آتی تحت سناریوی B2.

جدول ۳- میانگین تبخیر و تعرق مرجع روزانه برای دوره گذشته و آتی تحت دو سناریوی A2 و B2 به دو روش هارگریوز- سامانی و تورنت وایت

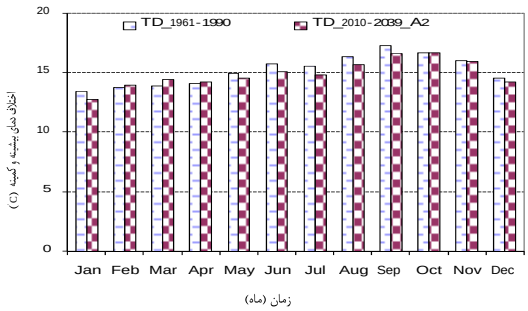
| پارامتر | هارگریوز- سامانی | تورنت وایت |
|---|---|---|
| میانگین تبخیر و تعرق بلند مدت روزانه (۱۹۹۰-۱۹۶۱) | ۳/۸ | ۳/۱ |
| میانگین تبخیر و تعرق بلند مدت روزانه تحت سناریوی A2 (۲۰۳۹-۲۰۱۰) | ۳/۷ | ۳/۵ |
| میانگین تبخیر و تعرق بلند مدت روزانه تحت سناریوی B2 (۲۰۳۹-۲۰۱۰) | ۳/۸ | ۳/۴ |

همانطور که مشاهده می شود میزان تبخیر و تعرق مرجع با استفاده از معادله هارگریوز- سامانی در دوره پایه (۱۹۹۰-۱۹۶۱) و دوره آتی تحت هر دو سناریو تغییر محسوسی نداشته است. این در حالی است که در هر دو سناریو افزایش دمای بیشنه و کمینه در آینده (۲۰۳۹-۲۰۱۰) نسبت به گذشته را نشان می‌دادند. علت این امر را می توان در معادله بکار برده شده در شبیه سازی تبخیر و تعرق جستجو کرد. در معادله هارگریوز- سامانی یکی از پارامترهای مهم جهت محاسبه تبخیر و تعرق اختلاف دمای بیشینه و کمینه می‌باشد. در سناریوی A2 هر چند هر دو پارامتر کمینه و بیشینه دما افزایش یافته اما دمای کمینه بیش از دمای بیشینه نسبت به دوره گذشته افزایش یافته که این خود باعث گردیده است که مقدار TD کاهش یافته و در نتیجه میزان تبخیر و تعرق مرجع تحت این سناریو کمتر از دوره گذشته باشد. اما در سناریوی B2 بعلت افزایش حدودا یکسان دمای کمینه و بیشینه، مقدار TD نسبت به دوره گذشته تغییر محسوسی نکرده و میزان میانگین تبخیر و تعرق بلند مدت مرجع در گذشته و آینده یکسان برآورد شده است. اما در ارتباط با نتایج بدست آمده از روش محاسباتی تورنت وایت میزان تبخیر و تعرق میانگین بلند مدت روزانه در سناریوی A2 به مقدار ۰/۴ میلیمتر و در سناریوی B2 به میزان

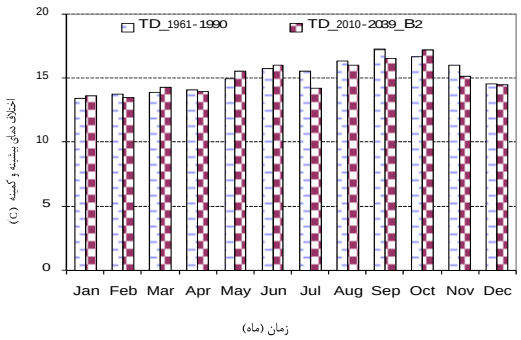
[ Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-12-24 ]

۰/۳ میلیمتر نسبت به دوره پایه افزایش داشته است.

در شکل ۹ اختلاف دمای بیشینه و کمینه دوره پایه (۱۹۹۰-۱۹۶۱) در قیاس با دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ تحت سناریوی A2 و B2 نشان داده شده است. در ارتباط با شکل (الف) به جز سه ماه فوریه، مارس و آوریل در بقیه ماهها TD مربوط به دوره گذشته بیش از دوره آینده بوده است. و همین امر موجب بیشتر بودن تبخیر و تعرق مرجع در گذشته نسبت به آینده شده است. اما در ارتباط با قسمت (ب) نمودار مشاهده می‌شود که TD مربوط به دوره گذشته طی مدت ۷ ماه از سال بیشتر و ۵ ماه باقی مانده TD دوره آتی بیشتر می‌باشد در نتیجه تبخیر و تعرق مرجع بدست آمده از TD ها نیز از این روند پیروی کرده است.




(الف)




(ب)

شکل ۹- الف) اختلاف دمای بیشینه و کمینه دوره پایه (۱۹۹۰-۱۹۶۱) در قیاس با دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ تحت سناریوی A2، ب) اختلاف دمای بیشینه و کمینه دوره پایه (۱۹۹۰-۱۹۶۱) در قیاس با دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ تحت سناریوی B2.

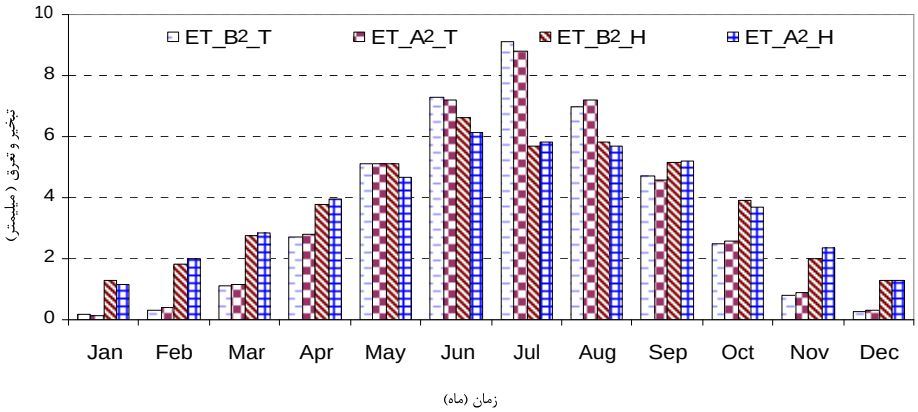
**- بررسی تاثیر عدم قطعیت سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای و ساختار مدل‌های شبیه‌سازی تبخیر و تعرق بر تبخیر و تعرق در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰**

یکی از عوامل عدم قطعیت در مطالعات تغییر اقلیم، استفاده از سناریوهای مختلف انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌باشد. در واقع هر سناریو نشان دهنده شرایط ویژه ای در آینده می باشد که احتمال وقوع دارد. در این تحقیق نیز از دو سناریوی A2 و B2 استفاده شد که هر کدام مقادیر متفاوتی از دما و در نتیجه تبخیر و تعرق را شبیه‌سازی نمودند. شکل ۱۰ تبخیر و تعرق مرجع شبیه‌سازی شده در دوره آتی ۲۰۳۹-۲۰۱۰ را تحت دو سناریوی A2 و B2 به دو روش محاسباتی هارگریوز- سامانی و تورنت وایت را نشان می‌دهد. با توجه به این نمودار مشاهده می‌شود که تبخیر و تعرق شبیه سازی شده تحت دو سناریو برای هر ماه عدد متفاوتی را نشان می‌دهد به طوری که میزان تبخیر و تعرق مرجع شبیه‌سازی شده (به روش تورنت وایت) تحت سناریوی A2 در ماههای ژانویه، می، ژوئن، اوت و اکتبر بیشتر

[ Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-12-24 ]

از تبخیر و تعرق مرجع شبیه‌سازی شده (به روش تورنت وایت) تحت سناریوی B2 می‌باشد.

یکی دیگر از عواملی که موجب ایجاد عدم قطعیت می‌شود تفاوت در ساختار روابط برآورد تبخیر و تعرق می‌باشد به طوری که در تحقیق حاضر ابتدا از معادله هارگریوز-سامانی برای محاسبه تبخیر و تعرق استفاده شد. جهت بررسی بیشتر از روش تورنت‌وایت نیز در این زمینه استفاده شد و مقادیر تبخیر و تعرق شبیه‌سازی شده از معادله تورنت‌وایت در قیاس با تبخیر و تعرق شبیه‌سازی شده به روش هارگریوز- سامانی در دوره آتی (۲۰۳۹-۲۰۱۰) تحت دو سناریوی مذکور در شکل ۱۰ نمایش داده شده است.




شکل ۱۰- تبخیر و تعرق شبیه سازی شده توسط معادله تورنت وایت و هارگریوز- سامانی برای ایستگاه یزد در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ تحت سناریوی A2 و B2.

همان طور که نمودار نشان می‌دهد تبخیر و تعرق مرجع شبیه سازی شده در دوره آتی تحت هر دو سناریوی A2 و B2 برآورد شده از روش تورنت وایت نسبت به دوره گذشته (شکل ۹) در تمامی ماهها افزایش داشته است. این امر با افزایش دمای کمینه و بیشینه در هر دو سناریو نسبت به دوره گذشته همخوانی دارد. البته علت این امر را می‌توان در معادله تبخیر و تعرق تورنت‌وایت دانست، چرا که در این معادله مقدار میانگین دما مطرح بوده که افزایش هر دو پارامتر کمینه و بیشینه دما باعث افزایش آن می‌شود. در ماههای ابتدایی سال از ژانویه تا می و همچنین ماههای انتهایی سال از سپتامبر تا دسامبر تبخیر و تعرق شبیه سازی شده تحت دو سناریو A2 و B2 به روش هارگریوز- سامانی بیشتر از تبخیر و تعرق شبیه‌سازی شده تحت دو سناریو A2 و B2 به روش تورنت وایت بوده است. در ۴ ماه وسط سال شامل می، ژوئن، جولای و اوت تبخیر و تعرق شبیه‌سازی شده تحت دو سناریو A2 و B2 به روش تورنت وایت بیشتر از تبخیر و تعرق شبیه‌سازی شده تحت دو سناریو A2 و B2 به روش هارگریوز- سامانی بوده است. مقایسه نتایج حاصل از این تحقیق با نتایج محققین دیگر بیانگر آن است که یافته‌های تحقیق حاضر با نتایج یو و همکاران

[ Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-12-24 ]

(۲۴) و نیز وگهنکل و کرسبائو (۲۲) که روند افزایشی میزان تبخیر و تعرق را نتیجه‌گیری کرده‌اند همخوانی دارد. رمروا و سیسلروا (۱۸) به این نتیجه رسیدند که در منطقه مورد مطالعه تغییرات تبخیر و تعرق در آینده قابل توجه نخواهد بود که با نتایج اخذ شده در تحقیق حاضر متفاوت است.

اثرات تغییر اقلیم بر پارامترهای مختلف اقلیمی از جمله دمای کمینه و بیشینه در آینده مسئله‌ای است که مورد بحث محافل علمی می‌باشد. به طوری که در این مقاله بیان شد هر دو پارامتر دمای کمینه و بیشینه ایستگاه یزد در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ میلادی افزایش محسوسی را تحت دو سناریوی A2 و B2 نشان می‌دهد. هر چند تبخیر و تعرق بدست آمده از داده‌های شبیه‌سازی شده مربوط به دمای کمینه و بیشینه (از معادله هارگریوز- سامانی) تغییر محسوسی را نسبت به گذشته در هر دو سناریو نشان نداد اما نباید بحث عدم قطعیت در مورد سناریوهای اقلیمی و معادلات به کار رفته در محاسبه تبخیر و تعرق را نادیده گرفت. در این تحقیق عدم قطعیت سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای تحت دو سناریوی A2 و B2 (A2 رویکرد افزایش صنعتی در جهان و B2 رویکرد حفظ منابع محیط زیستی در جهان) بر محاسبه تبخیر و تعرق نیز آشکار شد. عدم قطعیت مربوط به روش‌های شبیه‌سازی تبخیر و تعرق در آینده از دیگر نکات قابل توجه این تحقیق بود که قطعا با دخالت دادن سایر روش‌های شبیه‌سازی تبخیر و تعرق در مطالعات، نتایج نهائی با عدم قطعیت بیشتری روبرو می‌شد. به نتایج حاصل از معادله تورنت وایت بایستی توجه کرد که افزایش حدود ۰/۳ تا ۰/۴ میلی متر در روز را نشان می‌دهد. این مقدار افزایش روزانه تبخیر و تعرق تاثیر قابل توجهی بر نیاز آبی گیاهان خواهد داشت که خود می‌تواند در میزان آب مصرفی گیاهان زراعی و نیز دوام و بقاء گونه‌های طبیعی مرتعی و جنگلی تاثیر بسزایی داشته باشد.

## منابع


1. Alizadeh, A. 2004. Water, soil and plant relationship (4th edition), Imam Reza Press, 470 pp.
2. Alizadeh, A., Gh. Kamali and M. Mosavi Bayagi. 1995. Meteorology, Ferdiwsi University of Mashhad Press, 398 pp.
3. Allen, R.G., W.G.M. Bastiaanssen, J.L. Wright, A. Morse, M. Tasumi and R. Trezza. 2002. Evapotranspiration from satellite images for water management and hydrologic balances. Proceeding of the 2002 ICID conference. Montreal, Canada.
4. Azaranfar, A., A. Abrishamchi and M. Tajrishi. 2008. Assessment of climate change impacts on temperature and precipitation in Zayanderud watershed using GCM models outputs, 3rd Iranian national conference of water resources management, Tabriz, Iran.


[ Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-12-24 ]

5. Babaeian, I., R. Modirian and M. Karimian. 2008. Evaluation of climate change in Iran for the period of 2071 to 2100 using PRECIS model, 3rd Iranian national conference of water resources management, Tabriz, Iran.
6. Bastiaanssen, W.G.M. 1995. Regionalization of surface flux densities and moisture indicators in composite terrain, Ph.D. thesis, Agriculture University. Wageningen, the Netherlands. 210 pp.
7. Daneshkar Arasteh, P. and A.R. Shokohi. 2008. Investigating the effects of climate change on meteorological conditions and surface water resources in Iran, 3rd Iranian national conference of water resources management, Tabriz, Iran.
8. Dastorani, M.T., A.R. Massah Bavani and S. Poormohammadi. 2010. Evaluation of the effects of climate change on drought in the future in Yazd area, Research project report, Faculty of Natural Resources, Yazd University, Iran.
9. Gocic, M. and S. Trajkovic. 2010. Software for estimating reference evapotranspiration using limited weather data, J. Computers and Electronics in Agriculture 71: 158-162.
10. Harmsen, E.W., N.L. Miller, N.J. Schlegel and J.E. Gonzalez. 2009. Seasonal climate change impacts on evapotranspiration, precipitation deficit and crop yield in Puerto Rico, J. agricultural water management, 96: 1085-1095.
11. Khoshhal Dastjerdi, J. and Y. Ghawide. 2008. Prediction of climate change in Tabriz using the model of Goodar space research institute, 3rd Iranian national conference of water resources management, Tabriz, Iran.
12. Massah Bavani, A.R. and S. Morid. 2005. Effects of climate change on water resources and crop yield (Case study: Zarandeh rud watershed), Iranian journal of water resources research, 1: 40-47.
13. Nelson, R.L. and C.O. Stockle. 2002. ClimGen- Climate Data Generator, Ver. 4.1.05, Biological Systems Engineering Dept., Washington State University, Pullman, WA 99164-6120.
14. Norian, A.M. 2008. Global warming in Iran and its effects on other meteorological parameters, 3rd Iranian national conference of water resources management, Tabriz, Iran.
15. Habibi Nowkhandan, M., F. Abbasi and I. Babaeian. 2008. Study of climate change in next decades using MAGICC/SCENGEN model, 3rd Iranian national conference of water resources management, Tabriz, Iran.
16. Poormohammadi, S., M.T. Dastorani, S.A.M. Cheraghi and M.H. Mokhtari. 2008. Determination of most important climatic factor effecting evapotranspiration using multi-variable regression analysis (Case study: Manshad watershed in Yazd province), National conference of integrated water management, Shahid Bahonar University of Kerman, Iran.
17. Poormohammadi, S., H. Malekinezhad and M.H. Rahimian. 2010. Evaluation of the role of physiographic factors on climatic parameters affecting evapotranspiration (Case study: Yazd province), J. of Arid Biom, 2: 9-18.
18. Remrova, M. and M. Cislerova. 2010. Analysis of climate change effects on evapotranspiration in the watershed Uhlirska in the Jizera Mountains, J. Soil and Water Res., 5(1): 28-38.
19. Sentelhas, P.C., T.J. Gillespie and E.A. Santos. 2010. Evaluation of FAO Penman-Monteith and alternative methods for estimating reference evapotranspiration with missing data in Southern Ontario, J. Agricultural Water Management, 97: 635-644.

[ Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-12-24 ]

20. Sharma, M.L. 1985. Estimating evapotranspiration. In: Hillel, D. (Ed.), Advances in irrigation. 3rd Vol., Academic Press, Orlando, USA: 214-281.
21. Su, H., E.F. Wood, R. Wojcik and M. McCabe. 2006. Sensitivity analysis of regional scale evapotranspiration predictions to the forcing data, American Geophysical Union, Fall Meeting 2007, Abstract #H31A-02.
22. Wegehenkel, M. and K.C. Kersebaum. 2009. An assessment of the impact of climate change on evapotranspiration, groundwater recharge and low-flow conditions in a mesoscale catchment in Northeast Germany, J. Plant Nutr. Soil Sci., 172: 737-744.
23. www.ipcc-data.org.Nov. 5, 2009.
24. Yu, P.S., T.C. Yang and C.C. Chou. 2002. Effects of climate change on evapotranspiration from paddy fields in southern Taiwan, J. Climate change, 54: 165-179.

[ Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-12-24 ]

# Evapotranspiration Condition in Yazd Station under Uncertainties of Different GHG Emission Scenarios and ET Estimation Models

**M.T. Dastorani[1], S. Poormohammadi[2], A.R. Massah Bavani[3] and M.H. Rahimian[4]**

1- Associate Professor, Faculty of Natural Resources, Yazd University, (Corresponding author: mdastorani@yazduni.ac.ir)
2- M.Sc. of Desert Management, Yazd University
3- Assistant Professor, Agriculture Department, Abureyhan College, University of Tehran
4- Irrigation and Drainage Expert of National Salinity Research Center, Yazd

## Abstract

Drought as a prevalent phenomenon has seriously affect water and agricultural resources of Iran, especially in recent decade. Evapotranspiration (ET) is an important climatic factor of drought occurrence that would change as a result of global climate change. In this regard, uncertainties that almost arise in ET simulation approaches would be important and however, would affect ET projection results in upcoming decades. This research investigates uncertainties of ET simulation results under different Green House Gas (GHG) emission scenarios and different ET estimation models in Yazd meteorological station. For this purpose, reference ET was first determined using historical data of studied station through Hargerives-Samani and Thornthwaite approaches. Then, simulated daily $T_{min}$ and $T_{max}$ data of HadCM3 model that were resulted from GCM-runs based on the IPCC-SRES scenarios of A2 and B2 were used for projection of potential ET in 2010 to 2039 period, as well. Results of the study show increase of $T_{min}$ and $T_{max}$ in 2010 to 2039 compared with the historical period (1961-1990). Also the results indicate that potential ET of Thornthwaite approach would have an increase of about 0.4 mm per day in the future three decades, while the projected ET of Hargerives-Samani approach would not be increased, significantly.

**Keywords:** Climate change, GCM, potential evapotranspiration, Yazd

[ Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-12-24 ]