

بررسی تغییرات تبخیرتعرق پتانسیل در شرایط اقلیمی آینده تحت سناریوهای واداشت تابشی (مطالعه موردی: ایستگاه بندر انزلی)

فردوس حشمتی^۱، نسرین سیاری^{۲*}

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۲/۰۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۲/۱۰

چکیده

بهبود برآوردهای تبخیرتعرق پتانسیل (ETp) در تعیین دقیق نیاز آبی گیاهان بویژه در شرایط تغییر اقلیم اهمیت زیادی دارد. در این مطالعه تبخیرتعرق پتانسیل در ایستگاه بندر انزلی با استفاده از دو روش هارگریوز-سامانی و تورنت-وایت بر اساس داده‌های دوره ۱۹۸۵-۲۰۱۸ مورد ارزیابی قرار گرفت. مدل آماری SDSM جهت مقیاس‌کاهی خروجی‌های مدل گردش عمومی CanESM2 تحت سناریوهای واداشت تابشی (RCP2.6، RCP4.5، RCP8.5) استفاده شد. برای ارزیابی و پیش‌نگری داده‌های اقلیمی، دوره آماری ۱۹۸۶-۲۰۱۸ به عنوان دوره پایه و دو دوره آماری ۲۰۲۵-۲۰۵۰ و ۲۰۷۵-۲۱۰۰ به عنوان دوره‌های پیش‌نگری استفاده شدند. بر اساس نتایج حاصله، دما تحت همه سناریوها و برای هر دو دوره زمانی آینده روندی افزایشی خواهد داشت. نتایج نشان داد که ETp از سال ۲۰۲۵ تا ۲۱۰۰ تحت سه سناریو افزایش خواهد یافت به جز در روش تورنت-وایت که در دوره زمانی ۲۰۷۵-۲۱۰۰ در ماه مارس کاهش پیدا خواهد کرد. در سناریو RCP2.6، بیشترین مقدار افزایش ETp در روش تورنت-وایت در ماه ژوئیه و برابر با ۵۵ میلی‌متر به دست آمد. این مقدار در روش هارگریوز-سامانی برابر با ۱/۶۳ میلی‌متر در ماه آوریل محاسبه شد. در سناریو RCP4.5 بیشترین مقدار افزایش در ETp در روش تورنت-وایت در ماه ژوئیه (برابر با ۵۴/۹۶ میلی‌متر) و در روش هارگریوز-سامانی در ماه ژانویه (برابر با ۱/۴۵ میلی‌متر) طی دوره ۲۰۲۵ تا ۲۱۰۰ به دست آمد. در سناریو RCP8.5 بیشترین مقدار افزایش در تبخیرتعرق پتانسیل در روش تورنت-وایت در ماه ژوئن (برابر با ۴۰/۳۴ میلی‌متر) و در روش هارگریوز-سامانی در ماه ژانویه (برابر با ۱/۷۲ میلی‌متر) طی همان دوره محاسبه گردید. همچنین، کمترین افزایش ETp در سناریو RCP4.5 بین سال‌های ۲۰۲۵ و ۲۰۵۰ و در سناریو RCP8.5 بین سال‌های ۲۰۷۵ و ۲۱۰۰ رخ خواهد داد.

واژه‌های کلیدی: تغییر اقلیم، تبخیرتعرق، SDSM، سناریوهای RCP

مقدمه

همچنین کشاورزی، محیط زیست، اقتصاد و صنعت را تهدید کند. Hulme (1996) بیان کرد که گرم شدن از لحاظ جغرافیایی یکنواخت نبوده و میزان گرمایش در بعضی از نقاط جهان مانند جنوب غربی آسیا به طور کلی کمی بالاتر از سایر مناطق زمین است. نیاز آبی گیاه و تبخیرتعرق آن عامل اصلی مصرف آب در بخش کشاورزی است. با افزایش دما انتظار می‌رود که قدرت تبخیرکنندگی هوا یا تبخیرتعرق پتانسیل افزایش یابد و در نتیجه نیاز آبی گیاهان بطور مستقیم تحت تأثیر متغیرهای اقلیمی و تغییرات آن خواهد بود. از طرف دیگر تبخیرتعرق نقش قابل‌ملاحظه‌ای در اقلیم جهانی از طریق چرخه هیدرولوژی ایفا کرده و تخمین آن کاربردهای مهمی در پیش‌بینی

دخالت انسان در طبیعت به‌منظور بهره‌برداری خارج از توان اکولوژی منجر به افزایش دو برابری گازهای گلخانه‌ای، تغییر شدید کاربری اراضی و تخریب جنگل‌ها، افزایش جهانی دما، افزایش خشکسالی و سیلاب‌های بزرگ شده است. (Yavuz and Erdoğan (2012) بیان کردند که این وضعیت می‌تواند به طور جدی جمعیت و

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، بخش مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان
^۲ استادیار بخش مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان

*نویسنده مسئول: na_sa@uk.ac.ir

نحوه ارجاع مقاله:

حشمتی، ف.، سیاری، ن. ۱۴۰۰. ت بررسی تغییرات تبخیرتعرق پتانسیل در شرایط اقلیمی آینده تحت سناریوهای واداشت تابشی (مطالعه موردی: ایستگاه بندر انزلی). نشریه هواشناسی کشاورزی، ۹(۱): ۶۳-۷۵. DOI: 10.22125/agmj.2021.269483.1109
Heshmati, F., Sayari, N. 2021. Evaluating the effects of climate change on evapotranspiration using RCP scenarios (Case study: Bandar Anzali). Journal of Agricultural Meteorology, 9(1): 63-75. DOI: 10.22125/agmj.2021.269483.1109

روزانه و تبخیرتعرق پیش‌بینی شده در ۹۰ سال آینده دارای روند افزایشی خواهد بود. Kouchakzadeh and Nikbakht (2004) تبخیرتعرق روزانه گیاه مرجع محاسبه شده با روش‌های هارگریوز- سامانی، ماکینگ، تورک و پاپاداکیس برای اقلیم‌های مختلف ایران بر اساس اقلیم‌نمای کوپن را با روش استاندارد فائو مقایسه نمودند. نتایج آن‌ها نشان داد که روش هارگریوز- سامانی در اقلیم‌های خشک بیابانی، نیمه‌خشک و مدیترانه‌ای و همچنین در مقیاس ماهانه مناسب‌تر از سایر روش‌هاست. Alizadeh et al., (2010) با بررسی پتانسیل اثرات تغییرات اقلیمی بر منابع و مصارف آب کشاورزی در حوضه آبریز کشف‌رود با استفاده معادله هارگریوز سامانی در سه دوره آینده تحت سناریوی انتشار A2 و مدل گردش عمومی جو HadCM3 و روش ریزمقیاس‌نمایی آماری ASD پیش‌نگری کردند که تبخیرتعرق تحت تأثیر افزایش دما در تمامی ماه‌ها و تمامی دوره‌ها افزایش خواهد یافت. Seifi et al., (2011) با پیش‌بینی تبخیرتعرق مرجع در ایستگاه سینوپتیک کرمان با استفاده از مدل ترکیبی رگرسیون چندگانه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی نشان دادند که متغیرهای شدت تابش، رطوبت نسبی، ساعات آفتابی، دمای حداقل و حداکثر برای برآورد تبخیرتعرق از اهمیت بیشتری نسبت به سایر متغیرها برخوردارند. Pouryazdankhah et al., (2012) با تعیین روش‌های مناسب جهت برآورد تبخیرتعرق مرجع در منطقه رشت در بین ۱۶ معادله تجربی نشان دادند که به ترتیب روش‌های هارگریوز، پرستلی- تیلور و پنمن مناسب‌ترین روش‌ها می‌باشند. Hosseini and Ebrahimitabar (2012) برآورد تبخیرتعرق پتانسیل ایستگاه سینوپتیک سقز با استفاده از روش‌های تجربی پرداختند. نتایج حاصل بیانگر دقت روش‌های بلانی کرایدل، تورنت- وایت و هارگریوز نسبت به سایر روش‌های مورد بررسی در منطقه مورد مطالعه بود. Babaeian and Kouhi (2012) شاخص‌های اقلیم کشاورزی تحت سناریوهای تغییر اقلیم را با استفاده از مدل ریزمقیاس‌نمایی LARS-WG و روش تبخیرتعرق هارگریوز- سامانی در ایستگاه‌های منتخب خراسان رضوی در سه دوره آینده مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج حاصل بیانگر افزایش تبخیرتعرق در هر سه دوره آینده ۲۰۳۰-۲۰۱۱، ۲۰۶۵-۲۰۴۶ و ۲۰۹۹-۲۰۸۰ نسبت به دوره پایه

رواناب، پیش‌بینی عملکرد محصول و طراحی کاربری اراضی، طراحی کانال‌های آبیاری و تقسیم آب داشته و همچنین بر روی بلایای طبیعی نظیر خشکسالی نیز مؤثر است. عوامل اصلی که بر تبخیرتعرق مؤثرند به متغیرهای اقلیمی نظیر دما، بارش، رطوبت، تابش خورشیدی و غیره وابسته‌اند. لذا هر تغییری در این متغیرها بر میزان تبخیرتعرق و آب مورد نیاز گیاه نیز تأثیرگذار خواهد بود. مدل‌های مختلفی برای برآورد تبخیرتعرق ارائه شده که تفاوت عمده آن‌ها در تعداد متغیرهای هواشناسی مورد نیاز می‌باشد و لازم است در هر منطقه با توجه به داده‌های هواشناسی بهترین روش غیرمستقیم جهت برآورد تبخیرتعرق انتخاب گردد (Goudarzi et al., 2018). Dinpashoh (2006) مقدار تبخیرتعرق در مناطقی از ایران را با استفاده از سه روش هارگریوز سامانی، لینیاکر و تورنت- وایت اصلاح شده مورد مطالعه قرار داد. او برای غرب و شمال غرب کشور روش هارگریوز سامانی را پیشنهاد کرد. Sawano et al., (2007) با استفاده از روش پرستلی- تیلور به تخمین تبخیرتعرق در حوضه آبریز رودخانه مکنونگ در ژاپن پرداخته و نشان دادند که روش پرستلی- تیلور توانایی برآورد تبخیرتعرق در حوضه‌های وسیع با ارتفاعات مختلف از پوشش جنگلی را داراست. Liang et al., (2010) نشان دادند که متغیرهای اقلیمی نظیر میانگین و حداکثر دمای هوا، رطوبت نسبی و ساعات آفتابی از مهم‌ترین متغیرهای اقلیمی مؤثر بر تبخیرتعرق بوده و با داشتن این متغیرها، تبخیرتعرق برای دوره‌های آینده قابل محاسبه و پیش‌نگری خواهد بود. Goodarzi et al., (2011) به بررسی تغییرات آب و هوایی با استفاده از روش ریزمقیاس‌نمایی آماری SDSM با استفاده از مدل گردش عمومی HadCM3 تحت دو سناریوی انتشار B2 و A2 در کرمانشاه پرداختند. مقایسه بین داده‌های مشاهده شده و شبیه‌سازی نشان داد که نرم‌افزار SDSM قادر به شبیه‌سازی حداقل و حداکثر دما با دقت بالایی می‌باشد. Guo et al., (2014) تأثیر تغییرات اقلیمی را بر اکوهیدرولوژی حوضه رودخانه جیوشو در کشور چین با استفاده از مدل گردش عمومی جو HadCM3 و مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری SDSM تحت دو سناریوی انتشار B2 و A1 در دوره ۲۰۱۰ تا ۲۰۹۹ مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج حاصل نشان داد که حداقل و حداکثر دمای

متغیرهای اقلیمی در ارتباط است و انتظار می‌رود با تغییر در متغیرهای اقلیمی به ویژه دمای هوا و متغیرهای مرتبط با دما، میزان آن نیز تغییر پیدا کند. لذا در این بررسی میزان تبخیرتغرق تحت تغییرات اقلیمی موجود و آینده در ایستگاه بندر انزلی استان گیلان با استفاده از مدل ریزمقیاس‌نمایی SDSM و دو روش برآورد تبخیرتغرق پتانسیل هارگریوز- سامانی (۱۹۸۵) و تورنت- وایت (۱۹۴۸) مورد بررسی قرار گرفت (Hargreaves and Thornthwhite, 1948; Samani, 1985). با توجه به بررسی پیشینه پژوهش، مشخص گردید روش‌هایی مانند هارگریوز و تورنت- وایت و به‌ویژه هارگریوز که بر اساس پارامترهای دمایی است، توانایی بیشتری در پیش‌بینی مقادیر تبخیرتغرق در سال‌های آینده را دارا می‌باشند.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

استقرار استان گیلان بین ارتفاعات البرز و دریای خزر و تأثیر متقابل این دو پدیده جغرافیایی بر یکدیگر و بازتاب آن بر شرایط اقلیمی استان، موجب پیدایش یکی از شاخص‌ترین شرایط آب و هوایی ایران در منطقه گیلان گردیده است. استان گیلان با مساحت ۱۴۷۹ کیلومتر مربع در مختصات جغرافیایی $36^{\circ}36'$ تا $38^{\circ}27'$ شمالی و $48^{\circ}25'$ تا $50^{\circ}34'$ طول شرقی قرار دارد. برای انجام این پژوهش اطلاعات روزانه ایستگاه سینوپتیک شهرستان بندر انزلی از سال ۱۹۸۸ تا سال ۲۰۱۷ مد نظر قرار گرفت که در سایت (www.irimo.ir) درخواست و اطلاعات دریافت گردید. در این مطالعه از داده‌های روزانه میانگین، حداقل و حداکثر دما استفاده شد. اقلیم یا آب و هوای یک منطقه، حالت متوسط کمیت‌های مشخص کننده وضع هوای آن منطقه است. اقلیم بندی سنتی، متنوع بوده و با دقت‌های متفاوت دسته‌بندی می‌شود. روش دومارتن، بارات، کوپن و غیره، از آن جمله است. جهت تعیین اقلیم منطقه مورد مطالعه بر اساس داده‌های طولانی‌مدت هواشناسی و روش دومارتن، اقلیم بسیار مرطوب تعیین شد. این طبقه‌بندی بر مبنای شاخص خشکی^۱ بوده و در آن از دما و بارندگی برای تعیین نوع اقلیم استفاده

بود. (Taei Semiromi et al., 2015) با استفاده از مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری LARS-WG و خروجی مدل گردش عمومی جو HadCM3 تحت سه سناریوی انتشار A1، B1 و A2 متغیرهای اقلیمی را در سه دوره زمانی مختلف در آینده در حوضه بار نیشابور پیش‌بینی نمودند. نتایج حاصل از تحقیق آن‌ها نشان داد که متغیرهای تابش، دمای کمینه و بیشینه در دوره‌های آینده افزایش خواهند یافت. (Nistor et al., 2019) از مدل‌های گردش کلی سری CMIP5 در دو دوره زمانی ۲۰۴۰-۲۰۱۱ و ۲۰۷۰-۲۰۴۱ و الگوی پوشش زمین برای تجزیه و تحلیل روند تبخیرتغرق گیاهی فصلی و سالانه در ترکیه استفاده نمودند. نتایج حاصل از تحقیق آن‌ها نشان داد که حداکثر تبخیرتغرق محصول در اواسط فصل برای حال و آینده افزایش، حداقل تبخیرتغرق محصول فصلی کاهش و تبخیرتغرق سالانه محصول از حال به آینده افزایش خواهد یافت. (Bayatvarkeshi et al., 2020) با استفاده از مدل ریزمقیاس‌نمایی LARS-WG و خروجی مدل گردش عمومی HadCM3 تحت سه سناریوی انتشار A1B و B1 و A2 به پیش‌بینی متغیرهای اقلیمی در سه دوره زمانی آینده شامل ۲۰۴۵-۲۰۱۱، ۲۰۷۹-۲۰۴۶ و ۲۱۱۳-۲۰۸۰ با داده‌های روزانه هواشناسی ۳۰ ایستگاه هواشناسی ایران در سال‌های ۱۹۸۱ و ۲۰۱۰ پرداختند. نتایج حاصل از تحقیق آن‌ها نشان داد که ET₀ از سال ۲۰۱۱ تا تقریباً ۲۱۱۳ در همه ایستگاه‌ها تحت سه سناریو افزایش خواهد یافت. روش‌های ترکیبی برآورد تبخیرتغرق مانند پنمن به متغیرهای هواشناسی زیادی احتیاج دارند. این روش‌ها به دلیل استفاده از تعداد زیادی متغیر اقلیمی در محاسبه قابل قبول است، ولی به دلیل اینکه همه اطلاعات مورد نیاز محاسبه نمی‌گردند، نمی‌توانند تخمین مناسبی ارائه دهند و نیاز به داده‌هایی همانند تابش، دما، رطوبت و سرعت باد دارند. از آنجا که در اکثر ایستگاه‌های هواشناسی، داده‌های دمایی ثبت می‌شود، بنابراین بررسی درجه دقت روش‌های تجربی که فقط به عامل دما نیازمند می‌باشند، ضرورت می‌یابد. کسب داده‌های دمایی بسیار راحت‌تر از داده‌های تابشی بوده و اطلاعات موردنیاز برای محاسبه تبخیرتغرق از این روش قابل دسترسی است. از طرفی، دما یکی از کلیدی‌ترین متغیرهای مؤثر در تغییرات اقلیمی است. بنابراین از آنجا که میزان تبخیرتغرق مستقیماً با

¹ Aridity Index

متغیرهای اقلیمی بزرگ مقیاس و متغیرهای اقلیمی منطقه‌ای و شناسایی روابط بین سیستم‌ها با استفاده از داده‌های مشاهداتی توسعه داده شده‌اند (Wilby and CanESM2¹, Wigley, 1997). مدل گردش عمومی CanESM2¹ چهارمین نسل از مدل‌های آب و هوایی که در سال ۲۰۱۴ در پنجمین گزارش IPCC² منتشر و توسط مرکز مدل‌سازی و تحلیل آب و هوای کانادا زیر نظر سازمان محیط‌زیست این کشور با قدرت تفکیک اتمسفری $8/2^\circ \times 8/2^\circ$ توسعه یافته است. این مدل از سناریوهای جدید RCP (RCP2.6, RCP4.5, RCP6, and RCP8.5) استفاده می‌کند. در سناریوی RCP8.5 (بدبینانه) توازن واداشت تابشی در منتهی‌الیه جو و در سال ۲۱۰۰ حدود ۸/۵ وات بر مترمربع خواهد بود. یعنی تابش ورودی منهای خروجی از جو مثبت ۸/۵ وات بر مترمربع است که این انباشت در سامانه جو منجر به افزایش دمای کره زمین می‌گردد. در سناریوی RCP2.6 (خوشبینانه) واداشت تابشی در اواسط قرن جاری به حدود ۳/۱ وات بر مترمربع رسیده و سپس کاهش یافته و به ۲/۶ وات بر مترمربع در سال ۲۱۰۰ می‌رسد. همچنین در سناریوی RCP4.5 (میان‌هنگام به خوشبینانه) واداشت تابشی، قبل از سال ۲۱۰۰ کمتر از ۴/۵ وات بر مترمربع و بعد از آن در مقدار ۴/۵ وات بر مترمربع ثابت باقی می‌ماند. در سناریوی RCP6 (میان‌هنگام به بدبینانه) واداشت تابشی قبل از سال ۲۱۰۰ کمتر از ۶ وات بر مترمربع و بعد از ۲۱۰۰ به ۶ وات بر مترمربع رسیده و ثابت می‌ماند (Van Vuuren et al., 2011). در این پژوهش به منظور برآورد داده‌های بارش و دمای آینده از مدل گردش عمومی CanESM2 تحت سه سناریو RCP8.5، RCP4.5 و RCP2.6 و از مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری SDSM4.2.9 استفاده شد. این مدل اولین بار توسط Wilby et al. (2002) تحت عنوان نسخه ۲/۱ جهت ریزمقیاس‌نمایی داده‌های دما و بارش با استفاده روش‌های آماری ارائه شد. سپس در سال ۲۰۰۳، ۲۰۰۴، ۲۰۰۷، ۲۰۱۳ و ۲۰۱۵ به ترتیب نسخه‌های ۲/۲، ۳/۲، ۴/۲، ۵/۱، ۵/۲ ارائه شد که در این پژوهش از نسخه ۴/۲ آن جهت ریزمقیاس‌نمایی متغیرهای مورد بررسی استفاده گردید. اساس این مدل

می‌شود. دومارتن معادله تجربی ۱ را جهت تعیین نوع اقلیم یک منطقه ارائه داد (Alizadeh, 2002).

$$I = \frac{P}{T + 10} \quad (1)$$

که در آن، I شاخص خشکی، P میانگین بارش سالانه بر حسب میلی‌متر و T متوسط دمای هوا در مقیاس سالانه بر حسب درجه سانتی‌گراد است.

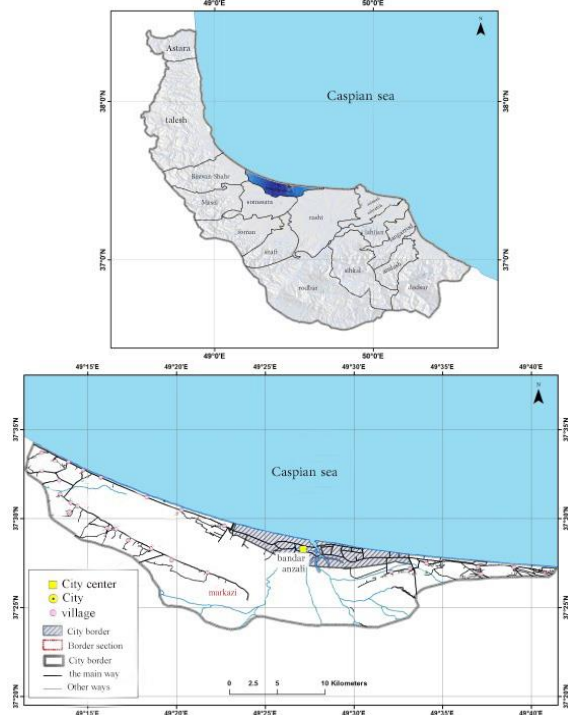


Figure 1- Geographical location of Bandar Anzali city

شکل ۱- موقعیت جغرافیایی شهرستان بندر انزلی

مدل ریزمقیاس‌نمایی SDSM

برآورد داده‌های آینده

یکی از مهم‌ترین مشکلات کار با مدل‌های گردش عمومی، وضوح مکانی اندک آن‌ها و نیاز به داده‌های منطقه‌ای برای مطالعات تغییرات اقلیمی است. استفاده از خروجی خام این مدل‌ها در هیچ منطقه‌ای توصیه نمی‌شود و استفاده از آن‌ها، نیازمند تبدیل آن به داده‌های منطقه‌ای است. به تبدیل داده‌های بزرگ مقیاس مدل‌های گردش عمومی به داده‌های منطقه‌ای و محلی یا ایستگاهی، ریزمقیاس‌نمایی گفته می‌شود. امروزه دو گروه متفاوت از دیدگاه ریزمقیاس‌نمایی در جوامع علمی مطرح می‌شود. روش‌های دینامیکی که شامل حل صریح سیستم‌ها بر پایه فرایندهای فیزیکی-دینامیکی آن‌ها است و روش‌های آماری که با هدف توسعه روابط بین

¹ The Canadian Earth System Model

² Intergovernmental Panel on Climate Change

که در آن، e_i مقدار باقیمانده می‌باشد که فرض می‌شود از توزیع نرمال پیروی می‌کند (Wilby et al., 2014). در معادلات فوق، از روش حداقل مربعات معمولی (OLS)^۲ برای بهینه‌سازی برازش مناسب‌ترین تابع رگرسیونی به نقاط مشاهده‌ای استفاده می‌شود. روش حداقل مربعات معمولی بر این اساس است که ضرایب مدل مقادیری اختیار کنند که مدل رگرسیون نمونه کمترین انحراف را از مشاهدات فوق نشان دهد (Mahmood and Babel, 2014). عملکرد و ساختار مدل SDSM در چهار مرحله خلاصه می‌شود: انتخاب متغیرهای پیش‌بینی کننده به نام متغیر مستقل، واسنجی و ارزیابی مدل و تولید سناریوهای آتی. برای ریزمقیاس‌نمایی، سه دسته داده مورد نیاز است: (۱) داده‌های مشاهداتی دمای روزانه ۴۳ ساله دوره پایه که با فرمت فایل DAT به ترتیب روز ژولپوسی در فایل‌های جداگانه مرتب می‌شوند.

(۲) داده‌های اقلیمی بازتحلیل^۳، محصول مشترک مرکز ملی پیش‌بینی محیط زیست و مرکز ملی تحقیقات آتمسفری (NCEP/NCAR^۴) و شامل ۲۶ متغیر آتمسفری بزرگ‌مقیاس می‌باشد و دقت مکانی آن $2/5^\circ \times 2/5^\circ$ بوده و از سایت SDSM در دوره آماری ۲۰۱۷-۱۹۷۵ دریافت می‌شوند. فهرست متغیرهای NCEP در جدول ۱ آورده شده است.

(۳) داده‌های خروجی مدل CanESM2 تحت سه سناریوی RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 در دوره ۲۰۰۶-۲۱۰۰ و همچنین داده‌های تاریخی مدل بزرگ‌مقیاس در دوره ۲۰۰۵-۱۹۶۱ که از وب سایت شبکه سناریوهای تغییر اقلیم کانادا (CCCSN)^۵ دریافت شدند. پس از آماده‌سازی داده‌های مشاهداتی، به غربال‌گری متغیرهای پیش‌گو پرداخته می‌شود. در اصطلاحات برآورد آماری وضع هوا، مسئله انتخاب یک مجموعه پیش‌بینی‌کننده خوب از کل متغیرها غربال کردن نامیده می‌شود. مرحله غربال‌گری متغیرهای پیش‌بینی کننده از مهم‌ترین مراحل ریزمقیاس‌نمایی آماری می‌باشد. در این مرحله مشخص می‌شود از بین همه متغیرهای بازتحلیل NCEP، کدام یک رابطه

ترکیبی از مدل‌های رگرسیونی و مولد تصادفی داده‌های آب و هوایی است. در مطالعات تغییر اقلیم دوره (۱۹۸۶-۲۰۱۸) به عنوان دوره پایه یا شرایط اقلیمی حال حاضر استفاده شد. به منظور واسنجی و صحت‌سنجی مدل نیز از داده‌های مشاهداتی ایستگاهی و داده‌های مرکز ملی پیش‌بینی‌های محیطی (NCEP) استفاده خواهد شد. این مدل بر اساس داده‌های روزانه اقلیم محلی (دما) و داده‌های بزرگ مقیاس ناحیه‌ای NCEP^۱ تنظیم می‌شود و برای ارزیابی ارتباط بین متغیرهای کوچک مقیاس محلی و متغیرهای بزرگ مقیاس جوی از داده‌های مستقل مشاهداتی استفاده می‌کند. مدل SDSM از روش‌های آماری و رگرسیونی و استوکاستیک به منظور ریزمقیاس کردن استفاده می‌کند. این مدل ترکیبی از مدل مولدهای آب و هوایی و مدل رگرسیونی است. این روش بهترین نتایج را برای مولد هواشناسی استوکاستیکی و روش‌های رگرسیونی ارائه می‌دهد، زیرا در این روش از الگوهای گردش روزانه بزرگ مقیاس مانند متغیرهای رطوبت اتمسفر در مقیاس ایستگاهی استفاده می‌شود (Wilby and Dawson, 2007). فرآیند ریزمقیاس‌نمایی یا شرطی است و یا غیر شرطی. به عنوان مثال مقدار بارش مشروط بر وقوع رویداد روز تر است. اما دما یک رویداد غیر شرطی است. در فرآیند شرطی، ابتدا وقوع روز تر با استفاده از معادله ۲ تعیین می‌شود.

$$W_i = \alpha_0 + \sum_{j=1}^n \alpha_j X_{ij} \quad (2)$$

که در آن W_i وقوع یا عدم وقوع روز تر می‌باشد. X_{ij} ، Z امین متغیر پیش‌گو در روز t ام بوده و α پارامترهای رگرسیون را نشان می‌دهد. در صورت وقوع روز تر، مقدار بارش با استفاده از معادله ۳ ریزمقیاس می‌شود.

$$P_i^k = \beta_0 + \sum_{j=1}^n \beta_j X_{ij} + e_i \quad (3)$$

مقادیر بارش، توان k برای انجام تبدیل بر مقادیر بارش و e_i خطای مدل می‌باشد. در رویداد غیرشرطی همچون دما، یک رابطه خطی مستقیم بین پیش‌بینی‌شونده (U_i) و پیش‌گوهای منتخب به صورت معادله ۴ وجود دارد.

$$U_i = \gamma_0 + \sum_{j=1}^n \gamma_j X_{ij} + e_i \quad (4)$$

² Ordinary Least Squares

³ Reanalysis

⁴ National Center for Environmental Prediction National Center for Atmospheric Research

⁵ Canadian Climate Change Scenarios Network

¹ National Centers for Environmental Prediction

معیارهای ارزیابی کالیبراسیون ایجاد نکند که آن نقطه به عنوان نقطه توقف در نظر گرفته می شود. ذکر این نکته لازم است که اگر متغیرهای مستقل با یکدیگر همبستگی بالای ۰/۷ داشته باشند، گفته می شود که بین متغیرهای مستقل، هم خطی چندگانه^۳ وجود دارد و در این صورت، خطای استاندارد ضرایب رگرسیون بزرگ خواهند شد (Wilbey et al., 2014). در همه مراحل غربالگری، به ضریب همبستگی بین متغیرهای مستقل نیز توجه شده و سعی بر آن است پیش گوهایی که ضریب همبستگی شان با یکدیگر بالاست، به صورت توأم انتخاب نشوند. بعد از انتخاب بهترین متغیرهای مستقل، کالیبراسیون مدل انجام می پذیرد و با در نظر گرفتن دو معیار R^2 و SE، دوره زمانی مناسب برای کالیبراسیون تعیین می شود. همه پارامترهای ریزمقیاس نمایی (α_j ، β_j و γ_j در معادلات ۱ تا ۳) در مرحله کالیبراسیون به دست می آیند. سپس صحت سنجی مدل انجام می گیرد. برای آزمون کارایی مدل، از ضریب تبیین (R^2) و شاخص های خطاسنجی مجذور میانگین مربعات خطا ($RMSE^4$)، میانگین خطای مطلق (MAE^5) و ضریب نش- ساتکلیف (NSE^6) استفاده شد که به ترتیب با استفاده از معادلات ۷ الی ۱۰ به دست می آیند.

$$R^2 = \frac{(\sum_{i=1}^n [O_i - \bar{O}_i][P_i - \bar{P}_i])^2}{\sum_{i=1}^n [O_i - \bar{O}_i]^2 \sum_{i=1}^n [P_i - \bar{P}_i]^2} \quad (7)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{n}} \quad (8)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |O_i - P_i|}{n} \quad (9)$$

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (10)$$

که در آن O_i ، داده های مشاهداتی، P_i داده های شبیه سازی شده و n تعداد داده ها می باشد. $RMSE$ و MAE معرف دقت در روش های آماری می باشد. هراندازه معیار MAE به صفر نزدیکتر باشد، نشان دهنده صحت خوب روش های ارزیابی تبخیر تعرق بوده و در آن هیچگونه انحرافی وجود ندارد. به هر میزان مقدار این معیار و همچنین ریشه دوم میانگین مربعات خطا کمتر باشد صحت روش یا روش های مذکور بیشتر است (Mahdian, 2006). دامنه ضریب NSE

قوی تری با متغیر پیش بینی شونده دارند. برای دستیابی به این هدف مراحل زیر دنبال می شود:

۱) در گام اول، ضریب تبیین (R^2) ماهانه تمام متغیرهای پیش بینی کننده به صورت تک به تک با متغیر پیش بینی شونده بر حسب معادله ۴ محاسبه و برای هر ماه، متغیرهایی که بالاترین میزان R^2 را دارند، انتخاب می شوند. ۲) دومین گروه از متغیرهای انتخابی، آنهایی می باشند که بعد از پیش بینی کننده های منتخب مرحله اول، R^2 های نسبتاً بالایی را برای هر ماه داشته باشند. ۳) ضریب همبستگی جزئی متغیرهای منتخب مرحله اول محاسبه می شود. متغیرهای مستقل انتخاب شده در این مرحله متغیرهایی هستند که همبستگی جزئی بالا و معناداری را با پیش بینی شونده داشته باشند. همبستگی جزئی عبارت است از همبستگی ساده بین دو متغیر وقتی اثر سایر متغیرها ثابت در نظر گرفته شود و از طریق معادله ۵ به دست می آید (Abkar et al., 2014).

$$R_{x_1 x_2 | x_3} = \frac{r_{x_1 x_2} - r_{x_1 x_3} \times r_{x_2 x_3}}{\sqrt{1 - r_{x_1 x_3}^2} \sqrt{1 - r_{x_2 x_3}^2}} \quad (5)$$

$R_{x_1 x_2 | x_3}$ ضریب همبستگی جزئی بین دو متغیر وابسته و مستقل، x_1 متغیر وابسته، x_2 متغیر مستقل و متغیر x_3 مستقلی که مقدار آن ثابت فرض می شود.

۴) پس از آن، مدل با استفاده از متغیرهای منتخب کالیبره^۱ و R ماهانه میانگین و خطای استاندارد (SE)^۲ مدل با استفاده از معادله ۶ محاسبه می شود.

$$SE = \frac{S}{\sqrt{n}} \quad (6)$$

در آن، S انحراف معیار داده ها و n تعداد کل داده ها می باشد.

۵) در این مرحله متغیرهای منتخب گام دوم، تک به تک به متغیرهای پیش بینی منتخب مرحله ۳ اضافه شده و ضریب همبستگی جزئی محاسبه می شود. اگر همبستگی آن ها معنادار و بالا بود، مرحله ۴ برای این گروه تکرار می شود. اگر این تغییر، منجر به بهبود R^2 و SE کالیبراسیون گردید، متغیر جدید برای ادامه مراحل ریزمقیاس نمایی حفظ می شود، در غیر این صورت حذف می شود. این کار تا جایی ادامه پیدا می کند که دیگر اضافه کردن متغیرهای پیش بینی کننده جدید تغییر چندانی در

³ Multicollinarity

⁴ Root Mean Square Error

⁵ Mean Absolutely Error

⁶ Nash-Sutcliffe Efficiency

¹ Calibrate

² Standard Error

مشاهداتی و محاسباتی دوره آینده مقایسه می‌شوند. برای برآورد تبخیر تعرق با استفاده از روش پنمن مانیتیت نیاز به داده‌هایی همانند تابش، دما، رطوبت و سرعت باد می‌باشد و از آنجا که در برخی ایستگاه‌های هواشناسی، دما تنها داده ثبت شده می‌باشد و از طرف دیگر تحت شرایط اقلیمی آینده تنها برخی از متغیرهای اقلیمی نظیر دما، بارش و سرعت باد قابل پیش بینی و برآورد هستند، بنابراین بررسی درجه دقت روش‌های تجربی که فقط به عامل دما نیازمند می‌باشد، ضرورت می‌یابد. برخی مطالعات انجام شده روش هارگریوز سامانی و تورت-وایت را با کمترین خطا برای محاسبه تبخیر تعرق پیشنهاد نموده‌اند (Salarian et al., 2014). در مطالعه‌ای که توسط Samadian Fard et al., (2020) انجام شد چندین روش محاسبه تبخیر تعرق با روش پنمن مانیتیت در ایستگاه گرگان مقایسه و روش هارگریوز- سامانی با شاخص پراکندگی $0/509$ برآوردهای دقیقی از تبخیر تعرق گیاه مرجع داشت. در مطالعه ای دیگر Irmak et al., (2003) با استفاده از ایستگاه‌های هواشناسی در فلوریدا با اقلیم مرطوب، ۲۱ روش تخمین مقادیر روزانه تبخیر تعرق مرجع با مقادیر به دست آمده از روش پنمن مانیتیت- فائو مقایسه کردند. بر اساس نتایج آن‌ها مدل‌های تابشی عملکرد بهتری از مدل‌های دمایی نشان داده و از بین روش‌هایی که بر اساس داده‌های دما بودند، روش هارگریوز - سامانی دارای کمترین مقدار خطا بود.

روش‌های محاسبه تبخیر تعرق مورد استفاده

معادله هارگریوز - سامانی

روشی که در آن فقط به داده‌های دمای هوا نیاز می‌باشد روشی است که به نام هارگریوز یا هارگریوز-سامانی معروف است. در این روش لازم است برای دوره مورد نیاز دمای متوسط هوا (T) و تفاوت متوسط حداکثر و حداقل دما (TR) موجود باشند. سپس با داشتن تابش خورشیدی (Ra)، مقدار تبخیر تعرق به صورت معادله ۱۱ قابل محاسبه است.

$$ETp=0.0023Ra(T+17.8)(TR \times 0.5) \quad (11)$$

که TR تفاوت حداکثر و حداقل دما ($TR=T_{max}-T_{min}$) بر حسب سلسیوس است و ETp همان واحد را خواهد داشت که برای Ra انتخاب می‌شود (واحد Ra در جدول ۲ بر حسب کالری بر سانتی‌متر مربع بر روز است که در

بین $-\infty$ تا ۱ می‌باشد. دامنه بین ۰ تا ۱ قابل قبول و بهترین حالت زمانی است که ضریب NSE برابر ۱ باشد.

Table 1- The list of NCEP variables and models of general atmospheric circulation (Rouhipanah et al., 2013)

جدول ۱- فهرست متغیرهای NCEP و مدل‌های گردش عمومی (Rouhipanah et al., 2013)

Code	Description
mslp	Mean sea level pressure
P_f	Geostrophic airflow velocity near the surface
P_u	Zonal velocity component near the surface
P_v	Meridional velocity component near the surface
P_z	Vorticity near the surface
p_th	Wind direction near the surface
p_zh	Divergence near the surface
p5_f	Geostrophic airflow velocity at 500 hPa
p5_u	Zonal velocity component at 500 hPa
p5_v	Meridional velocity component at 500 hPa
p5_z	Vorticity at 500 hPa
p5th	Wind direction at 500 hPa
p5zh	Divergence at 500 hPa
p8_f	Geostrophic airflow velocity at 850 hPa
p8_u	Zonal velocity component at 850 hPa
p8_v	Meridional velocity component at 850 hPa
p8_z	Vorticity at 850 hPa
p8th	Wind direction at 850 hPa
p8zh	Divergence at 850 hPa
p500	500 hPa geopotential height
p850	850 hPa geopotential height
prec	Precipitation total
r500	Relative humidity at 500 hPa height
r850	Relative humidity at 850 hPa height
rhum	Near surface relative humidity
shum	Near surface specific humidity
temp	Near surface air temperature

شبیه‌سازی‌های تاریخی مدل‌های اقلیمی از اهمیت زیادی برخوردار است. چون مقایسه آن‌ها با داده‌های مشاهداتی، یک پیش‌نیاز برای کاربرد خروجی‌های مدل‌های اقلیمی در برآوردهای اقلیم آینده می‌باشد. به منظور بررسی میزان حساسیت مدل SDSM به خروجی مدل جهانی، شاخص‌های بارش و دمای نقطه شبنم با استفاده از داده‌های تاریخی مدل CanESM2 در دوره ۱۹۸۶-۲۰۰۵ شبیه‌سازی و سپس با داده‌های مشاهداتی مقایسه و توانایی مدل بزرگ‌مقیاس در تولید سناریو برای دوره‌های آتی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. پس از این مراحل، با استفاده از داده‌های دوره زمانی آینده مدل بزرگ‌مقیاس مورد نظر، داده‌های دما برای دوره زمانی آینده نزدیک (۲۰۲۵-۲۰۵۰) و آینده دور (۲۰۷۵-۲۱۰۰) تحت سه سناریو تأیید شده (RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5) برآورد و در نهایت نمودارهای داده‌های پایه

برخوردار است. این مورد با نتایج مطالعات Samadi et al., (2011) و Abkar et al., (2014) که میزان کارایی مدل SDSM را در شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی در مناطق مختلف بررسی نموده‌اند، مطابقت دارد.

Table 3 - Results of evaluation of observational and simulated data by SDSM model

جدول ۳- نتایج ارزیابی داده‌های مشاهده‌ای و شبیه‌سازی

شده توسط مدل SDSM	
MAE	-2.258
NSE	0.879
EMSE	2.441
R ²	0.99

در این پژوهش از دو معادله تورنت- وایت و هارگریوز- سامانی جهت تعیین تبخیر تعرق در منطقه مورد مطالعه و پیش‌بینی آن برای دو دوره زمانی آینده نزدیک (-۲۰۲۵ تا ۲۰۵۰) و آینده دور (۲۰۷۵-۲۱۰۰) تحت سناریوهای واداشت تابشی RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 استفاده شد. برای ریزمقیاس نمودن خروجی مدل CanEsm2 از مدل آماری SDSM استفاده شد. نتایج حاصل از پیش‌نگری دما به‌طور متوسط نشان داد که دما در هر دوره نسبت به دوره پایه افزایش پیدا کرده است. که این افزایش دارای مقداری برابر با حداقل ۰/۱۵٪ و حداکثر ۲۶/۳۵٪ درجه سلسیوس نسبت به دوره پایه بود (جدول ۴). بر اساس پیش‌نگری انجام شده در دوره زمانی (۲۰۲۵-۲۰۵۰) بیشترین افزایش دما در سناریوی RCP8.5 در ماه ژوئیه و ۴/۳۸ درجه سانتی‌گراد افزایش نسبت به دوره پایه بدست آمد. در همین دوره کمترین افزایش در ماه مارس و تحت سناریوی RCP2.6 با ۲/۱۸ درجه سانتی‌گراد افزایش نسبت به دوره پایه مشاهده شد. بر همین اساس برای دوره زمانی (۲۰۷۵-۲۱۰۰) بیشترین افزایش دما در سناریوی RCP8.5 در ماه ژوئیه و ۴/۳۴ درجه سانتی‌گراد افزایش نسبت به دوره پایه و کمترین افزایش در ماه مارس و تحت سناریوی RCP2.6 با ۲/۲ درجه سانتی‌گراد افزایش نسبت به دوره پایه مشاهده شد. بیشترین مقدار افزایش در تبخیر تعرق پیش‌نگری شده در روش‌های تورنت- وایت و هارگریوز- سامانی در دوره‌های زمانی آینده نسبت به دوره پایه به ترتیب برای هر یک از سناریوهای واداشت تابشی بصورت مجزا آمده است. مقدار تبخیر تعرق محاسبه شده با روش هارگریوز- سامانی در هر دو دوره آینده نسبت به دوره

محاسبات با تقسیم بر ۵/۵۸ به میلی‌متر تبدیل شد) (Hargreaves and Samani, 1985).

Table 2- Solar radiation (Ra) values for the study area

جدول ۲- مقادیر تابش خورشیدی (Ra) بر ای منطقه مورد

مطالعه			
Month	Ra	Month	Ra
January	6.9	July	16.7
March	9	August	15.3
April	11.8	September	12.8
February	14.5	October	10
May	16.4	November	7.5
June	17.2	December	6.1

معادله تورنت- وایت

یکی دیگر از روش‌هایی که آن فقط به داده‌های دمای هوا نیاز می‌باشد روش تورنت- وایت می‌باشد. در این روش T_i دمای هوای ماهانه، I شاخص گرما (معادله ۱۳) و α تابع پیچیده‌ای از شاخص گرما است.

$$ET_p = 16 \left(\frac{10T_i}{I} \right)^\alpha \quad (12)$$

$$I = \sum_{i=1}^{12} \left(\frac{T_i}{5} \right)^{1.514} \quad (13)$$

$$\alpha = 6.75 \times 10^{-7} I^3 - 7.71 \times 10^{-5} I^2 + 1.7912 \times 10^{-2} I + 0.4923 \quad (14)$$

نتایج و بحث

به‌منظور اطمینان از صحت مدل SDSM ارزیابی متغیرهای شبیه‌سازی شده با استفاده از متغیرهای NCEP و داده‌های واقعی برای دوره آماری پایه انجام شد. بر اساس نتایج حاصل از بررسی همبستگی بین متغیرهای NCEP و داده‌های مشاهده‌ای، متغیرهای متوسط فشار در سطح دریا، رطوبت ویژه سطحی و متوسط دما در ارتفاع دو متری بیشترین ارتباط را با متغیر مورد بررسی (دما) در منطقه مطالعاتی داشتند. نتایج ارزیابی داده‌های مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده توسط مدل SDSM با استفاده شاخص‌های آماری مختلف در جدول ۳ آورده شده است. نتایج حاصل نشان داد که این مدل از دقت بالایی در شبیه‌سازی دما برخوردار می‌باشد، به طوری که خطای بین داده‌های مشاهده‌ای و شبیه‌سازی بسیار کم و ضریب تبیین برابر با ۰/۹۹ بود. نتایج حاصل از دوره ارزیابی ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۸ با استفاده از داده‌های NCEP نشان داد که مدل SDSM در شبیه‌سازی متغیرهایی همچون میانگین دما در دوره ارزیابی و پایه از توانایی قابل قبولی

دوره پایه مشاهده شد. این مقدار در سناریوی RCP4.5 در ماه ژوئیه در دوره زمانی (۲۰۷۵-۲۱۰۰) و برابر با ۵۴/۹۶ میلیمتر نسبت به دوره پایه پیش‌نگری شد. همچنین بیشترین مقدار افزایش در تبخیرتغرق در سناریوی RCP8.5 نیز در ماه ژوئیه و در دوره زمانی (۲۰۷۵-۲۱۰۰) و برابر با ۵۱/۱ میلیمتر نسبت به دوره پایه مشاهده شد (جدول ۴). همچنین بر اساس نتایج، مقدار تبخیرتغرق در انتهای قرن ۲۱ نسبت به دوره پایه افزایش خواهد یافت. بیشترین تغییرات ماهانه بر اساس سناریوهای مورد بررسی مربوط به سناریوی RCP 2.6 در روش هارگریوز-سامانی و در سناریوی RCP 4.5 در روش تورنت-وایت مشاهده شد. همچنین کمترین تغییرات ماهانه مربوط به سناریوی RCP 4.5 در روش هارگریوز-سامانی و در سناریوی RCP 8.5 در روش تورنت-وایت بود.

پایه افزایش پیدا خواهد کرد. بر اساس پیش‌نگری انجام شده، بالاترین مقدار افزایش در تبخیرتغرق با روش هارگریوز سامانی در سناریوی RCP2.6 در دوره زمانی (۲۰۷۵-۲۱۰۰) در ماه آوریل و با ۱/۶۳ میلیمتر افزایش نسبت به دوره پایه مشاهده شد. این مقدار در سناریوی RCP4.5 در ماه آوریل در دوره زمانی (۲۰۷۵-۲۱۰۰) و برابر با ۴/۸۷ میلیمتر نسبت به دوره پایه و در سناریوی RCP8.5 در ماه می و در دوره زمانی (۲۰۷۵-۲۱۰۰) و برابر با ۴/۳۲ میلیمتر نسبت به دوره پایه مشاهده شد (جدول ۵). تبخیرتغرق پتانسیل محاسبه شده با روش تورنت-وایت نیز در دو دوره آینده نسبت به دوره پایه افزایش نشان داد. بر اساس پیش‌نگری انجام شده، بالاترین مقدار افزایش در تبخیرتغرق با روش تورنت-وایت در سناریوی RCP2.6 در دوره زمانی (۲۰۲۵-۲۰۵۰) در ماه ژوئیه و با ۵۵ میلیمتر افزایش نسبت به

Table 4- Average monthly temperature (°C) in the near- and far-future periods compared to the baseline period based on different scenarios

جدول ۴- میانگین ماهانه دما (°C) در دوره آینده دور و نزدیک نسبت به دوره پایه بر اساس سناریوهای مختلف

Month	Baseline	Near future			Far future		
		RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5
January	7.42	10.37	10.47	10.47	10.43	10.54	10.52
February	6.94	9.69	9.80	9.68	9.79	9.70	9.89
March	9.08	11.26	11.32	11.28	11.28	11.34	11.331
April	13.48	17.20	17.32	17.16	17.29	17.21	17.18
May	18.83	22.21	22.35	22.18	22.36	22.17	22.50
June	23.76	27.79	27.83	27.71	27.91	27.66	27.91
July	26.35	30.73	30.68	30.73	30.75	30.63	30.69
August	26.19	30.29	30.33	30.19	30.18	30.39	30.27
September	23.00	26.89	27.05	27.11	27.12	27.05	27.03
October	18.25	21.76	21.85	21.82	21.84	21.93	21.86
November	13.43	16.93	16.88	16.89	16.82	17.08	17.06
December	9.54	12.88	12.90	12.99	12.98	12.92	12.71

Table 5- Average monthly evapotranspiration (mm) based on Hargreaves-Samani equation in the near- and far-future periods compared to the baseline period based on different scenarios

جدول ۵- میانگین ماهانه تبخیرتغرق (mm) بر اساس معادله هارگریوز-سامانی در دوره آینده دور و نزدیک نسبت به دوره پایه بر اساس

سناریوهای مختلف

Month	Baseline	Near future			Far future		
		RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5	RCP8.5	RCP4.5	RCP2.6
January	0.56	2.16	1.91	2.28	1.89	2.02	1.96
February	0.62	2.55	2.74	2.24	2.25	2.65	2.62
March	0.89	3.08	2.93	3.12	2.99	3.16	3.08
April	1.32	5.46	5.23	5.33	5.13	6.06	5.56
May	1.84	6.11	6.22	5.58	5.55	6.19	6.07
June	2.42	5.14	4.93	4.99	5.75	5.59	5.29
July	2.72	4.71	5.21	4.94	5.18	4.57	4.75
August	2.51	4.87	3.80	4.58	5.20	4.85	4.40
September	1.79	3.988	4.34	4.39	4.10	3.88	4.57
October	1.21	3.34	3.38	3.72	3.25	3.56	3.45
November	0.75	2.05	2.36	2.36	2.37	2.48	2.26
December	0.55	2.10	2.029	1.89	1.90	2.13	2.04

Table 6- Average monthly evapotranspiration (mm) based on Torrentwhite equation in the near- and far-future periods compared to the baseline period based on different scenarios

جدول ۶- میانگین ماهانه تبخیر تعرق (mm) بر اساس معادله تورنت- وایت در دوره آینده دور و نزدیک نسبت به دوره پایه بر اساس سناریوهای مختلف

Month	Baseline	Near future			Far future		
		RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5
January	14.89	16.55	16.90	17.07	16.75	16.61	16.91
February	13.26	14.24	14.17	14.16	14.45	14.41	14.70
March	21.09	19.89	19.95	20.09	19.98	19.84	19.98
April	41.78	51.35	51.04	51.26	51.95	51.74	50.97
May	74.48	90.99	90.68	90.51	92.09	92.24	93.47
June	111.41	150.19	149.19	148.63	150.78	151.71	151.75
July	133.20	188.05	188.16	186.89	187.68	188.64	187.97
August	131.81	182.13	180.78	183.63	182.95	180.93	182.21
September	105.29	139.58	142.15	141.45	141.48	142.24	141.16
October	70.59	86.93	87.44	88.31	87.55	87.49	87.61
November	41.53	49.59	49.24	50.37	49.03	48.60	50.17
December	23.00	26.87	27.36	26.96	26.80	27.16	25.85

تغییرات میانگین دمای ماهانه، تبخیر تعرق ماهانه محاسبه شده با روش تورنت- وایت و هارگریوز- سامانی به ترتیب در جداول ۷ تا ۹ آورده شده است. بر اساس جدول ۷ بیشترین تغییرات و افزایش دما در دوره زمانی ۲۰۵۰-۲۰۲۵ تحت سناریوی RCP8.5 در ماه فوریه و به میزان ۴۲/۵ درصد پیش‌نگری شد. همچنین در این دوره زمانی کمترین افزایش دما در ماه مارس در هر سه سناریو مشاهده شد. در دوره زمانی ۲۱۰۰-۲۰۷۵ بیشترین افزایش دما در سناریوی RCP8.5 در ماه فوریه و به میزان ۴۲/۵ درصد پیش‌نگری شد. کمترین افزایش دما در این دوره همانند دوره زمانی ۲۰۲۵-۲۰۵۰ در ماه مارس در تمامی سناریوها مشاهده شد. بر اساس نتایج حاصل از پیش‌نگری تبخیر تعرق بر اساس روش تورنت- وایت بیشترین درصد افزایش در میزان تبخیر تعرق در دوره زمانی ۲۰۵۰-۲۰۲۵ در ماه ژوئیه حدود ۴۰ تا ۴۱ درصد در همه سناریوها مشاهده شد.

Babolhekami et al., (2020) نیز با بررسی تغییرات تبخیر تعرق در ایستگاه‌های مختلف استان مازندران نشان دادند که بیشترین افزایش دمای بیشینه تحت سناریوهای مختلف اقلیمی در ماه مارس بین ۱/۴ تا ۶/۴ درجه سانتی‌گراد در ایستگاه هواشناسی بابلسر و بیشترین افزایش دمای کمینه تحت سناریوهای مختلف اقلیمی بین ۳/۸ تا ۵/۷ درجه سانتی‌گراد در ماه فوریه در ایستگاه هواشناسی قراخیل رخ می‌دهد. بر اساس نتایج آن‌ها بیشترین و کمترین درصد تغییرات تبخیر تعرق مرجع، به ترتیب در ماه‌های اکتبر و مارس رخ خواهد داد. بررسی تبخیر تعرق مرجع در ایستگاه‌های منتخب نشان می‌دهد، درصد تغییرات تبخیر تعرق مرجع در ماه‌های مختلف، بین ۱/۱- تا ۲۵/۷ درصد متغیر است، که بیشترین افزایش و کاهش تغییرات تبخیر تعرق مرجع به ترتیب در ایستگاه رامسر و قراخیل رخ خواهد داد. نتایج حاصل از مطالعه آن‌ها با نتایج حاصله از این تحقیق هماهنگی دارد. درصد

Table 7-Percentage of changes in average monthly temperature (°C) in the near- and far-future periods compared to the baseline period based on different scenarios

جدول ۷- درصد تغییرات میانگین ماهانه دما (°C) در دوره آینده دور و نزدیک نسبت به دوره پایه بر اساس سناریوهای مختلف

Month	Near future			Far future		
	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5
January	39.76	41.11	41.11	40.57	42.05	41.78
February	39.63	41.21	39.48	41.07	39.77	42.51
March	24.01	24.67	24.23	24.23	24.89	24.79
April	27.60	28.49	27.30	28.26	27.67	27.45
May	17.95	18.69	17.79	18.75	17.74	19.49
June	16.96	17.13	16.62	17.47	16.41	17.47
July	16.62	16.43	16.62	16.70	16.24	16.47
August	15.65	15.81	15.27	15.23	16.04	15.58
September	16.91	17.61	17.87	17.91	17.61	17.52
October	19.23	19.73	19.56	19.67	20.16	19.78
November	26.06	25.69	25.76	25.24	27.18	27.03
December	35.01	35.22	36.16	36.06	35.43	33.23

Table 8- Percentage of changes in average monthly evapotranspiration (mm) based on Torrentwhite equation in the near- and far-future periods compared to baseline period based on different scenarios

جدول ۸- درصد تغییرات میانگین ماهانه تبخیر تعرق (mm) بر اساس معادله تورنت- وایت در دوره آینده دور و نزدیک نسبت به دوره پایه بر اساس سناریوهای مختلف

Month	Near future			Far future		
	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5
January	11.17	13.50	14.63	12.51	11.56	13.59
February	7.37	6.86	6.82	8.94	8.69	10.82
March	5.68	5.40	4.76	-5.30	-5.96	5.27
April	22.9	22.16	22.70	24.35	23.84	22
May	22.18	21.75	21.52	23.65	23.85	25.5
June	34.81	33.91	33.41	35.34	36.17	36.2
July	41.18	41.26	40.31	40.91	41.6	42
August	38.17	37.15	39.32	38.79	37.26	38.3
September	32.57	35	34.34	34.37	35	34.10
October	23.15	23.88	25.11	24.04	24	24.13
November	19.43	18.58	21.31	18.08	17.03	20.82
December	16.87	18.96	17.23	16.55	18.11	12.41

(۲۰۱۱) مقایسه نمودند. نتایج آن‌ها نشان داد که در سطح استان در بازه زمانی (۲۰۴۶-۲۰۶۵) نسبت به میانگین، مجموع پتانسیل تبخیر تعرق و دمای متوسط تحت سناریوی A1B به ترتیب ۵۰/۴۰ میلی‌متر و ۲/۱۳ درجه سانتی‌گراد افزایش و تحت سناریوی A2، به ترتیب ۳۰/۸۲ میلی‌متر و ۱/۵۷ درجه سانتی‌گراد افزایش و تحت سناریوی B1، به ترتیب ۳۲/۴۹ میلی‌متر و ۱/۲۵ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد داشت. در این مطالعه نیز افزایش در دما و تبخیر تعرق در دوره آینده پیش‌نگری شده است.

کمترین مقدار متعلق به ماه مارس و در هر سه سناریو (بین ۴/۷ تا ۵/۶۸ درصد) بود. در دوره زمانی ۲۱۰۰-۲۰۷۵ برای هر سه سناریو کمترین مقدار افزایش در ماه مارس (۵/۳ تا ۵/۹۶ درصد) و بیشترین افزایش در ماه ژوئیه (۴۱ تا ۴۲ درصد) مشاهده گردید (جدول ۸). (Daneshfaraza and Razzaghpoore, 2014) با استفاده از خروجی مدل گردش عمومی HadCM3 تحت سناریوهای انتشار A1B، A2 و B1 به بررسی میزان پتانسیل تبخیر تعرق در سطح استان آذربایجان غربی در دوره زمانی (۲۰۴۶-۲۰۶۵) پرداخته و با دوره (۲۰۲۰-۲۰۷۵)

Table 9- Percentage of changes in average monthly evapotranspiration (mm) based on Hargreaves-Samani equation in the near- and far-future periods compared to baseline period based on different scenarios

جدول ۹- درصد تغییرات میانگین ماهانه تبخیر تعرق (mm) بر اساس معادله هارگریوز-سامانی در دوره آینده دور و نزدیک نسبت به دوره پایه بر اساس سناریوهای مختلف

Month	Near future			Far future		
	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5	RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5
January	285.71	241.07	307.14	250.00	260.71	237.50
February	311.29	341.94	261.29	322.58	327.42	262.90
March	246.07	229.21	250.56	246.07	255.06	235.96
April	313.64	296.21	303.79	321.21	359.09	288.64
May	232.07	238.04	203.26	229.89	236.41	201.63
June	112.40	103.72	106.20	118.60	130.99	137.60
July	73.16	91.54	81.62	74.63	68.01	90.44
August	94.02	51.39	82.47	75.30	93.23	107.17
September	122.79	142.46	145.25	155.31	116.76	129.05
October	176.03	179.34	207.44	185.12	194.21	168.60
November	173.33	214.67	214.67	201.33	230.67	216.00
December	281.82	268.91	243.64	270.91	287.27	245.45

پیش‌نگری شد. در دوره زمانی ۲۱۰۰-۲۰۷۵ نیز بیشترین افزایش و کاهش در سناریوی RCP4.5 به ترتیب در ماه آوریل (۳۵۹ درصد) و در ماه ژوئیه (۶۸ درصد) مشاهده شد. (Koocheki et al., 2016) تأثیر تغییر جهانی اقلیم بر شاخص‌های اقلیمی کشاورزی ایران برای سال ۲۰۵۰

بر اساس نتایج محاسبه تبخیر تعرق با معادله هارگریوز-سامانی در دوره زمانی ۲۰۲۵-۲۰۵۰ بیشترین افزایش در ماه آوریل تحت سناریوی RCP4.5 و به مقدار ۳۴۱ درصد (تقریباً سه برابر) و کمترین درصد افزایش در ماه اوت تحت همین سناریو و به مقدار ۵۱/۴ درصد

ETp در سناریوی RCP2.6 در طول دو دوره از سال ۲۰۲۵ تا ۲۱۰۰ به ترتیب ۵/۶- (روش تورنت- وایت) و ۳۲۲ درصد (روش هارگریوز- سامانی) در مقایسه با دوره پایه بود، در حالی که برای سناریوی RCP4.5، آن‌ها به ترتیب ۵/۹۶- و ۳۵۹ درصد و برای سناریوی RCP8.5، به ترتیب ۵/۲- و ۳۰۷ درصد پیش‌نگری شدند. میزان کاهش تبخیر تعرق پیش‌نگری شده در دوره آینده بسیار ناچیز بوده و می‌توان آن را ثابت و بدون تغییر فرض کرد. بر اساس پیش‌نگری انجام شده بالاترین افزایش ETp از ۲۰۷۵ تا ۲۱۰۰ تحت سناریوی RCP8.5 در روش تورنت- وایت (۴۲ درصد) و تحت سناریوی RCP4.5 در روش هارگریوز- سامانی اتفاق خواهد افتاد (۳۵۹ درصد یعنی ۳/۵ برابر). به طور کلی میزان تبخیر تعرق در منطقه مورد مطالعه در دوره‌های آتی پیش‌نگری افزایش پیدا خواهد کرد که می‌تواند باعث کاهش ذخایر منابع آبی، کاهش رطوبت خاک، افزایش نیاز آبی گیاهان، کاهش بارش برفی و غیره در منطقه گردد و اقلیم و در نتیجه کشاورزی منطقه را تحت تأثیر قرار خواهد داد.

منابع

- Abkar, A.J., Nejad Roshan, M.H., Solaimani, K., Naghavi, H. 2014. Investigation efficiency SDSM model to simulate temperature indexes in arid and semi-arid regions. *Journal of Irrigation and Water Engineering*, 4(14), 1-17. (In Farsi)
- Alizadeh, A. 2002. Principles of applied hydrology. Razavi Publication: Mashhad, Iran, 249-255.
- Alizadeh, A., Sayari, N., Hesami, K.M., Banayan, A.M., Farid Hosseini, A. 2010. Assessment of climate change potential impacts on agricultural water use and water resources of Kashaf rood basin. *Journal Water Soil*, 24(4): 815-835. (In Farsi)
- Babaeian, I., Kouhi, M. 2012. Agro-climatic indices assessment over some selected weather stations of Khorasan Razavi province under climate change scenarios. *Journal Water Soil*, 26(4), 953-967. (In Farsi)
- Babolhekami, A., Gholami Sefidkouhi, M. A., Emadi, A. 2020. The Impact of Climate Change on Reference Evapotranspiration in Mazandaran Province. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 51(2), 387-401.
- Bayatvarkeshi, M., Zhang, B., Fasihi, R., Adnan, R. M., Kisi, O., Yuan, X. 2020. Investigation into the Effects of Climate Change on Reference Evapotranspiration Using the HadCM3 and LARS-WG. *Water*, 12(3), 666.
- Daneshfaraza, R., Razzaghpoore, H. 2014. Assessing the effects of climate change on potential evapotranspiration in West Azerbaijan province. *Journal of Geographical Space*, 14(46), 199-211. (In Farsi)
- Dinpashoh, Y. 2006. Study of reference crop evapotranspiration in IR of Iran. *Agricultural Water Management*. 84(1-2), 123-129.
- Goodarzi, M., Jahanbakhsh, S., Rezaee, M., Ghafouri, Mahdian, M. H. 2011. Assessment Of Climate Change Statistical Downscaling Methods in a Single Site in Kermanshah, Iran. *Journal of Agriculture and Environmental Sciences*, 6(5), 564-572.
- Goudarzi, M., Salahi, B., Hosseini, S.A. 2018. Estimation of Evapotranspiration Rate Due to Climate Change in the Urmia Lake Basin. *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering*, 12(41): 1-12.
- Guo, B., Zhang, J., Gong, H., Cheng, X. 2014. Future climate change impacts on the ecohydrology of Guishui River Basin. *Eco-*

میلاادی (۱۴۳۰ شمسی) بر اساس سناریوی استاندارد IPCC توسط دو مدل گردش عمومی مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج آن‌ها نیز نشان داد که میانگین دمای سالانه مناطق مختلف کشور تا سال هدف بین ۳/۵ تا ۴/۵ درجه سانتی‌گراد افزایش می‌یابد که افزایش دما همچنین میزان تبخیر تعرق بالقوه سالانه را در سال هدف بین ۱۸ تا ۳۰ درصد افزایش می‌دهد.

نتیجه‌گیری

با توجه به اهمیت تبخیر تعرق در کشاورزی و همچنین با توجه به تغییرات اقلیمی و گرمایش جهانی، در این پژوهش با استفاده از مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری SDSM و خروجی مدل گردش عمومی CanESM2 تحت سه سناریوی RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5؛ تغییرات تبخیر تعرق با توجه به تغییرات اقلیمی احتمالی در بندر انزلی برای آینده نزدیک (۲۰۲۵-۲۰۵۰) و آینده دور (۲۰۷۵-۲۱۰۰) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل نشان داد که تبخیر تعرق از سال ۲۰۲۵ تا ۲۱۰۰ تحت هر سه سناریو افزایش خواهد یافت به جز در روش تورنت- وایت که در ماه مارس کاهش پیدا می‌کند. درصد تغییرات

- hydrology and hydrobiology, 14(1), 55-67.
- Hargreaves, G. H., Samani, Z. 1985. Reference crop evapotranspiration from temperature. *Applied Engineering in Agriculture*, 1(2): 96-99.
- Hosseini, S.A., Ebrahimitabar, E. 2012. Estimation of potential evapotranspiration city turpentine using empirical methods, the first professional scientific conference on rural development and agriculture, with emphasis on national production, PNU Piranshar center, 12 pages. (In Farsi)
- Hulme, M. 1996. Recent Climatic Change in the World's Drylands. *Geophysical Research Letters*, 23(1), 61-64.
- Irmak, S., Irmak, A., Allen, R.G., Jones, J.W. 2003. Solar and net radiation based equations to estimate reference evapotranspiration in humid climates, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 129, 336-347.
- Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Jafari, L. 2016. Evaluation of Climate Change Effect on Agricultural Production of Iran: I. Predicting the Future Agroclimatic Conditions. *Iranian Journal of Field Crops Research*. 13(4), 651-664. (In Farsi)
- Kouchakzadeh, M., Nikbakht, J. 2004. Comparison of different methods to estimate reference evapotranspiration in Iran different climate with PMFAO standard method. *Agricultural Sciences*, 10(3), 43-57.
- Liang, L., Li, L., Liu, Q. 2010. Temporal variation of reference evapotranspiration during 1961–2005 in the Taoer River basin of Northeast China. *Agricultural and Forest Meteorology*, 150(2), 298-306.
- Mahdian, M.H. 2006. Application of geo statistics in Soil Sciences. Proceedings of the 1th Conference of Soil Environment and Sustainable Development. Tehran, Iran, 1-6. (In Farsi)
- Mahmood, R., Babel, M.S. 2014. Future changes in extreme temperature events using the statistical downscaling model (SDSM) in the trans-boundary region of the Jhelum river basin. *Weather and Climate Extremes*, 5, 56–66.
- Nistor, M. Mîndrescu, M., Petrea, M, Nicula, D. Rai, A.S., Benzaghta, P. K., Porumb-Ghiurco, C. G. 2019. Climate change impact on crop evapotranspiration in Turkey during the 21st Century. *Meteorological Applications*, 26(3), 442-453.
- Pouryazdankhah, H., Razavipour, T., Khaledian, M.R., Rezaei, M. 2012. Determining proper methods to estimate the reference evapotranspiration in Rasht region, Third National Conference on Integrated Water Resource Management, University of Agricultural Sciences and Natural Resources, 11 pages. (In Farsi)
- Rouhipanah, F., Mirrkani, S. M., Masah Bovani, A. 2013. Investigating the capability of SDSM model in micro-scale of temperature and precipitation in hot and dry climates (Case study: Yazd and Tabas synoptic stations). *Iranian Journal of Geophysics*, 9(4), 104-125. (In Farsi)
- Salarian, M.N., Davari, M., Eslamiyan, K.S.S., Heidari, M. 2014. The most Appropriate Method to Estimate Potential Evapotranspiration in Meteorological Data Scarce Condition in the Warm and Cold Months of the Year (Case Study of Isfahan). *Iranian Journal of irrigation and Drainage*, 1(8), 62-73.
- Samadi, S., Ehteramian, K., Sari Sarraf, B. 2011. SDSM ability in simulate predictors for climate detecting over Khorasan province. *Procedia Social and Behavioral Sciences*, 19, 741-749.
- Samadian Fard, S., Salarifar, M., Javidan, S., Mikaeli, F. 2020. Estimation of daily reference evapotranspiration in wetlands using Gaussian process regression data-driven methods, support vector regression and random forest. *Journal of Environment and Water Engineering*, 6(4), 360-37. (In Farsi)
- Sawano, S., Hotta, N., Komatsu, H., Suzuki, M. and Yayama, T. 2007. Evaluation of evapotranspiration in forested areas in the Mekong basin Using GIS data analysis. *Forest Environments in the Mekong River Basin*, 36-44.
- Seifi, A., Mirlatifi, S.M., Riahi, H. 2011. Developing a combined model of multiple linear regression–principal component and factor analysis (MLR-PCA) for estimation of reference evapotranspiration (Case Study: Kerman Station). *Journal of Water Soil*, 24(6), 1186-1196. (In Farsi)
- Taei Semiromi, S., Moradi, H., Khodagholi, M. 2015. Predicted changes in some of climate variables using downscale model LARS-WG and output of HADCM3 model under different scenarios. *Journal of Watershed Engineering and Management*, 7(2), 145-156. (In Farsi)
- Thorntwaite, C. W. 1948. An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review*, 38(1), 55-94.
- Van Vuuren, D.P., Edmonds, J., Kainuma, M., Riahi, K., Thomson, A., Hibbard, K., Masui, T. 2011. There presentative concentration pathways: an overview. *Climate Change*, 109(1-2), 5.
- Wilby, R., Dawson, C.W., Morphy, C., Oconnor, P., Hawkins, E. 2014. The Statistical DownScaling Model-Decision Centric (SDSM-

- DC): Conceptual basis and applications. *Climate Research*, 61(3), 259-276.
- Wilby, R.L., Dawson, C.W., Barrow., E.M. 2002. SDSM a decision support tool for the assessment of regional climate change impacts. *Environmental Modelling and Software*. (17):147-159.
- Wilby, R.L., Dawson, W.C. 2007. SDSM 4.2 A decision support tool for the assessment of regional climate change impacts, SDSM manual version 4.2, Environment Agency of England and Wales: 94p.
- Wilby, R.L., Wigley, T.M.L. 1997. Downscaling general circulation model output: a review of methods and limitations. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, 21(4): 530-548.
- Yavuz, H., Erdoğan, S. 2012. Spatial analysis of monthly and annual precipitation trends in Turkey. *Water Resources Management*, 26: 609-621.



Projected changes of potential evapotranspiration under RCP climate change scenarios (Case study: Bandar Anzali)

F. Heshmati¹, N. Sayari^{2*}

Received: 20/04/2020

Accepted: 28/02/2021

Abstract

Accurate estimation of potential evapotranspiration is crucial in crop water use determination especially under climate change conditions. In this study, the changes of potential evapotranspiration values estimated using Hargreaves-Samani and Thornthwaite methods were investigated during the baseline period, 1986–2018. For future projection, the outputs of the general circulation model (CanESM2) under RCP2.6, RCP4.5 and RCP8.5 scenarios were downscaled using SDSM statistical model during near and far future periods (2025–2050 and 2075–2100). The simulation results showed a rise in temperature in future periods and all scenarios. The results showed that ET_p will increase from 2025 to 2100 under three scenarios, except for the Thornthwaite method estimations in March. In the RCP2.6 scenario, the highest increase in ET_p in the Thornthwaite method was obtained in July, equal to 55 mm. This value was calculated in the Hargreaves-Samani method equal to 1.63 mm in April. In the RCP4.5 scenario and near future period, the projected rise in ET_p values by Thornthwaite method in month of July is 54.96 mm and Hargreaves-Samani method for month of January was 1.45 mm. These values for the same month and methods, in case of RCP8.5 scenario, were 40.34 and 1.72 mm, respectively. According to the results, the lowest increase in ET_p will occur in the RCP4.5 scenario between years 2025 and 2050 and in the RCP8.5 scenario between years 2075 and 2100.

Keywords: Climate change, Evapotranspiration, SDSM, RCP scenarios



¹ M. Sc. Student in Water Resources Engineering, Water Engineering Department, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

² Assistant Professor, Water Engineering Department, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

(*Corresponding Author Email Address: na_sa@uk.ac.ir)

نحوه ارجاع مقاله:

حشمتی، ف.، سیاری، ن. ۱۴۰۰. ت بررسی تغییرات تبخیرتعرق پتانسیل در شرایط اقلیمی آینده تحت سناریوهای واداشت تابشی (مطالعه موردی:

ایستگاه بندر انزلی). نشریه هواشناسی کشاورزی، ۹(۱): ۶۳-۷۵. DOI: 10.22125/agmj.2021.269483.1109

Heshmati, F., Sayari, N. 2021. Evaluating the effects of climate change on evapotranspiration using RCP scenarios (Case study: Bandar Anzali). Journal of Agricultural Meteorology, 9(1): 63-75. DOI: 10.22125/agmj.2021.269483.1109