

اثر تغییر اقلیم بر تغییرات تبخیر از سطح چاه نیمه های سیستان

حسین بزی^۱

حسین ابراهیمی^{۲*}

ebrahimi165@yahoo.com

بابک امین نژاد^۳

تاریخ پذیرش: ۹۸/۸/۲۲

تاریخ دریافت: ۹۸/۷/۲۲

چکیده

زمینه و هدف: تبخیر یکی از روش های هرز منابع آب در نواحی جغرافیایی است و در مطالعات منابع آب از اهمیت ویژه ای برخوردار است. هدف از این مطالعه ارائه مدل موثر اقلیمی بر نوسانات تبخیر از سطح چاه نیمه های منطقه سیستان طی دهه های آتی در نتیجه تغییر اقلیم می باشد.

روش بررسی: در تحقیق حاضر پایگاه داده ها شامل داده های تبخیر سد چاه نیمه و داده های شبکه ای بزرگ مقیاس تهیه شده است. از مدل SDSM برای شبیه سازی تبخیر دهه های آتی تحت سه سناریو RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 استفاده شده است دوره پایه برای مدل سازی از سال ۱۹۸۳ تا ۲۰۰۵ (۲۳ سال) می باشد.

یافته ها: مقایسه برآورد تبخیر برای دو دوره زمانی آینده و تحت سناریوهای مختلف نشان داد که برای دوره زمانی ۲۰۸۰-۲۱۰۰ سناریو RCP2.6 و RCP8.5 مقادیر بیشتری برای تبخیر تخمین زدند. بررسی ورودی ها نشان داد که دما هوا، ارتفاع ژئوپتانسیل و شاخص های وزش باد بیشترین تاثیر را در تبخیر چاه نیمه های سیستان دارند.

بحث و نتیجه گیری: نتایج این مطالعه نشان داد که میزان تبخیر در دوره ۲۰۸۰-۲۱۰۰ افزایشی، بیش از ۳۰۰ میلی متر در سال تجربه خواهد کرد. بیشترین افزایش تبخیر در دوره گرم سال خواهد بود.

واژه های کلیدی تبخیر، مدل سازی، مدل SDSM، سناریوهای اقلیمی، چاه نیمه های سیستان.

۱- گروه عمران، واحد بین المللی کیش، دانشگاه آزاد اسلامی، جزیره کیش، ایران.

۲- دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، واحد شهر قدس، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. * (مسئول مکاتبات)

۳- استادیار، گروه عمران آب، دانشکده فنی و مهندسی، واحد رودهن، دانشگاه آزاد اسلامی، رودهن، ایران.

The Effect of Climate Change on Evaporation variations from the chah nimeh reservoirs of sistan

Hossein bazzi¹

Hossein ebrahimi^{2*}

a.arashpour@ase.ui.ac.ir

Babak aminnejad³

Admission Date: December 8, 2020

Date Received: October 2, 2020

Abstract

Background and Objective: Evaporation is one of the wasteful methods of water resources in geographical areas and is of special importance in the study of water resources.

Material and Methodology: In the present study, databases including Chah Nimeh dam evaporation data and large-scale network data have been prepared. The SDSM model is used to simulate the evaporation of the coming decades under three scenarios: RCP2.6, RCP4.5 and RCP8.5. The basic modeling period is from 1983 to 2005 (23 years)

Findings: Comparison of evaporation estimates for the next two time periods and under different scenarios showed that for the time period 2100-2080 scenarios RCP2.6 and RCP8.5 estimated higher values for evaporation. Examination of inputs showed that air temperature, geopotential height and wind indices have the greatest impact on the evaporation of wells in Sistan

Discussion and Conclusion: The results of this study showed that the rate of evaporation in the period of increasing 2100-2080 will experience more than 300 mm per year. The greatest increase in evaporation will be in the warm period of the year.

Keywords: Evaporation, modeling, SDSM model, climatic scenarios, Sistan half wells

1- Department of Water Resources Management, Kish International Unit, Islamic Azad University, Kish Island, Iran.

2- Associate Professor Department of Civil Engineering, Qods Branch, Islamic Azad University, Qods City, Iran. * (Corresponding Author)

3- Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Roudehen Branch, Islamic Azad University, Roudehen, Iran

مقدمه

تبخیر یک فرآیند اقلیمی است که طی آن ملکول های آب از حالت مایع به بخار تبدیل شده و وارد جو می شوند. از این حیث که تبخیر یکی از روش های هرز منابع آب در نواحی جغرافیایی است. در مطالعات منابع آب از اهمیت ویژه ای برخوردار است. برای برآورد تبخیر روش های مختلفی وجود دارد. از جمله این روش ها می توان به روش بلانی کریدل، تورنت وایت، پنمن مانیتث و ... اشاره نمود. در ایستگاه های هواشناسی با استفاده از تشت تبخیر میزان تبخیر را به صورت روزانه برآورد می کنند. در دهه های اخیر به سبب تغییرات عمده در شیمی جو که ناشی از فعالیت های بشر بوده، اقلیم کره زمین دستخوش تغییراتی شده است. وجود تغییر اقلیم همواره با اما و اگر همراه بوده است. مطالعات زیادی توسط محققان ودانشمندان مختلف در خصوص علت وجودی و ماهیت آن انجام شده است. براساس یکی از فرضیه های مطرح شده در این مطالعات، عمده دلایل تغییر اقلیم مربوط به فعالیت های صنعتی و افزایش آلودگی ها و گازهای گلخانه ای است. افزایش گازهای گلخانه ای طی دهه های اخیر سبب افزایش میانگین دمای کره زمین شده است. تا قبل از انقلاب صنعتی بین انرژی ورودی و خروجی جو زمین توازن برقرار بود. به طوری که میانگین دمای کره زمین حول دمای معینی نوسان می کرد. با شروع انقلاب صنعتی و گسیل گازهای گلخانه ای ناشی از احتراق سوخت های فسیلی، غلظت گازهای گلخانه ای غیرطبیعی در جو افزایش یافت که مهمترین آن ها گاز دی اکسید کربن بود. در نتیجه به دام افتادن انرژی بیشتر در جو زمین، میانگین دمای کره زمین غیر یکنواخت در عرض های جغرافیایی مختلف افزایش یافت.

در واقع افزایش اثر گلخانه ای این گازها سبب تغییر در میانگین متغیرهای اقلیمی و در نتیجه تغییر اقلیم می شود. تغییر اقلیم در نتیجه تغییرپذیری سیستم های اقلیمی و عوامل خارجی اتفاق می افتد (۱) قرن بیستم گرم ترین قرن و سال های ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۰ گرمترین دهه طی هزار سال گذشته بوده اند. بررسی های پژوهشگران نشان می دهد که از آغاز قرن بیستم

تاکنون میانگین دمای کره زمین در حدود ۰/۶ درجه سانتی گراد افزایش یافته است (۲). گزارش چهارم^۱ IPCC نشان می دهد که افزایش انتشار گازهای گلخانه ای طی قرن گذشته سبب افزایش ۰/۴ تا ۰/۸ درجه سانتی گراد در میانگین دمای هوای کره زمین شده است (۳). در نتیجه این تغییرات انتظار می رود که بخش زیادی از یخچال های قطبی و کوهستانی از بین بروند، سطح آب اقیانوس بالاتر بیاید، و ارتفاع آب افزایش یابد، رخدادهای جدی اقلیمی همچون موج های گرمایی و سرمای، خشکسالی، سیلاب و ... تشدید شوند و در کل تنش شدیدی به اکوسیستم ها و منابع آب وارد شود که می تواند اثرات جبران ناپذیری بر جای بگذارد. اثر تغییر اقلیم بر حوضه های مختلف منابع آب از جمله تبخیر و تعرق در مناطق مختلف، ماهیت و شدت متفاوتی دارد و منابع آب و خاک را به شیوه های گوناگون تحت تأثیر قرار داده است. (۴) پژوهشگران سناریوهای مختلفی را تعریف کرده اند که تحت مدل های اقلیمی، اثرات تغییرات انتشار گازهای گلخانه ای بر پدیده های اقلیمی را برای اقلیم آینده شبیه سازی می کنند. در واقع مدل ها یک ساختار نظری یا مفهومی را فراهم می آورند که می تواند نمایانگر مکانیسم یا ساختاربینی واقعیات یا روشی برای سازمان دهی نتایج تحقیق و ارائه آن باشد (۵). امروزه در بیشتر تحقیقات مربوط به پیش بینی شرایط آینده اقلیم از خروجی مدل های گردش عمومی جو تحت سناریوهای مختلف انتشار گاز دی اکسید کربن استفاده می شود. اگرچه عدم قطعیت های زیادی در مدل های GCM^۲ وجود دارد اما در حال حاضر بهترین روش برای دستیابی به اقلیم آینده محسوب می شوند (۶)، (۷). مدل های آب و هوایی منطقه ای (GCM) الگوریتم یک مدل جهانی را ساده سازی می کنند تا ویژگی های شرایط مرزی را بهتر به نمایش بگذارند (۸). مدل های منطقه ای اثر نیروهای کوچک مقیاس را شبیه سازی کرده و اطلاعات مطلوبی از مقیاس های منطقه ای فراهم می نمایند. امروزه استفاده از خروجی مدل های گردش عمومی جو پس از

1- Intergovernmental Panel on Climate Change
2- General Circulation Model

را دارد (۱۳). دانکرز و کریستنسن (۲۰۰۵) در تحقیقی به بررسی تغییرات اقلیم بر تبخیر در منطقه حوضه تانا در شمال فنلاند و نروژ پرداختند. آنها با در نظر گرفتن مدل توزیعی بیلان آب و با استفاده از مدل های اقلیم منطقه‌ای و سناریوهای تغییر اقلیم مربوط به اواخر قرن حاضر میزان تبخیر را برآورد کردند. نتایج نشان داد که در دوره مورد نظر تبخیر افزایش می یابد (۱۴). یانینگ و همکاران (۲۰۰۷) اثرات تغییر اقلیم بر روی منابع آب حوضه رودخانه تاریم در شمال غرب چین را بررسی کردند. نتایج نشان می دهد که در سطح معنی دار ۵ درصد افزایش دما وجود دارد و در یک دوره ۵۰ ساله افزایش دمای حدود یک درجه را شاهد بوده است. این مطالعه نشان می دهد که بارش هم در بین سال های ۱۹۸۰ تا ۱۹۹۰ میلادی دارای افزایش میانگین بارش سالانه به میزان ۶/۸ میلی متر بوده است (۱۵). گیانیو و آنتاناپلوس (۲۰۰۷) دو روش بیلان آب و بیلان انرژی، با استفاده از مدل یک بعدی توزیع دمای روزانه را بررسی و در نهایت نتیجه گرفتند که نرخ تبخیر در بهار کم و در تابستان رو به افزایش می رود که این وابسته به انرژی ذخیره شده در مخزن می باشد (۱۶). آرمسترانگ و همکاران تعدادی از روش های برآورد تبخیر برای چند مقیاس زمانی از ۱۵ دقیقه تا فصلی را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که تمام روش-ها کاربرد مناسب برای برآورد تبخیر برای مدت طولانی تر از روزانه داشته، اما هیچ یک از روش های ارائه برای تخمین های روزانه و یا ساعتی به طور مداوم قابل اعتماد نیستند (۱۷). یائو (۲۰۰۹) در بررسی میزان تبخیر از دریاچه دیکی در انتاریو کانادا به این نتیجه رسید که در فصل های سرد بهترین روش، روش بیلان آبی و برای دوره های کوتاه تر (هفتگی یا ماهانه) روش دبراین-کجیمان بهترین نتایج را ارائه می دهد (۱۸). دونوو و همکاران (۲۰۱۰) در تحقیقی به ارزیابی ۵ فرمول تخمین تبخیر پتانسیل در شرایط تغییر اقلیم پرداختند. در این پژوهش فرمول پنمن بهترین مقدار تبخیر پتانسیل را نسبت به سایر روش‌ها ارائه داد. در نهایت با در نظر گرفتن تغییر اقلیم مشاهده شد که میزان دما در حال افزایش بوده و به دنبال آن میزان تبخیر تحت تغییر اقلیم در حال افزایش می باشد (۱۹). ون ولایت و همکاران (۲۰۱۳) دریافتند که دمای متوسط آب

ریزمقیاس کردن آن توسط مدل های منطقه ای برای بررسی اثرات تغییر اقلیم در تحقیقات مختلف در سراسر دنیا امری اجتناب ناپذیر است (۹)، (۱۰) مدل SDSM از جمله روش هایی است که برای ریزمقیاس نمایی آماری استفاده می شود. روش های آماری دارای دو وجه متمایز هستند؛ اول این که نیازمند رفتار مشاهداتی (گذشته) ایستگاه مورد مطالعه هستند، دوم این که مدل سازی در یک دوره حدود دو تا سه دهه در کسری از ثانیه انجام می شود. در روش های آماری بین پارامترهای خروجی مدل های AOGCM¹ و عناصر اقلیمی مانند بارش و دما در مقیاس روزانه رابطه برقرار می شود. با توجه به این که پارامترهای خروجی مدل ها نماینده میانگین کل سلول می باشند، لذا دقت تعمیم مکانی مدل ها برای ایستگاه-های که در نقاط مختلف یک سلول واقع شده اند، می تواند متفاوت باشد. دشت سیستان به سبب عرض جغرافیایی پایین و همچنین وزش بادهای محلی قدرتمند (بادهای ۱۲۰ روزه) همواره با چالش منابع آب روبرو بوده است. سالانه حجم زیادی آب بر اثر فرایند تبخیر از سطح چاه نیمه های دشت سیستان به هدر می رود. از طرفی منبع اصلی آب این دشت همین مخازن هستند. لذا منابع آب و تنش های مربوط به آن اثرات عمیق زیست محیطی در دشت سیستان برجای می گذارد (۱۱). اثر تغییر اقلیم توسط یو و همکاران روی منابع آب جنوب تایوان بررسی شد. نتایج نشان دهنده افزایش دما در دوره های طولانی مدت و تغییرات شدید در احتمال رخداد بارندگی روزانه بوده است. تانگ و همکاران (۲۰۰۴) طی تحقیقاتشان گزارش نمودند که میزان تبخیر با سرعت باد، دمای آب، دمای هوا و رطوبت نسبی ارتباط دارد. هنگامی که سرعت باد بیشتر است نرخ تبخیر از سطح آب آزاد بیشتر می شود (۱۲). لنترز و همکاران (۲۰۰۵) اثر تغییر اقلیم بر دریاچه اسپارکلینگ در آمریکا را بررسی کردند. آنها به وسیله روش بیلان انرژی و با تحلیل داده های ۱۰ ساله به برآورد میزان تبخیر از دریاچه پرداختند. نتایج نشان داد که میانگین تبخیر در دوره مورد مطالعه تغییری برابر با ۳/۱ میلی متر با انحراف معیار ۲۵ صدم

نشان دهنده افزایش ۸ درصدی تبخیر و تعرق تا سال ۲۰۶۵ بود (۲۷). تائو و همکاران (۲۰۱۵) اثر تغییر اقلیم بر تبخیر و تعرق گیاه مرجع در حوضه رودخانه کیانگ جیانگ چین را تحت سناریوهای RCP و با مدل SDSM جهت ریزمقیاس نمایی، بررسی کردند. نتایج نشان داد که در دوره‌های آتی، میزان تبخیر و تعرق گیاه مرجع تحت تمامی سناریوها افزایش خواهد یافت (۲۸). در این مطالعه اثر تغییر اقلیم بر تغییرات تبخیر از سطح چاه نیمه های دشت سیستان تحت سناریوهای مختلف شبیه سازی شد.

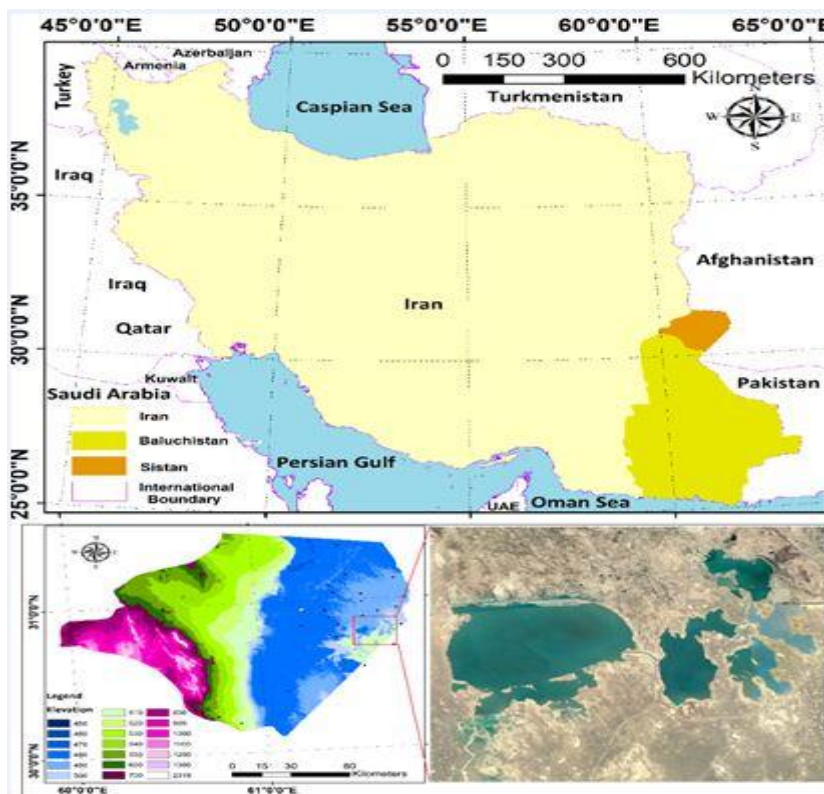
پژوهش حاضر با هدف تعیین میزان تغییرات مقادیر تبخیر در دوره های ۲۰۳۰-۲۰۵۰ و ۲۰۸۰-۲۱۰۰ از سطح چاه نیمه‌های سیستان و همچنین تعیین روند تغییرات تبخیر بر حسب میلی متر انجام گرفته است.

روش بررسی

معرفی محدوده مورد مطالعه

دشت سیستان در شمال استان سیستان و بلوچستان در ۳۰ درجه و ۱۸ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۲۰ دقیقه عرض شمالی و ۶۱ درجه و ۱۰ دقیقه تا ۶۱ درجه و ۵۰ دقیقه طول شرقی، نسبت به نیمروز گرینویچ قرار دارد (شکل ۱). چاه نیمه‌ها، گودال‌های طبیعی بزرگی هستند که در فاصله ۵۰ کیلومتری شهر زابل و ۵ کیلومتری شهرستان زهک قرار دارند. در حال حاضر چهار چاه نیمه وجود دارد که آب مازاد رودخانه هیرمند توسط کانالی به آنها هدایت می‌شود. تبخیر فعلی سالانه ۳۵۰۰ میلی متر آب در سیستان بر اثر افزایش دما و وزش باد های ۱۲۰ روزه عامل اصلی کاهش تراز سطح آب چاه نیمه ها می باشد.

رودخانه‌های آمریکا، اروپا، چین شرقی، قسمتی از آفریقای جنوبی و استرالیا در دوره ۲۰۷۱-۲۱۰۰ نسبت به دوره پایه ۲۰۰۰-۱۹۷۱ افزایش می یابد (۲۰). سونگ و همکاران (۲۰۱۲) با مدل SWAT^۱ جریان حوضه رودخانه Beijing را شبیه سازی و سپس واکنش هیدرولوژیکی حوضه را تحت تغییر اقلیم آنالیز کردند. نتایج نشان داد که اگر بارندگی تغییر نکند و دما افزایش یابد. آنگاه متوسط سالانه تبخیر افزایش یافته و بهره وری آب کاهش می یابد در حالی که دما تغییر نکند و بارندگی افزایش یابد. تبخیر و بهره وری آب افزایش خواهد یافت (۲۱). هلفر و همکاران (۲۰۱۲) اثر تغییر اقلیم بر دما و تبخیر از سطح مخزن بزرگ ویونهورل در استرالیا را بررسی و نتیجه گرفتند که میزان تبخیر مخزن حداکثر ۱۵ درصد افزایش خواهد یافت (۲۲). بنزاقتا و همکاران (۲۰۱۲) نتایج سه مدل پنمن و پرستلی - تیلور و لینیکر برای برآورد تبخیر از مخازن آب لبیی بررسی کردند و نتیجه گرفتند که برآوردها از نظر آماری معنی دار است (۲۳). یانگ و یانگ (۲۰۱۲) با بررسی تغییرات دما و تبخیر در ۵۴ ایستگاه هواشناسی در چین دریافتند که میزان تبخیر ۱/۸ درصد و دما به مقدار ۰/۲۷ درجه سانتی گراد به طور میانگین در هر دهه افزایش یافته است (۲۴). بازکورت و لطفی (۲۰۱۳) سن با بررسی اثر سناریوهای مختلف تغییر اقلیم در حوضه رودخانه فرات به این نتیجه دست یافتند که دمای سطحی سالانه با در نظر گرفتن یک سناریوی خاص (A1F1) در زمستان در داخل حوضه در بیشترین مقدار خود به میزان ۶/۱ درجه سانتیگراد در مناطق کوهستانی افزایش می یابد (۲۵). طبری و همکاران (۲۰۱۴) مقدار تبخیر و تعرق گیاه مرجع را در اقلیم های مختلف ایران مطالعه کردند. نتایج نشان داد که تغییرات تبخیر و تعرق گیاه مرجع در مناطق خشک زیادتر از مناطق مرطوب است (۲۶). تاناسی جویس و همکاران (۲۰۱۴) اثر تغییر اقلیم بر تغییرات تبخیر و تعرق گیاه زیتون در منطقه مدیترانه را بررسی کردند. برای بررسی تغییر اقلیم از سناریوی A1B و مدل ECHAM5 و برای برآورد تبخیر و تعرق گیاهی از گزارش ۵۶ فائو استفاده کردند. نتایج



شکل ۱- موقعیت چاه نیمه های دشت سیستان.

Figure1. Position of chah nimehs in Sistan plain.

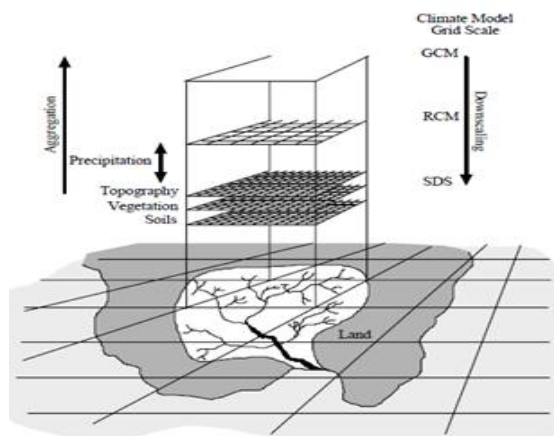
شده است. ریزمقیاس کردن روشی برای دستیابی به اطلاعات آب و هوایی یا تغییر آب و هوا با وضوح بالا از مدل‌های جهانی برای یک منطقه است. از یک طرف بسیاری از پدیده‌های جوی به اطلاعات با وضوح ۵۰ کیلومتر و کمتر نیاز دارند و از طرف دیگر نوعی ناسازگاری بین مقیاس اطلاعات آب و هوایی موجود و مقیاس مورد استفاده پژوهشگران وجود دارد، بنابراین فنون ریزگردانی ارزش اطلاعات به دست آمده از مدل‌های جفت شده ی اقیانوس - جو را افزایش می‌دهند در واقع در مطالعات مختلف برای ارزیابی اثرات تغییر اقلیم و رفع نقیصه تفکیک فضایی کم، خروجی مدل‌های گردش عمومی جو و تبدیل آن به مقیاس محلی لازم است اصلاحاتی بر روی میانگین‌های خروجی پارامترهای جوی انجام شود تا کمترین خطای ممکن را با داده‌های مشاهداتی داشته باشد. به این روش، ریزمقیاس نمائی گفته می‌شود. ریزمقیاس نمایی را با توجه به یافته‌های تغییر اقلیم می‌توان در چهار گروه تقسیم‌بندی کرد، دینامیکی (پویشی)، آماری، استفاده از سلول اصلی یا روش تناسبی، تعیین وضعیت هم‌مدیدی (۳۰). به طور کلی در اغلب مطالعات

داده‌های مورد استفاده در این مطالعه شامل داده‌های تبخیر روزانه ایستگاه سد چاه نیمه و داده‌های شبکه‌ای از مرکز CMPI5 می‌باشند. طول دوره آماری داده‌های تبخیر از ۱۹۸۳ تا ۲۰۰۵ است. نقص‌های آماری با استفاده از داده‌های اقلیمی ایستگاه‌های مجاور و مدل رگرسیون خطی بازسازی شدند. سرانجام مدل سازی تبخیر برای دو بازه زمانی ۲۰۵۰-۲۰۳۰ و ۲۰۸۰-۲۱۰۰ تحت سه سناریو RCP انجام شد. سرانجام با بررسی پارامترهای آماری میانگین و مجموع تبخیر، تغییرات تبخیر در سناریوها مختلف در اقلیم آینده تحلیل می‌شود.

مدل‌های اقلیمی و ریزمقیاس نمایی

برای تولید سناریوهای اقلیمی منطقه‌ای (RCMs¹) از سناریوهای اقلیمی مدل‌های AOGCMs روش‌های گوناگونی وجود دارد که به کوچک مقیاس ساز موسوم هستند (۲۹). در شکل ۲ نحوه ریزمقیاس نمایی داده‌های GCM نشان داده

1- Regional Climate Models



شکل ۲- تشریح شماتیک رویکرد عمومی برای ریزمقیاس نمائی (۳۲).

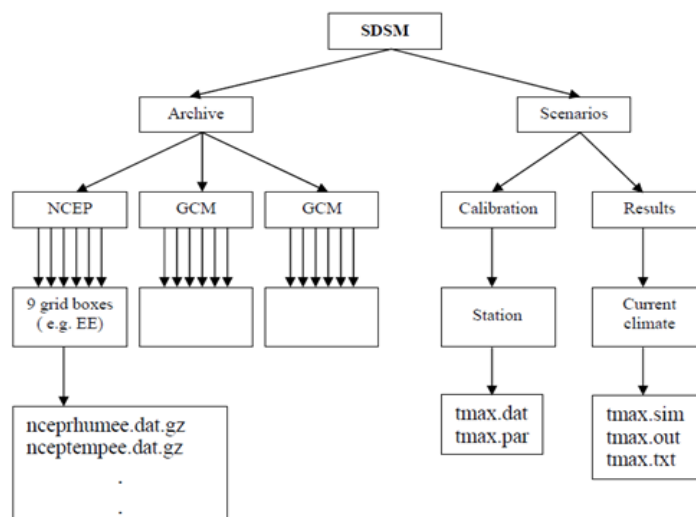
Figure2. Schematic description of the general approach to exponential microscopy . (32)

سناریو نوعی تصمیم‌سازی بر اساس اطلاعات موجود و آینده نگری مبتنی بر نگرش‌های خرد و کلان برنامه‌ریزان، برای رسیدن به اهداف دوردست و یا ایجاد بستری مناسب برای مقابله با بحران‌های محیطی و کاهش اثرات مخاطرات در زمینه‌های مختلف اطلاق می‌شود. به عبارتی سناریو به عنوان ترسیم نقشه راه آینده برای چگونگی مقابله با مشکلات است (۳۳). جدیدترین سناریوهای انتشار بر اساس گزارش ارزیابی پنجم هیأت بین‌الدول تغییر اقلیم (۲۰۱۴) منتشر شده است. عدم اتخاذ سیاست‌های کاهش گازهای گلخانه‌ای و مقابله با پیامدهای اقلیمی آن، آب و هوای کره زمین را در خط سیر سناریوی انتشار RCP8.5 پیش خواهد برد. در سناریوی RCP 8.5، میزان غلظت CO₂ تا سال ۲۱۰۰، به ۱۳۷۰ ppm خواهد رسید که اثر گازهای گلخانه‌ای بر واداشت‌های تابشی را تا ۸/۵ وات بر متر مربع تخمین زده‌اند. در سناریوی RCP 4.5، میزان غلظت CO₂ تا سال ۲۱۰۰، به ۶۵۰ ppm افزایش خواهد یافت و اثر گازهای گلخانه‌ای بر واداشت‌های تابشی را ۴/۵ وات بر متر مربع تخمین زده‌اند. در سناریوی RCP2.6، میزان غلظت CO₂ را تا سال ۲۱۰۰، ۴۹۰ ppm برآورد کرده‌اند و اثر گازهای گلخانه‌ای بر واداشت‌های تابشی تا ۲/۶ وات بر متر مربع خواهد بود.

تغییر اقلیم و بررسی اثرات آن از دو روش دینامیکی و آماری و یا تلفیقی از آنها برای ریزمقیاس کردن داده‌های آب و هوایی استفاده می‌شود که مدل‌های مختلفی مبتنی بر آنها به وجود آمده است. در این مطالعه از روش ریزمقیاس نمایی آماری استفاده شده است. مدل‌های ریزمقیاس گردانی آماری شامل رگرسیون خطی چند متغیره، آنالیز ارتباط کانونی، نزدیکترین همسایه، روش شبکه عصبی، الگوریتم ژنتیک و مواد داده‌های هواشناسی (WG) می‌باشند (۳۱).

از جمله مدل‌هایی که اغلب در روش‌های آماری برای ریزگردانی استفاده می‌شود می‌توان به WGEN^۱، CLIMGEN^۲، EU SCLIMATE، LARS-WG^۳، SDSM، Ensembles اشاره کرد. شناسایی روابط تجربی بین متغیرهای پیش‌بینی کننده شبکه‌بندی شده (مانند فشار ترازهای مختلف، رطوبت و...) و متغیرهای تک موقعیته (مانند دمای ایستگاه) اساس تمام روش‌های ریزمقیاس نمایی آماری است. هدف اصلی از عملیات انتخاب متغیرها، شناسایی و انتخاب متغیرهای پیش‌بینی مناسب ریزمقیاس نمایی است که در واقع یکی از مهمترین مراحل در توسعه هر مدل ریزمقیاس نمایی آماری است، چون انتخاب متغیرهای پیش‌بینی، تا حد زیادی ویژگی‌های سناریوی ریزمقیاس نمایی را تعیین می‌کند. فرآیند تصمیم‌گیری نیز به واسطه این واقعیت که قدرت پیش‌بینی متغیرهای مجزا به لحاظ زمانی و مکانی متغیر است، پیچیده می‌باشد (۳۲). در این مطالعه از مدل SDSM جهت شبیه‌سازی تغییرات تبخیر در سالیان آتی استفاده شد (شکل ۳).

- 1- Weather Generator
- 2- Climatic Data Generator
- 3- Long Ashton Research Station Weather



شکل ۳- ساختار مدل SDSM (Wilby and Dawson, 2004)

Figure3. Model structure (Wilby and Dawson, 2004)

یافته ها

عمومی جو، مهمترین متغیرها که قوی ترین ارتباط را با تبخیر چاه‌نیمه‌ها در سطح معناداری ۵ درصد داشتند شناسایی شدند. بررسی واریانس تبیین شده و مقادیر همبستگی ۲۶ متغیر شبکه ای با تبخیر چاه نیمه ها نشان داد که ۷ متغیر بیشترین تأثیر را در مقادیر تبخیر از سطح این مخازن دارند. این متغیرها شامل فشار، شاخص های وزش باد و دمای هوا هستند (جدول ۱). در نهایت با توجه به ورودی های مزبور برای دو بازه زمانی ۲۰۳۰-۲۰۵۰ میلادی و ۲۰۸۰-۲۱۰۰ میلادی داده تبخیر تولید شد.

در این مطالعه به منظور بررسی اثر تغییر اقلیم بر مقادیر تبخیر از سطح چاه نیمه های دشت سیستان از مدل SDSM بهره گرفته شد. بدین منظور ابتدا سری زمانی روزانه تبخیر چاه‌نیمه‌های دشت سیستان برای دوره آماری ۱۹۸۳/۰۱/۰۱ تا ۲۰۰۵/۱۲/۳۱ از سازمان هواشناسی زاهدان تأمین شد. نقص های آماری با استفاده از داده متغیرهای دمای بیشینه، دمای کمینه، نم بیشینه، نم کمینه و بارش ایستگاه سینوپتیک زابل و با به کارگیری مدل رگرسیون خطی چندمتغیره با دقت بالایی بازسازی شد. سپس با بررسی همبستگی داده های تبخیر چاه-نیمه‌های دشت سیستان با متغیرهای بزرگ مقیاس گردش

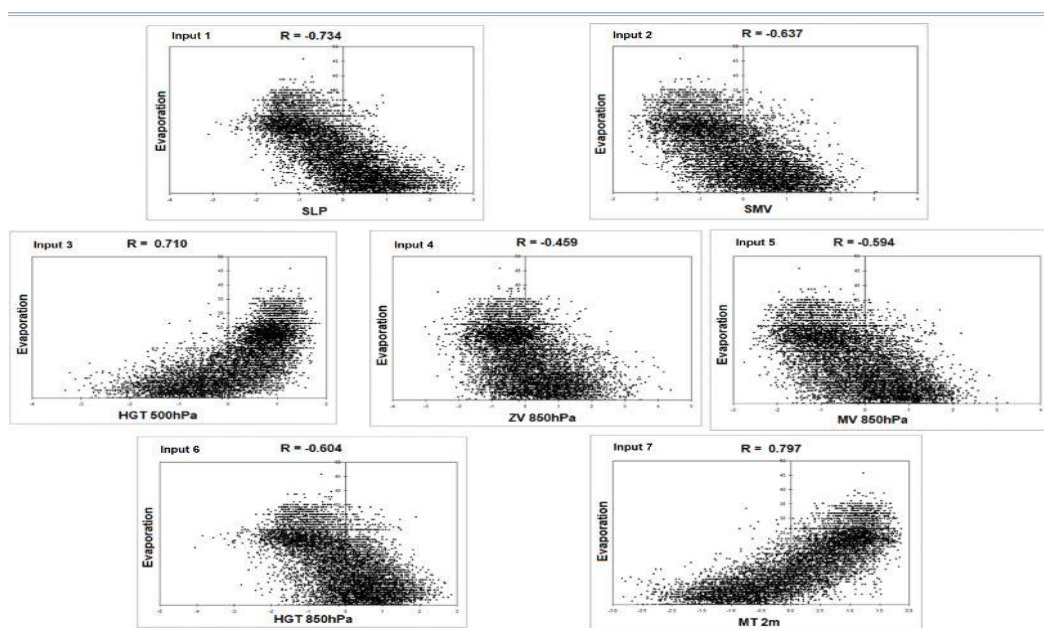
جدول ۱- مهمترین متغیرهای شبکه ای مؤثر بر روی تبخیر چاه‌نیمه‌های دشت سیستان

Table1. The most important network variables affecting the evaporation of chah inmehs in Sistan chah nimeh

همبستگی	نام متغیر	نام متغیر	همبستگی	نام متغیر
-۰/۵۹۴	MV850hPa	سرعت نصف النهاری تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال	-۰/۷۳۴	SLP فشار متوسط سطح دریا
-۰/۶۰۴	HGT850hPa	ارتفاع ژئوپتانسیل ۸۵۰ هکتوپاسکال	-۰/۶۳۷	SMV سرعت نصف النهاری سطحی
۰/۷۹۷	MT	متوسط دما در ارتفاع ۲ متری	۰/۷۱۰	HGT500hPa ارتفاع ژئوپتانسیل ۵۰۰ هکتوپاسکال
-	-	-	-۰/۴۵۹	ZV500hPa سرعت مداری تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال

متغیر متوسط دما در ارتفاع ۲ متری ارتباط خطی نسبتاً قوی مشاهده می شود. لیکن بین تبخیر و ارتفاع، سرعت مداری، سرعت نصف النهاری تراز ۸۵۰ هکتوپاسکال و سرعت نصف النهاری سطحی ارتباط نسبتاً غیرخطی و ضعیف تری مشاهده شد.

در شکل ۴ ارتباط بین ورودی های منتخب با تبخیر چاه نیمه نشان داده شده است. که مقادیر R در واقع همبستگی بین متغیرهای شبکه ای و تبخیر چاه نیمه ها را نشان می دهد. از طرفی شکل پراکندگی هر نمودار خطی یا غیرخطی بودن ارتباط هر متغیر پیش بین با تبخیر را مشخص می نماید. بین تبخیر و فشار سطح دریا، ارتفاع ژئوپتانسیل ۵۰۰ هکتوپاسکال و

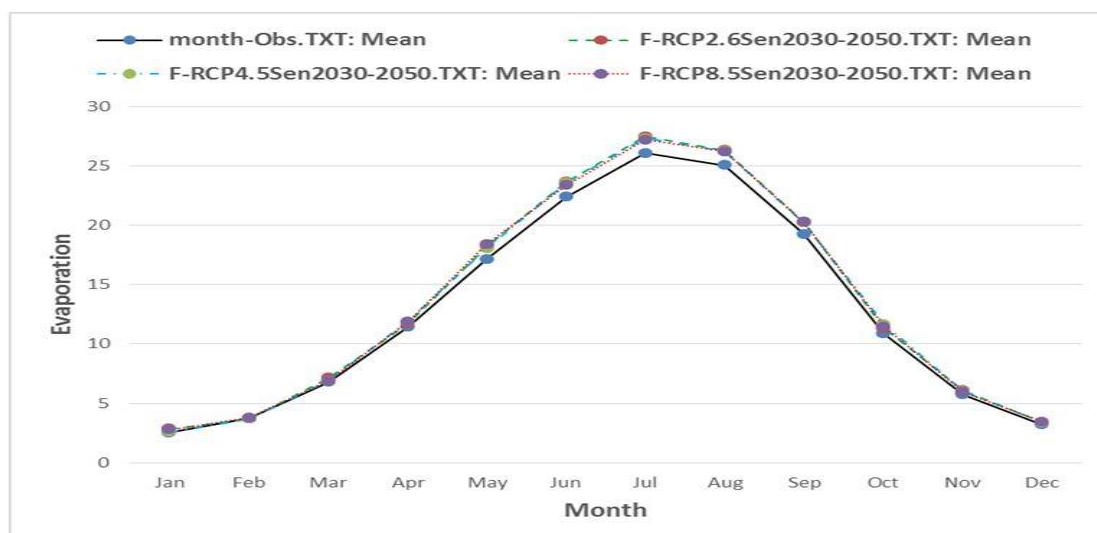


شکل ۴- ارتباط تبخیر با ورودی های بزرگ مقیاس منتخب.

Figure4. Evaporation relationship with large scale inputs selected.

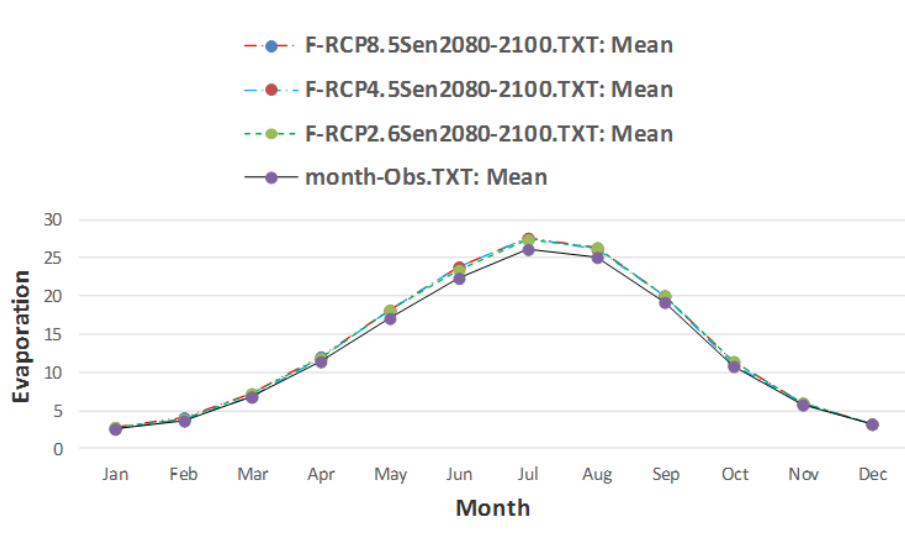
در میانگین تبخیر تحت سناریو RCP2.6 مشاهده می شود. برای دوره ۲۰۸۰-۲۱۰۰ نیز شرایط مشابهی مشاهده می شود. لیکن بیشترین برآورد میانگین تبخیر تحت سناریو RCP8.5 مشاهده می شود. از طرفی شدت تبخیر نیز با شیب بسیار ملایمی نسبت به دوره قبل افزایش خواهد یافت (شکل ۶).

نتایج مدل سازی میانگین تبخیر تحت سناریوهای مختلف برای دوره ۲۰۳۰-۲۰۵۰ نشان داد که میانگین تبخیر تحت همه سناریوها افزایش می یابد. بیشترین افزایش در میانگین تبخیر در ماه های می تا سپتامبر مشاهده می شود و ماه های سرد سال افزایش ناچیزی خواهند داشت (شکل ۵). بیشترین افزایش



شکل ۵- مقایسه نتایج سناریوهای مختلف جهت برآورد میانگین تبخیر برای دوره زمانی ۲۰۳۰-۲۰۵۰.

Figure5. Comparison of the results of different scenarios to estimate the mean evaporation for the 2030–2050 period.

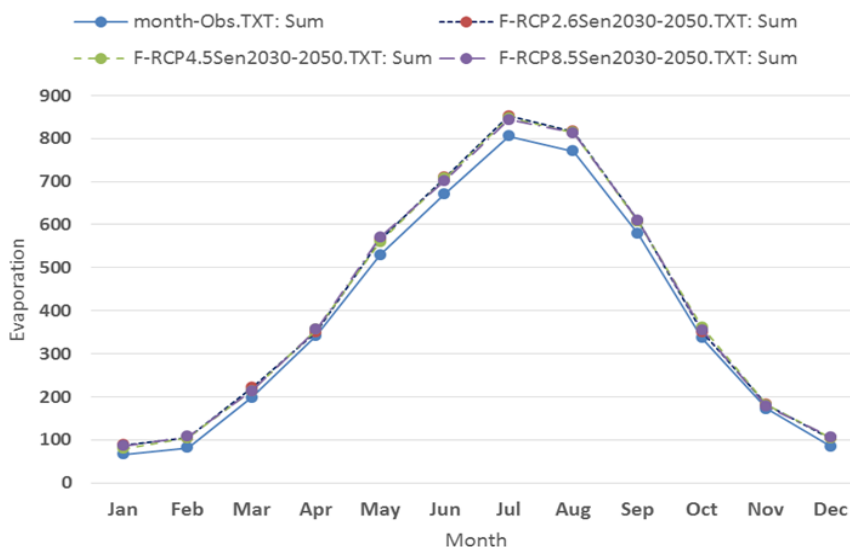


شکل ۶- مقایسه نتایج سناریوهای مختلف جهت برآورد میانگین تبخیر برای دوره زمانی ۲۰۸۰-۲۱۰۰.

Figure 6. Comparison of the results of different scenarios to estimate the mean evaporation for the period 2080-2100

شد. به نظر می رسد غلظت کمتر گاز CO₂ و سایر گازهای گلخانه ای تحت این سناریو سبب کاهش غلظت جو شده و انرژی بیشتری بر واحد سطح فرود می آید. از طرفی تشدید اثر گلخانه ای نسبت به دوره پایه سبب می شود دما افزایش یافته و در نتیجه شدت تبخیر بیشتر خواهد شد (شکل ۷).

تحت همه سناریوها در دوره ۲۰۳۰-۲۰۵۰ ، مقدار مجموع تبخیر سالانه بیش از ۳۰۰ میلی متر افزایش را نشان می دهد. بیشترین افزایش در دوره گرم (می تا سپتامبر) و همچنین بین ماه های ژانویه و فوریه خواهد بود. از طرفی تحت سناریو RCP2.6 تبخیر بالاتری نسبت به سایر سناریوها تخمین زده

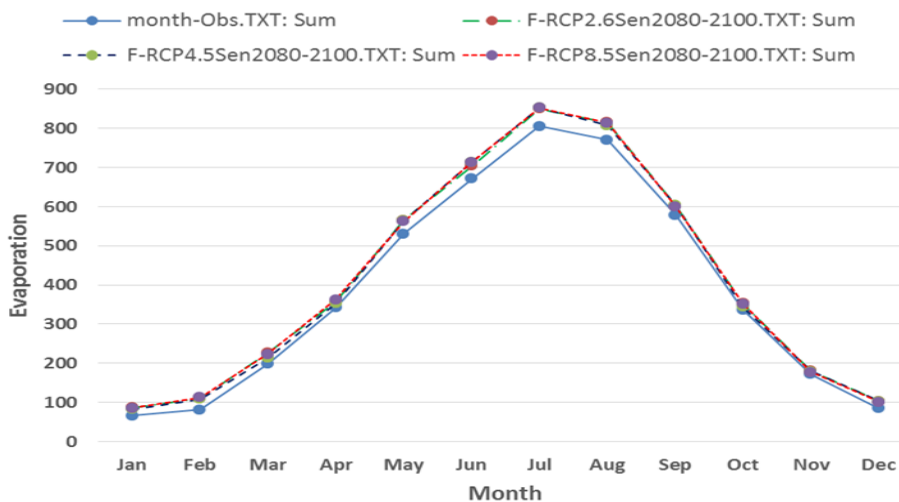


شکل ۷- مقایسه نتایج سناریوهای مختلف جهت برآورد مجموع تبخیر برای دوره زمانی ۲۰۳۰-۲۰۵۰.

Figure 7. Comparison of the results of different scenarios to estimate the sum of evaporation for the period 2050-2030 .

دوره شیب بسیار ملایم افزایش تبخیر نسبت به دوره قبل است. به نظر می رسد که اشباع جو و متعاقب آن کاهش ظرفیت پذیرش جو تا حد زیادی از میزان تبخیر علیرغم افزایش گازهای گلخانه ای خواهد کاست (شکل ۸).

در دوره زمانی ۲۰۸۰-۲۱۰۰ نیز همانند دوره ۲۰۳۰-۲۰۵۰ مقادیر مجموع تبخیر نسبت به دوره پایه افزایش خواهد یافت. بیشترین تخمین مجموع تبخیر در این دوره زمانی تحت سناریو RCP8.5 رخ خواهد داد. شدت تبخیر در این دوره نسبت به دوره قبل اندکی افزایش خواهد یافت. نکته قابل توجه در این



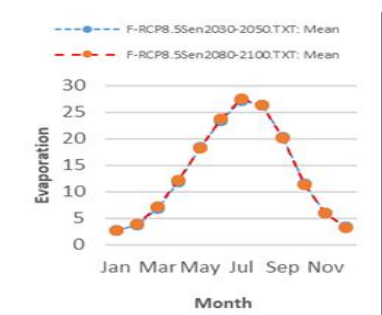
شکل ۸ - مقایسه نتایج سناریوهای مختلف جهت برآورد مجموع تبخیر برای دوره زمانی ۲۰۸۰-۲۱۰۰.

Figure 8. Comparison of the results of different scenarios to estimate the sum of evaporation for the time period 2100-2080.

ولی در در سناریو RCP4.5 میانگین تبخیر، مقادیر کمتری نسبت به دوره ۲۰۳۰-۲۰۵۰ نشان می دهد. هر چند که تفاوت بین برآوردها در سناریوها مختلف بسیار ناچیز است ولی نسبت

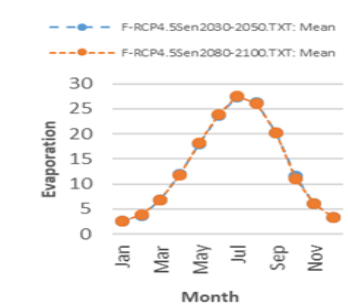
مقایسه نتایج تخمین میانگین در سناریوهای مختلف نشان می دهد که در سناریو RCP2.6 و RCP8.5 مقادیر تبخیر برای دوره ۲۰۸۰-۲۱۰۰ بیشتر از دوره ۲۰۳۰-۲۰۵۰ خواهد بود

به دوره پایه افزایش محسوسی خواهد داشت (شکل ها ۹ تا ۱۱).



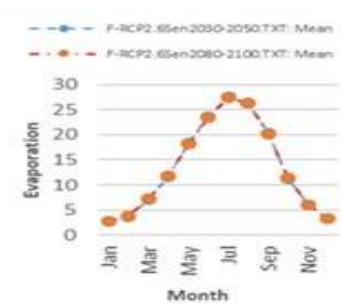
شکل ۱۱- مقایسه نتایج میانگین تبخیر سناریو RCP8.5 برای دو دوره زمانی منتخب

Figure 11. comparison of the RCP8.5 mean evaporation Scenario for the Two Selected time Periods



شکل ۱۰- مقایسه نتایج میانگین تبخیر سناریو RCP4.5 برای دو دوره زمانی منتخب

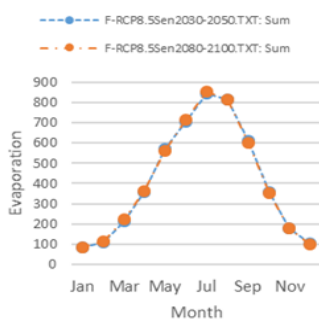
Figure 10. comparison of the results of the RCP4.5 mean evaporation Scenario for the Two Selected time Periods



شکل ۹- مقایسه نتایج میانگین تبخیر سناریو Rcp2.6 برای دو دوره زمانی منتخب

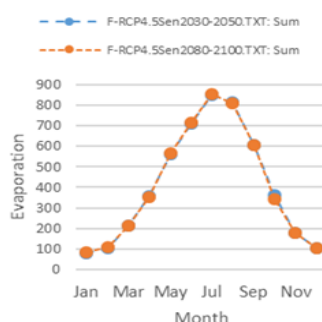
Figure 9. comparison of RCP2.6 Scenario mean Results for Two Selected Periods

تبخیر برای این دوره کمتر از دوره ۲۰۳۰-۲۰۵۰ خواهد بود (شکل های ۱۲ تا ۱۴). لذا منابع به شرط ثابت بودن ورودی مخزن با تنش بیشتری روبرو خواهند شد.



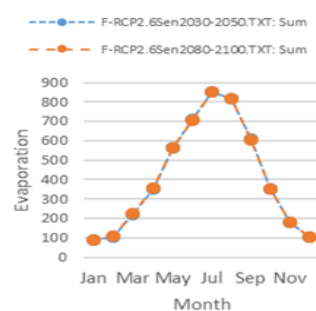
شکل ۱۴-مقایسه نتایج مجموع تبخیر سناریو Rcp8.5 برای دو دوره زمانی منتخب

Figure 14. comparison of RCP8.5 Total Evaporation Scenario for the Two Selected Periods



شکل ۱۳- مقایسه نتایج مجموع تبخیر سناریو Rcp4.5 برای دو دوره زمانی منتخب

Figure 13. comparison of the RCP4.5 Total Evaporation Scenario for the Two Selected Periods



شکل ۱۲- مقایسه نتایج مجموع تبخیر سناریو Rcp2.6 برای دو دوره زمانی منتخب

Figure 12. comparison of RCP2.6 Total Evaporation Scenario for the Two Selected Periods

بحث و نتیجه گیری

تبخیر تجربه خواهند نمود. مقایسه برآورد تبخیر برای دو دوره زمانی آینده و تحت سناریوهای مختلف نشان داد که برای دوره زمانی ۲۰۸۰-۲۱۰۰ سناریو RCP2.6 و RCP8.5 مقادیر بیشتری برای تبخیر تخمین زدند در حالی که تحت سناریو

نتایج نشان می دهد که میزان تبخیر در هر ۲ دوره آماری آتی (۲۰۸۰-۲۱۰۰ و ۲۰۳۰-۲۰۵۰) افزایشی بیش از ۳۰۰ میلی متر در سال را تجربه خواهد کرد. بیشترین افزایش در دوره گرم سال خواهد بود و پاییز و زمستان تغییرات محدودی در مقادیر

Extraction of information content from stochastic disaggregation and bias corrected downscaled precipitation variables for crop simulation and Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, vol. 27, No. 2, pp. 449-457.

6. Chu, J. T., Xia, J., Xu, C. Y., & Singh, V. P. (2010). Statistical downscaling of daily mean temperature, pan evaporation and precipitation for climate change scenarios in Haihe River, China. *Theoretical and Applied Climatology*, 99(1-2), pp.149-161.
7. Fowler H. J., and Wilby R. L., (2007). Beyond the downscaling comparison study. *International Journal of Climatology*. Vol. 27, pp. 1543-1545.
8. Wang Y. Q. Leung L. R. McGregor J. L. Wang W. C. Ding Y. H. Kimura F. (2004). Regional climate modeling: progress, challenges, and prospects. *Journal of the Meteorological Society of Japan*. 82(6) ,pp.1599-1628.
9. Mpelasoka F. Hennessy K. Jones R. and Bates B. (2008). Comparison of suitable drought indices for climate change impacts assessment over Australia towards resource management. *International Journal of Climatology*. Vol 28,pp.1283- 1292.
10. Loukas A., Vasiliades L., and Tzabiras J. (2008). Climate change effects on drought severity. *Advances in Geosciences*, Vol.17,pp.23-29.
11. Yu pao-shan, Y. Tao-Chang and W. chih-Kang. (2002). Impact of climate change on water resources in southern Taiwan, *J. Hydrol.* Vol 260, PP.161-175.
12. Tang Runsheng, Y. Etzion (2004) , Comparative studies on the water evaporation rate from a wetted surface

RCP4.5 مقادیر تبخیر برآورد شده برای دوره زمانی ۲۰۵۰-۲۰۳۰ بیشتر بود. به نظر می رسد که با افزایش گازهای گلخانه ای در اقلیم آینده، پیچیدگی فرآیندهای جوی بسیار بیشتر خواهد شد و بازخوردهای مثبت و منفی نقشی تعیین کننده در تغییرات پارامترهای جوی خواهند داشت. جایی که افزایش گازهای گلخانه ای سبب افزایش اثر گلخانه ای و نهایت افزایش دما می شود، افزایش تبخیر باعث افزایش رطوبت جو و افزایش ابرناکی خواهد شد که خود اثر منفی بر ورودی انرژی موج کوتاه خورشیدی دارد.

References

1. Herath, S., and Ratnayake, U., (2004), Monitoring rainfall trends, to predict adverse impacts-a case study from Sri Lanka 1964-1993. *Global Environ. Change*, Vol. 14, pp. 71-79.
2. Easterling, D. R., Horton, B., Jones, P. D., Peterson, T. C., Karl, T. R., Parker, D. E., and Folland, C. K., (1997). Maximum and minimum temperature trends for the globe. *Science*, Vol. 277, No. 5324, pp. 364-367.
3. IPCC, (2007). *Climate Change: The physical science basis*. In: Solomon, S., Qin, D, Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M., Miller H.L. (Eds), *Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge.
4. Deryng D, Conway D, Ramankutty N, Price J, Warren R. (2014). Global crop yield response to extreme heat stress under multiple climate change futures *Environmental, Research Letters*, Vol.9,pp.340-345
5. Mishra, A K., Ines, A. V., Singh, V. P., and Hansen, j. w., (2013).

- climate change. *Global Environmental Change*, PP. 450–464.
21. Song, L. & Zhang, J., (2012). Hydrological response to climate change in Beijiang River Basin Based on the SWAT Model, *J. Procedia Engineering.*, 28, PP. 241 – 245.
 22. Helfer, F., Lemckert, C. & Zhang, H., 2012. Impacts of climate change on temperature and evaporation from a large reservoir in Australia. *Journal of Hydrology*, PP. 365–378.
 23. Benzaghta Ali, M., Ahmed Mohammed, T. & Ibrahim Ekhmaj, A., (2012). Prediction of Evaporation from Algardabiya Reservoir. *Libyan Agriculture Research Center Journal International*, (3): PP.120-128.(in persian)
 24. Yang, H. & Yang, D., 2012. Climatic factors influencing changing pan evaporation across China. 414–415(184–193).
 25. Bozkurt, D. & Lutfi Sen, O., 2013. Climate change impacts in the Euphrates–Tigris Basin based on different model and scenario simulations. *Journal of Hydrology* ,pp. 149-161.
 26. Tabari, H., Marofi, S., Aeini, A., Talae, P.H. and K. Mohammadi. (2014). Sensitivity of evapotranspiration to climatic change in different climates. *Global and Planetary Change*, 115,PP.16–23.(Persian)
 27. Tanasijevic, L., Todorovic, M., Pereira, L.S., Pizzigalli, C. and P. Lionello. (2014). Impacts of climate change on olive crop evapotranspiration and irrigation requirements in the Mediterranean region. *Agricultural Water Management* 144, PP. 54–68.
 - and that from a free water surface , Elsevier BV ,39 ,1.
 13. Lenters D., J., K. Kratz, T. & J. Bowser, C., 2005. Effects of climate variability on lake evaporation: Results from a long-term energy budget study of Sparkling Lake, northern Wisconsin (USA), 308,PP.168–195.
 14. Dankers, R. & Christensen, O. B., (2005), climate change impact on snow coverage, evaporation and river discharge in the sub-arctic tana basin, northern Fennoscandia, 69,PP.367–392.
 15. Yaning. chen, (2007). Effect of climate change on water resources in Tarim river basin, northwest , j.e.s. 19, PP.488-493.
 16. Gianniou, S. K. & Antonopoulos, V. Z., (2007). Evaporation and energy budget in Lake Vegoritis,. *Journal of Hydrology*, (345).PP. 212– 223.
 17. Armstrong, R. N., Pomeroy, J. W. & Martz, L. W., (2008). Evaluation of three evaporation estimation methods in a Canadian prairie landscape . *Hydrological processes* (15) PP.2801–2815.
 18. Yao, H., (2009). Long-Term Study of Lake Evaporation and Evaluation of Seven Estimation Methods: Results from Dickie Lake, South-Central Ontario, Canada .*Water Resource and Protection*, (2) , PP. 59-77.
 19. Donohue J., R., R. McVicar, T. & L. Roderick, M., 2010. Assessing the ability of potential evaporation formulations to capture the dynamics in evaporative demand within a changing climate, 386 186–197(186–197).
 20. Van Vliet T.H., M., 2013. Global river discharge and water temperature under

- Downscaling of Daily precipitation from observation and Model Atmospheric Field, Hydrological Processes, Vol. 18, pp. 1373-1394.
32. Wilby Robert L. and Christian W. Dawson (2004), Using SDSM Version 3.1 - A decision support tool for the assessment of regional climate change impacts, A Consortium for the Application of Climate Impact Assessments, Environment Agency of England and Wales.
33. Martynov, A., Laprise, R., Sushama, L., Winger, K., separovic, L., & Dugas, B. (2013). Reanalysis-driven climate simulation over cordex North America domain using the Canadian Regional Climate Model. Version 5: model performance evaluation. *Climate Dynamics*, 41(11-12), PP. 2973-3005.
28. Tao X, Chena H, Xua C, Houa Y, Jiea M. (2015). Analysis and prediction of reference evapotranspiration with climate change in Xiangjiang River Basin China, *Water Science and Engineering*, 8(4), PP. 273- 281.
29. Wilby, R. L., Wigley, T. M. L., Conway, D., Jones, P. D., Hewitson, B. C., Main, J. and Wilks, D. S., (1998). "Statistical downscaling of general circulation model output: A comparison of methods". *J. Water Resources Research*, Vol 34, PP. 2995-3008.
30. Wilby, R. L., & Harris, I. (2006). A framework for assessing uncertainties in climate change impacts: Low-flow scenarios for the River Thames, UK. *Water Resources Research*, 42(2).pp18-25.
31. Stephen, P., Charles, B. C., and Bates James, P. H., (2004). Statistical