

ارزیابی تأثیر تغییر اقلیم بر تبخیر تعرق پتانسیل گیاه انبه: مطالعه موردی دشت میناب

محدثه پری تقی نژاد^۱، حمیدرضا کمالی^{۲*}، سجاد جمشیدی^۳ و محمد عبداللهی پور^۴

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۳/۷؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۱۹)

چکیده

با توجه به تأثیرهای تغییر اقلیم بر میزان تبخیر تعرق و در نتیجه میزان برداشت از منابع آبی، پیش بینی تغییرات اقلیمی در جهت مدیریت بهتر منابع آبی و کاهش آسیب های ناشی از خشکسالی از اهمیت ویژه ای برخوردار است. رتبه اول تولید انبه در کشور ایران متعلق به استان هرمزگان بوده که بیشترین مقدار تولید انبه در این استان متعلق به شهرستان میناب است. در پژوهش حاضر با استفاده از پارامترهای هواشناسی مقدار تبخیر تعرق گیاه انبه در شهرستان میناب با روش پنمن فائو طی سال های ۱۹۸۵ تا ۲۰۲۰ محاسبه شد. در ادامه با پیش بینی مدل های گردش عمومی جوی - اقیانوسی به وسیله آخرین نسخه داده های CMIP در قالب گزارش ششم (CMIP6) و انجام اصلاحات انحراف آماری در محیط پایتون، مقادیر تبخیر تعرق این گیاه طی سال های ۲۰۲۱ تا ۲۱۰۰ با دو سناریوی خوش بینانه و بدبینانه تخمین زده شد. طبق نتایج به دست آمده، در سال های آینده با توجه به افزایش دمای سالانه، مقادیر تبخیر تعرق بصورت میانگین، سالانه به مقدار ۰/۳۱ میلی متر در حالت خوش بینانه و ۱/۲۳ میلی متر در حالت بدبینانه افزایش خواهد داشت.

واژه های کلیدی: نیاز آبی، فائو پنمن - مانیت، تغییر اقلیم، استان هرمزگان

۱. گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، مجتمع آموزش عالی میناب، دانشگاه هرمزگان، میناب، ایران.

۲. گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، مجتمع آموزش عالی میناب، دانشگاه هرمزگان، میناب، ایران و عضو هسته پژوهشی آگرواکولوژی در مناطق خشک، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران.

۳. گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه پردو، لافایت غربی، ایالات متحده آمریکا.

۴. گروه مهندسی آب، دانشکدهگان ابوریحان، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: hr.kamali@hormozgan.ac.ir

مقدمه

یکی از بزرگ‌ترین نگرانی‌های بشر در عصر حاضر گرم‌شدن کره زمین و تغییرات آب و هوایی است که این تغییرات باعث ایجاد تغییراتی در اقلیم مناطق مختلف خواهد شد. فعالیت‌های مرتبط با کشاورزی باعث افزایش گازهای گلخانه‌ای شده و این مسئله خود باعث افزایش دما و تغییرات آب و هوایی و در نهایت منجر به تغییرات اقلیمی خواهد شد (۱۳). از طرف دیگر تغییر اقلیم نیز باعث تغییر در عوامل محیطی، طول فصل رشد و... شده و سیستم کشاورزی منطقه را تحت تأثیر قرار خواهد داد. بنابراین، با توجه به نقش مهم کشاورزی در تأمین نیاز غذایی و اقتصاد بشر، موضوع تغییر اقلیم از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (۱۵).

به‌طور کلی، تغییر اقلیم اشاره به دگرگونی‌های غیر منتظره در خصوصیات آب و هوایی زمین دارد که در درازمدت رخ می‌دهد. این تغییرات اغلب به دلیل گسترش فعالیت‌های صنعتی بشر در دهه‌های اخیر و افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای در جو زمین رخ داده است. در نتیجه این تغییرات، پارامترهای هواشناسی نیز دچار دگرگونی شده اند. افزایش دمای کره زمین مشخص‌ترین علامت این تغییرات است. دمای کره زمین در طول صد سال گذشته ۰/۷۴ درجه سلسیوس افزایش یافته و تا سال ۲۱۰۰، این افزایش به ۳ درجه سلسیوس خواهد رسید (۸). بر همین اساس انتظار می‌رود که با افزایش دما، مقدار تبخیرتغرق نیز با افزایش همراه باشد هرچند از آنجایی که تغییر اقلیم باعث ایجاد دگرگونی‌های غیرمنتظره نیز می‌شود، کاهش تبخیرتغرق در برخی نقاط زمین دور از انتظار نیست.

با توجه به وابستگی تبخیرتغرق پتانسیل به پارامترهایی نظیر بارش، دما، تابش خورشید، رطوبت و...، تغییر در هر کدام از این عوامل میزان تبخیرتغرق و نیاز آبی گیاه را تغییر خواهد داد. طبق نتایج به‌دست آمده با گذر زمان و با افزایش دما، تبخیرتغرق و نیاز آبی گیاهان نیز افزایش داشته و به دنبال آن برداشت از منابع آبی نیز افزایش پیدا خواهد کرد. در صورت عدم تصمیم‌گیری به‌موقع و مناسب، در صورت سازگارنشدن الگوی کشت با شرایط حاصل از تغییر اقلیم، خسارات جبران‌ناپذیری به منابع آبی

و یا تولیدات کشاورزی وارد خواهد شد (۶).

در پژوهشی که به بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر درختان میوه گرمسیری و نیمه‌گرمسیری پرداخته شده است، ذکر شده که رویدادهای شدید گرمایی، امواج سرد و یخبندان و سیل و خشکسالی می‌تواند فرایندهای مختلف گیاهی مانند رشد رویشی، گلدهی، مقدار عملکرد و کیفیت محصول را دچار آسیب کند (۱۰). دو پارامتر اصلی تغییرات اقلیمی که تأثیرات مخربی بر فرایندهای گیاهی خواهند گذاشت الگوهای بارندگی نامنظم و دمای بالای غیر قابل پیش‌بینی است که منجر به کاهش بهره‌وری محصول می‌شوند. دما در طول گلدهی به شدت بر کیفیت گرده و تخمک و در نتیجه تشکیل و عملکرد میوه تأثیر می‌گذارد. در صورتی که در طول گلدهی دمای پایین به‌صورت مستمر جریان داشته باشد موجب ریزش گل در انبه و گواوا و سایر میوه‌ها می‌شود. افزایش دما در طول رشد میوه نیز باعث ایجاد اختلالاتی دیگر مانند بافت اسفنجی و نوک سیاه در انبه خواهد شد. در این پژوهش، از کشاورزی ارگانیک، باغداری حفاظتی، توسعه پایه‌های مقاوم به تنش‌های زنده و غیر زیستی، به‌عنوان برخی از راهکارهای عملی برای کاهش تأثیر تغییرات آب و هوایی ذکر شده است (۹ و ۱۰).

با توجه به تغییر اقلیم، ارزیابی اثرات این تغییر بر نیاز آبی و عملکرد محصولات یکی از موضوعات مهم کشاورزی در سطح جهانی به شمار می‌آید. به‌همین دلیل در یک پژوهش که در سه استان کشور مصر انجام شده است، به اثرات تغییر اقلیم بر درخت انبه پرداخته شده است. پس از محاسبه تبخیرتغرق با استفاده از میانگین داده‌های آب و هوایی در سال ۲۰۲۰، مقادیر تبخیرتغرق برای دهه‌های ۲۰۵۰ و ۲۱۰۰ در سه استان اسمالیا و شارکیه و بیهرا محاسبه شده است. طبق نتایج به‌دست آمده از این پژوهش، با نزدیک‌شدن به پایان قرن، نیاز آبی درختان بالغ انبه افزایش خواهد یافت و این مسئله منجر به کاهش چشمگیر عملکرد محصول انبه به مقدار ۸۵/۷ درصد تا ۹۲/۵ درصد خواهد شد. در این پژوهش از مدیریت صحیح منابع آب و همچنین استفاده از ارقام مقاوم به خشکی به‌عنوان راهکارهای مناسب برای مواجهه با

تغییرات آب و هوایی ذکر شده است (۵).

در پژوهشی که در شهرستان کرمانشاه انجام شده است، روند تغییرات پارامترهای هواشناسی طی سه دهه آینده تحت سه سناریوی مختلف با استفاده از مدل LARS-WG و تأثیر تغییرات دما بر تبخیر تعرق پتانسیل مورد بررسی قرار گرفته است. در این مطالعه که از سه مدل گردش عمومی HADCM3، MPEH5 و GFCM21 برای بررسی تغییرات پارامترهای هواشناسی استفاده شده، تبخیر تعرق پتانسیل از رابطه هارگریوز سامانی محاسبه شده است. با توجه به نتایج به دست آمده دما به ترتیب ۰/۷۲، ۰/۸۵ و ۰/۸ درجه سانتی‌گراد و همچنین میانگین تبخیر تعرق نیز بطور ماهانه ۰/۰۵ و ۰/۰۹ و ۰/۰۸ میلی‌متر بر روز افزایش داشته است (۱۱).

در یک پژوهش که به بررسی روند تغییر میزان تبخیر و تعرق در مناطق جنوبی ایران پرداخته است، پس از محاسبات با روش تورنت وایت، افزایش دما و به تبع آن افزایش تبخیر تعرق پیش‌بینی شده است، به طوری که تا سال ۲۰۹۹ در ایستگاه ایرانشهر بیشترین مقدار تغییرات نسبی تبخیر تعرق ۲۳/۱ میلی‌متر بر روز و در ایستگاه کرمان با کمترین مقدار ۱۰/۶ میلی‌متر بر روز بوده است (۱).

تأثیر تغییرات اقلیمی بر برخی محصولات کشاورزی استان خوزستان در پژوهش نیکبخت شهبازی (۱۴) مورد مطالعه قرار گرفته است. طبق نتایج به دست آمده از این پژوهش، در سال‌های آینده میانگین دما افزایش، میانگین بارش کاهش و تبخیر تعرق نیز برای گیاهان گندم، جو، برنج، ذرت دانه شکر و نیشکر نیز افزایش خواهد داشت.

در یک پژوهش از داده‌های لایسیمتری برای بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر تبخیر تعرق گیاه مرجع در منطقه بردسیر استفاده شده است. با توجه به داده‌های اندازه‌گیری شده با لایسیمتر، بهترین معادله برای برآورد و پیش‌بینی تبخیر تعرق در منطقه، معادله بلانی کریدل انتخاب و محاسبات بر اساس آن انجام شد. با سه سناریوی خوش‌بینانه، حد وسط و بدبینانه روند تغییر دما و بارش برای دوره زمانی ۲۰۲۰ تا ۲۰۵۰ محاسبه شد که طی

نتایج میانگین دما برای هر سه حالت مورد نظر به ترتیب ۲/۵ و ۲/۸ و ۳/۱ درجه سلسیوس در سال افزایش می‌یابد، بارش تقریباً بدون تغییر خواهد بود و با این شرایط انتظار می‌رود تبخیر تعرق منطقه بردسیر نیز به ترتیب ۳/۶۴، ۴/۶۹ و ۵/۲۵ میلی‌متر در سال افزایش یابد (۱۵).

برای بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر نیاز آبی در بخش کشاورزی دشت یزد تا سال ۲۰۷۰ با داده‌های سینوپتیک و روش گزارش فائو ۵۶ مقادیر تبخیر تعرق محاسبه شد. طبق نتایج به دلیل کمبود آب، محصولات کاهش عملکرد داشته‌اند. از طرفی تا سال ۲۱۰۰ نیز تغییرات دما و بارش چشمگیر بوده و افزایش دما، افزایش تبخیر تعرق تا ۴ درصد را به دنبال دارد (۴).

در پژوهش دیگری که به بررسی اثر تغییر اقلیم بر نخیلات منطقه اهواز صورت گرفته است، به پیش‌بینی متغیرهای جوی پرداخته شده که طبق نتایج به دست آمده، با افزایش دما و کاهش میزان بارندگی در سال‌های آتی مقدار تبخیر تعرق نخیلات در منطقه اهواز افزایش خواهد یافت که با توجه به تأثیرپذیری شدید بخش باغبانی در اثر تغییر اقلیم و همچنین آب و هوای خشک و نیمه‌خشک مناطق کاشت خرما، پیش‌بینی صحیح تغییر اقلیم جهت مدیریت مناسب تأمین نیاز آبی خرما امری بایسته و مهم است (۱۲).

با بررسی تأثیرات تغییر اقلیم بر پارامترهایی نظیر دما و بارندگی دشت قزوین در دو دوره زمانی سی ساله آینده نزدیک و دور با پنج مدل اقلیمی بزرگ مقیاس و سه سناریوی نشر گازهای گلخانه‌ای و شاخص‌های خشکسالی SPI و SPEI افزایش تعداد دوره‌های خشکسالی و کاهش دوره‌های ترسالی پیش‌بینی شد (۳).

طبق آمارنامه کشاورزی جهاد کشاورزی در سال ۱۳۹۹، کل تولید انبه در کشور در حدود ۴۶ هزار تن بوده است که استان هرمزگان با تولید ۲۸ هزار تن در رتبه نخست کشور قرار دارد. پس از استان هرمزگان، استان سیستان و بلوچستان با تولید ۱۷ هزار تن در رتبه بعدی قرار گرفته است. با توجه به اینکه بیشترین مقدار تولید انبه در استان هرمزگان متعلق به دشت

تبخیرتغرق پتانسیل سالانه گیاه انبه طی ۳۵ سال مورد نظر تعیین شد. برای تعیین مقدار ضریب گیاهی، از نتایج پژوهش زوزو و همکاران (۱۷) که در آب و هوای نیمه گرمسیری و مدیترانه‌ای شهر گرانا اسپانیا انجام شده است (شکل ۳) استفاده شد.

برای پیش‌بینی مقدار نیاز آبی گیاه انبه در سال‌های آینده به‌منظور انتخاب الگوی کشت مطلوب و مدیریت صحیح منابع آب، به پیش‌بینی داده‌های هواشناسی در سال‌های ۲۰۲۱ تا ۲۱۰۰ در دو حالت خوش‌بینانه و بدبینانه پرداخته شد و پارامترهای روزانه مانند رطوبت نسبی، رطوبت خاص، فشار هوای سطحی، تابش طول موج بلند و کوتاه، سرعت باد و حداکثر و حداقل دمای هوا به‌دست آمد. سپس با داده‌های تولید شده، مقدار تبخیرتغرق پتانسیل سالانه گیاه انبه طی ۷۹ سال آینده در دو حالت خوش‌بینانه و بدبینانه محاسبه شد. کمترین تغییرات پارامترهای هواشناسی را در اصطلاح حالت خوش‌بینانه و بیشترین تغییرات پارامترهای هواشناسی را حالت بدبینانه نامیده‌اند.

برای برنامه‌ریزی و مدیریت صحیح منابع آبی با توجه به شرایط کنونی و آتی تغییرات اقلیمی، خروجی مدل‌های گردش عمومی جوی- اقیانوسی (Global Circulation Models) در قالب داده‌های CMIP در اختیار کاربران قرار گرفته است. این داده‌ها در قالب نسخه‌های مختلف منتشر می‌شوند و شامل داده‌های تاریخی (از سال ۱۸۵۰) و داده‌های پیش‌بینی (تا سال ۲۱۰۰) هستند. آخرین نسخه داده‌های CMIP در قالب گزارش ششم (CMIP6) منتشر شده که شامل داده‌های تاریخی از سال ۱۸۵۰ تا ۲۰۱۵ و داده‌های پیش‌بینی از سال ۲۰۱۵ تا ۲۱۰۰ است که شامل خروجی مدل‌های مختلف جوی- اقیانوسی است. علاوه بر استفاده از مدل‌های مختلف در تولید داده‌های آینده، CMIP شامل سناریوهای مختلفی از میزان غلظت گازهای گلخانه‌ای در آینده است. به‌عنوان مثال در یک سناریوی خوش‌بینانه (سناریوی ۲/۶) میزان گرمایش زمین تا ۲ درجه سانتی‌گراد مجاز شمرده شده و در نتیجه میزان غلظت گازهای گلخانه‌ای می‌بایست از سال ۲۰۲۰ شروع به

میناب است و با توجه به کاهش ذخایر آب سد و همچنین افت سطح آب زیر زمینی در دشت میناب، در پژوهش حاضر تلاش شده است تأثیر تغییر اقلیم بر میزان تبخیرتغرق انبه در دشت میناب مورد بررسی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

در پژوهش حاضر برای محاسبات تبخیرتغرق گیاه مرجع از روش پنمن مانیت و پنمن فائو استفاده شده است (روابط ۱، ۲ و ۳) زیرا طبق پژوهش‌های پیشین در شرایط اقلیمی مختلف مقدار تخمینی تبخیرتغرق با این روش نتیجه نزدیک‌تر و مطلوب‌تری به نتایج لایسیمتر داشته است (۲ و ۱۶):

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{9000}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad (1)$$

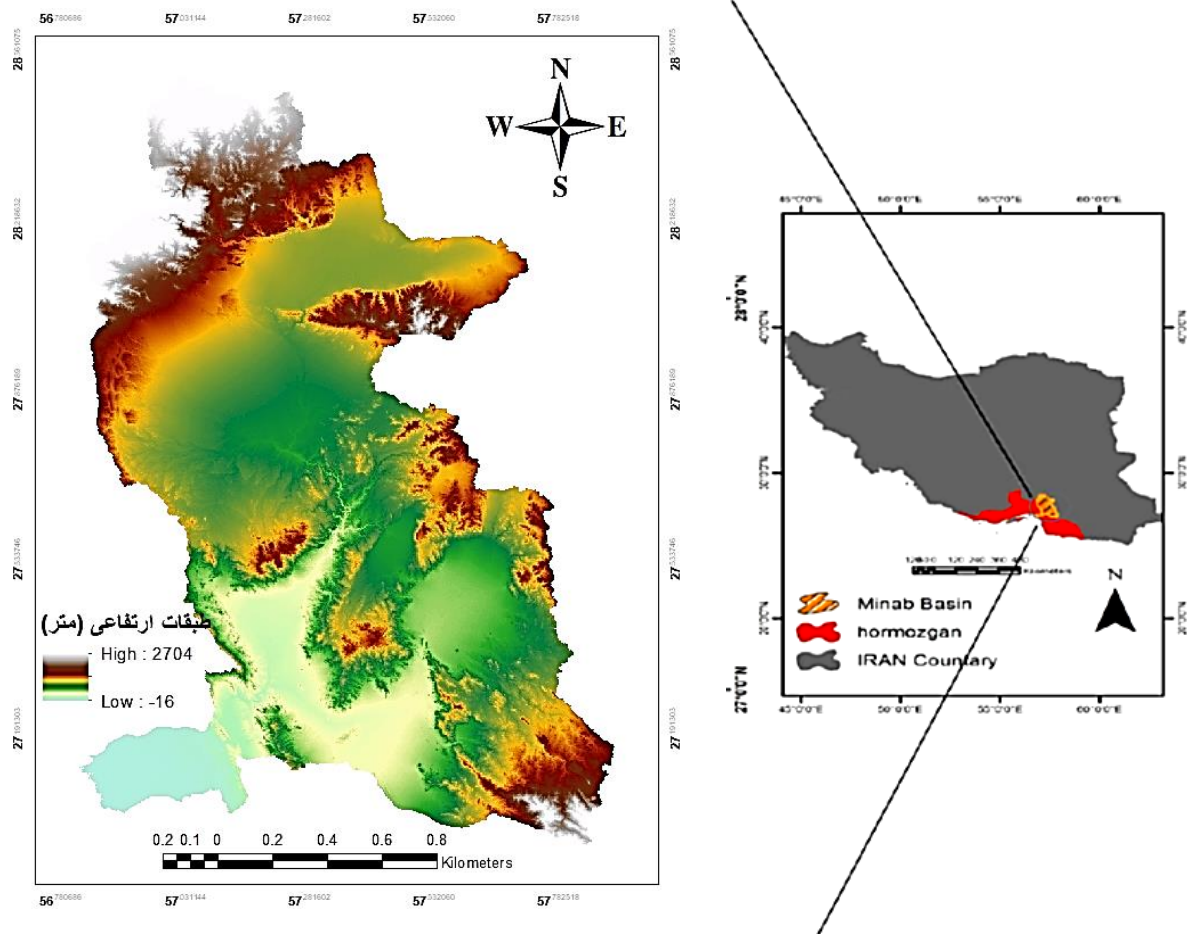
$$ET_0 = \frac{\Delta(R_n - G) + 86400P_p C_p \left(\frac{e_s - e_a}{R_a}\right)}{\Delta + \gamma\left(1 + \frac{70}{R_a}\right) 2.45} \quad (2)$$

$$ET = K_c \times ET_0 \quad (3)$$

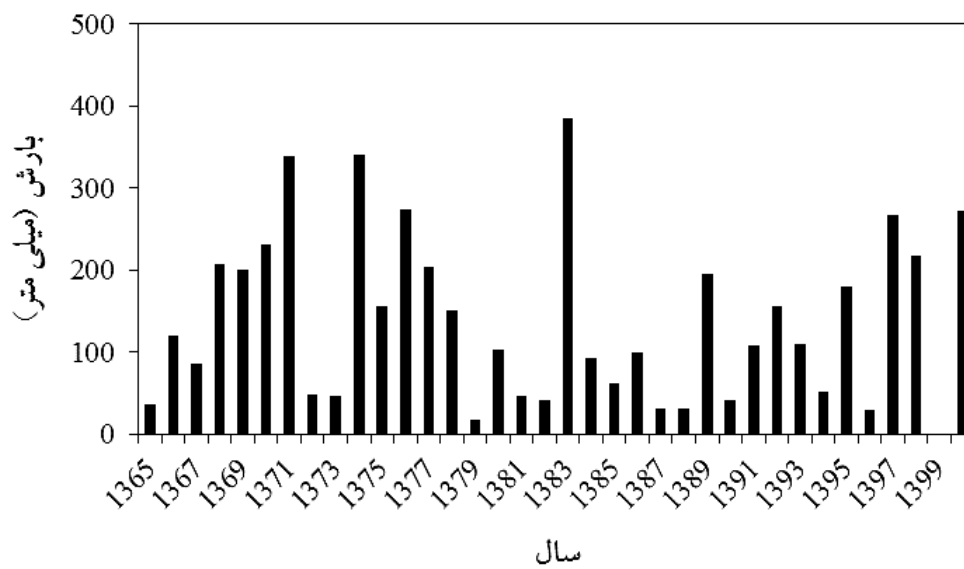
که در آن K_c ضریب گیاهی انبه و ET_0 تبخیرتغرق گیاه مرجع است.

در شکل ۱ محدوده مطالعاتی شهرستان میناب نشان داده شده است. داده‌های هواشناسی مورد نیاز ۳۵ سال اخیر (۱۹۸۵-۲۰۲۰) از ایستگاه هواشناسی میناب تهیه شد. ارتفاع این ایستگاه از سطح دریا برابر ۲۹/۶ متر و طول و عرض جغرافیایی به‌ترتیب برابر ۵۷/۰۸ و ۲۷/۱ است. داده‌های هواشناسی تهیه شده شامل میانگین سرعت باد، دمای حداکثر و حداقل، میانگین فشار بخار، بارش ۲۴ ساعته، حداکثر و حداقل رطوبت نسبی، ساعت آفتابی، میزان تابش کلی ۲۴ ساعته و تبخیر بودند که طی سال‌های ۱۹۸۵ و ۲۰۲۰ دریافت شد و در شکل ۲ مقادیر سالانه بارش این ایستگاه به‌عنوان نمونه آورده شده است.

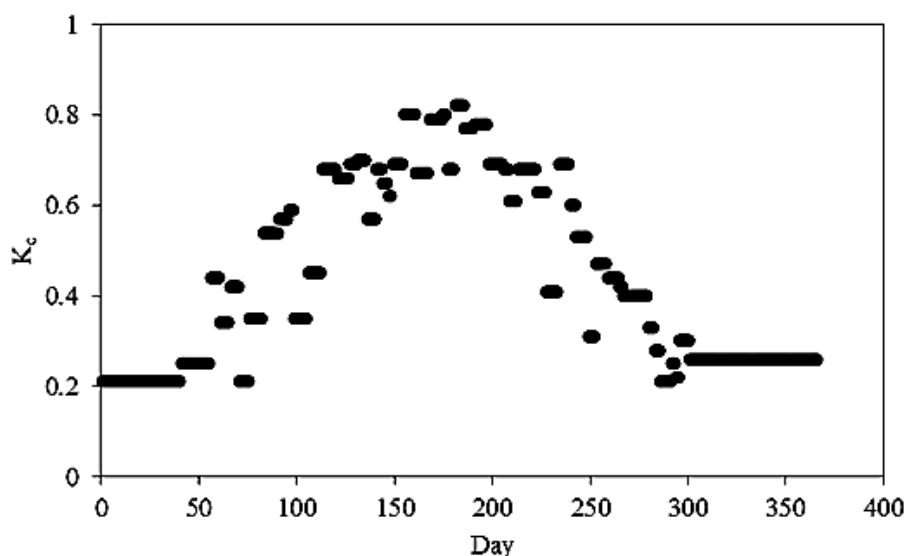
با استفاده از معادلات پنمن مانیت و پنمن فائو، تبخیرتغرق گیاه مرجع اندازه‌گیری و در ادامه با استفاده از ضریب گیاهی مقدار



شکل ۱. محدوده مورد مطالعه شهرستان میناب (رنگی در نسخه الکترونیکی)



شکل ۲. مقادیر سالانه بارش برداشت شده از ایستگاه هواشناسی میناب



شکل ۳. ضرایب گیاهی درخت انبه استفاده‌شده در پژوهش حاضر بر اساس نتایج پژوهش زوازو و همکاران (۱۷)

سرعت باد از سال ۲۰۱۵ تا ۲۱۰۰ به‌صورت روزانه از وبسایت <https://esgf-node.llnl.gov/projects/cmip6> دریافت شد.

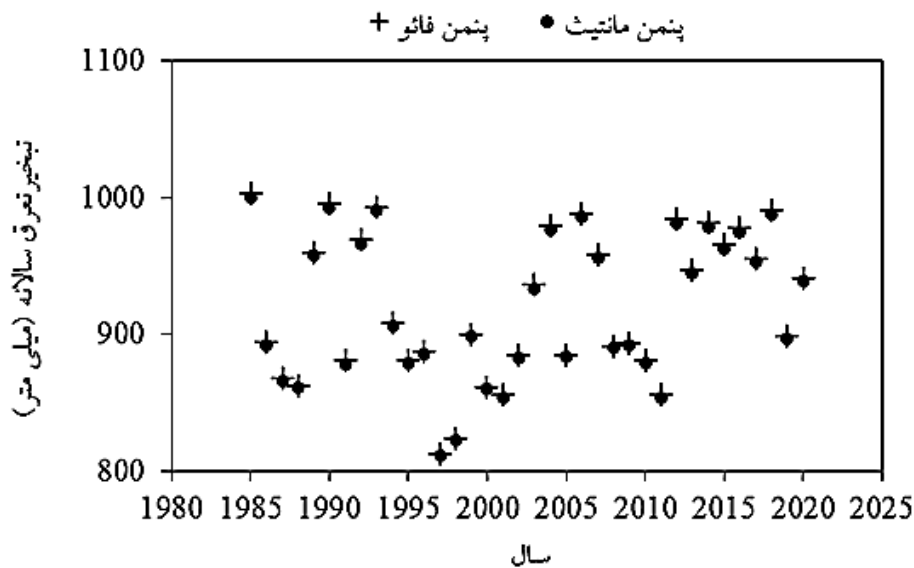
هرچند از ابزارها و نرم‌افزارهای مختلف می‌توان برای استخراج اطلاعات مورد نیاز در بانک‌های اطلاعاتی استفاده کرد، اما با توجه به حجم بودن داده‌های هواشناسی، پایتون یک ابزار قدرتمند برای واکاوی داده است. از این‌رو برای داده‌های دریافت شده اصلاحات انحراف آماری صورت گرفت و داده‌های نقطه‌ای- مکانی مربوط به محل آزمایش با استفاده از برنامه‌ی پایتون استخراج شد. ریزمقیاس کردن با استفاده از پکیج Carbonplan در محیط پایتون انجام گرفت و داده‌ها با رزولوشن مکانی ۵/۰ درجه مورد استفاده قرار گرفت.

نتایج و بحث

با استفاده از معادلات (۱) و (۲) مقدار تبخیرتقرق روزانه گیاه انبه در شهرستان میناب، بر اساس داده‌های هواشناسی واقعی از سال ۱۹۸۵ تا سال ۲۰۲۰ محاسبه شد که نتایج آن به‌صورت مقادیر سالانه در شکل ۴ آورده شده است. همانطور که در شکل مشخص است، نتایج مربوط به هر دو روش بسیار به هم نزدیک است. از همین‌رو در محاسبات بعدی تنها به ارائه نتایج مربوط به روش پنمن فائو پرداخته خواهد شد. بر اساس

کاهش کرده و در سال ۲۱۰۰ به نزدیک به صفر باشد. با توجه به این تعریف، مدل‌های مختلف جو- اقیانوسی اجرا شده و نتایج تحت سناریو ۲/۶ در اختیار قرار می‌گیرد. گزارش ششم علاوه بر در نظر گرفتن تأثیر میزان غلظت آلاینده‌ها، تأثیرات ناشی از تحولات اقتصادی- اجتماعی را نیز در نظر گرفته و سناریوهای مختلف را بر این اساس با نام Shared Socioeconomic Pathways (SSPs) نام‌گذاری کرده است.

در پژوهش حاضر از دو سناریو مختلف که حد بالا و پایین تغییرات را نشان می‌دهد، شامل ssp126 و ssp585 استفاده شده است. سناریو اول (ssp126) یک سناریو خوش‌بینانه است که پیش‌تر به خصوصیات آن اشاره شد. در این سناریو میزان مصرف پایدار بوده، رشد جمعیت با سرعت کم و راندمان انرژی با سرعت بالا اتفاق افتاده و سوخت‌های فسیلی به سرعت با انرژی‌های تجدیدپذیر جایگزین می‌شود. سناریو دیگری که در این پژوهش در نظر گرفته شده (ssp585)، یک سناریو بدبینانه است که نشان‌دهنده بالاترین سطح تغییرات آینده است. در این سناریو سوخت‌های فسیلی همچنان به‌عنوان منابع انرژی مورد استفاده قرار می‌گیرند و میزان غلظت CO₂ به سرعت افزایش و در سال ۲۱۰۰ به حد ۱۱۳۵ ppm خواهد رسید. داده‌های مورد نظر بر اساس مدل GFDL و برای متغیرهای بارندگی، دمای هوا، رطوبت، میزان تشعشع، فشار سطح و



شکل ۴. مقایسه بین مقادیر تبخیر تعرق پتانسیل سالانه به دست آمده از دو روش پنمن مانتیث و پنمن فائو

داده‌های هواشناسی تولید شده برای سال‌های ۲۰۲۱ تا ۲۱۰۰ میلادی و دو سناریوی خوش‌بینانه (ssp126) و بدبینانه (ssp585)، مقدار تبخیر تعرق گیاه مرجع به روش فائو پنمن مانتیث محاسبه شد. سپس با استفاده از ضرائب گیاهی (شکل ۳)، مقدار تبخیر تعرق گیاه انبه به دست آمد که نتایج آن در شکل ۵ نشان داده شده است. چنانچه مشاهده می‌شود، تفاوت زیادی بین دو سناریو دیده نمی‌شود، اما با نزدیک شدن به سال ۲۱۰۰ این اختلاف بیشتر شده و به حداکثر مقدار خود می‌رسد.

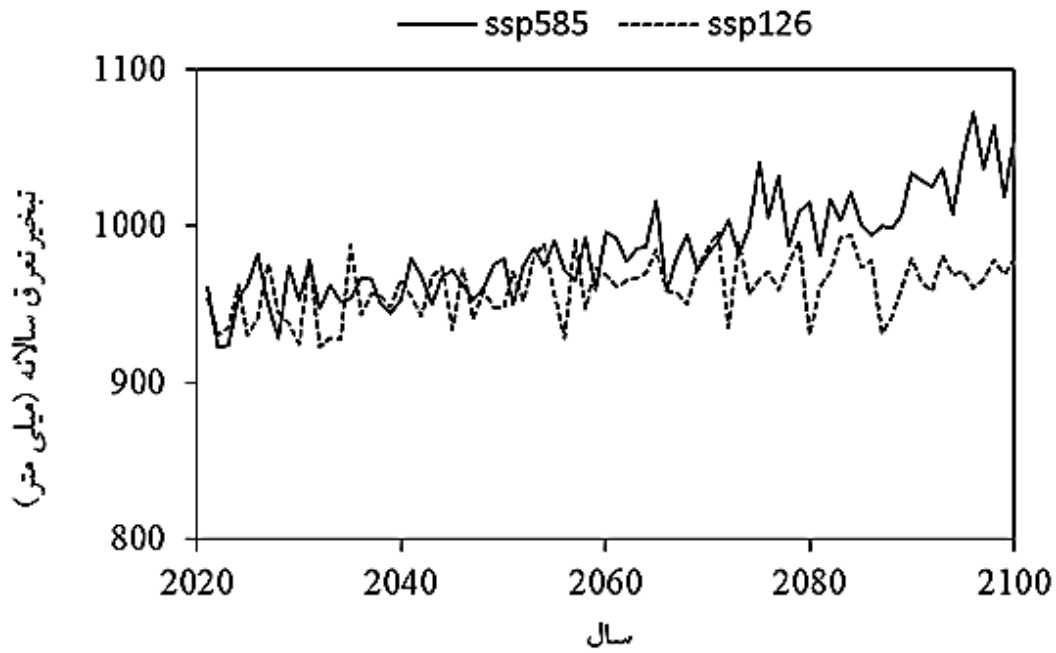
در شکل ۶، درصد تغییرات تبخیر تعرق در دو سناریوی خوش‌بینانه (ssp126) و بدبینانه (ssp585) نسبت به میانگین درازمدت سال‌های ۱۹۸۵ تا سال ۲۰۲۰ نشان داده شده است. چنانچه مشاهده می‌شود در هر دو سناریو تغییرات تبخیر تعرق مثبت بوده و روند افزایشی دارد. به عبارت دیگر در سال‌های آینده افزایش مقدار تبخیر تعرق اجتناب ناپذیر خواهد بود و حتی در صورت وقوع سناریوی خوش‌بینانه در سال‌های آینده، نیاز آبی درخت انبه افزایش خواهد یافت.

با توجه به محاسبات انجام شده و مقادیر پیش‌بینی شده این نتیجه حاصل شد که در سال‌های آینده دمای هوا در هر دو حالت خوش‌بینانه و بدبینانه، افزایش خواهد داشت. با توجه به تأثیر مستقیم تغییر دما بر میزان تبخیر تعرق، در جدول ۱ میانگین دمای ماهانه هوا در آخرین سال اندازه‌گیری (۲۰۲۰) و دو سال پیش‌بینی (۲۰۵۰ و ۲۱۰۰) به عنوان نمونه آورده شده است.

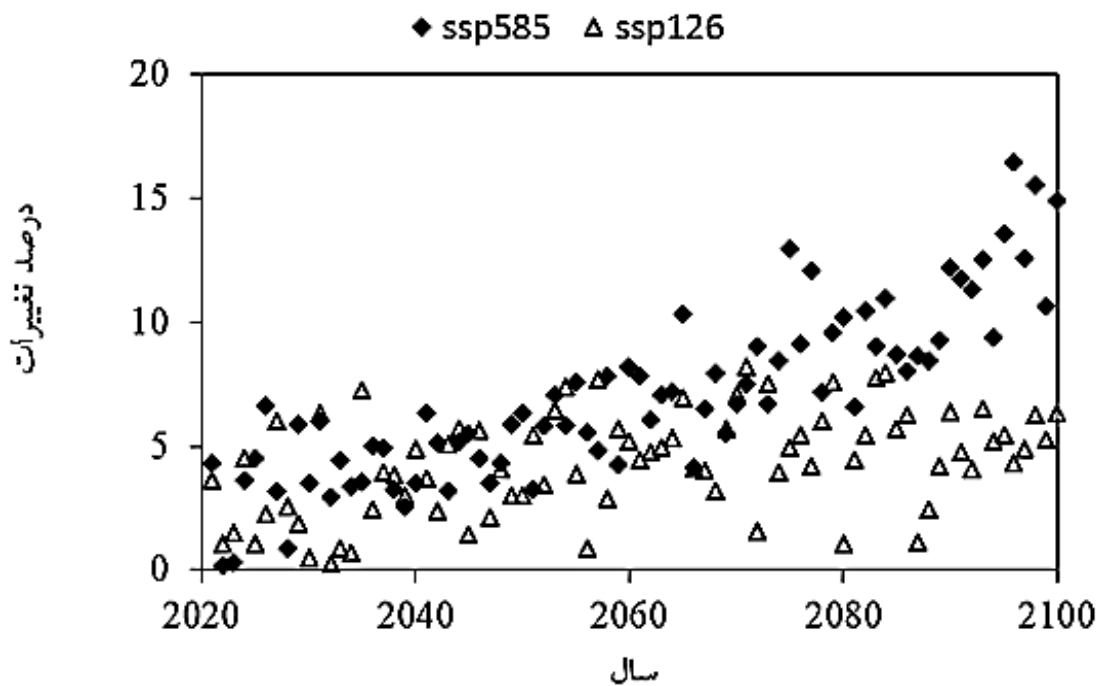
در دو حالت سناریوی خوش‌بینانه و بدبینانه نشان داده شده است. در جدول ۲ نیز میزان تبخیر تعرق در سال اخیر و سال‌های آینده آورده شده است. چنانچه مشخص است بیشترین میزان اختلاف در سناریوی بدبینانه مشاهده می‌شود، هر چند که در سناریوی خوش‌بینانه نیز افزایش میزان تبخیر تعرق قابل مشاهده است. بر اساس داده‌های هواشناسی اندازه‌گیری شده طی سال‌های گذشته (۱۹۸۵-۲۰۲۰) مقدار تبخیر تعرق محاسبه شده با روش پنمن فائو، نوسان داشته که به صورت تقریبی فاصله بین نوسانات ده سال است (شکل ۷).

در شکل ۶، درصد تغییرات تبخیر تعرق در دو سناریوی خوش‌بینانه (ssp126) و بدبینانه (ssp585) نسبت به میانگین درازمدت سال‌های ۱۹۸۵ تا سال ۲۰۲۰ نشان داده شده است. چنانچه مشاهده می‌شود در هر دو سناریو تغییرات تبخیر تعرق مثبت بوده و روند افزایشی دارد. به عبارت دیگر در سال‌های آینده افزایش مقدار تبخیر تعرق اجتناب ناپذیر خواهد بود و حتی در صورت وقوع سناریوی خوش‌بینانه در سال‌های آینده، نیاز آبی درخت انبه افزایش خواهد یافت.

با توجه به محاسبات انجام شده و مقادیر پیش‌بینی شده این نتیجه حاصل شد که در سال‌های آینده دمای هوا در هر دو حالت خوش‌بینانه و بدبینانه، افزایش خواهد داشت. با توجه به تأثیر مستقیم تغییر دما بر میزان تبخیر تعرق، در جدول ۱ میانگین دمای ماهانه هوا در آخرین سال اندازه‌گیری (۲۰۲۰) و دو سال پیش‌بینی (۲۰۵۰ و ۲۱۰۰) به عنوان نمونه آورده شده است.



شکل ۵. نتایج به دست آمده تبخیر تعرق پتانسیل سالانه (mm) بر اساس دو سناریوی خوش بینانه (ssp126) و بدبینانه (ssp585)



شکل ۶. درصد تغییرات دو سناریوی خوش بینانه (ssp126) و بدبینانه (ssp585) نسبت به میانگین درازمدت سال‌های ۱۹۸۵ تا سال ۲۰۲۰

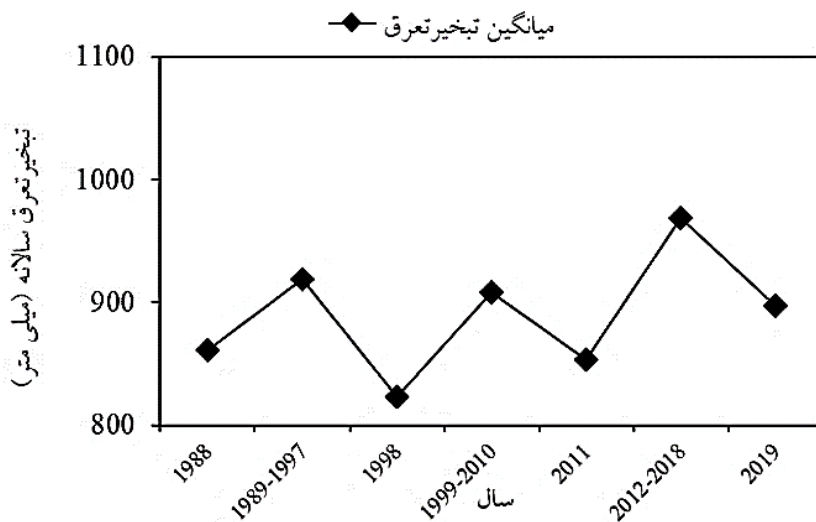
جدول ۱. میانگین دمای ماهانه سال ۲۰۲۰ و میانگین دمای پیش‌بینی شده در سال‌های ۲۰۵۰ و ۲۱۰۰ در دو حالت خوش‌بینانه و بدبینانه

ماه	۲۰۲۰	۲۰۵۰ (خوش‌بینانه)	۲۰۵۰ (بدبینانه)	۲۱۰۰ (خوش‌بینانه)	۲۱۰۰ (بدبینانه)
ژوئیه	۱۸/۱	۱۷/۱	۱۸/۶	۱۸/۷	۲۱/۶
فوریه	۲۰/۵	۱۹/۹	۲۰/۷	۱۶/۰۴	۲۱/۹
مارس	۲۲/۳	۲۱/۷	۲۴/۹	۲۳/۹	۲۹/۴
آوریل	۲۷/۹	۲۷/۴	۳۱/۱	۲۷/۹	۳۲/۱
می	۳۲/۴	۳۲/۲	۳۲/۶	۳۱/۴	۳۶/۹
ژوئن	۳۵/۱	۳۵/۵	۳۴/۴	۳۴/۳	۳۹/۰
جولای	۳۶/۴	۳۴/۴	۳۴/۵	۳۵/۴	۳۸/۸
آگوست	۳۵/۶	۳۳/۹	۳۴/۲	۳۴/۵	۳۷/۹
سپتامبر	۳۳/۵	۳۲/۸	۳۳/۳	۳۱/۷	۳۶/۷
اکتبر	۲۹/۶	۳۰/۱	۲۸/۸	۲۸/۷	۳۳/۵
نوامبر	۲۵/۳	۲۴/۵	۲۴/۳	۲۴/۸	۲۶/۵
دسامبر	۲۱/۲	۱۹/۵	۱۸/۹	۱۷/۷	۲۱/۵

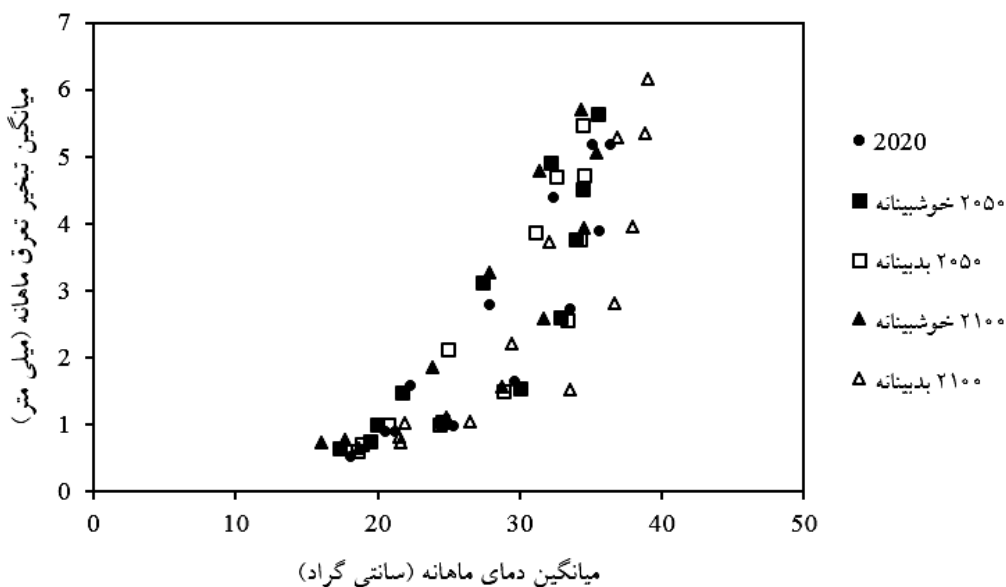
جدول ۲. مقدار میانگین تبخیر تعرق ماهانه در سال ۲۰۲۰ و میانگین مقادیر پیش‌بینی شده در سال‌های ۲۰۵۰ و ۲۱۰۰

در دو حالت خوش‌بینانه و بدبینانه با روش تبخیر تعرق مرجع پنمن فائو

ماه	۲۰۲۰	۲۰۵۰ (خوش‌بینانه)	۲۰۵۰ (خوش‌بینانه)	۲۱۰۰ (خوش‌بینانه)	۲۱۰۰ (خوش‌بینانه)
ژوئیه	۰/۵۲	۰/۶۴	۰/۶۱	۰/۶۴	۰/۷۲
فوریه	۰/۸۹	۱/۰۱	۱/۰۰	۰/۷۲	۱/۰۳
مارس	۱/۵۹	۱/۴۸	۲/۱۳	۱/۸۶	۲/۲۱
آوریل	۲/۷۸	۳/۱۲	۳/۸۶	۳/۲۷	۳/۷۲
می	۴/۳۹	۴/۹۲	۴/۷۱	۴/۷۹	۵/۲۹
ژوئن	۵/۱۹	۵/۶۴	۵/۴۷	۵/۷۰	۶/۱۶
جولای	۵/۱۹	۴/۵۱	۴/۷۳	۵/۰۵	۵/۳۵
آگوست	۳/۸۹	۳/۷۷	۳/۷۷	۳/۹۴	۳/۹۶
سپتامبر	۲/۷۳	۲/۶۱	۲/۵۶	۲/۵۸	۲/۸۰
اکتبر	۱/۶۴	۱/۵۵	۱/۵۰	۱/۵۷	۱/۵۲
نوامبر	۰/۹۷	۱/۰۴	۱/۰۱	۱/۱۱	۱/۰۴
دسامبر	۰/۹۰	۰/۷۶	۰/۷۰	۰/۷۷	۰/۸۲



شکل ۷. نوسانات ده ساله تبخیر تعرق گیاه انبه از سال ۱۹۸۵ تا ۲۰۲۰



شکل ۸. ارتباط میزان تبخیر تعرق ماهانه با مقدار میانگین دمای ماهانه در دو سال ۲۰۵۰ و ۲۱۰۰ و در دو حالت سناریوی خوش بینانه و بدبینانه

جدول ۳. معادلات برازش مربوط به شکل ۸

سال	معادله	R^2
۲۰۲۰	$y = 0.085e^{0.112x}$	0.87
خوش بینانه ۲۰۵۰	$y = 0.106e^{0.107x}$	0.84
بدبینانه ۲۰۵۰	$y = 0.073e^{0.119x}$	0.88
خوش بینانه ۲۱۰۰	$y = 0.104e^{0.110x}$	0.87
بدبینانه ۲۱۰۰	$y = 0.084e^{0.105x}$	0.86

نتیجه گیری

مدیریت منابع آبی اتخاذ شده تا بتوان نیاز باغداران درخت انبه در سال‌های آینده را پاسخ گفت. پیشنهاد می‌شود پژوهش‌های مشابهی برای دیگر محصولات زراعی و باغی در منطقه انجام شود تا بتوان برنامه جامع مدیریتی برای مواجهه با تغییرات اقلیم در سال‌های پیش‌رو را ارائه داد.

سپاسگزاری

داده‌های هواشناسی مورد استفاده در پژوهش حاضر از سازمان هواشناسی کشور اخذ شده است که بدینوسیله از همکاری این سازمان تشکر و قدردانی می‌شود.

با توجه به این مهم که ایران رتبه سوم در آسیا و نیز رتبه هفتم در جهان در انتشار گازهای گلخانه‌ای را دارد، فعالیت‌های انسانی که منجر به تغییر در اقلیم و افزایش دما و کاهش منابع آبی شده است، تأثیری چشمگیر بر بخش کشاورزی خواهد داشت (۷). طبق نتایج به دست آمده از پژوهش حاضر در سال‌های آینده، افزایش دما باعث افزایش تبخیر تعرق گیاه انبه در منطقه میناب خواهد شد. این مسئله به این معنی است که در سال‌های آینده تقاضا برای بهره برداری بیشتر از منابع آبی افزایش خواهد یافت. با توجه به کاهش ذخایر سد و افت آب زیرزمینی در شهرستان میناب، لازم است برنامه‌های مناسب

منابع مورد استفاده

1. Arfa, A., A. Khashei siouki and M. Hamidianpour. 2020. The effect of climate change on evapotranspiration in warm and humid conditions (Case study: South and Southeast of Iran). *Iranian Journal of Rainwater Catchment Systems* 8(4):37-50 (In Farsi).
2. Babamiri, O. and Y. Dinpazhoh. 2014. Comparison and evaluation of twenty methods for estimating reference evapotranspiration based on three general categories: air temperature, solar radiation and mass transfer in the basin of lake Urmia. *Journal of Water and Soil Science* 20 (77): 145-161 (In Farsi).
3. Banihashemi, M., S. S. Eslamian and B. Nazari. 2021. Prediction of local alterations in the relative amounts of temperature and precipitation caused by climate change in near and far future, and drought investigation using SPI and SPEI indices in Qazvin plain, Iran. *Journal of Water and Soil Science* 25(2): 25-44 (In Farsi).
4. Barzegari, F. and H. Malekinezhad. 2019. Investigation of the Effects of climate change on sustainability of water need and water consumption of agricultural section in The Yazd-Ardakan Plain. *Journal of Agro Ecology* 4(10): 1161-1176 (In Farsi).
5. Eldesouki Arafat, I. and T. Nagiub Maklad. 2021. Modeling climate change impact on irrigation water requirement and yield of mango (*Mangifera indica* L.) in Egypt. *Fundamental and Applied Agriculture* 6(2): 155-162.
6. Fazeli, A., B. Salahi and M. Goodarzi. 2020. Assessment effects of climate change on changes in potential evapotranspiration in the Moghan Plain by RCPs. *Journal of Watershed Engineering and Management*. 4(12): 977-993 (In Farsi).
7. Iranpour, F. 2020. Analysis of the effects of climate change on the agricultural sector. *In: 5th International Congress of Developing Agriculture, Natural Resources, Environment and Tourism of Iran*. Tabriz Islamic Art University in cooperation with Shiraz University, Yasuj University and Mazandaran University, Iran (In Farsi).
8. Levinson, D. H. and C. J. Fettig. 2014. Climate change: Overview of data sources, observed and predicted temperature changes, and impacts on public and environmental health. PP. 31-49. Pinkerton, K. E. and W. N. Rom (Eds.), *In: Global Climate Change and Public Health*, Springer, New York.
9. Masoudi, B. 2021. A set of logical steps to assess the effects of climate change on agriculture. *In: Sixth International Conference on Science and Technology of Agricultural Sciences, Natural Resources and Environment of Iran*. Tehran, Iran (In Farsi).
10. Mitra, S. K. 2016. Climate change: impact, and mitigation strategies for tropical and subtropical fruits. *In: VI International Symposium on Tropical and Subtropical Fruits*. Former Dean, Faculty of Horticulture, BCKV, B-12/48, Kalyani 741235, Nadia, West Bengal, India.
11. Moazeni, M. and S. Akhavan. 2018. Investigation of the trend of potential evapotranspiration in Kermanshah under the influence of climate change. *In: 7th National Conference on Water Resources Management in Iran with the approach: Linking water cycle and ecology in arid areas for land sustainability*, Yazd University, Yazd, Iran (In Farsi).

12. Mohebi, A. 2019. Study of climate change on water requirement for date palm in Ahwaz Region. *Journal of Water and Soil Conservation* 4(26): 135-153 (In Farsi).
13. Morid, S. and A. R. Massah Bavani. 2010. Exploration of potential adaptation strategies to climate change in the Zayandeh Rud irrigation system. *Irrigation and Drainage* 59(2): 226-238.
14. Nikbakht Shahbazi, A. 2019. Investigation of crop evapotranspiration and precipitation changes under climate change RCPs scenarios in Khuzestan province. *Journal of Water and Soil Conservation* 6(25): 123-139 (In Farsi).
15. Rajabi, M., N. Jalalkamali and M. Naghizadeh. 2020. Evaluation of climate change effect on estimation of reference evapotranspiration and comparison with lysimetric data (Case Study: Bardsir plain). *Iranian Journal of Irrigation and Drainage* 2(14): 605-615 (In Farsi).
16. Tafi, S., K.H. Peyghan, M. Bagheri Khanghahi, T. Salehipour Bavarsad and A. Soltani Mohamadi. 2021. Evaluation of fourteen methods of estimation reference evapotranspiration (Case study: Mazandaran Province). *Iranian Journal of Irrigation and Drainage* 3(15): 510-520 (In Farsi).
17. Zuazo, V. H. D., C. R. R., Pleguezuelo, B. G. Ruiz, S. G. Gordillo and I. F. Garcia-Tejero. 2019. Water use and fruit yield of mango (*Mangifera indica* L.) grown in a subtropical Mediterranean climate. *International Journal of Fruit Science* 19(2): 136-150.

Evaluating the Effect of Climate Change on Evapotranspiration of Mango Plant: A Case Study of Minab Plain

M. Paritaghinezhad¹, H. R. Kamali^{*2}, S. Jamshidi³ and M. Abdolahipour⁴

(Received: May 28-2022 ; Accepted: January 9-2023)

Abstract

According to the effects of climate change on evapotranspiration and using of water resources, climate change prediction is vital due to water resources management improvement and decreasing damages of drought. The first rank of mango production in Iran belonged to Hormozgan province and the most amount of mango produced in Minab plain. In the present study, the amount of evapotranspiration of mango plants was calculated with FAO Penman-Monteith from 1985 to 2020 using meteorological data at Minab station. The evapotranspiration values of the plant were estimated from 2021 to 2100 with two optimistic and pessimistic scenarios using the last version of CMIP (CMIP6), atmospheric-ocean general circulation models, and performing statistical deviation corrections by the Python software. The results showed that the values of annual evapotranspiration will increase by 0.31 and 1.23 mm on average in the optimistic and pessimistic scenario, respectively in the future due to the increase in annual temperature.

Keywords: Crop water requirement, FAO penman-Monteith, Climate change, Hormozgan province

1. Department of Water Engineering, College of Agriculture, Minab Higher Education Center, Hormozgan University, Bandar Abbas, Iran.

2. Department of Water Engineering, College of Agriculture, Minab Higher Education Center, Minab, Iran and Member of Agroecology Research Center in Arid Areas, Hormozgan University, Bandar Abbas, Iran.

3. Department of Agronomy, College of Agriculture, Purdue University, West Lafayette, USA.

4. Department of Water Engineering, College of Aburaihan, University of Tehran, Tehran, Iran.

*: Corresponding author, Email: hr.kamali@hormozgan.ac.ir