

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 تأثیرات تغییر اقلیم بر میزان تبخیر تعرق و در نتیجه میزان برداشت از منابع آبی، پیش‌بینی تغییرات اقلیمی در جهت مدیریت بهتر منابع آبی و کاهش آسیب‌های ناشی از خشکسالی از اهمیت ویژه‌ای 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 سال‌های ۱۹۸۵ تا ۲۰۲۰ محاسبه شد. در ادامه با پیش‌بینی مدل‌های گردش عمومی جوی-اقیانوسی به وسیله آخرین نسخه داده‌های CMIP در قالب گزارش ششم (CMIP6) و انجام اصلاحات انحراف آماری در محیط پایتون، مقادیر تبخیر تعرق این گیاه طی سال‌های ۲۰۲۱ تا ۲۱۰۰ با دو سناریوی خوش بینانه و بدبینانه تخمین زده شد. طبق نتایج به دست آمده، در سال‌های آینده با توجه به افزایش دمای سالانه، مقادیر تبخیر تعرق بصورت میانگین، سالانه به مقدار ۰/۳۱ میلی‌متر در حالت خوش بینانه و ۱/۲۳ میلی‌متر در حالت بدبینانه افزایش خواهد داشت.

واژه‌های کلیدی: نیاز آبی، فائو پنمن مانتیث، تغییر اقلیم، استان هرمزگان

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

۲. گروه مهندسی آب، مرکز آموزش عالی میناب، دانشگاه هرمزگان و عضو هسته پژوهشی اگرواکولوژی در مناطق خشک، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران

۳. گروه زراعت، دانشگاه پردو، 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 گرم شدن 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 نهایتاً 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. لذا با توجه به نقش مهم کشاورزی در تأمین نیاز غذایی و اقتصاد بشر، موضوع تغییر اقلیم از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (۱۵).

به‌طورکلی، تغییر اقلیم اشاره به دگرگونی‌های غیر منتظره در خصوصیات آب و هوایی زمین دارد که در دراز مدت رخ می‌دهد. این تغییرات عمدتاً 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 یکصد سال گذشته $0/74^{\circ}\text{C}$ درجه سلسیوس افزایش یافته و تا سال ۲۱۰۰، این افزایش به 3°C درجه سلسیوس خواهد رسید (۸). بر همین اساس انتظار می‌رود که با افزایش دما، مقدار تبخیر تعرق نیز با افزایش همراه باشد هرچند از آنجاییکه تغییر اقلیم باعث ایجاد دگرگونی‌های غیرمنتظره نیز می‌شود، کاهش تبخیر تعرق در برخی نقاط زمین دور از انتظار نیست.

با توجه به وابستگی تبخیر تعرق پتانسیل به پارامترهایی نظیر بارش، دما، تابش خورشید، رطوبت و...، تغییر در هر کدام از این عوامل میزان تبخیر تعرق و نیاز آبی گیاه را تغییر خواهد داد. طبق نتایج به دست آمده با گذر زمان و با افزایش دما، تبخیر تعرق و نیاز آبی گیاهان نیز افزایش داشته و به دنبال آن برداشت از منابع آبی نیز افزایش پیدا خواهد کرد. در صورت عدم تصمیم‌گیری به موقع و مناسب، در صورت سازگار نشدن 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 نیمه گرمسیری 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 می‌گردند. 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 بصورت 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 راه کارهای عملی جهت 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. به همین جهت 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 تبخیر تعرق با استفاده از میانگین داده‌های آب و هوایی در سال ۲۰۲۰، مقادیر تبخیر تعرق برای دهه‌های ۲۰۵۰ و ۲۱۰۰ در سه استان اسمالیا و شارکیه و بیهرا محاسبه شده است. طبق نتایج به دست آمده از این پژوهش، با نزدیک شدن به پایان قرن، نیاز آبی درختان بالغ انبه افزایش خواهد یافت و این مسئله منجر به کاهش چشمگیر عملکرد محصول انبه به مقدار $85/7\%$ درصد تا $92/5\%$ درصد خواهد شد. در این پژوهش از مدیریت صحیح منابع آب و همچنین استفاده از ارقام مقاوم به خشکی به عنوان 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 سانتی گراد و همچنین میانگین تبخیر تعرق نیز بطور ماهانه ۰/۰۵ و ۰/۰۹ و ۰/۰۸ میلی متر بر روز افزایش داشته است (۱۱).

در یک پژوهش که به بررسی روند تغییر میزان تبخیر تعرق در مناطق جنوبی ایران پرداخته است، پس از محاسبات با روش تورنت وایت، افزایش دما و به تبع آن افزایش تبخیر تعرق پیش بینی شده است، بطوریکه تا سال ۲۰۹۹ در ایستگاه ابرانشهر بیشترین مقدار تغییرات نسبی تبخیر تعرق ۲۳/۱ میلی متر بر روز و در ایستگاه کرمان با کمترین مقدار ۱۰/۶ میلی متر 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 داده های لایسیمیتری جهت بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر تبخیر تعرق گیاه مرجع در منطقه بردسیر استفاده شده است. با توجه به داده های اندازه گیری شده با لایسیمیتر، بهترین معادله برای برآورد و پیش بینی تبخیر تعرق در منطقه، معادله بلانی کریدل انتخاب و محاسبات بر اساس آن انجام شد. با سه سناریوی خوش بینانه، 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 می یابد، بارش تقریباً بدون تغییر خواهد بود و با این شرایط انتظار می رود تبخیر تعرق منطقه بردسیر نیز به ترتیب ۳/۶۴ و ۴/۶۹ و ۵/۲۵ میلی متر در سال افزایش یابد (۱۵).

به جهت بررسی کردن تأثیر تغییر اقلیم بر نیاز آبی در بخش کشاورزی دشت یزد تا سال ۲۰۷۰ با داده های سینوپتیک و روش گزارش فائو ۵۶ مقادیر تبخیر تعرق محاسبه شد. طبق نتایج به جهت کمبود آب، محصولات کاهش عملکرد داشته اند. 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 پیش بینی 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 نیمه خشک مناطق کاشت خرما، پیش بینی 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 گلخانه ای و شاخص های خشکسالی SPI و SPEI افزایش تعداد دوره های خشکسالی و کاهش دوره های ترسالی پیش بینی 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

نظر تعیین شد. جهت تعیین مقدار ضریب گیاهی، از نتایج پژوهش زوازو 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 خوش بینانه 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 تبخیر تعرق پتانسیل سالانه گیاه انبه طی ۷۹ سال آینده در دو حالت خوش بینانه و بدبینانه محاسبه شد. کمترین تغییرات پارامترهای هواشناسی را در اصطلاح حالت خوش بینانه و بیشترین تغییرات پارامترهای هواشناسی را حالت بدبینانه نامیده‌اند.

جهت برنامه ریزی 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 خوش بینانه (سناریوی ۲/۶) میزان گرمایش زمین تا ۲ درجه سانتی گراد 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 تبخیر تعرق انبه در دشت میناب مورد بررسی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

در پژوهش حاضر برای محاسبات تبخیر تعرق گیاه مرجع از روش پنمن مانتیث و پنمن فائو استفاده شده است زیرا طبق پژوهش‌های پیشین در شرایط اقلیمی مختلف مقدار تخمینی تبخیر تعرق با این روش نتیجه نزدیک تر و مطلوب تری به نتایج لایسیمتر داشته است (۲ و ۱۶):

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

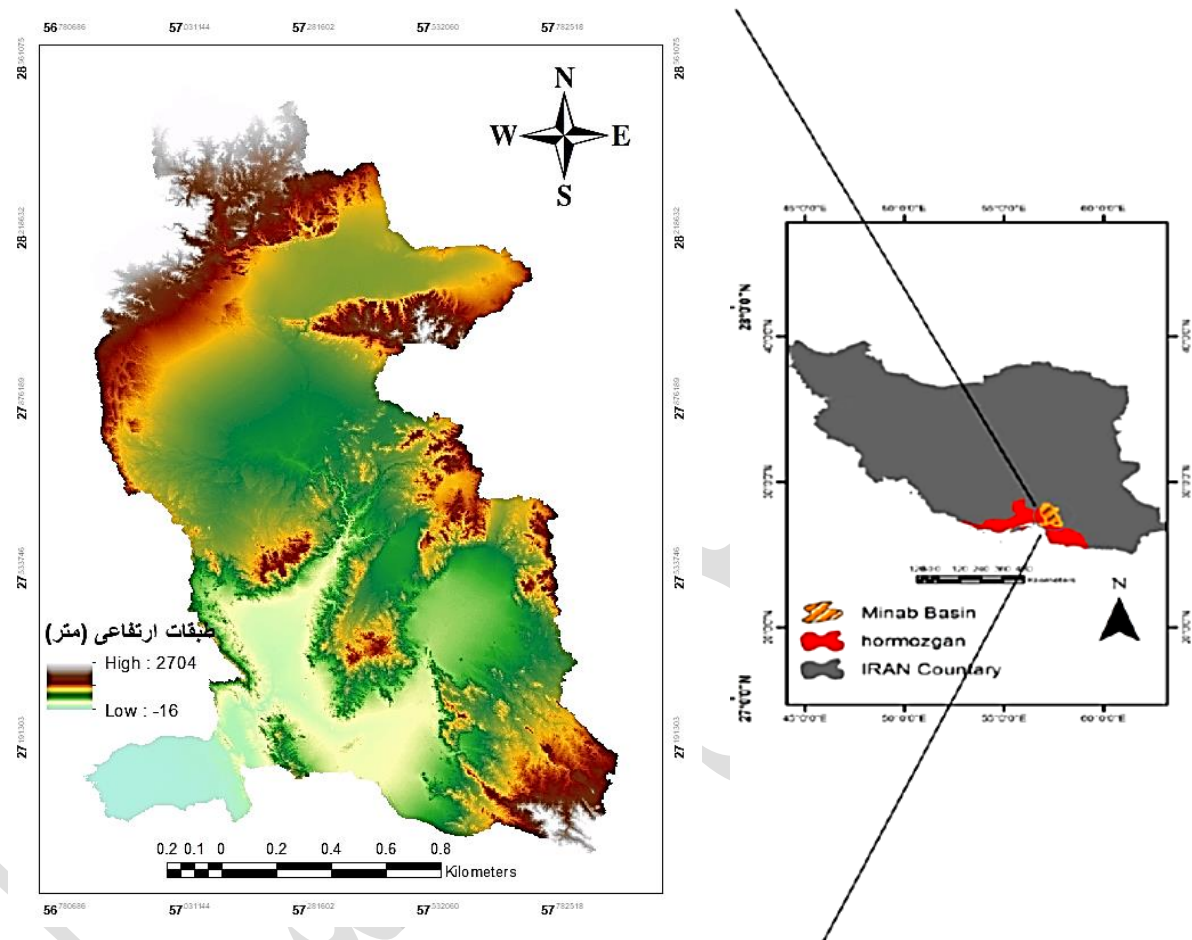
$$ET_0 = \frac{\Delta(R_n - G) + 86400 P_p C_p \left(\frac{e_s - e_a}{R_a}\right)}{\Delta + \gamma \left(1 + \frac{70}{R_a}\right) 2.45} \quad (2)$$

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

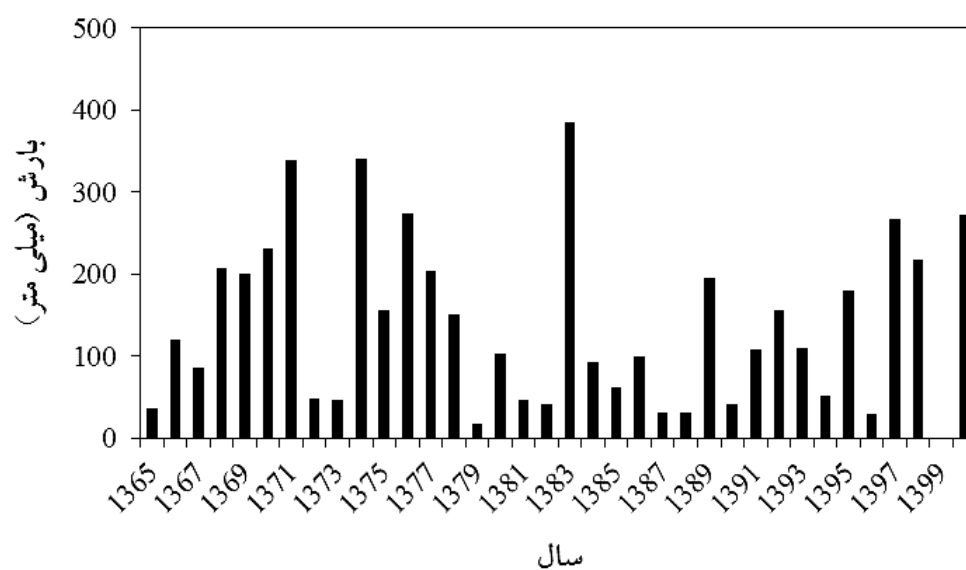
که در آن K_c ضریب گیاهی انبه و ET_0 تبخیر تعرق گیاه مرجع است.

در شکل ۱ محدوده مطالعاتی شهرستان میناب نشان داده شده است. داده‌های هواشناسی مورد نیاز ۳۵ سال اخیر (۲۰۲۰-۱۹۸۵) از ایستگاه هواشناسی میناب تهیه شد. ارتفاع این ایستگاه از سطح دریا برابر ۲۹/۶ متر و طول و عرض جغرافیایی بترتیب 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.

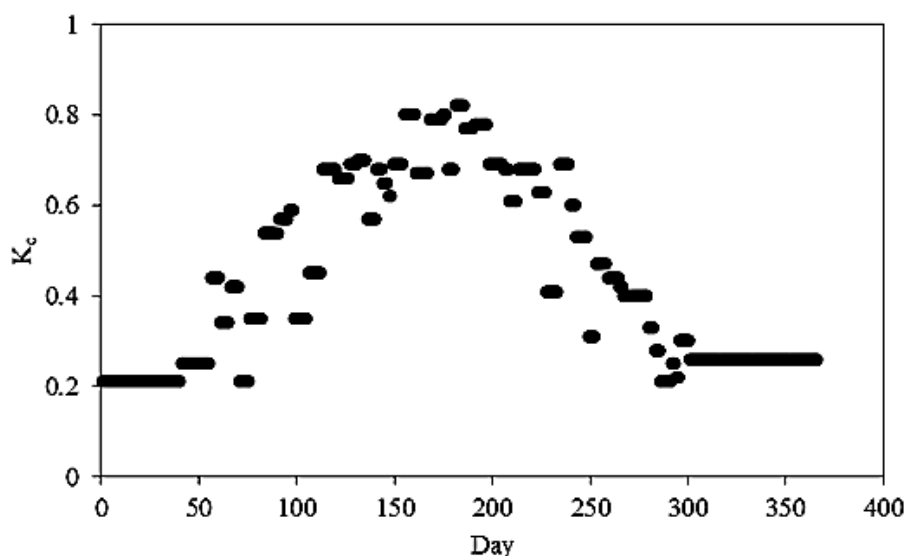
با استفاده از معادلات پنمن مانتیث و پنمن فائو، تبخیر تعرق گیاه مرجع اندازه گیری، و در ادامه با استفاده از ضریب گیاهی مقدار تبخیر تعرق پتانسیل سالانه گیاه انبه طی ۳۵ سال مورد



شکل ۱. محدوده مورد مطالعه شهرستان میناب



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



شکل ۳. ضرائب گیاهی درخت انبه استفاده شده در پژوهش حاضر بر اساس نتایج پژوهش زوازو و همکاران (۱۷)

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

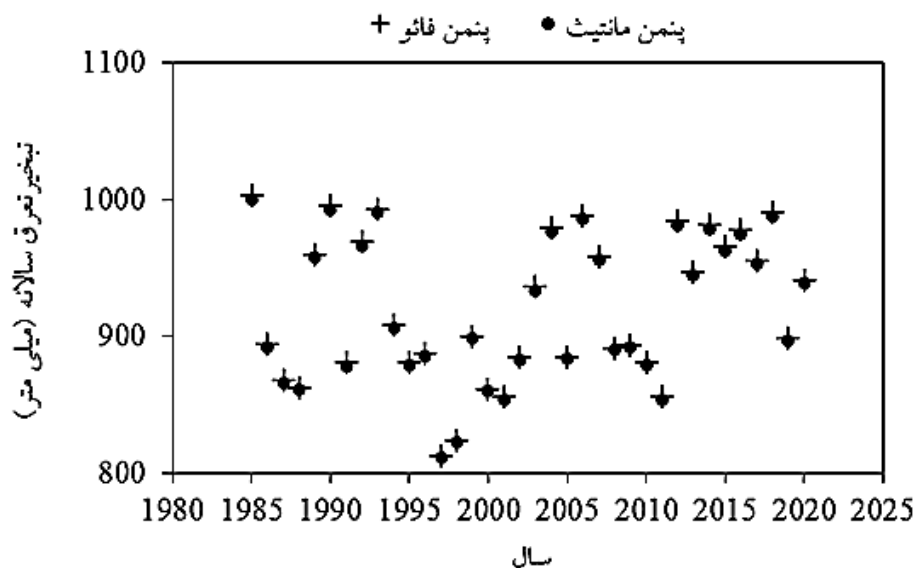
هرچند از ابزارها و نرم افزارهای مختلف می توان برای استخراج اطلاعات مورد نیاز در بانک های اطلاعاتی استفاده کرد، اما با توجه به حجم بودن داده های هواشناسی، پایتون یک ابزار قدرتمند برای واکاوی داده است. از این رو برای داده های دریافت شده اصلاحات انحراف آماری صورت گرفت و داده های نقطه ای-مکانی مربوط به محل آزمایش با استفاده از برنامه ی پایتون استخراج شد. ریز مقیاس کردن با استفاده از پکیج carbonplan در محیط پایتون انجام گرفت و داده ها با رزولوشن مکانی ۵/۰ درجه مورد استفاده قرار گرفت.

نتایج و بحث

با استفاده از معادلات (۱) و (۲) مقدار تبخیر تفرق روزانه گیاه انبه در شهرستان میناب، بر اساس داده های هواشناسی واقعی از سال ۱۹۸۵ تا سال ۲۰۲۰ محاسبه شد که نتایج آن به صورت 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 همین رو در محاسبات بعدی تنها به ارائه نتایج مربوط به روش پنمن فائو پرداخته خواهد شد. بر اساس داده های

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

در پژوهش حاضر از دو سناریو مختلف که حد بالا و پایین تغییرات را نشان می دهد، شامل ssp126 و ssp585 استفاده شده است. سناریو اول (ssp126) یک سناریو خوش بینانه 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 سوخت های فسیلی به سرعت با انرژی های تجدیدپذیر جایگزین می شود. سناریو دیگری که در این تحقیق در نظر گرفته شده (ssp585)، یک سناریو بدبینانه است که نشان دهنده بالا ترین سطح تغییرات آینده است. در این سناریو سوخت های فسیلی همچنان به عنوان منابع انرژی مورد استفاده قرار می گیرند و میزان غلظت CO₂ به سرعت افزایش و در سال ۲۱۰۰ به حد ۱۱۳۵ ppm خواهد رسید. داده های 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

(۲۰۵۰ و ۲۱۰۰) در دو حالت سناریوی خوش بینانه 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، هرچند که در سناریوی خوش بینانه نیز افزایش میزان تبخیر تعرق قابل مشاهده است. بر اساس داده‌های هواشناسی اندازه گیری 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).

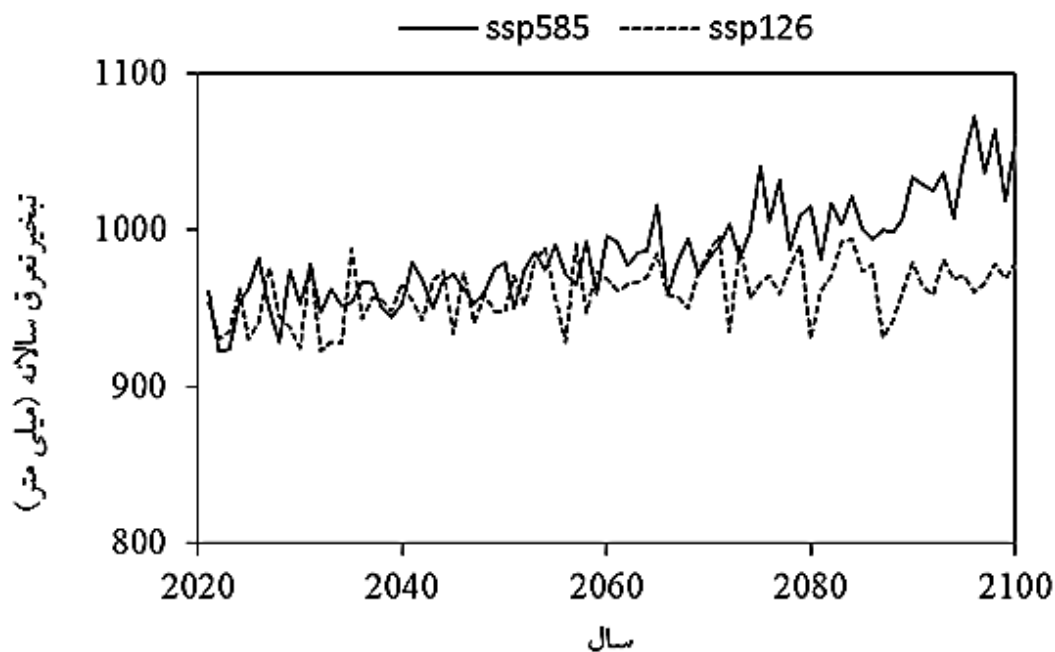
در سال‌های آینده (۲۰۲۱-۲۱۰۰) در حالت خوش بینانه با روش تبخیر تعرق مرجع فائو، مقدار تبخیر تعرق در هر سال نسبت به سال قبل بصورت تقریبی مقدار ۰/۳۱ میلی‌متر بر روز افزایش خواهد داشت و در حالت بدبینانه نیز مقدار تبخیر تعرق نسبت به سال قبل ۱/۲۳ میلی‌متر بر روز افزایش پیدا خواهد کرد.

از دیگر نتایج به دست آمده از پژوهش حاضر می‌توان به این نکته اشاره کرد که در مقادیر تبخیر تعرق پایین (فصول سرد سال) تفاوت بین سناریوهای مختلف اندک است و با افزایش میزان تبخیر تعرق، این تفاوت افزایش یافته اما با ادامه روند افزایش میزان تبخیر تعرق، تفاوت بین سناریوهای مختلف مجدداً کاهش پیدا می‌کند (شکل ۸). در جدول ۳ معادلات برازش مربوط به سناریوهای مختلف در دو سال ۲۰۵۰ و ۲۱۰۰ به عنوان نمونه آورده شده است.

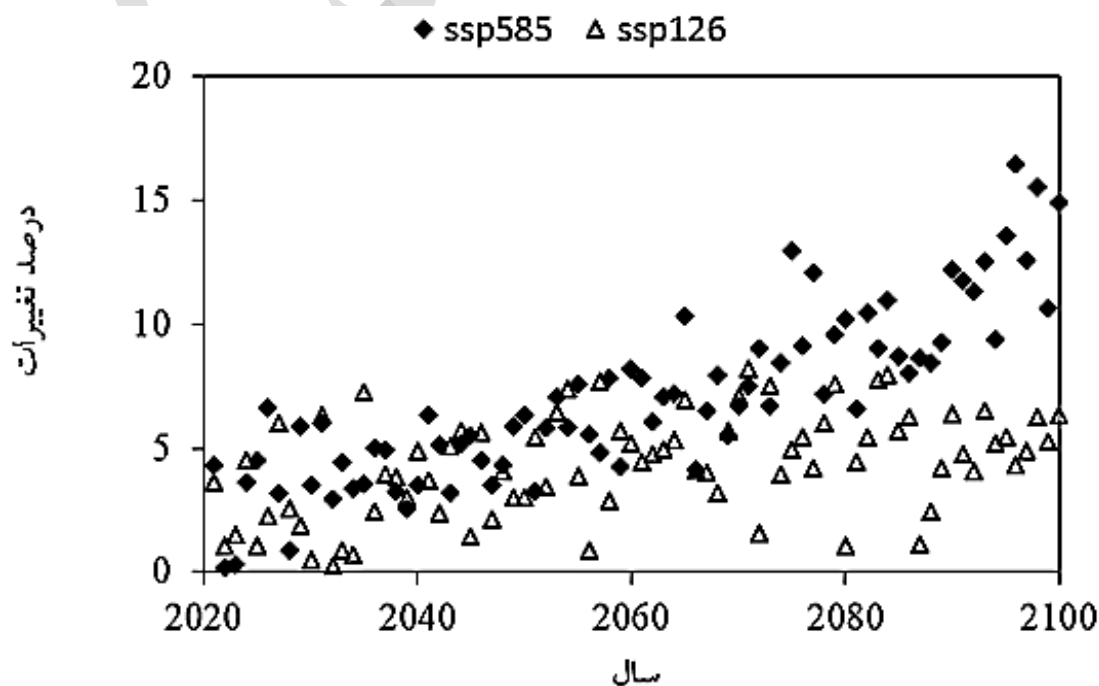
هواشناسی تولید شده برای سال‌های ۲۰۲۱ تا ۲۱۰۰ میلادی و دو سناریوی خوش بینانه (ssp126) و بد بینانه (ssp585)، مقدار تبخیر تعرق گیاه مرجع به روش فائو پنمن مانتیث محاسبه شد. سپس با استفاده از ضرائب گیاهی (شکل ۳)، مقدار تبخیر تعرق گیاه انبه به دست آمد که نتایج آن در شکل ۵ نشان داده شده است. چنانچه مشاهده می‌شود در سال‌های ابتدایی، 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 خوش بینانه (ssp126) و بد بینانه (ssp585) نسبت به میانگین دراز مدت 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 خوش بینانه 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 خوش بینانه 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 اندازه گیری (۲۰۲۰) و دو سال پیش‌بینی



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



شکل ۶. درصد تغییرات دو سناریوی خوش بینانه (ssp126) و بد بینانه (ssp585)

نسبت به میانگین دراز مدت سال‌های ۱۹۸۵ تا سال ۲۰۲۰

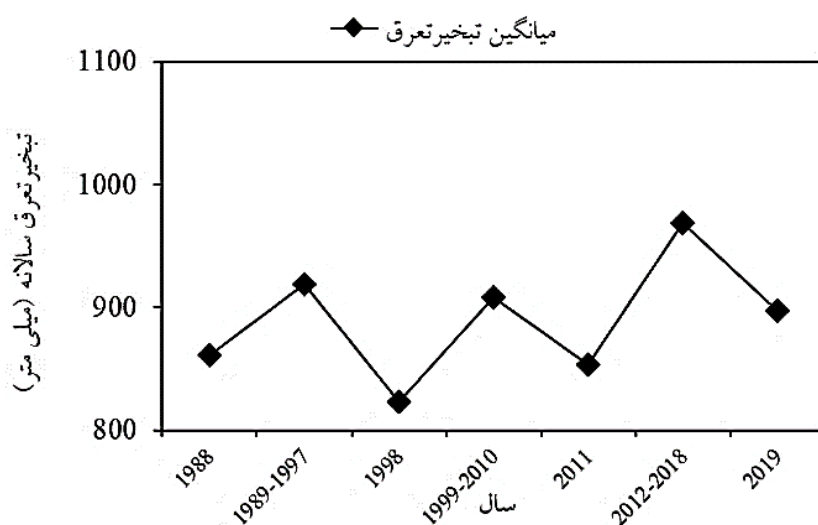
جدول ۱. میانگین دمای ماهانه سال ۲۰۲۰ و میانگین دمای پیش‌بینی شده در سال‌های ۲۰۵۰ و ۲۱۰۰ در دو حالت خوش بینانه و بدبینانه

ماه	۲۰۲۰	۲۰۵۰ (خوش بینانه)	۲۰۵۰ (بد بینانه)	۲۱۰۰ (خوش بینانه)	۲۱۰۰ (بد بینانه)
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

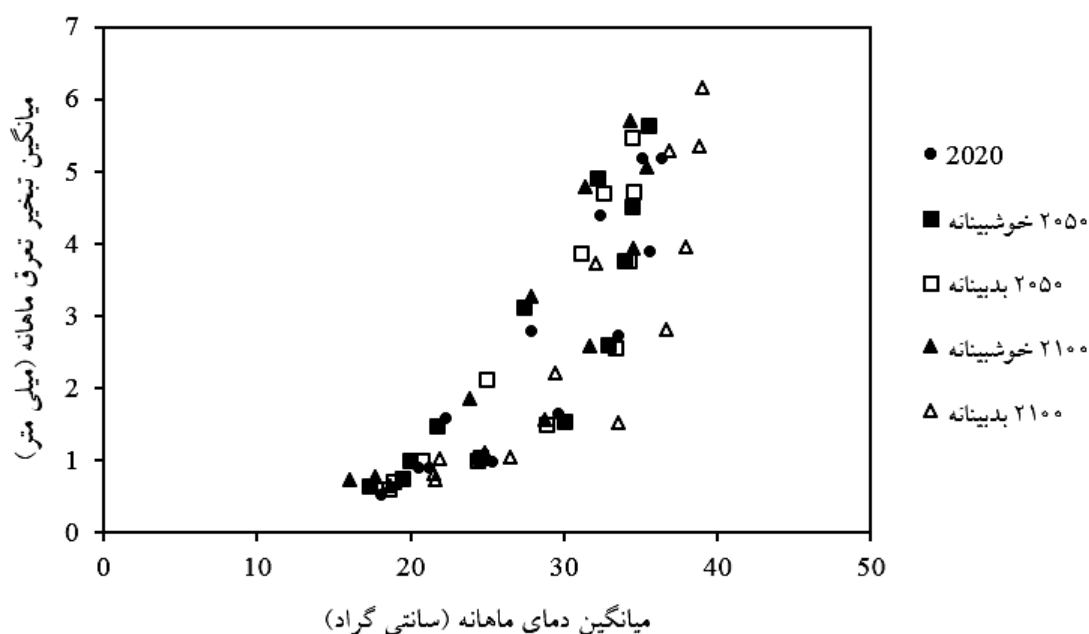
جدول ۲. مقدار میانگین تبخیر تعرق ماهانه در سال ۲۰۲۰ و میانگین مقادیر پیش‌بینی شده در سال‌های ۲۰۵۰ و ۲۱۰۰

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

ماه	۲۰۲۰	۲۰۵۰ (خوش بینانه)	۲۰۵۰ (خوش بینانه)	۲۱۰۰ (خوش بینانه)	۲۱۰۰ (خوش بینانه)
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 خوشبینانه و بدبینانه

جدول ۳. معادلات برازش مربوط به شکل ۸

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

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 مدیریت برای مواجهه با تغییرات اقلیم در سال‌های پیش رو 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. Hamidian pour. 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 Agroecology* 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. 5th International Congress of Developing Agriculture, Natural Resources, Environment and Tourism of Iran. January, Tabriz Islamic Art University in cooperation with Shiraz Uni, Yasuj Uni and Mazandaran Uni (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. *Global Climate Change and Public Health*. New York: Springer Publication.
9. Masoudi. B. 2021. A set of logical steps to assess the effects of climate change on agriculture. Sixth International Conference on Science and Technology of Agricultural Sciences, Natural Resources and Environment of Iran. Tehran City. May. (In Farsi).
10. Mitra, S.K. 2016. Climate change: impact, and mitigation strategies for tropical and subtropical fruits. VI International Symposium on Tropical and Subtropical Fruits. Former Dean, Faculty of Horticulture, BCKV, B-12/48, Kalyani 741235, Nadia, West Bengal, India. p. 1-12.
11. Moazeni, M. and S. Akhavan. 2018. Investigation of the trend of potential evapotranspiration in Kermanshah under the influence of climate change. 7th National Conference on Water Resources Management in Iran with the approach: Linking water cycle and ecology in arid areas for land sustainability. November, Yazd University (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, Sh., 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.