



روندیابی ضریب تشت تبخیر و پیش‌نگری مقدار تبخیر از تشت تحت سناریوهای واداشت تابشی در چند ایستگاه منتخب ایران

آرزو گل‌جامجو^۱، نوذر قهرمان^{۲*}، بهرام بختیاری^۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۸/۱۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۱۹

چکیده

تبخیر از تشت یکی از مولفه‌های مهم در مدیریت منابع آب و برآوردهای نیاز آبی گیاهان می‌باشد. این مطالعه با دو هدف بررسی روند تغییرات زمانی ضریب تشت (ET_0/E_{pan}) در دوره پایه (۲۰۱۸-۱۹۹۳) با استفاده از آزمون‌های ناپارامتری و ارائه چشم‌انداز تغییرات آبی مقادیر تبخیر از تشت حاصل از مدل PenPan با استفاده از برون‌داد مدل اقلیمی CNRM-C5 تحت سناریوهای تغییر اقلیم RCP4.5 و RCP8.5 انجام شد. در بخش نخست، روند ماهانه مقادیر ضریب تشت با دو آزمون من‌کندال و تخمین گر شیب سن در دوره گرم سال (بهار و تابستان) بررسی شد. نتایج آزمون من-کندال در دوره پایه نشان‌دهنده روند کاهشی تبخیر از تشت در ایستگاه‌های اهواز، مشهد، بوشهر و روند افزایشی در ایستگاه کرمان است که در این میان، بالاترین شیب کاهشی بر اساس روش شیب تخمین گر سن مربوط به ایستگاه بوشهر می‌باشد. در بخش دوم جهت پیش‌نگری کمی مقادیر تبخیر از تشت مدل تجربی PenPan با استفاده از برون‌داد مدل اقلیمی در سه دوره آینده ۲۰۲۰-۲۰۴۹، ۲۰۲۰-۲۰۷۹ و ۲۰۵۰-۲۱۰۰ استفاده شد. نتایج مؤید افزایشی در تبخیر از تشت در ایستگاه کرمان و کاهش در ایستگاه‌های اهواز، بوشهر و مشهد می‌باشد. انتظار می‌رود متوسط تغییرات تبخیر از تشت برای دوره آینده نزدیک، میان‌ی و دور نسبت به دوره پایه به ترتیب ۴/۷ درصد برابر با ۵۳/۴ میلی‌متر، ۶/۲ درصد برابر با ۸۲ میلی‌متر و ۸/۸ درصد برابر با ۱۱۲ میلی‌متر، کاهش یابد. نتایج آزمون من-کندال در دوره پایه نشان داد، ایستگاه‌های مورد مطالعه به جز ایستگاه یزد روند کاهشی معناداری را در ضریب تشت تبخیر تجربه کرده‌اند. در این میان، ایستگاه یزد کمترین ضریب معناداری (در سطح ۹۹٪) را دارد که مقدار آن برابر با ۱/۹- میلی‌متر می‌باشد. علیرغم افزایش پیش‌نگری شده در دمای ایستگاه‌های مشهد، بوشهر و اهواز، چشم‌انداز تبخیر از تشت کاهشی است، که این پدیده تناقض تبخیر، می‌تواند مطابق تحقیقات پیشین، بر اساس کاهش تابش ورودی توجیه شود.

واژه‌های کلیدی: تبخیر از تشت، تغییر اقلیم، روند، مدل PenPan

مقدمه

ایستگاه‌های هواشناسی عموماً توسط تشت‌های فلزی استاندارد اندازه‌گیری شده و از رابطه $ET_0 = K_p \times E_{pan}$ به تبخیر تعرق پتانسیل مربوط می‌شود. IPCC در گزارش پنجم خود در سال ۲۰۱۰ سناریوهایی تحت عنوان RCP را بر اساس میزان واداشت تابشی ارائه کرد. این سناریوها معرف مسیرهای جدیدی

نیاز تبخیری جو نقشی کلیدی در ترازمندی جهانی آب و انرژی ایفا می‌کند و تغییرات آن اهمیت زیادی در مدیریت آبیاری، پایش خشکسالی و مدیریت منابع آب دارد. یکی از سنج‌های این کمیت، تبخیر از تشت^۴ می‌باشد که در

^۲ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آبیاری آبادانی، دانشکده کشاورزی، دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی کرج، دانشگاه تهران، کرج، ایران

^۳ دانشیار، بخش مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

^۱ دانشیار، گروه مهندسی آبیاری آبادانی، دانشکده کشاورزی، دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی کرج، دانشگاه تهران، کرج، ایران
(نویسنده مسئول: nghahreman@ut.ac.ir)

^۴ Pan Evaporation

نحوه ارجاع مقاله:

گل‌جامجو، آ.، قهرمان، ن.، بختیاری، ب. ۱۴۰۱. روندیابی ضریب تشت تبخیر و پیش‌نگری مقدار تبخیر از تشت تحت سناریوهای واداشت تابشی در چند

ایستگاه منتخب ایران نشریه هواشناسی کشاورزی، ۱۰(۲): ۶۵-۵۸. DOI: 10.22125/agmj.2023.369069.1143

Goljamjoo, A., Ghahreman, N., Bakhtiari, B. 2022. Trend Analysis of pan coefficient and projection of pan evaporation in selected stations of Iran. Journal of Agricultural Meteorology, 10(2): 58-65. DOI: 10.22125/agmj.2023.369069.1143

توجیه شد. (Shokri et al., 2017) طی مطالعه‌ای به برآورد ضریب تشت با معادله‌های آلن و پروت، اورنگ، شنایدر و کوئنکا با داده‌های آماری ۱۵ ساله (۱۳۷۷-۱۳۹۱) هواشناسی اهواز پرداختند. نتایج نشان داد برای محاسبه ضریب تشت به صورت روزانه و فصلی بهتر است از روش آلن و پروت و در بازه ده روزه از روش شنایدر در شرایط اقلیمی اهواز استفاده شود. (Rotstayn et al., 2006) نشان دادند مدل PenPan می‌تواند با دقت خوبی در تولید داده‌های تشت تبخیر با استفاده از مدل‌های اقلیمی در استرالیا به کار رود. هدف از این پژوهش، تکمیل مطالعات روندیابی انجام شده قبلی، تکمیل خلأ بررسی روند تغییرات ضریب تشت در مطالعات داخلی و ارائه چشم‌اندازی کاربردی از مقادیر تبخیر از تشت با استفاده از مدل PenPan به عنوان یکی از نخستین مطالعات در این خصوص در ایران با بکارگیری مدل گردش عمومی جو CNRM- CM5 تحت دو سناریوی RCP2.6 و RCP8.5 طی دوره‌های ۲۰۴۹-۲۰۲۰، ۲۰۷۹-۲۰۵۰ و ۲۰۸۰-۲۱۰۰ است.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق، ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک اهواز، مشهد، بوشهر و کرمان که دارای آمار طولانی‌مدت هستند، انتخاب شدند. جدول ۱ نام و موقعیت ایستگاه‌های مورد استفاده را نشان می‌دهد.

جدول ۱- مشخصات جغرافیایی و اقلیمی ایستگاه‌های مطالعاتی

Station name	Longitude (East degree)	Latitude (North degree)	Height (m)	Statistical Period	Type of climate (Extended de Martonne)
Ahvaz	48.74	31.34	22.5	1993-2018	Arid
Yazd	54.29	31.54	1230.2	1993-2018	Extra arid-moderate
Kerman	56.97	30.25	1753	1993-2018	Arid-cold
Bushehr	50.82	28.97	8.4	1993-2018	Arid-warm
Mashhad	59.63	36.27	999.2	1993-2018	Semi-arid cold

محاسبه تبخیر تعرق مرجع

کمیسیون بین‌المللی آبیاری و زهکشی (ICID) و سازمان غذا و کشاورزی ملل متحد (FAO) روش فائو پنمن مانیتث را با در نظر گرفتن فرضیات آن به عنوان یک روش استاندارد برای محاسبه تبخیر تعرق گیاه مرجع پیشنهاد کرده است (Allen et al., 1998). این معادله بر اساس روش‌های توازن

از سیر انتشار گازهای گلخانه‌ای و میزان آلودگی‌ها و دارای چهار حالت مختلف شامل RCP2.6، RCP4.5، RCP6 و RCP8.5 هستند (IPCC, 2013). (Ghahreman et al., 2016) به بررسی اثر تغییر اقلیم بر تبخیر تعرق پتانسیل در دشت مشهد طی دوره ۲۰۷۰-۲۰۲۱ تحت سناریوهای RCP و با بکارگیری یک مدل دینامیکی جهت ریزمقیاس‌نمایی پرداختند و نتیجه گرفتند که مقدار تبخیر تعرق پتانسیل در دوره‌های آبی نسبت به دوره پایه در ماه‌های گرم سال کاهش و در ماه‌های سرد سال افزایش خواهد یافت. (Liu and Sun, 2014) به بررسی تغییرات آینده تبخیر از تشت به عنوان شاخصی برای اندازه‌گیری نیاز تبخیری جو با استفاده از مدل Pen Pan و خروجی ۱۲ مدل اقلیمی CMIP5 در چین پرداختند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد تبخیر از تشت (E_{pan}) طی دوره‌های ۲۰۵۰-۲۰۲۱ و ۲۱۰۰-۲۰۷۰ نسبت به دوره پایه ۲۰۰۰-۱۹۷۱ تحت دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5 افزایش می‌یابد که عمدتاً به دلیل افزایش پیش‌بینی شده در دمای هوا و کمبود فشار بخار است. (Xie et al., 2015) در تحقیقی به مدل‌سازی تبخیر از تشت E_p در فلات تبت در طی دوره آماری ۱۹۷۰ تا ۲۰۱۲ با آمار دمای هوا، سرعت باد، تابش خورشید و کمبود فشار بخار ۲۶ ایستگاه هواشناسی پرداختند. نتایج نشان‌گر کاهش در مقدار تبخیر تشت بود که عمدتاً به دلیل کاهش سرعت باد و میزان تابش خورشیدی

داده‌های هواشناسی مورد استفاده

داده‌های مورد استفاده در این تحقیق، متغیرهای هواشناسی مربوط به ۴ ایستگاه سینوپتیک، بوشهر، مشهد، کرمان و اهواز که شامل دمای حداکثر، دمای حداقل، رطوبت نسبی، سرعت باد، ساعات آفتابی و تبخیر از تشت در مقیاس روزانه در طی دوره ۲۰۱۸-۱۹۹۳ از سازمان هواشناسی کشور اخذ گردید و از این داده‌ها برای محاسبه تبخیر تعرق مرجع استفاده شد.

داده‌های خروجی مدل‌های اقلیمی

امروزه تهیه و استخراج داده‌های خروجی مدل‌های اقلیمی (در مقیاس سالانه، ماهانه و روزانه) از طریق مراکز مختلف تحقیقاتی، امکان‌پذیر است. یکی از معتبرترین مراکز ارائه دهنده داده‌های ریزمقیاس شده، سایت ESGF که متعلق به مرکز هیدرولوژی و هواشناسی سوئد (SMHI) می‌باشد. مدل مورد استفاده در این پژوهش، CNRM-Cm5 است. این مدل در مرکز CNRM فرانسه طراحی شده است. تفکیک مکانی داده‌های ریزمقیاس شده در این مدل ۰/۵ درجه عرض جغرافیایی در ۰/۵ درجه طول جغرافیایی است (ESGF). خروجی مدل ریزمقیاس شده برای دوره تحت هر یک از دو سناریو مورد مطالعه در دوره زمانی ۲۰۲۰-۲۱۰۰ می‌باشد که به صورت سال‌های ۳۶۵ و ۳۶۶ روزه تهیه شده‌اند. با توجه به اینکه در طی ۹۵ سال مورد مطالعه باید حداقل ۲۳ سال کبیسه وجود داشته باشد، ولی در این ۹۵ سال، فقط ۱۹ سال کبیسه وجود داشت، لذا هر ۵ سال، یک روز، یعنی روز آخر پنجمین سال حذف شده و نهایتاً سال‌ها به صورت سال ۳۶۵ روز تبدیل شدند.

سناریوهای مورد استفاده

در این مطالعه از دو سناریوی واداشت تابشی RCP 4.5 و RCP 8.5 استفاده شد.

تصحیح داده‌های مدل اقلیمی

تصحیح برآوردهای مدل اقلیمی، ضریب تصحیح انحراف معیار تحت دو سناریو مورد مطالعه می‌باشد. این روش با محاسبه ضرایب تصحیح میانگین و انحراف معیار دوره پایه، برآوردهای دوره آینده تحت سناریوهای تغییر اقلیم را تصحیح می‌نماید. تصحیح انحراف معیار به این صورت است که با محاسبه انحراف معیار کمیت مورد مطالعه برای سه دسته داده داده‌های مشاهده شده دوره پایه، داده‌های برآورد شده دوره پایه و داده‌های برآورد شده تحت سناریوهای تغییر اقلیم برای دوره آینده، طبق معادله ۲ داده‌های تولید شده برای آینده اقلیمی منطقه با حفظ میانگین تصحیح می‌شوند.

$$STD_{fut} = \frac{STD_{base}^{obs}}{STD_{base}^{GCM}} \times STD_{fut}^{GCM} \quad (2)$$

که در آن، STD_{fut} بیانگر انحراف معیار داده‌های آینده اقلیمی، STD_{base}^{obs} انحراف معیار داده‌های مشاهده شده در دوره پایه،

انرژی و آئرودینامیک روی یک سطح مرطوب پوشیده از گیاه فرضی ارائه شده است (معادله ۱).

$$ET_0 = - \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 U_2)} \quad (1)$$

که در آن ET_0 تبخیر تعرق گیاه مرجع (mm day^{-1})، R_n تشعشع خالص در سطح گیاه ($\text{MJ m}^{-2} \text{day}^{-1}$)، T متوسط دمای هوا در ارتفاع دو متری ($^{\circ}\text{C}$)، γ ثابت سایکرومتری ($\text{Kpa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$)، U_2 سرعت باد در ارتفاع دو متری از سطح زمین (m s^{-1})، e_a فشار بخار اشباع (Kpa)، $e_s - e_a$ کمبود فشار بخار اشباع در ارتفاع دو متری (Kpa) و Δ شیب منحنی فشار بخار اشباع حسب دما ($\text{Kpa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$) است (Allen et al., 1998). تبخیر تعرق پتانسیل و ضریب تشت تبخیر (۶ ماه گرم سال) در تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه در بازه زمانی ۲۰۱۸-۱۹۹۳ محاسبه و سپس روندیابی شد و مبنای انجام بررسی‌های بعدی قرار گرفت.

روندیابی

روش من-کندال

ابتدا توسط Mann (1945) ارائه و سپس توسط Kendall (1975) بسط و توسعه یافت. اثرپذیری ناچیز این روش از مقادیر حدی از مزایای استفاده از این روش است. فرض صفر این آزمون بر تصادفی بودن و عدم وجود روند در سری داده‌ها دلالت دارد و پذیرش فرض یک (رد فرض صفر) اشاره بر وجود روند در سری داده‌ها می‌باشد.

روش تخمین‌گر شیب سن

این روش مانند روش من-کندال بر اساس مفهوم تفاوت بین مشاهدات یک سری زمانی بنا نهاده شده است. در این روش شیب بین هر جفت داده در سری زمانی محاسبه شده و میانه سری شیب‌های به دست آمده استخراج می‌گردد، سپس به یاری روابطی که در پی می‌آیند در مورد معناداری شیب نهایی داوری می‌شود. نخست محاسبه شیب بین هر جفت داده محاسبه می‌شود. سپس برای هر جفت داده یک سری زمانی از شیب‌های محاسبه شده حاصل می‌گردد که با محاسبه میانه این سری زمانی (Q_{med}) شیب خط روند به دست می‌آید. مقدار مثبت این آماره حاکی از روند صعودی و مقدار منفی آن روند نزولی سری را نشان می‌دهد (جزئیات آزمون‌های روندیابی در پژوهش Gharekhaniet al., 2012).

متری بر حسب $(m s^{-1})$ ، f_h و f_q توابع انتقال حرارت و بخار آب توسط باد بر حسب $(kg m^{-2} s^{-1} pa^{-1})$. اگر $\alpha = f_h(u)/f_q(u)$ فرض شود، معادله به صورت معادله ۵ در می آید. مقدار γ بین ۲/۱ تا ۲/۵ گزارش شده است (Thom et al., 1981).

$$f_h(u) = 1.39 \times 10^8 (1 + 1.35) \quad (5)$$

برای محاسبه γ از معادله ۶ استفاده شد.

$$\gamma = c_p P^* / 0.622L \quad (6)$$

که در آن، P فشار هوا و C_p گرمای ویژه در فشار ثابت است. برای محاسبه تابش طول موج کوتاه از معادله ۷ استفاده شد.

$$R_{SP} = [f_{dir} P_{rad} + 1.42(1 - f_{dir}) + 0.42 A_s] R_s \quad (7)$$

که در آن، R_s تابش خورشیدی، f_{dir} بخشی از R_s مستقیم است، A_s میزان انعکاس تابش خورشیدی از سطح زمین در اطراف تشت، P_{rad} فاکتور تابش تشت که نشانگر تابش مستقیم اضافی که به دیواره‌های تشت برخورد می کند هنگامی که خورشید مستقیم بالای تشت تبخیر است (معادله ۸).

$$P_{rad} = 1.32 + 4 \times 10^{-4} \phi + 8 \times 10^{-5} \phi^2 \quad (8)$$

که در آن، A_s در مناطق با پوشش چمن کوتاه مقدار 0.23 و در مناطق خشک و بدون پوشش مقدار 0.3 در نظر گرفته می شود (با توجه به نبود پوشش گیاهی در اطراف ایستگاه‌های مطالعاتی از مقدار 0.3 در این پژوهش استفاده شد).

محاسبه ضریب تشت

در این مرحله پس از تصحیح داده‌های آینده در مقیاس ماهانه، با استفاده از نرم افزار CROPWAT، مقدار ET_0 محاسبه شد. سپس اعداد به دست آمده بر داده‌هایی که از معادله Pen Pan به دست آمد (پیش‌نگری داده‌های تبخیر از تشت در آینده) تقسیم شد تا ضریب تشت تبخیر در دوره‌های آینده برآورد شود. در مرحله بعد اعداد ضریب تشت با آزمون‌های من-کندال و تخمین گر شیب سن روندیابی و مقایسه شدند.

نتایج و بحث

در این بخش نتایج محاسبه مقادیر تبخیر از تشت با مدل Pen Pan با استفاده از برون‌داد تصحیح شده مدل اقلیمی، تحت هر دو سناریو مورد استفاده و نیز روند ضریب تشت تبخیر در دوره پایه ارائه خواهد شد. شکل‌های ۱ تا ۴ تغییرات تبخیر از تشت در ایستگاه‌های مطالعاتی تحت دو سناریو واداشت تابشی را نشان می دهد.

STD_{base}^{GCM} انحراف معیار داده‌های خروجی مدل برای دوره پایه و STD_{fit}^{GCM} معرف انحراف معیار داده‌های برآورد شده توسط مدل برای دوره آینده می باشد. همچنین با توجه به این که داده‌های مورد مطالعه تشکیل یک سری زمانی را می دادند، به منظور تصحیح میانگین داده‌های برآورد شده مدل از روش مشابه برای تصحیح میانگین داده‌های برآورد شده برای دوره اقلیمی آینده استفاده گردید (معادله ۳).

$$Mean_{fit} = \frac{Mean_{base}^{obs}}{Mean_{base}^{GCM}} \times Mean_{fit}^{GCM} \quad (3)$$

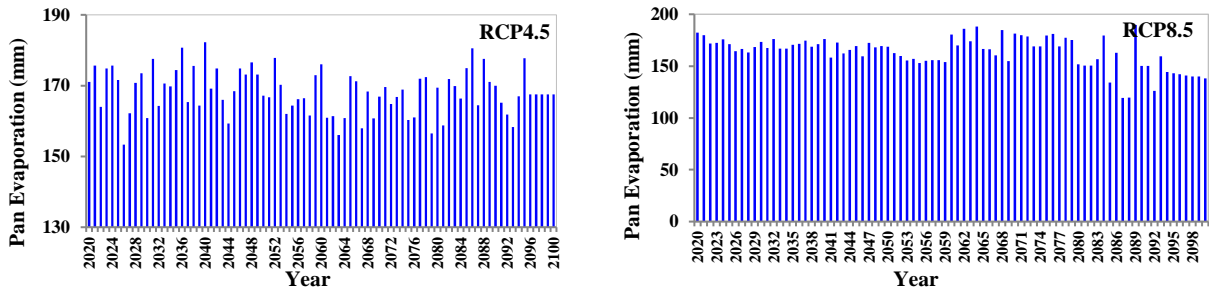
که در آن، $Mean_{fit}$ میانگین داده‌های آینده اقلیمی، $Mean_{base}^{obs}$ میانگین داده‌های مشاهده شده در دوره پایه، $Mean_{base}^{GCM}$ میانگین داده‌های خروجی مدل برای دوره پایه و $Mean_{fit}^{GCM}$ نیز معرف میانگین داده‌های برآورد شده توسط مدل برای دوره آینده است. با توجه به اینکه داده‌های دوره پایه در مقیاس روزانه در دسترس بودند، ابتدا داده‌ها به صورت سالانه برای دوره پایه تبدیل شده و پس از به دست آوردن ضریب تبدیل مناسب برای هر منطقه، تصحیح داده‌های مدل برای دوره آینده صورت گرفت (Babaeian et al., 2004).

معادله Pen Pan

یک روش مدل سازی تبخیر از تشت، استفاده از شکل تغییر یافته معادله پنمن (۱۹۴۸) برای تبخیر تعرق پتانسیل است. (Linacre 1994) نسخه ساده شده ای از معادله پنمن به عنوان معادله Pen Pan پیشنهاد کرد که توسط آن هم خوانی خوبی بین مقادیر ماهانه تبخیر تشت اندازه گیری شده و محاسبه شده در تعدادی از ایستگاه‌ها، به دست آمد. حذف تغییرات دمای سطح آب در زمان در محاسبه معادله پنمن، مزیت این روش (که بر اساس موازنه جرم و انرژی در تشت می باشد) است. این روش برای دوره‌های ۲۴ ساعته و ترجیحاً چند روزه توسعه داده شده تا ذخیره گرما در تشت قابل صرف نظر کردن باشد.

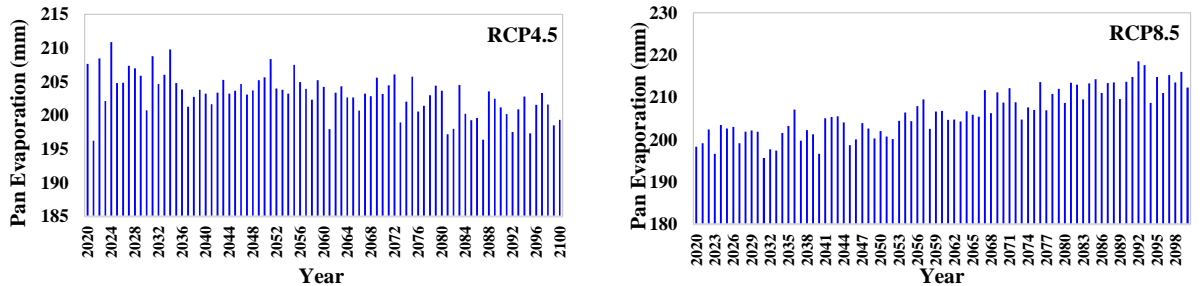
$$LE_p = \frac{s(Rn-s) + L\gamma fh(u)\delta e}{s + \gamma fh(u)/fq(u)} \quad (4)$$

که در آن، E_p نرخ تبخیر تشت بر حسب $(kg m^{-2} s^{-1})$ ، L مقدار گرمای تبخیر آب بر حسب $(J kg^{-1})$ ، Rn تابش خالص بر حسب $(w m^{-2})$ ، $e\delta$ کمبود فشار بخار اشباع (کیلو پاسکال)، S شیب فشار بخار اشباع (کیلو پاسکال)، γ ضریب سایکرومتری (کیلو پاسکال بر درجه سلسیوس)، u سرعت باد در ارتفاع ۲



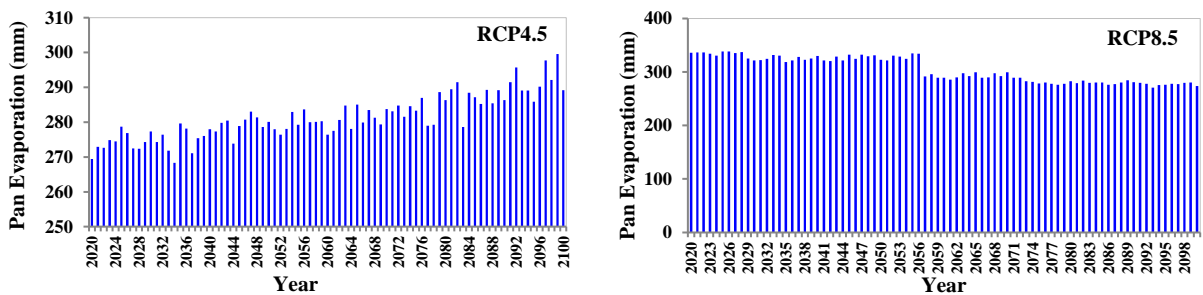
شکل ۱- پیش‌نگری تغییرات تبخیر از تشت در ایستگاه مشهد تحت سناریوهای RCP8.5 و RCP4.5 (۲۰۲۰-۲۱۰۰)

Figure 1- Projected pan evaporation changes in Mashhad station under the RCP8.5 and RCP4.5 scenarios (2020-2100)



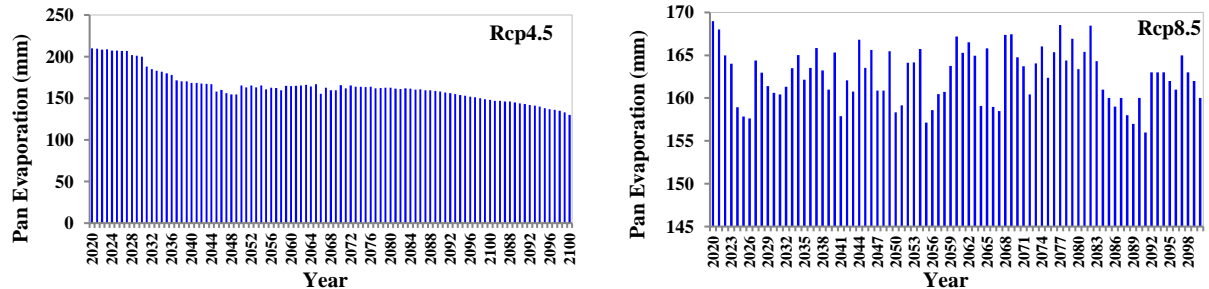
شکل ۲- پیش‌نگری تغییرات تبخیر از تشت ایستگاه بوشهر تحت سناریوهای RCP8.5 و RCP4.5 در دوره (۲۰۲۰-۲۱۰۰)

Figure 2- Projected pan evaporation changes in Bushehr station under the RCP8.5 and RCP4.5 scenarios (2020-2100)



شکل ۳- پیش‌نگری تغییرات تبخیر از تشت ایستگاه اهواز تحت سناریوهای RCP8.5 و RCP4.5 در دوره (۲۰۲۰-۲۱۰۰)

Figure 3- Projected pan evaporation changes in Ahvaz station under the RCP8.5 and RCP4.5 scenarios (2020-2100)



شکل ۴- پیش‌نگری تغییرات تبخیر از تشت در ایستگاه کرمان تحت سناریوهای RCP8.5 و RCP4.5 در دوره (۲۰۲۰-۲۱۰۰)

Figure 4 - Projected pan evaporation changes in Kerman station under the RCP8.5 and RCP4.5 scenarios (2020-2100)

تغییرات سناریو RCP4.5 در مقایسه با RCP8.5 بیشتر بوده و روند آن در ابتدای سال ۲۰۲۰-۲۰۴۹ افزایشی و سپس تا سال ۲۰۷۹ کاهش‌ی پیش‌نگری شد. از سال ۲۰۸۰ تا ۲۱۰۰

مطابق شکل ۱ در ایستگاه مشهد تحت سناریو RCP8.5 تغییرات در دوره ۲۰۲۰-۲۰۴۹ ثابت اما طی دوره ۲۰۷۹-۲۰۵۰ تغییرات افزایشی و سپس تا سال ۲۱۰۰ کاهش‌ی است.

تحلیل روند تبخیر از تشت برای دوره آینده

تحلیل روند تبخیر از تشت دوره آینده تحت دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5 برای سه دوره ۲۰۴۹-۲۰۲۰، ۲۰۷۹-۲۰۵۰ و ۲۱۰۰-۲۰۸۰ مورد بررسی قرار گرفت که نتایج به شرح زیر می‌باشد.

روندیابی ضریب تشت تبخیر

در این بخش، نتایج حاصل از دو آزمون روندیابی من-کندال و تخمین‌گر شیب سن، برای داده‌های ضریب تشت در دوره پایه و برای شش ماه گرم سال (بهار و تابستان) که بررسی آن از نظر اجرایی هم منطقی و علمی تر بوده است، ارائه خواهد شد. لازم به ذکر است که در برخی ایستگاه‌ها در کشور در ماه‌های سرد سال اصولاً داده‌های تشت تبخیر اندازه‌گیری نمی‌شود.

سیر تغییرات صعودی است. در شکل ۲ در ایستگاه بوشهر در سناریو RCP8.5 از سال ۲۰۲۰ تا ۲۰۵۳ تغییرات تبخیر از تشت افزایشی، سپس تا سال ۲۰۸۶ این تغییرات کاهش می‌شود و دوباره سیر صعودی به خود می‌گیرد. از سال ۲۰۹۵ تا ۲۱۰۰ تغییرات کاهش می‌باشد. در سناریو RCP4.5 تغییرات تبخیر از تشت نسبتاً ثابت می‌باشد. در سناریو RCP4.5 از سال ۲۰۲۰-۲۰۴۹ تغییرات تبخیر از تشت افزایشی و سپس تا سال ۲۱۰۰ سیر نزولی دارد. در شکل ۳ در ایستگاه اهواز تغییرات تشت تحت سناریو RCP4.5 در سال ۲۰۲۰-۲۰۴۹ افزایشی، سپس تا سال ۲۰۸۰ کاهش و پس از آن تا ۲۱۰۰ تغییرات افزایشی می‌باشد. در سناریو RCP8.5 در سال ۲۰۴۹-۲۰۲۰ تغییرات تبخیر از تشت افزایشی و سپس تا ۲۱۰۰ کاهش است. در شکل ۴ تغییرات تبخیر از تشت تحت سناریو RCP8.5 بیشتر از RCP4.5 بوده و تغییرات افزایشی است.

جدول ۲- نتایج حاصل از آزمون روند برای داده‌های تبخیر از تشت تحت سناریو RCP4.5 (۲۰۴۹-۲۰۲۰)

Table 2- The results of trend analysis of pan evaporation data under the RCP4.5 scenario during (2020-2049)

Station	Year	N	Z	Kendall		Sen slope estimator	
				signific	Q	Qmin99	Qmax99
Ahvaz	2020-2049	30	0.84		0.043	-0.095	0.311
Kerman	2020-2049	30	2.71	**	0.27	0.03	0.52
Mashhad	2020-2049	30	-0.43		0.051-	-0.420	0.322
Bushehr	2020-2049	30	-1.71		0.090-	-0.230	0.063

جدول ۳- نتایج حاصل از آزمون روند برای داده‌های تبخیر از تشت تحت سناریو RCP8.5 (۲۰۴۹-۲۰۲۰)

Table 3- The results of trend analysis of pan evaporation data under the RCP8.5 scenario during (2020-2049)

Station	Year	N	Z	Kendall		Sen slope estimator	
				signific	Q	Qmin99	Qmax99
Ahvaz	2020-2049	30	-1.09		-0.027	-0.294	0.114
Kerman	2020-2049	30	3.21	**	0.26	0.06	0.52
Mashhad	2020-2049	30	3.21	**	0.26	0.06	0.42
Bushehr	2020-2049	30	-2.53	*	-0.243	-0.439	0.018

جدول ۴- نتایج حاصل از آزمون روند برای داده‌های تبخیر از تشت تحت سناریو RCP4.5 (۲۰۷۹-۲۰۵۰)

Table 4- The results of trend analysis of pan evaporation data under the RCP4.5 scenario during (2050-2079)

Station	Year	N	Z	Kendall		Sen slope estimator	
				signific	Q	Qmin99	Qmax99
Ahvaz	2020-2049	30	-4.42	**	-0.589	-0.864	-0.341
Kerman	2020-2049	30	1.35		0.08	-0.05	0.20
Mashhad	2020-2049	30	-0.46		-0.072	-0.407	0.319
Bushehr	2020-2049	30	-1.78		-0.088	-0.205	0.032

جدول ۵- نتایج حاصل از آزمون روند برای داده‌های تبخیر از تشت تحت سناریو RCP8.5 (۲۰۷۹-۲۰۵۰)

Table 5- The results of trend analysis of pan evaporation data under the RCP8.5 scenario during (2050-2079)

Station	Year	N	Z	Kendall		Sen slope estimator	
				signific	Q	Qmin99	Qmax99
Ahvaz	2020-2049	30	-2.32	*	-0.231	-0.509	0.027
Kerman	2020-2049	30	1.99		0.13	-0.02	0.33
Mashhad	2020-2049	30	2.28	*	0.641	-0.059	1.185
Bushehr	2020-2049	30	-1.57		-0.214	-0.457	0.127

جدول ۶- نتایج حاصل از آزمون روند برای داده‌های تبخیر از تشت تحت سناریو RCP4.5 (۲۰۸۰-۲۱۰۰)

Table 6- The results of trend analysis of pan evaporation data under the RCP4.5 scenario during (2080-2100)

RCP4.5		Kendall			Sen slope estimator		
Station	Year	N	Z	signific	Q	Qmin99	Qmax99
Ahvaz	2020-2049	21	2.14	*	0.268	-0.056	0.639
Kerman	2020-2049	21	0.5		0.03	-0.22	0.33
Mashhad	2020-2049	21	0.45		0.080	-0.707	0.703
Bushehr	2020-2049	21	0.03		0.008	-0.268	0.272

* در سطح ۹۵٪ معنی دار است.

جدول ۷- نتایج حاصل از آزمون روند برای داده‌های تبخیر از تشت تحت سناریو RCP8.5 (۲۰۸۰-۲۱۰۰)

Table 7- The results of trend analysis of pan evaporation data under the RCP8.5 scenario during (2080-2100)

RCP4.5		Kendall			Sen slope estimator		
Station	Year	N	Z	signific	Q	Qmin99	Qmax99
Ahvaz	2020-2049	21	-1.12		-0.163	-0.518	0.180
Kerman	2020-2049	21	1.66		0.27	-0.09	0.49
Mashhad	2020-2049	21	-2.08	*	-0.755	-1.859	0.410
Bushehr	2020-2049	21	-2.33	*	-0.455	-0.927	0.049

جدول ۸- نتایج آزمون‌های روند برای داده‌های مشاهداتی ضریب تشت تبخیر (۱۹۹۳-۲۰۱۸)

Table 8-Trend analysis of Kp values obtained from observed data for baseline peiod (1993-2018)

Station	Year	Man-Kendall		SEN s estimator (99%)		
		Z	Signific	Q	Q min	Q max
Ahvaz	1993-2018	2.60	*	0.003	-0.001	0.006
Bushehr	1993-2018	4.10	**	0.012	0.006	0.017
Kerman	1993-2018	-4.10	**	-0.009	-0.014	-0.005
Mashhad	1993-2018	4.70	**	0.01	0.00	0.01

** در سطح ۹۹٪ معنی دار است. * در سطح ۹۵٪ معنی دار است.

می‌باشد. بر اساس روش تخمین‌گر شیب سن، بالاترین روند افزایشی در دوره پایه در ایستگاه کرمان با مقدار ۸/۸۲ میلی‌متر و کمترین روند کاهشی در ایستگاه اهواز با مقدار ۸/۱۲ میلی‌متر به دست آمد. در دوره آینده بر اساس روش شیب سن بالاترین روند افزایشی در ایستگاه مشهد با مقدار ۰/۶۴ پیش‌نگری شد. انتظار می‌رود متوسط تغییرات تبخیر از تشت برای دوره آینده نزدیک، میانی و آینده دور نسبت به دوره پایه به ترتیب ۴/۷ درصد برابر با ۵۳/۴ میلی‌متر، ۶/۲ (۸۲ میلی‌متر) و ۸/۸ درصد (۱۱۲ میلی‌متر)، کاهش یابد. علیرغم افزایش دما ثبت شده در ایستگاه‌های اهواز، بوشهر و مشهد، کاهشی در میزان تبخیر از تشت مشاهده شد که این تناقض می‌تواند به استناد مطالعات پیشین با توجه به کاهش تابش رسیده به زمین، قابل توجیه باشد.

منابع

Allen, R. G., Periera, L. S., Raes, D. and Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration: Guideline or computing crop water requirement. FAO p

با توجه به جدول ۸ مشاهده می‌شود تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه به جز ایستگاه کرمان روند افزایشی را تجربه کرده‌اند. در این میان بیشترین تغییرات کاهشی در ایستگاه کرمان به میزان ۴/۱۰ میلی‌متر و بیشترین تغییرات افزایشی در ایستگاه مشهد با مقدار ۴/۷۰ میلی‌متر در سطح معناداری ۹۹٪ به دست آمد. تغییرات روند معنی داری در ایستگاه یزد معنادار مشاهده نشد.

نتیجه‌گیری

ایستگاه‌های مورد مطالعه، روند کاهشی معناداری را در ضریب تشت تبخیر تجربه کرده‌اند. بالاترین شیب کاهشی بر اساس روش شیب تخمین‌گر سن مربوط به ایستگاه بوشهر است. نتایج آزمون من-کندال در دوره پایه (۱۹۹۳-۲۰۱۸) نشان دهنده روند کاهشی تبخیر از تشت در ایستگاه‌های اهواز، مشهد، بوشهر و روند افزایشی در ایستگاه کرمان است. بررسی این روند در سه دوره آینده ۲۰۴۹-۲۰۲۰، ۲۰۷۹-۲۰۵۰ و ۲۱۰۰-۲۰۸۰ موید افزایشی در تبخیر از تشت در ایستگاه کرمان و کاهش در ایستگاه‌های اهواز، بوشهر و مشهد

- in CMIP5 climate models. *Journal of Hydrometeorology*, 18(4), 977-991.
- Mann, H.B. 1945. Non-Parametric Test against Trend. *Econometrica*, 13, 245-259. DOI: 10.2307/1907187.
- Thom, A. S., Thony, J. L., and Vauclin M. 1981. On the proper employment of evaporation pans and atmometers in estimating potential transpiration. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 107(453), 711-736.
- Rotstayn, L., Roderick, M., Farquhar, G., Rotstayn, C. 2006. A simple pan-evaporation model for analysis of climate simulations: Evaluation over Australia. *Geophysical Research Letters*, 33, 10.1029/2006GL027114.
- Shokri, S., Houshmand, A., Qurbani, M. 2017. Estimation of evaporation pan coefficient in order to calculate transpiration evaporation of reference plant in Ahvaz. *Irrigation engineering science* 40 (1): 1-12. (In Farsi)
- Xie, H., Zhu, X., and Yuan, D. Y. 2015. Pan evaporation modelling and changing attribution analysis on the Tibetan Plateau (1970–2012). *Hydrological Processes*, 29(9), 2164-2177. doi:10.1002/hyp.10356.
- Irrigation and Drainage Paper 56, Rome, Italy, 300 pp.
- Babaeian, I., Kwon, W.T., and Im, E.S. 2004. Application of weather generator technique for climate change assessment over Korea, Korea Meteorological Research Institute, Climate Research Lab., pp. 98.
- Gharekhani, A., Ghahreman, N., Bazrafshan, J. 2012. Trend analysis of pan evaporation in different climates of Iran. *Watershed Management Research (Pajouhesh and Sazandegi)* 98: 85-97 (In Farsi)
- Ghahreman, N., Babaeian, I., Tabatabai, M. 2016. Evaluation of post-processing of dynamic outputs of climate models in estimating potential evapotranspiration changes under radiative forcing scenarios (Mashhad plain case study). *Earth and space physics*, 42(3), 68-696 (In Farsi)
- IPCC (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis, Summary for Policymakers*
- Linacre, E. T. 1994. Estimating U.S. Class A pan evaporation from few climate data, *Water Int.*, 19, 5–14
- Kendall, M.G. 1975. *Rank Correlation Methods*. 4th Edition, Charles Griffin, London.
- Liu, W., and Sun, F. 2014. Projecting and attributing future changes of evaporative demand over China



Trend Analysis of pan coefficient and projection of pan evaporation in selected stations of Iran

A. Goljamjoo¹, N. Ghahreman^{2*}, B. Bakhtiari³

Received: 08/11/2021
Accepted: 09/06/2022

Abstract

The pan evaporation is one of the major components of hydrological cycle. It is quite important in agricultural water management and water balance estimations. The current research was performed with two main goals. First, to study the trend of pan coefficient during baseline period of 1993-2018 and second, projection of pan evaporation during three future periods under RCP climate change scenarios in 5 selected stations across Iran, namely Mashhad, Bushehr, Ahvaz, Kerman. In part one; the monthly trend of Kp values were studied using Man-Kendal and Sen's slope estimator in warm season (Spring and Summer). In second part, for projection of pan evaporation under RCP scenarios, the PenPan model, a modified form of P-M equation, was used. The required projected climate data were retrieved from CNRM-C5 model outputs under RCP 4.5 and RCP 8.5 scenarios. The trend analysis of Kp values using Man-Kendal test during the baseline period showed a significant decreasing trend except for the Yazd station with the least coefficient of -1.88 mm. The greatest decreasing value based on Sen's slope estimator was observed in Bushehr station. The results of Man-Kendal test revealed a decreasing trend in pan evaporation in Ahvaz, Mashhad, Bushehr and increasing trend in Kerman stations. For future periods of 2020-2049, 2050 to 2079 and 2080 to 2100, an increasing trend of pan evaporation in Kerman station and decreasing trend in 3 other stations was detected. According to Sens's slope estimator test, during the baseline period the most increasing trend was observed in Kerman station. For future period the most increasing trend was observed in Mashhad station (+0.64). It is projected that mean pan evaporation values during near, middle and far future periods would decrease 4.7, 6.2 and 8.8%, respectively. Despite of projected increase of air temperature in Mashhad, Bushehr and Ahvaz stations, a reduction in pan evaporation was observed which might be attributed to reduced received radiation as reported in previous studies as evaporation paradox.

Keywords: Trend, Climate Change, PenPan model, Pan Evaporation



¹ M. Sc. Graduate, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, Faculty of Agriculture, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

² Associate Professor, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, Faculty of Agriculture, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

(*Corresponding Author Email Address: nghahreman@ut.ac.ir)

³ Associate Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

نحوه ارجاع مقاله:

گل جامجو، آ.، قهرمان، ن.، بختیاری، ب. ۱۴۰۱. روندیابی ضریب تشت تبخیر و پیش‌نگری مقدار تبخیر از تشت تحت سناریوهای واداشت تابشی در چند

ایستگاه منتخب ایران نشریه هواشناسی کشاورزی، ۱۰(۲): ۵۸-۶۵. DOI: 10.22125/agmj.2023.369069.1143

Goljamjoo, A., Ghahreman, N. Bakhtiari, B. 2022. Trend Analysis of pan coefficient and projection of pan evaporation in selected stations of Iran. Journal of Agricultural Meteorology, 10(2): 58-65. DOI: 10.22125/agmj.2023.369069.1143