

صیانت از منابع طبیعی و محیط زیست

به همراه مین همایش ملی

جنگل ایران

روند تغییرات تبخیر و تعرق پتانسیل با روش اسپیرمن و مان-کندال (مطالعه موردی: ایستگاه زنجان)

نازنین حیدری (دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی آب، دانشگاه تبریز)

یعقوب دین پژوه (استاد گروه مهندسی آب، دانشگاه تبریز)

چکیده

بررسی روند تغییرات متغیرهای هیدرولوژیکی در هر ناحیه از نقطه نظر مدیریت علمی منابع آب از اهمیت فراوانی برخوردار است. در این مطالعه، روند تغییرات ETO و برخی از متغیرهای مختلف هواشناسی موثر بر تبخیر-تعرق پتانسیل گیاه مرجع (ETO) در ایستگاه زنجان با حداقل ۲۰ سال آمار منتهی به ۲۰۲۱ تحلیل شده است. در این مقاله روند تغییرات (ETO) با دو روش ناپارامتری شامل اسپیرمن و مان- کندال در سطوح ۵ و ۱۰ درصد آزمایش شد. نتایج نشان داد که در ایستگاه زنجان روند تغییرات ETO زنجان با هر دو روش نزولی و معنی دار (در سطح ۱۰ درصد) بود. بررسی‌های بیشتر نشان داد که روند تغییرات ساعات آفتابی روند منفی و غیرمعنی دار داشت همچنین روند تغییرات سرعت باد در ارتفاع ۲ متری، منفی ولی معنی دار در سطح ۱۰ درصد بود. تغییرات دمای هوای سالانه و فشار بخار واقعی آب هم با هر دو روش صعودی و به ترتیب معنی دار در سطح ۱۰ درصد، معنی دار در سطح ۵ درصد بود. یافته‌های این مطالعه در مدیریت منابع آب منطقه می‌تواند مفید واقع شود.

مقدمه

تبخیر-تعرق فرایندی است که طی آن آب از سطح مزرعه و خاک به اتمسفر منتقل می‌شود. بنابراین، شدت آن با فراهم بودن انرژی خورشیدی و آب در خاک کنترل می‌شود. این پدیده یکی از مولفه‌های اصلی سیکل هیدرولوژی است که تأثیر بسزایی در بیلان انرژی نیز دارد. مدیریت علمی منابع آب در هر منطقه مستلزم تخمین دقیق تبخیر تعرق پتانسیل گیاه مرجع (ETO) است. ثابت شده که روش فائو پنمن-مانتیت مقادیر ETO را در همه اقلیم‌ها واقعی برآورد می‌کند (Popova et al., 2006). روش مذکور بعنوان یک پنج مارک برای مقایسه خروجی سایر مدل های تجربی تخمین ETO استفاده شده است(Varga- Valipour., 2015 ؛Haghighat & Fooladmand., 2007 ؛Haszonits et al., 2022؛ میرحسینی و همکاران، 1400 و شیرزاد و همکاران، 1401). امروزه با توجه به گرمایش جهانی این پدیده نیز دستخوش نوساناتی شده است. روی این اصل بررسی روند تغییرات ETO مورد توجه محققین مختلف جهان قرار گرفته است (Dimitriadou et al., 2021 و Xu et al., 2018). بسیاری از محققین از روشهای ناپارامتری برای تحلیل روند تغییرات ETO بهره گرفته‌اند. مثلا (Jhajharia et al., 2012)، در شمال شرق هند، (Jhajharia et al., 2015)، در صحرای تار در هند و (Dinpashoh et al., 2011)، در ایران از روش مان-کندال برای تحلیل روند تغییرات ETO استفاده کردند. (Dinpashoh & Babamiri., 2020)، از این روش در تحلیل روند پدیده ETO در حوضه دریاچه ارومیه استفاده کردند. علاوه بر این، (Ncoyini-Manciya et al., 2022)، روند تبخیر و تعرق مرجع را با استفاده از روش پنمن-مانتیت در منطقه میانی کوهلو-ناتال آفریقای جنوبی در دوره زمانی ۱۹۹۷-۲۰۱۷ مورد مطالعه قرار دادند. آنان از آزمون من- کندال و مدل رگرسیون خطی برای تحلیل روند سالانه و فصلی ETO استفاده کردند. نتایج نشان داد که ETO در اکثر ایستگاه‌های آب و هوایی مورد مطالعه روند کاهشی دارد و پارامترهای رطوبت نسبی و تابش خورشیدی تا حد زیادی بر تغییر ETO تأثیر می‌گذارد. (Di- Nunno et al., 2023)، تغییرات آب و هوا را در منطقه ونتو ایتالیا با تمرکز بر پارامتر تبخیر و تعرق مرجع (ETO) که با استفاده از معادله پنمن-مانتیت محاسبه شده بود، ارزیابی کردند. آنان از روش K-means برای تقسیم منطقه ونتو به ۹ منطقه همگن استفاده کردند. علاوه بر این، از آزمون فصلی من- کندال (MK) و روش تحلیل روند نوآورانه (ITA) برای بررسی روند ماهانه پارامترها استفاده کردند. نتایج آزمون MK نشان دهنده روند منفی بارش برای همه‌ی خوشه‌ها بود و روند ETO برای برخی خوشه‌ها در حال کاهش و برخی در حال افزایش بود. (Aschale et al., 2023)، روند ETO و حساسیت آن را در ارتباط با عوامل هواشناسی توصیفی بررسی کردند. آنان از یک مجموعه داده ۱۷ ساله از متغیرهای هواشناسی ایستگاه پیزا- آرمینا در سیسیلی (آب و هوای مدیترانه‌ای) استفاده کردند. آنان ابتدا از روش فائو- پنمن- مانیتث برای برآورد ETO و سپس از آزمون من- کندال برای تحلیل روند استفاده کردند. Li et al., (2022)، قابلیت اطمینان ETTH، ETHarg و ETPM بدست آمده از تورت وایت (TH)، هارگریوز (Harg) و پنمن مانیتث (PM) را با استفاده از میانگین دمای هوا ماهانه، حداکثر دمای هوا، حداقل دمای هوا، تابش خورشیدی، سرعت باد و رطوبت نسبی در دوره زمانی ۱۹۶۱-۲۰۱۸ در چین مورد مطالعه قرار دادند. همچنین در این مطالعه تحلیل روند غیر پارامتری، تحلیل همبستگی، تحلیل رگرسیون چندگانه، تحلیل موجک و تجزیه روند برای تحلیل فضایی- زمانی ETO استفاده شد. نتایج نشان داد که روش پنمن- مانیتث در حوزه مورد مطالعه دقت کافی داشت. (Yong et al., 2022)، روند تاریخی ETO و متغیرهای هواشناسی را در شبه جزیره مالزی مطالعه کردند. آنان داده های هواشناسی روزانه را که شامل حداقل، حداکثر و متوسط دمای هوا، رطوبت نسبی، سرعت باد و تابش خورشیدی در دوره آماری ۲۰۰۰-۲۰۱۹ بود را برای برآورد ETO با مدل فائو- پنمن- مانیتث ۵۶ استفاده کردند. نتایج نشان داد که روند مثبت قابل توجه ETO در ایستگاه‌های ایپوه (۸/۰۹)، کوتاتان (۱۵/۱۰) و سوبانگ (۱۲/۷۶) مشاهده شد و هیچ روند منفی قابل توجهی از ETO نبود. از مطالعات دیگر مرتبط با روند تغییرات ETO میتوان به کارهای (Chand singh et al., 2022)در دانشگاه کشاورزی پنجاب، لودیانا هند و (Li et al., 2022)، در چارچوب بودیکو اشاره کرد.

هدف اصلی این مطالعه استفاده از روشهای ناپارامتری شامل اسپیرمن و مان- کندال، برای بررسی روند تغییرات تبخیر-تعرق پتانسیل گیاه مرجع و برخی از پارامترهای اقلیمی در ایستگاه زنجان است. در این مطالعه، مقادیر ETO با روش استاندارد فائو پنمن-مانیتث برآورد شده است.

مواد و روش‌ها

۱- منطقه مورد مطالعه : منطقه مورد مطالعه در این تحقیق شهرستان زنجان می‌باشد. زنجان در شمال‌غرب کشور و ما بین هفت استان واقع گردیده است. موقعیت جغرافیایی استان منطق بر عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۳۵ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۱۵ دقیقه شمال و طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۴۵ درجه و ۲۵ دقیقه شرقی است.
۲- داده های مورد استفاده: داده‌های مورد استفاده در این مقاله شامل میانگین حداکثر دمای هوا (T_{max})، میانگین حداقل دمای هوا (T_{min})، میانگین حداکثر رطوبت نسبی هوا (RH_{min})، سرعت باد در ارتفاع ۱۰ متری (U₁₀) و مجموع ساعات آفتابی واقعی(n) در مقیاس روزانه می‌باشد. سری‌ها دارای تعداد کمی داده‌های گمشده بودند. برای بازسازی داده‌های گمشده از میانگین سالانه هر ماه استفاده شد و داده‌ها بازسازی شدند.
۳- بررسی روند تغییرات ETO ایستگاه ها: در این مطالعه، روند تغییرات ETO ایستگاه‌ها با روش‌های مان-کندال و اسپیرمن بررسی شد.در ادامه فرمول‌های مورد استفاده برای این روش‌ها ارائه شده است.
الف) روش اسپیرمن: که در آن d_i عبارت است از اختلاف رتبه‌ی هر مشاهده در ترتیب صعودی با رتبه‌ی تاریخی آن، nتعداد مشاهدات و p آماره اسپیرمن می‌باشد. مقدار pمحاسبه شده در رابطه زیر قرار داده می‌شود تا آماره Z_{SR} به شرح زیر بدست آید:

$$\rho = 1 - \frac{6 \sum d_i^2}{n(n^2-1)} \qquad Z_{SR} = \rho \sqrt{\frac{n-2}{1-\rho^2}}$$

ب) روش مان کندال:در این روش از روابط زیر محاسبه می شود.

$$\tau = \frac{S}{n(n-1)/2} \qquad S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n sgn(X_j - X_i) \qquad Var(S) = n(n-1)(2n+5)/18$$

$$Z = \left\{ \begin{array}{ll} \frac{S-1}{\sqrt{var(S)}} & S > 0 \\ 0 & S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{var(S)}} & S < 0 \end{array} \right\}$$

4th International & 7th National Conference on Conservation of Environment & Natural Resources

Alongwith 5th National Conference on

Forests of Iran

نتایج و بحث

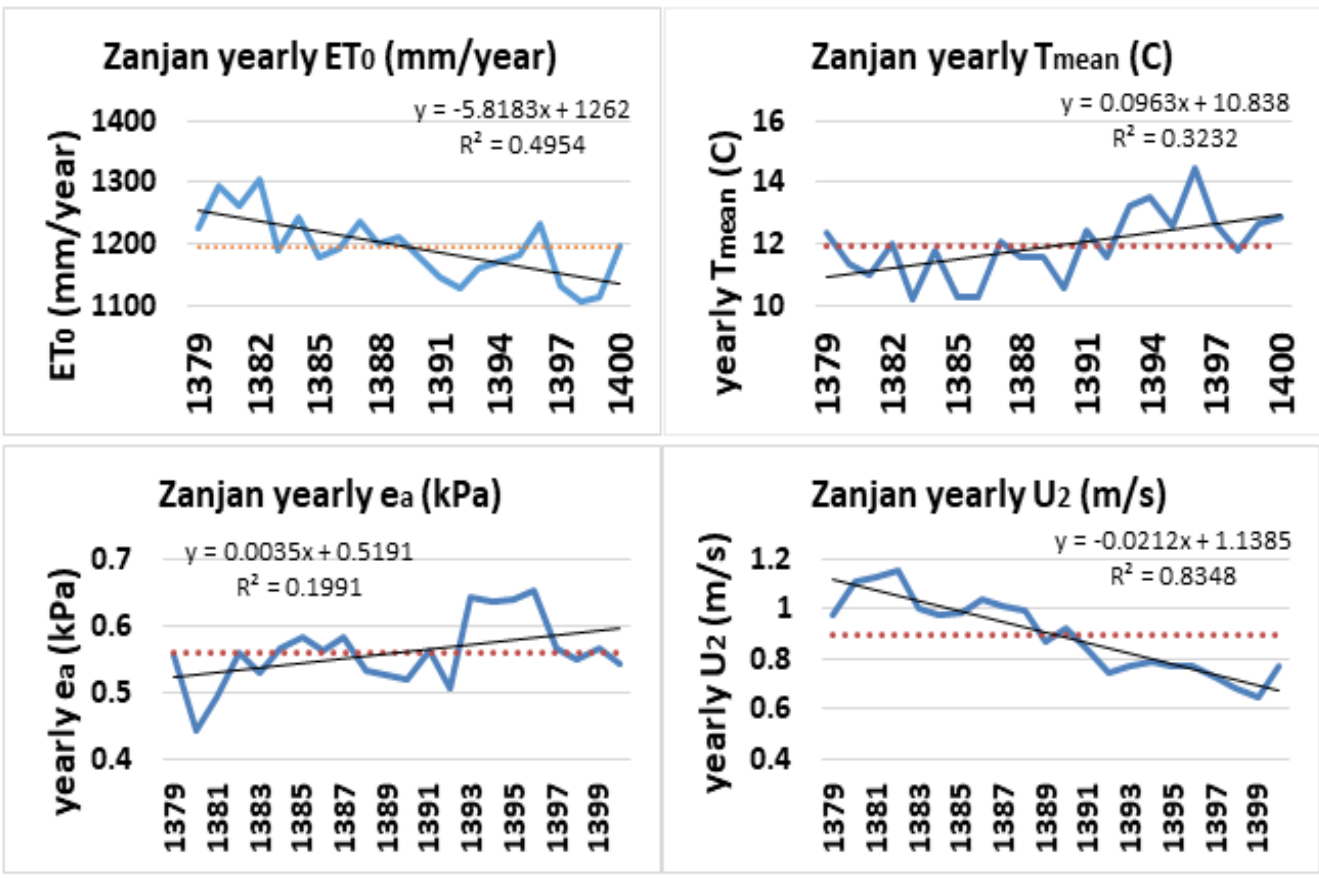
در جدول ۱ مقادیر آماره‌های مربوط به روند ETO در مقیاس سالانه با روش‌های اسپیرمن و مان-کندال برای ایستگاه زنجان ارائه شده است. بطوریکه از این جدول می‌توان استنباط کرد ETOایستگاه زنجان با هر دو روش دارای روند منفی (نزولی) معنی دار در سطح ۱۰ درصد بود. روند تغییرات سایر متغیرهای اقلیمی بشرح زیر بود.

روند تغییرات ساعات آفتابی ایستگاه زنجان با هر دو روش دارای روند منفی (نزولی) ولی غیر معنی دار بود. روند تغییرات دمای هوای سالانه با هر دو روش دارای روند مثبت (صعودی) و معنی دار در سطح ۱۰ درصد بود. روند تغییرات فشار بخار واقعی آب در طی سال با هر دو روش دارای روند مثبت (صعودی) معنی دار در سطح ۵ درصد بود. روند تغییرات سرعت باد در ارتفاع ۲ متری در طی سال با هر دو روش دارای روند منفی (نزولی) و معنی دار در سطح ۱۰ درصد بود.

جدول ۱- نتایج تحلیل روند تغییرات متغیرهای اقلیمی ایستگاه زنجان با روشهای من-کندال و اسپیرمن

متغیر مورد بررسی	کندال tau	سطح معنی داری یک	روش من-کندال			روش اسپیرمن			جهت روند
			N	نتیجه*	ضریب همبستگی اسپیرمن	N	نتیجه	نتیجه	
تبخیر و تعرق پتانسیل	۰/۴۹۸- <۰/۰۰۱	۲۲	معنی دار ۱۰ درصد	۰/۶۲۶- <۰/۰۰۱	۲۲	معنی دار ۱۰ درصد	نزولی	معنی دار ۱۰ درصد	نزولی
ساعات آفتابی	۰/۰۳۹- <۰/۰۰۱	۲۲	غیر معنی دار	۰/۰۸۱- <۰/۰۰۱	۲۲	غیر معنی دار	نزولی	غیر معنی دار	نزولی
دمای هوای سالانه	۰/۴۲۹ >۰/۰۰۳	۲۲	معنی دار ۱۰ درصد	۰/۶۳۲ >۰/۰۰۱	۲۲	معنی دار ۱۰ درصد	صعودی	معنی دار ۱۰ درصد	صعودی
فشار بخار واقعی آب	۰/۲۶۴ >۰/۰۰۳	۲۲	معنی دار ۵ درصد	۰/۳۲۴ >۰/۰۰۳	۲۲	معنی دار ۵ درصد	صعودی	معنی دار ۵ درصد	صعودی
سرعت باد در ارتفاع ۲ متری	۰/۷۰۶- <۰/۰۰۱	۲۲	معنی دار ۱۰ درصد	۰/۸۷۶- <۰/۰۰۱	۲۲	معنی دار ۱۰ درصد	نزولی	معنی دار ۱۰ درصد	نزولی

در شکل ۱ نمودار سری زمانی متغیرهای اقلیمی که روند معنی دار داشته اند نشان داده شده است.



شکل ۱- روند تغییرات پارامترهای اقلیمی ایستگاه زنجان در دوره آماری (۱۴۰۰-۱۳۷۹).

نتیجه‌گیری

تبخیر-تعرق نه تنها یکی از مهم ترین متغیرهای مرتبط با آبیاری گیاهان زراعی و باغی است بلکه از مهمترین مولفه‌های مربوط به چرخه‌ی آب در طبیعت بشمار می‌رود. در این مطالعه روند تغییرات تبخیر و تعرق پتانسیل با روش‌های اسپیرمن و مان- کندال مورد بررسی قرار گرفت. داده‌های ماهانه مربوط به شش پارامتر اقلیمی شامل میانگین حداکثر دما، میانگین حداقل دما، تعداد ساعات آفتابی واقعی، مقدار بارش ماهانه، میانگین رطوبت نسبی هوا و میانگین سرعت باد در مقیاس ماهانه در ایستگاه هواشناسی واقع در استان زنجان بررسی گردید. کنترل مصرف آب بویژه در بخش کشاورزی و حفاظت آبخوان‌ها از بهره‌برداری بی‌رویه می‌تواند در جلوگیری از فرو نشست خاک در منطقه و خطرات بالقوه آن مفید و ضروری باشد. با توجه به کاهش بارندگی در مناطق مختلف کشور و فشار بر آبخوان‌ها جهت استفاده هرچه بیشتر از آبهای زیرزمینی در منطقه بویژه از سوی کشاورزان و باغداران بنظر می‌رسد که زمان آن فرا رسیده که ملت و دولت نیازهای خود را با مقدار آب قابل تجدید حوضه‌ها (بدون چشمداشت به استفاده از منابع آب سایر حوضه ها) تامین کنند.

نتایج نشان دهنده این بود که روند ETO ایستگاه زنجان منفی (نزولی) و معنی دار در سطح ۱۰ درصد بود. روند ساعات آفتابی ایستگاه زنجان منفی (نزولی) و غیرمعنی دار بود.روند تغییرات دمای هوای سالانه این ایستگاه با هر دو روش دارای روند مثبت (صعودی) و معنی دار در سطح ۱۰ درصد بود. روند تغییرات فشار بخار واقعی آب در طی سال با هر دو روش دارای روند مثبت (صعودی) معنی دار در سطح ۵ درصد بود. روند تغییرات سرعت باد در ارتفاع ۲ متری در طی سال با هر دو روش منفی (نزولی) و معنی دار در سطح ۱۰ درصد بود.

هاشمی و میثاقی (۱۳۹۴)، روند تغییرات تبخیر و تعرق پتانسیل را در دشت زنجان (ایستگاه‌های زنجان، خرمدره و خدابنده) ارزیابی کردند. نتایج حاصل از آزمونهای روند نشان داد که روند بارندگی در سطح ۹۵ درصد در ایستگاه زنجان معنی دار بود اما در ایستگاه خرمدره و خدابنده در هیچ یک از فصول سال تغییر معنا داری نداشت. در حالی که دمای هر سه ایستگاه در فصل بهار و تابستان دارای روند افزایشی است. در مورد پارامتر تبخیر و تعرق پتانسیل، ایستگاه خرمدره بیشترین مقدار را در هر سه افق شبیهسازی شده داشت. ایستگاه خدابنده در هر سه افق، کمترین مقدار را داشت. نتایج حاصل از رگرسیون دومتغیره مابین دما و تبخیر و تعرق ایستگاه‌ها، نشان داد که قیدار در نیمه اول سال و آبربر برای نیمه دوم سال، بیشترین مقدار تبخیر و تعرق تا به ترتیب برابر با مقدار ۱۳۱۴ و ۱۲۳۱ میلی متر در سال، دارد.

دین پژوه و همکاران، که از روش مان-کندال برای تحلیل روند تغییرات ET₀ در ایران در ۱۶ ایستگاه آب و هوایی در مناطق مختلف استفاده کردند، گزارش دادند که هر دو روند افزایشی و کاهشی در سریهای ET₀ ماهانه و سالانه مشاهده شد ولی تعداد ایستگاههای با روند افزایشی در ET₀ بیشتر از تعداد نظیر روند کاهشی بود. آنان نتیجه گرفتند که سرعت باد به عنوان تأثیرگذارترین متغیر اقلیمی بر ET₀ در تمام ماهها به جز ماه‌های فصل زمستان در ایران شناخته شد (Dinpashoh et al., 2011).

از محدودیت‌های این مطالعه می‌توان به کم بودن طول دوره آماری ایستگاه‌ها و محدودیت انتخاب متغیرهای هواشناسی موثر بر تبخیر-تعرق اشاره کرد. زیرا در اغلب ایستگاه‌های هواشناسی ایران همه پارامترهای مورد نیاز یا اندازه گیری نشده‌اند یا دارای آمار کافی نیستند. مثلا میزان تشعشع آفتاب در مقیاس روزانه در دسترس محقق نیست.

از مزیت‌های این مطالعه می‌توان به درک عمیق ارتباط پارامترهای هواشناسی با تبخیر-تعرق در ایستگاه های منتخب اشاره کرد. انجام چنین مطالعه‌ای در دیگر استان‌های کشور با اقلیم‌های متفاوت توصیه می شود.

نتایج این مطالعه در مدیریت بهینه آب قابل دسترس بویژه در بخش کشاورزی مفید واقع شود.