

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

نازنین حیدری^۱ و یعقوب دین پژوه^۲

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز. رایانامه: n.hedari1998@gmail.com (شماره تماس: ۰۹۱۲۹۴۸۳۴۲۴)

۲- استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز. رایانامه: dinpashoh@yahoo.com (شماره تماس: ۰۹۱۴۴۰۳۶۱۷۶)

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 ET_0 و برخی از متغیرهای مختلف هواشناسی موثر بر تبخیر-تعرق پتانسیل گیاه مرجع (ET_0) در ایستگاه آبر با حداقل ۲۰ سال آمار منتهی به ۲۰۲۱ تحلیل شده است. در این مقاله روند تغییرات (ET_0) با دو روش ناپارامتری شامل اسپیرمن و مان-کندال در سطوح ۵ و ۱۰ درصد آزمایش شد. نتایج نشان داد که در ایستگاه آبر روند تغییرات ET_0 آبر با هر دو روش نزولی و معنی دار (در سطح ۵ درصد) بود. بررسی‌های بیشتر نشان داد که روند تغییرات ساعات آفتابی روند منفی (نزولی) و معنی دار (در سطح ۵ درصد) بود. همچنین روند تغییرات سرعت باد در ارتفاع ۲ متری، منفی (نزولی) و معنی دار در سطح ۱۰ درصد بود. روند تغییرات دمای هوای سالانه با هر دو روش دارای روند مثبت (صعودی) و معنی دار (با روش مان-کندال در سطح ۵ درصد و با روش اسپیرمن در سطح ۱۰ درصد) بود. روند تغییرات فشار بخار واقعی آب در طی سال با هر دو روش غیر معنی دار بود. یافته‌های این مطالعه در مدیریت منابع آب منطقه می‌تواند مفید واقع شود.

کلمات کلیدی: آبر، تبخیر و تعرق، روش اسپیرمن، روش مان-کندال.

۱. 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 تاثیر بسزایی در بیلان انرژی نیز دارد. مدیریت علمی منابع آب در هر منطقه مستلزم تخمین دقیق تبخیر-تعرق پتانسیل گیاه مرجع (ET_0) است. ثابت شده که روش فائو پنمن-مانتیت مقادیر ET_0 را در همه اقلیم‌ها واقعی برآورد می‌کند (Popova et al., 2006). روش مذکور بعنوان یک بنچ مارک برای مقایسه خروجی سایر مدل‌های تجربی

اولین کنفرانس ملی بهره‌وری سبز از منابع آب و انرژی استان اردبیل

تخمین ET_0 استفاده شده است (Varga-Haszonits et al., 2022; Valipour., 2015; Haghighat & Fooladmand., 2007). میرحسینی و همکاران، ۱۴۰۰ و شیرزاد و همکاران، (۱۴۰۱). امروزه با توجه به گرمایش جهانی این پدیده نیز دستخوش نوساناتی شده است. روی این اصل بررسی روند تغییرات ET_0 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 ET_0 بهره گرفته‌اند. مثلاً 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 ET_0 استفاده کردند. Dinpashoh & Babamiri., (2020)، از این روش در تحلیل روند پدیده ET_0 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 کوهولو-ناتال آفریقای جنوبی در دوره زمانی ۱۹۹۷-۲۰۱۷ مورد مطالعه قرار دادند. آنان از آزمون مان-کندال و مدل رگرسیون خطی برای تحلیل روند سالانه و فصلی ET_0 استفاده کردند. نتایج نشان داد که ET_0 در اکثر ایستگاه‌های آب و هوایی مورد مطالعه روند کاهشی دارد و پارامترهای رطوبت نسبی و تابش خورشیدی تا حد زیادی بر تغییر ET_0 تاثیر می‌گذارد. Di- Nunno et al., (2023)، تغییرات آب و هوا را در منطقه ونتو ایتالیا با تمرکز بر پارامتر تبخیر و تعرق مرجع (ET_0) 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 مان-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 ET_0 برای برخی خوشه‌ها در حال کاهش و برخی در حال افزایش بود. Aschale et al., (2023)، روند ET_0 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-مانتیت برای برآورد ET_0 و سپس از آزمون مان-کندال برای تحلیل روند استفاده کردند. Li et al., (2022)، قابلیت اطمینان ET_{TH} ، ET_{Harg} و ET_{PM} بدست آمده از تورنت وایت (TH)، هارگریوز (Harg) و پنمن مانتیت (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 ۲۰۱۸-۱۹۶۱ 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 ET_0 استفاده شد. نتایج نشان داد که روش پنمن-مانتیت در حوزه مورد مطالعه دقت کافی داشت. Yong et al., (2022)، روند تاریخی ET_0 و متغیرهای هواشناسی را در شبه جزیره مالزی مطالعه کردند. آنان داده‌های 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 ET_0 با مدل فائو-پنمن-مانتیت ۵۶ استفاده کردند. نتایج نشان داد که روند مثبت قابل توجه ET_0 در ایستگاه‌های ایپوه (۸/۰۹)، کوتانان (۱۵/۱۰) و سوبانگ (۱۲/۷۶۲۰) مشاهده شد و هیچ روند منفی قابل توجهی از ET_0 نبود. از مطالعات دیگر مرتبط با روند تغییرات ET_0 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 اسپرمن و مان-کندال، برای بررسی روند تغییرات تبخیر-تعرق پتانسیل گیاه مرجع و برخی از پارامترهای اقلیمی در ایستگاه آبر است. در این مطالعه، مقادیر ET_0 با روش استاندارد فائو پنمن-مانتیت برآورد شده است.

۲. مواد و روش‌ها

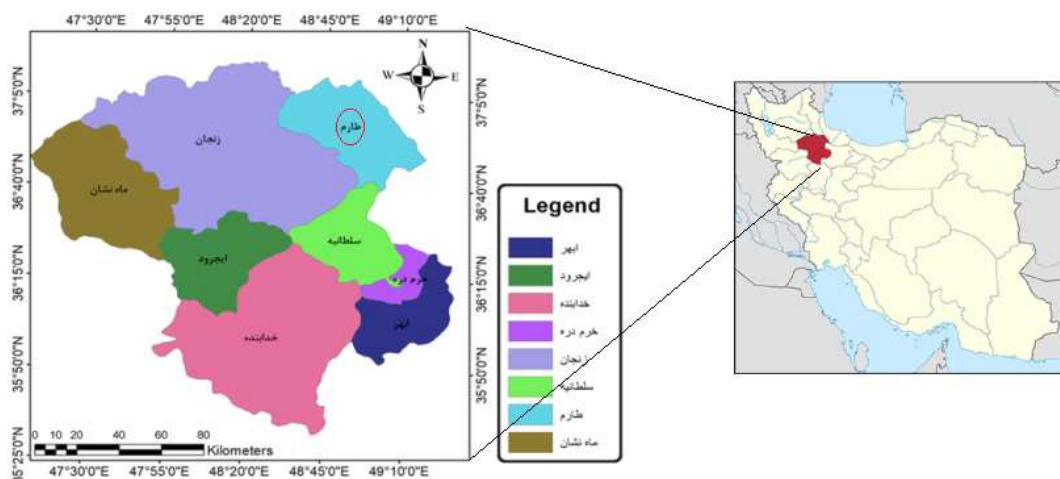
۲-۱. منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق شهرستان آبر در استان زنجان می‌باشد. زنجان در شمال غرب کشور و ما بین هفت استان واقع گردیده است و از شمال با استان اردبیل و استان گیلان، از شمال شرقی و مشرق با استان قزوین، از جنوب با استان همدان، از جنوب غربی با استان کردستان و از مغرب با استان آذربایجان غربی و همچنین از شمال غرب با استان آذربایجان شرقی همسایه است. موقعیت جغرافیایی استان منطبق 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. شهرستان زنجان دارای میانگین بارش سالانه ۳۰۰ میلی‌متر می‌باشد. ضمناً میانگین دمای سالانه زنجان ۱۱ درجه سلسیوس بوده ولی در روزهای سرد زمستان حداقل دمای روزانه بطور مطلق

اولین کنفرانس ملی بهره وری سبز از منابع آب و انرژی استان اردبیل

معدل ۲۹/۶- درجه سلسیوس درج شده است. افزون بر این بیشینه دمای ثبت شده تاریخی ۴۰ درجه سلسیوس ثبت شده است. در زنجان تعداد روزهای برفی در حدود ۱۵۰ روز و تعداد روزهای یخبندان ۱۱۵ روز در سال می باشد. همچنین متوسط سرعت باد ۳/۷ متر بر ثانیه می باشد.

ایستگاه آبر در مرکز شهرستان طارم واقع است ارتفاع آن ۷۵۰ متری بوده و میانگین بارش سالانه ۲۵۰ میلی متر است. میانگین دمای سالانه آبر ۱۷/۵ درجه سانتیگراد، حداقل دمای مطلق روزانه ۹/۵- درجه سلسیوس و بیشینه دمای ثبت شده تاریخی ۴۸ درجه سلسیوس است.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی شهرستان آبر واقع در استان زنجان به عنوان منطقه مورد مطالعه

۲-۲. داده های مورد استفاده

داده های 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 (U_{10}) و مجموع ساعات آفتابی واقعی (n) در مقیاس روزانه می باشد. داده ها از سازمان هواشناسی استان زنجان اخذ شد. سری ها دارای تعداد کمی داده های گمشده بودند. برای بازسازی داده های گمشده از میانگین سالانه هر ماه استفاده شد و داده ها بازسازی شدند. جدول ۱ ویژگی های آماری داده ها را نشان می دهد. مقادیر ET_0 در ایستگاه آبر با روش پنمن مانیت محاسبه شد.

جدول ۱- ویژگی های آماری داده های مورد استفاده در ایستگاه آبر

ایستگاه	T	SD-T	n	SD-n	ea	SD-ea	U2	SD-U2	ET0	SD-ET0	P	SD-P
	(°C)	(°C)	(hr)	(hr)	(kPa)	(kPa)	(m/s)	(m/s)	(mm/yr)	(mm/yr)	(mm)	(mm)
آبر	۱۹/۳۳	۰/۶	۳۷۰۲/۶	۱۰۳/۳	۰/۸۹	۰/۰۴	۰/۹۴	۰/۱۷	۱۳۷۰/۳	۸۰/۳	۲۴۵/۲	۷۱/۵

توجه: در این جدول T: میانگین دمای سالانه، SD-T: انحراف معیار سری دمای سالانه، n: میانگین سالانه ساعات آفتابی، ea: میانگین سالانه فشار بخار واقعی، U_2 : میانگین سالانه سرعت باد در ارتفاع ۲ متری، ET_0 : میانگین سالانه تبخیر-تعرق پتانسیل و P: بارش سالانه است.

۲-۳. بررسی روند تغییرات ET_0 ایستگاه ها

در این مطالعه، روند تغییرات ET_0 ایستگاه ها با روش های مان-کندال و اسپیرمن بررسی شد. در ادامه فرمول های مورد استفاده برای این روش ها ارائه شده است.

اولین کنفرانس ملی بهره‌وری سبز از منابع آب و انرژی استان اردبیل

الف) روش اسپیرمن:

فرمول مورد استفاده در این روش به شرح زیر بود (Shadmani et al., 2012):

$$\rho = 1 - \frac{6 \sum d_i^2}{n(n^2-1)} \quad (1)$$

که در آن d_i عبارت است از اختلاف رتبه‌ی هر مشاهده در ترتیب صعودی با رتبه‌ی تاریخی آن، n تعداد مشاهدات و ρ آماره اسپیرمن می‌باشد. مقدار ρ محاسبه شده در رابطه زیر قرار داده می‌شود تا آماره Z_{SR} به شرح زیر بدست آید:

$$Z_{SR} = \rho \sqrt{\frac{n-2}{1-\rho^2}} \quad (2)$$

مقدار قدر مطلق آماره Z_{SR} با t مستخرج از جدول t -student با درجه آزادی $n-2$ و سطح معنی داری $1 - \frac{\alpha}{2}$ مقایسه می‌شود. اگر قدر مطلق Z_{SR} بزرگتر از t باشد، روند معنی دار است در غیر این صورت معنی دار نیست.

ب) روش مان کندیال:

در این روش آماره T کندیال از رابطه زیر محاسبه می‌شود (Shadmani et al., 2012):

$$\tau = \frac{S}{n(n-1)/2} \quad (3)$$

که در آن آماره S از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(X_j - X_i) \quad (4)$$

پس از محاسبه آماره S ، مقدار آن در رابطه زیر قرار داده می‌شود:

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{var}(S)}} & S > 0 \\ 0 & S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{var}(S)}} & S < 0 \end{cases} \quad (5)$$

که در آن $\text{var}(S)$ از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$\text{Var}(S) = n(n-1)(2n+5)/18 \quad (6)$$

اگر آماره Z مثبت باشد روند صعودی است و اگر منفی باشد نزولی است. اگر قدر مطلق آماره Z بزرگتر از Z جدول نرمال در سطح معنی داری α باشد روند معنی دار است در غیر این صورت معنی دار نیست. در این مطالعه سطوح معنی داری ده درصد، پنج درصد و یک درصد در نظر گرفته شد و روند تغییرات ET_0 ایستگاه‌ها تحلیل گردید.

۴-۲. نتایج و بحث

در جدول ۲ مقادیر آماره‌های مربوط به روند ET_0 در مقیاس سالانه با روش‌های اسپیرمن و مان-کندیال برای ایستگاه آبریز ارائه شده است. بطوریکه از این جدول می‌توان استنباط کرد ET_0 ایستگاه آبریز با هر دو روش دارای روند منفی (نزولی) معنی دار در سطح ۵ درصد بود. روند تغییرات سایر متغیرهای اقلیمی بشرح زیر بود.

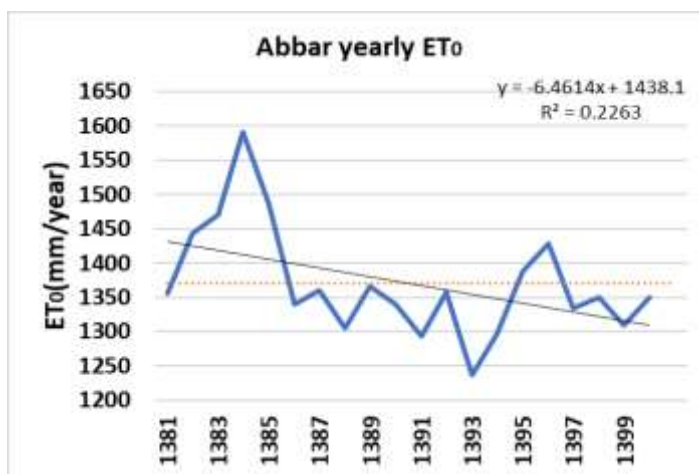
روند تغییرات ساعات آفتابی ایستگاه آبریز با هر دو روش دارای روند منفی (نزولی) و معنی دار در سطح ۵ درصد بود. روند تغییرات دمای هوای سالانه با هر دو روش دارای روند مثبت (صعودی) و معنی دار (با روش مان-کندیال در سطح ۵ درصد و با روش اسپیرمن در سطح ۱۰ درصد) بود. روند تغییرات فشار بخار واقعی آب در طی سال با هر دو روش غیر معنی دار 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.

اولین کنفرانس ملی بهره وری سبز از منابع آب و انرژی استان اردبیل

جدول ۲- نتایج تحلیل روند تغییرات متغیرهای اقلیمی ایستگاه آبر با روشهای من-کندال و اسپیرمن

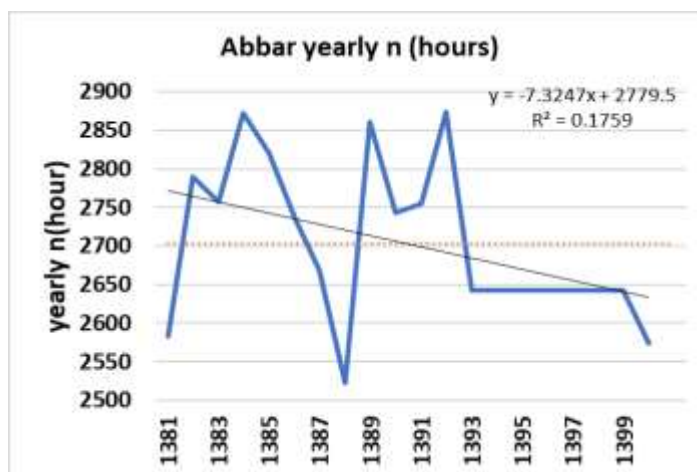
متغیر مورد بررسی	روش من-کندال				روش اسپیرمن			
	کندال tau	سطح معنی داری یک دنباله ای	N	نتیجه*	ضریب همبستگی اسپیرمن	سطح معنی داری یک دنباله ای	N	نتیجه
تبخیر و تعرق پتانسیل	-۰/۲۸۴	۰/۰۴۰	۲۰	معنی دار ۵ درصد	-۰/۴۵۳	۰/۰۲۳	۲۰	معنی دار ۵ درصد
ساعات آفتابی	-۰/۳۲۴	۰/۰۲۶	۲۰	معنی دار ۵ درصد	-۰/۴۳۷	۰/۰۲۷	۲۰	معنی دار ۵ درصد
دمای هوای سالانه	۰/۳۷۵	۰/۰۱۱	۲۰	معنی دار ۵ درصد	۰/۶۱۲	۰/۰۰۲	۲۰	معنی دار ۱۰ درصد
فشار بخار واقعی آب	-۰/۰۶۳	۰/۳۴۹	۲۰	غیر معنی دار	۰/۰۱۷	۰/۴۷۲	۲۰	غیر معنی دار
سرعت باد در ارتفاع ۲ متری	-۰/۴۱۱	۰/۰۰۶	۲۰	معنی دار ۱۰ درصد	-۰/۵۸۸	۰/۰۰۳	۲۰	معنی دار ۱۰ درصد

در شکل‌های زیر (شماره ۶-۲)، نمودارهای روند تغییرات تبخیر تعرق پتانسیل، روند تغییرات ساعات آفتابی، روند تغییرات دمای هوای سالانه، روند تغییرات فشار بخار واقعی آب و روند تغییرات سرعت باد در ارتفاع ۲ متری نشان داده شده است.

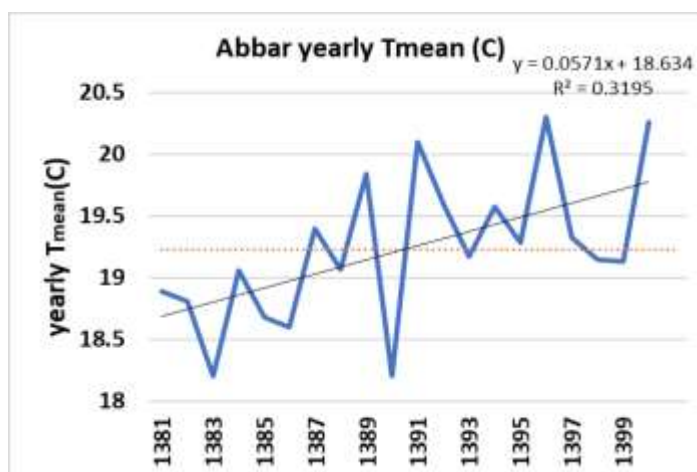


شکل ۲- روند تغییرات تبخیر تعرق پتانسیل در طی سال در ایستگاه آبر در دوره آماری (۱۴۰۰-۱۳۸۰).

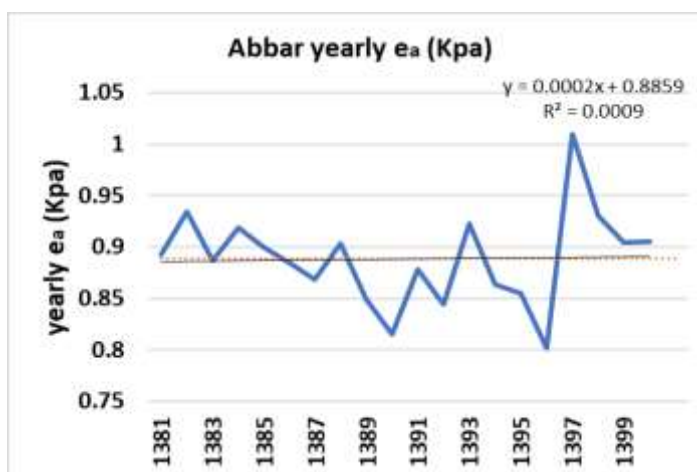
اولین کنفرانس ملی بهره وری سبز از منابع آب و انرژی استان اردبیل



شکل ۳- روند تغییرات ساعات آفتابی در طی سال در ایستگاه آبر در دوره آماری (۱۳۸۰-۱۴۰۰).

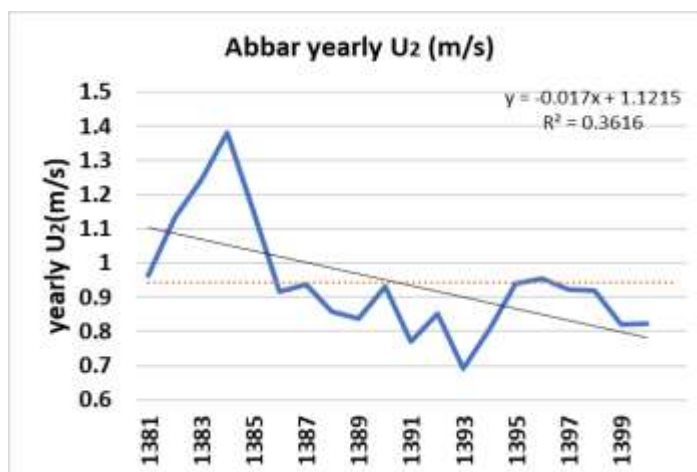


شکل ۴- روند تغییرات دمای هوا در طی سال در ایستگاه آبر در دوره آماری (۱۳۸۰-۱۴۰۰).



شکل ۵- روند تغییرات فشار بخار واقعی در طی سال در ایستگاه آبر در دوره آماری (۱۳۸۰-۱۴۰۰).

اولین کنفرانس ملی بهره‌وری سبز از منابع آب و انرژی استان اردبیل



شکل ۶- روند تغییرات سرعت باد در ارتفاع ۲ متری در طی سال در ایستگاه آبر در دوره آماری (۱۴۰۰-۱۳۸۰).

۳. نتیجه‌گیری

تبخیر-تعرق نه تنها یکی از مهم‌ترین 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 آبر واقع در استان زنجان بررسی گردید. کنترل مصرف آب بویژه در بخش کشاورزی و حفاظت آبخوان‌ها از بهره‌برداری بی‌رویه می‌تواند در جلوگیری از فرونشست 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 حوضه‌ها) تامین کنند. نتایج نشان دهنده این بود که روند ET_0 ایستگاه آبر منفی (نزولی) و معنی دار در سطح ۵ درصد بود. روند ساعات آفتابی ایستگاه آبر منفی (نزولی) و معنی دار در سطح ۵ درصد بود. روند تغییرات دمای هوای سالانه با هر دو روش دارای روند مثبت (صعودی) و معنی دار (با روش مان-کندال در سطح ۵ درصد و با روش اسپیرمن در سطح ۱۰ درصد) بود. روند تغییرات فشار بخار واقعی آب در طی سال با هر دو روش غیر معنی دار 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. 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 دو متغیره مابین دما و تبخیر و تعرق ایستگاه‌ها، نشان داد که قیدار در نیمه اول سال و آبر برای نیمه دوم سال، بیشترین مقدار تبخیر و تعرق را به ترتیب برابر با مقدار ۱۳۱۴ و ۱۲۳۱ میلی متر در سال، دارد (هاشمی و میثاقی، ۱۳۹۴). دین پژوه و همکاران، که از روش مان-کندال برای تحلیل روند تغییرات ET_0 در ایران در ۱۶ ایستگاه آب و هوایی در مناطق مختلف استفاده کردند، گزارش دادند که هر دو روند افزایشی و کاهش‌ی در سری‌های ET_0 ماهانه و سالانه مشاهده شد ولی تعداد ایستگاه‌های با روند افزایشی در ET_0 بیشتر از تعداد نظیر روند کاهش‌ی بود. آنان نتیجه گرفتند که سرعت باد به عنوان تاثیرگذارترین متغیر اقلیمی بر ET_0 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 اندازه‌گیری 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 ایستگاه‌های



اولین کنفرانس ملی بهره‌وری سبز از منابع آب و انرژی استان اردبیل

منتخب اشاره کرد. انجام چنین مطالعه‌ای در دیگر استان‌های کشور با اقلیم‌های متفاوت توصیه می‌شود. نتایج این مطالعه در مدیریت بهینه آب قابل دسترس بویژه در بخش کشاورزی مفید واقع شود.

۴. قدردانی

بدینوسیله از کارشناسان اداره کل هواشناسی استان زنجان که داده‌های موردنیاز این مطالعه را در اختیار نگارندگان قرار دادند سپاسگزاری می‌شود.

۵. مراجع

- Popova, Z., Kercheva, M. & Sepriro, L. 2006. Validation of the FAO methodology for computing ET_0 with limited data. Application to South Bulgaria. *Irrigation and Drainage*, 55: 201-215.
- Fooladmand, H. & Haghighat, M. 2007. Spatial and temporal calibration of Hargreaves equation for calculating monthly ET_0 based on Penman-Monteith method. *Irrigation and Drainage*, 56: 439-449.
- Valipour, M. 2015. Temperature analysis of reference evapotranspiration models. *Meteorological Applications*, 22: 385-394.
- Varga-Haszonits, Z., Szalka, E., & Szakál, T. 2022. Determination of reference evapotranspiration using penman-monteith method in case of missing wind speed data under Sub-humid climatic condition in Hungary. *Atmospheric and Climate Sciences*, 12(2): 235-245.
- میرحسینی، س، م، قاسمیه، ه، عبداللهی، خ. ۱۴۰۰. پیش‌بینی میزان تبخیر و تعرق پتانسیل ماهانه تحت سناریوهای RCP در دوره‌های آتی (مطالعه موردی حوضه آبخیز گلپایگان). *اکو هیدرولوژی*، ۱: ۲۲۰-۲۰۵.
- شیرزاد، م، فیضی، ه، رضایی بنفشه، م. ۱۴۰۱. شبیه‌سازی تبخیر تعرق روزانه گیاه مرجع با استفاده از روش هوش مصنوعی و مقایسه آن با روش‌های تجربی (مطالعه موردی: آذربایجان شرقی). *جغرافیا و برنامه ریزی*، ۲۶(۸۰): ۱۷۱-۱۸۳.
- Dimitriadou, S., & Nikolakopoulos, K.G. 2021. Evapotranspiration trends and interactions in light of the anthropogenic footprint and the climate crisis: A review. *Hydrology*, 8(4): 163.
- Xu, S., Yu, Z., Yang, C., Ji, X., & Zhang, K. 2018. Trends in evapotranspiration and their responses to climate change and vegetation greening over the upper reaches of the Yellow River Basin. *Agricultural and Forest Meteorology*, 263: 118-129.
- Jhajharia, D., Dinpashoh, Y., Kahya, E., Singh, V.P., & Fakheri-Fard, A. 2012. Trends in reference evapotranspiration in the humid region of northeast India. *Hydrological Process*, 26(3): 421-435.
- Jhajharia, D., Kumar, R., Dabral, P.P., Singh, V.P., Choudhary, R.R., & Dinpashoh Y. 2015. Reference evapotranspiration under changing climate over the Thar Desert in India. *Meteorological Applications*, 22(3): 425-435.
- Dinpashoh, Y., Jhajharia, D., Fakheri-Fard, A., Singh, V.P., & Kahya, E. 2011. Trends in reference crop evapotranspiration over Iran. *Journal of Hydrology*, 399(3): 422-433.
- Dinpashoh, Y., Babamiri, O. 2020. Trends in reference crop evapotranspiration in Urmia Lake basin. *Arabian Journal of Geoscience*, 13, 372.
- Ncoyini-Manciya, Z., Savage, M.J., Strydom, S., & Clulow, A.D. 2022. Long-term reference evapotranspiration trend and causative factors analysis in the sugarcane area of the midlands of KwaZulu-Natal, South Africa. *South African Journal of Plant and Soil*, 39(3): 240-212.
- Di Nunno, F., De Matteo, M., Izzo, G., & Granata, F. 2023. A combined clustering and trends analysis approach for characterizing reference evapotranspiration in Veneto. *Sustainability*, 15, 11091.
- Aschale, T.M., Peres, D.J., Gullotta, A., Sciuto, G., & Cancelliere, A. 2023. Trend analysis and identification of the meteorological factors influencing reference evapotranspiration. *Water*, 15, 470.
- Li, Y., Qin, Y., & Rong, P. 2022. Evolution of potential evapotranspiration and its sensitivity to climate change based on the Thornthwaite, Hargreaves, and Penman-Monteith equation in environmental sensitive areas of China. *Atmospheric Research*, 273, 106178.



اولین کنفرانس ملی بهره‌وری سبز از منابع آب و انرژی استان اردبیل

- Yong, S., Ng, J., Huang, Y., & Ang, C. 2022. Innovative trend analysis of reference crop evapotranspiration in Peninsular Malaysia. *Earth and Environmental Sciences*, 1022, 01220710.
- Chand Singh, M., Satpute, S., Prasad, V., & Sharma, K.K. 2022. Trend analysis of temperature, rainfall, and reference evapotranspiration for Ludhiana district of Indian Punjab using non-parametric statistical methods. *Arabian Journal of Geoscience*, 15, 275.
- Li, S., Wang, G., Zhu, C., Lu, J., Ullah, W., Tawia Hagan, D.F., Kattel, G., & Peng, J. 2022. Attribution of global evapotranspiration trends based on the Budyko framework. *Hydrology and Earth System Sciences*, 26(13): 3691-3707.
- Shadmani, M., Marofi, S., & Roknian, M. 2012. Trend analysis in reference evapotranspiration using Mann-Kendall and Spearman's Rho tests in arid regions of Iran. *Water Resources Management*, 26: 211-224.
- هاشمی، م.، و میثاقی، ف. ۱۳۹۴. ارزیابی تغییرات تبخیر-تعرق بر اثر تغییر اقلیم در منطقه دشت زنجان. کنفرانس ملی ایده‌های نوین در کشاورزی محیط زیست گردشگری.