

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

نازنین حیدری<sup>۱\*</sup> و یعقوب دین پژوه<sup>۲</sup>

\*۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، رایان‌نامه:

n.hedari1998@gmail.com

۲- استاد، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، 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  $ET_0$  و برخی از متغیرهای مختلف هواشناسی موثر بر تبخیر-تعرق پتانسیل گیاه مرجع ( $ET_0$ ) در ایستگاه زنجان 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 زنجان روند تغییرات  $ET_0$  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.

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

## ۱. مقدمه

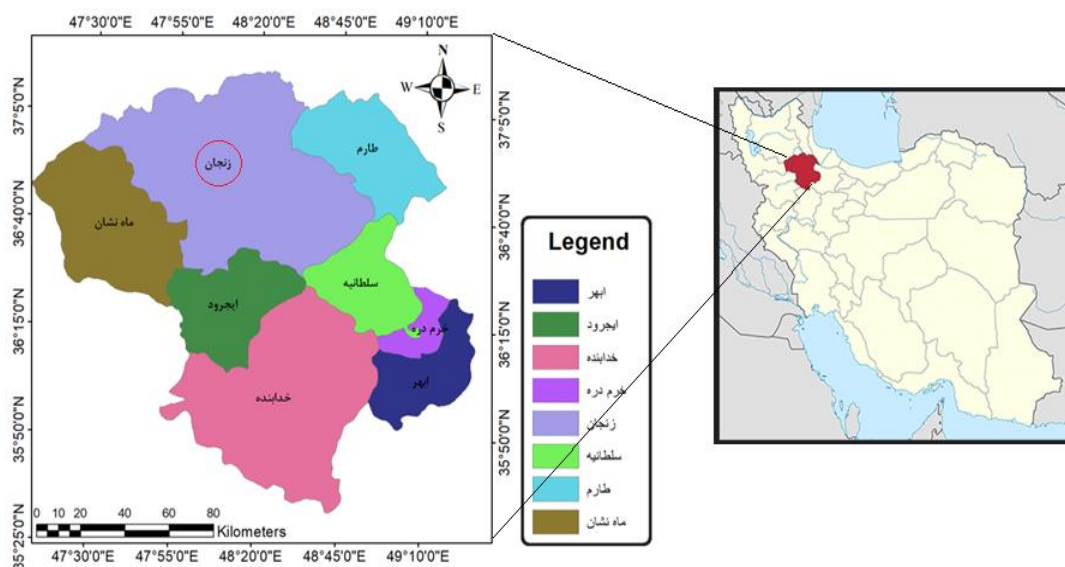
تبخیر-تعرق فرایندی است که طی آن آب از سطح مزرعه و خاک به اتمسفر منتقل می‌شود. بنابراین، شدت آن با فراهم بودن انرژی خورشیدی و آب در خاک کنترل می‌شود. این پدیده یکی از مولفه‌های اصلی سیکل هیدرولوژی است که تاثیر بسزایی در بیان انرژی نیز دارد. مدیریت علمی منابع آب در هر منطقه مستلزم تخمین دقیق تبخیر-تعرق 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 تخمین  $ET_0$  استفاده شده است (Haghighat & Fooladmand., 2007؛ Valipour., 2015؛ Varga-Haszonits et al., 2022؛ 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 من-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 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  $ET_0$  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 من-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 بودپکو 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  $ET_0$  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 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 معادل  $-29/6$  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 می‌باشد. همچنین متوسط سرعت باد  $3/7$  متر بر ثانیه می‌باشد.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی استان زنجان به عنوان منطقه مورد مطالعه

### ۲-۲. داده‌های 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 ( $U_{10}$ ) و مجموع ساعات آفتابی واقعی ( $n$ ) در مقیاس روزانه می‌باشد. داده‌ها از سازمان هواشناسی استان زنجان اخذ شد. سری‌ها دارای تعداد کمی داده‌های گمشده بودند. برای بازسازی داده‌های گمشده از میانگین سالانه هر ماه استفاده شد و داده‌ها بازسازی شدند. جدول ۱ ویژگی‌های آماری داده‌ها را نشان می‌دهد. مقادیر  $ET_0$  در ایستگاه زنجان با روش پنمن مانیتیت محاسبه شد.

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

| ایستگاه | T     | SD-T | n    | SD-n | ea    | SD-ea | U2    | SD-U2 | ET0     | SD-ET0  | P    | SD-P |
|---------|-------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|---------|---------|------|------|
|         | (□)   | (□)  | (hr) | (hr) | (kPa) | (kPa) | (m/s) | (m/s) | (mm/yr) | (mm/yr) | (mm) | (mm) |
| زنجان   | ۱۱/۹۵ | ۱/۱  | ۲۸۹۳ | ۱۰۱  | ۰/۵۶  | ۰/۰۵  | ۰/۸۹  | ۰/۱۵  | ۱۱۹۵    | ۵۴      | ۲۹۳  | ۶۹   |

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، U2: میانگین سالانه سرعت باد در ارتفاع ۲ متری، ET0: میانگین سالانه تبخیر-تعرق پتانسیل و P: بارش سالانه است.

### ۲-۳. بررسی روند تغییرات ET<sub>0</sub> ایستگاهها

در این مطالعه، روند تغییرات ET<sub>0</sub> ایستگاهها با روش های مان-کندال و اسپیرمن بررسی شد. در ادامه فرمول های مورد استفاده برای این روش ها ارائه شده است.

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<sub>i</sub> عبارت است از اختلاف رتبه ی هر مشاهده در ترتیب صعودی با رتبه ی تاریخی آن، n تعداد مشاهدات و p آماره اسپیرمن می باشد. مقدار p محاسبه شده در رابطه زیر قرار داده می شود تا آماره Z<sub>SR</sub> به شرح زیر بدست آید:

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

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

ب) روش مان کندال:

در این روش آماره τ کندال از رابطه زیر محاسبه می شود (Shadmani et al., 2012):

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

که در آن آماره S از رابطه زیر بدست می آید:

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

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

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

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 قدرمطلق آماره  $Z$  بزرگتر از  $Z$  جدول نرمال در سطح معنی داری آلفا باشد روند معنی دار است در غیر اینصورت 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-کندال برای ایستگاه زنجان ارائه شده است. بطوریکه از این جدول می‌توان استنباط کرد  $ET_0$  ایستگاه زنجان با هر دو روش دارای روند منفی (نزولی) معنی دار در سطح ۱۰ درصد بود. روند تغییرات سایر متغیرهای اقلیمی بشرح زیر بود.

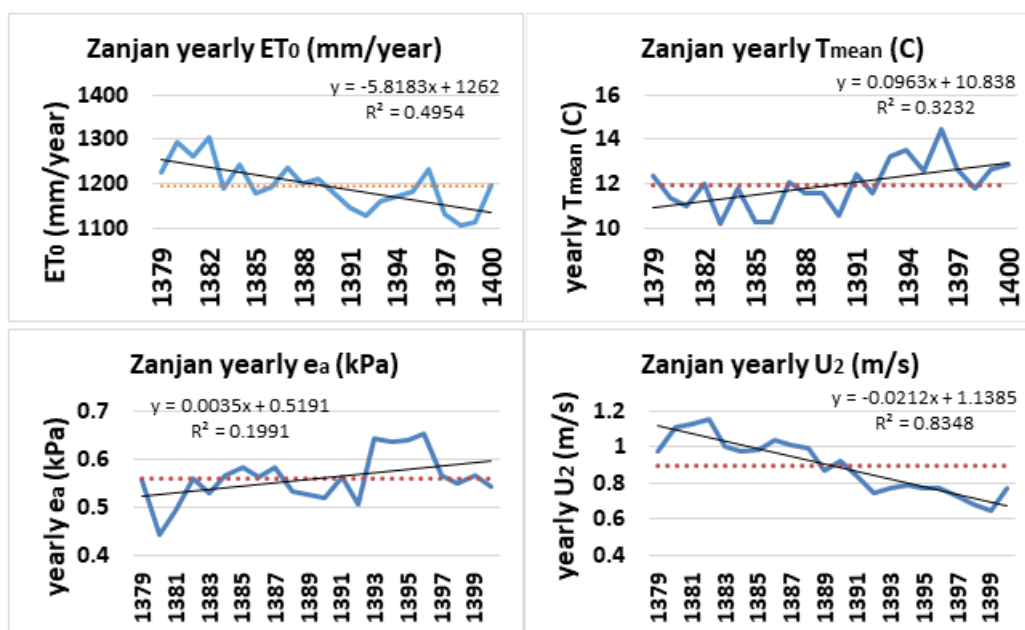
روند تغییرات ساعات آفتابی ایستگاه زنجان با هر دو روش دارای روند منفی (نزولی) ولی غیر معنی دار بود. روند تغییرات دمای هوای سالانه با هر دو روش دارای روند مثبت (صعودی) و معنی دار در سطح ۱۰ درصد بود. روند تغییرات فشار بخار واقعی آب در طی سال با هر دو روش دارای روند مثبت (صعودی) معنی دار در سطح ۵ درصد بود. 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 ۲- نتایج تحلیل روند تغییرات متغیرهای اقلیمی ایستگاه زنجان با روشهای من-کندال و اسپیرمن

| جهت<br>روند | روش اسپیرمن         |    |                                  |                            | روش من-کندال        |    |                                  |              | متغیر مورد<br>بررسی     |
|-------------|---------------------|----|----------------------------------|----------------------------|---------------------|----|----------------------------------|--------------|-------------------------|
|             | نتیجه               | N  | سطح معنی<br>داری یک دنباله<br>ای | ضریب<br>همبستگی<br>اسپیرمن | نتیجه*              | N  | سطح معنی<br>داری یک دنباله<br>ای | کندال<br>tau |                         |
| نزولی       | معنی دار<br>۱۰ درصد | ۲۲ | <۰/۰۰۱                           | -۰/۶۷۶                     | معنی دار<br>۱۰ درصد | ۲۲ | <۰/۰۰۱                           | -۰/۴۹۸       | تبخیر و تعرق<br>پتانسیل |
| نزولی       | غیر معنی<br>دار     | ۲۲ | ۰/۳۶۰                            | -۰/۰۸۱                     | غیر معنی<br>دار     | ۲۲ | ۰/۴۰۰                            | -۰/۰۳۹       | ساعات آفتابی            |
| صعودی       | معنی دار<br>۱۰ درصد | ۲۲ | <۰/۰۰۱                           | ۰/۶۳۲                      | معنی دار<br>۱۰ درصد | ۲۲ | ۰/۰۰۳                            | ۰/۴۲۹        | دمای هوای<br>سالانه     |

|                              |        |        |    |                  |    |        |        |    |                  |    |       |
|------------------------------|--------|--------|----|------------------|----|--------|--------|----|------------------|----|-------|
| فشار بخار<br>واقعی آب        | ۰/۲۶۴  | ۰/۰۴۳  | ۲۲ | معنی دار<br>درصد | ۵  | ۰/۳۷۴  | ۰/۰۴۳  | ۲۲ | معنی دار<br>درصد | ۵  | صعودی |
| سرعت باد در<br>ارتفاع ۲ متری | -۰/۷۰۶ | <۰/۰۰۱ | ۲۲ | معنی دار<br>درصد | ۱۰ | -۰/۸۷۶ | <۰/۰۰۱ | ۲۲ | معنی دار<br>درصد | ۱۰ | نزولی |

در شکل ۲ نمودار سری زمانی متغیرهای اقلیمی که روند معنی دار داشته اند نشان داده شده است.



شکل ۲- روند تغییرات پارامترهای اقلیمی ایستگاه زنجان در دوره آماری (۱۳۷۹-۱۴۰۰).

### ۳. نتیجه گیری

تبخیر-تعرق نه تنها یکی از مهم ترین متغیرهای مرتبط با آبیاری گیاهان زراعی و باغی است بلکه از مهمترین مولفه های مربوط به چرخه ی آب در طبیعت بشمار می رود. در این مطالعه روند تغییرات تبخیر و تعرق پتانسیل با روش های اسپیرمن و مان-کندال مورد بررسی قرار گرفت. داده های 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 آبخوان ها از بهره برداری بی رویه می تواند 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 آبخوان ها جهت استفاده هرچه بیشتر از آب های زیرزمینی در منطقه بویژه از سوی کشاورزان و باغداران بنظر می رسد که زمان آن فرا رسیده که ملت و دولت نیازهای خود را با مقدار آب قابل تجدید حوضه ها (بدون چشمداشت به استفاده از منابع آب سایر حوضه ها) تامین کنند. نتایج نشان دهنده این بود که روند  $ET_0$  ایستگاه زنجان منفی (نزولی) و معنی دار در سطح ۱۰ درصد بود. روند ساعات آفتابی ایستگاه زنجان منفی (نزولی) و غیر معنی 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 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 اندازه گیری نشده‌اند یا دارای آمار کافی نیستند. مثلاً 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 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.

### تشکر و قدردانی

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

### مراجع

- شیرزاد، م.، فیضی، ه.، رضایی بنفشه، م. ۱۴۰۱. شبیه سازی 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): ۱۸۳-۱۷۱.
- 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.
- 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.

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.

- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- Dinpashoh, Y., Babamiri, O. 2020. Trends in reference crop evapotranspiration in Urmia Lake basin. *Arabian Journal of Geoscience*, 13, 372.
- Dinpashoh, Y., Jhajharia, D., Fakheri-Fard, A., Singh, VP., & Kahya, E. 2011. Trends in reference crop evapotranspiration over Iran. *Journal of Hydrology*, 399(3):422-433.
- 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, PP., Singh, VP, Choudhary, RR., & Dinpashoh Y. 2015. Reference evapotranspiration under changing climate over the Thar Desert in India. *Meteorological Applications*, 22(3): 425-435.
- 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.
- Ncoyini-Manciya, Z., Savage, M.J., Strydom, S., & Clulow, A.D. 2022. Long-term reference evapotranspiration trend and causative factors analysis in the sugarbelt 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, 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.
- 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.
- 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.
- 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.

## Trends in Potential Evapotranspiration Using the Spearman and Mann-Kendall methods (Case study: Station Zanjan)

Nazanin Heidari<sup>1\*</sup>, Yagob Dinpashoh<sup>2</sup>

1- MSc Student of Water Resources Management, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz

2- Professor, Water Engineering Department, University of Tabriz

### Abstract

Investigation of hydrological variables fluctuation is crucial in any region from the view of scientific water resources management. In this study, trends in  $ET_0$  and some of meteorological variables that affect  $ET_0$  in Zanjan with at least 20 years data ended to 2021 were analyzed. In this paper trends in  $ET_0$  tested using the two non-parametric methods namely Spearman and Mann-Kendall methods in two significant levels which are five and ten percentages. Results indicated that trends in  $ET_0$  at Zanjan station was downward and significant at 10 percent level using both methods. Moreover, trends in wind speed at 2 meter above the ground level was negative and significant at 10 percent level. Trends in annual air temperature and actual vapor pressure were upward and significant at five and ten percent levels using the both models. The findings of this study are helpful in water resources management.

**Keywords:** Zanjan, Evapotranspiration, Spearman method, Mann- Kendall method.