

Technical Note

Trends Analysis of Reference Evapotranspiration in the Synoptic Sites of Kurdistan Province Using Spearman's Test

F. Asadzadeh^{1*}, M. Kaki² and S. Shakiba³

Abstract

In this paper the Penman-Monteith reference evapotranspiration (FAO56) as well as the meteorological parameters such as wind speed, sunshine duration, humidity, and the maximum and minimum temperature trends at monthly, seasonal, and annual time scales were analyzed using Spearman's nonparametric test for four synoptic sites in Kurdistan province in Iran. For each time series, trend lines were extracted using Sen's estimator. Also the sensitivity analysis of meteorological parameters was performed using step by step multiple linear regression method. Results indicated a significant increasing trend for reference evapotranspiration in Sanandaj station. The slope of trend lines for Sanandaj, Zarinhe and Bijar stations were positive on the monthly, seasonal, and annual time scales. In these three stations significant increasing trends were also observed for both winter and summer seasons. Trend analysis of the maximum temperature of Bijar and Sanandaj stations revealed an increasing trend for warm season. Sunshine duration and maximum temperature were found to be the most dominant variables influencing reference evapotranspiration in Kurdistan province.

Keywords: Meteorological Parameters, Evaporation, Sen's estimator, Kurdistan.

Received: April 19, 2016

Accepted: June 21, 2016

یادداشت فنی

بررسی و تحلیل روند تبخیر و تعرق گیاه مرجع با استفاده از آزمون اسپیرمن در ایستگاه‌های سینوپتیک استان کردستان

فرخ اسدزاده^{۱*}، مه‌ری کاکای^۲ و سینا شکیبای^۳

چکیده

در این پژوهش روند تبخیر و تعرق گیاه مرجع به روش پنمن مانیت (FAO56) و پارامترهای هواشناسی مانند سرعت باد، ساعات آفتابی، رطوبت نسبی، حداکثر درجه حرارت و حداقل درجه حرارت برای ۴ ایستگاه سینوپتیک استان کردستان در سری‌های زمانی ماهانه، فصلی و سالانه با استفاده از آزمون ناپارامتری اسپیرمن مورد بررسی قرار گرفت. برای تعیین شیب روند، از آزمون تخمین‌گر سن استفاده شد. همچنین در این پژوهش تحلیل حساسیت ET_0 به پارامترهای هواشناسی به کمک روش رگرسیون چندگانه خطی گام به گام سنجیده شد. نتایج نشان داد که روند سالانه تبخیر و تعرق برای ایستگاه سنندج افزایشی و معنی‌دار بود. شیب خط روند برای سه ایستگاه سنندج، زرینه و بیجار در همه سری‌های زمانی ماهانه، فصلی و سالانه مثبت بود. علاوه بر این، برای سه ایستگاه مذکور در سری فصلی زمستان و تابستان روند افزایشی معنی‌دار مشاهده شد. در شش ماهه گرم سال، افزایش روند از نظر آماری در سطح ۵ درصد برای متغیر حداکثر درجه حرارت در ایستگاه‌های سنندج و بیجار معنی‌دار بود. نتایج تحلیل حساسیت نشان داد که در ماه‌های گرم سال متغیرهای ساعات آفتابی و حداکثر درجه حرارت مهم‌ترین پارامترهای مؤثر بر تبخیر-تعرق گیاه مرجع هستند.

کلمات کلیدی: پارامترهای هواشناسی، تبخیر، تخمین‌گر سن، کردستان.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۵/۱/۳۱

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۵/۴/۱

1-Assistant Professor, Department of Soil Science, Urmia University, Iran, Email: f.asadzadeh@urmia.ac.ir

2-M.Sc. Alumni, Department of Water Engineering, University of Tabriz, Iran.

3-M.Sc. Alumni, Department of Geology, Urmia University, Iran

*- Corresponding Author

۱- استادیار گروه علوم خاک دانشگاه ارومیه

۲- کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، دانشگاه تبریز

۳- کارشناسی ارشد زمین‌شناسی زیست محیطی، دانشگاه ارومیه

*- نویسنده مسئول

بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان تابستان ۱۳۹۶ امکانپذیر است.

۱- مقدمه

میانگین درجه حرارت کره زمین در طول قرن بیستم در حدود ۰/۶ درجه‌ی سانتیگراد افزایش یافته است. افزایش دمای کره‌ی زمین سبب افزایش تبخیر و تعرق شده و اتمسفر را قادر می‌سازد تا مقادیر بیشتری از بخار آب را جا به جا نماید. به عبارت دیگر افزایش دما سبب می‌گردد تا اجزاء چرخه‌ی هیدرولوژیکی تغییر نموده و در نتیجه توزیع منابع آب دنیا در مقیاس زمانی و مکانی دگرگون شود. در این میان کشور ما به دلیل واقع شدن در محدوده‌ی عرض‌های جغرافیایی میانی؛ دارای اقلیمی خشک و نیمه‌خشک است بوده و نزدیک به ۷۵ درصد از نزولات جوی در کشور مستقیماً از طریق تبخیر هدر می‌رود (Alizadeh, 2011). مجموعه‌ی عواملی مانند افزایش درجه حرارت و تبخیر زیاد منجر به افزایش خطر بیابان‌زایی در مناطق خشک و نیمه خشک دنیا مانند کشور ما شده است مهم‌ترین اجزاء چرخه‌ی هیدرولوژیکی است به گونه‌ای که مقدار تبخیر و تعرق به عنوان شناسه‌ی نیاز آبی گیاهان محسوب شده و تعیین دقیق آن می‌تواند سبب ارتقاء کیفیت برنامه‌ریزی‌های مربوط به مدیریت منابع آب و خاک شود (Burn and Hesch, 2009; Jhajharia et al., 2007). براساس مطالب ذکر شده بررسی روند تغییرات زمانی تبخیر و تعرق و متغیرهای هواشناسی مؤثر بر آن، می‌تواند در درک بهتر و پیش‌بینی الگوی زمانی این متغیرها مفید باشد.

اسپیرومن در ۱۱ ایستگاه از مناطق خشک ایران نموده و نشان دادند که هر دو آزمون در بیشتر موارد دارای عملکرد یکسانی هستند. این پژوهشگران از روش TFPW^۱ برای ارزیابی بهتر روند همبستگی داده‌ها استفاده کردند. (Abteu et al., 2011) روند تغییرات تبخیر از تشت را در ۹ ایستگاه هواشناسی فلوریاداری جنوبی برای دوره آماری ۲۰۰۹-۱۹۹۲ بررسی کرده و گزارش نمودند که تبخیر از تشت در نتیجه‌ی کاهش رطوبت و افزایش کمبود فشار بخار، روند افزایشی داشته است. (Gocic and Trajkovic, 2014) داده‌های تبخیر-تعرق را به روش‌های پنمن-مانتیت و هارگریوز در ۱۲ ایستگاه هواشناسی در صربستان بدست آورده و روند داده‌ها را در سری‌های زمانی ماهانه، فصلی و سالانه با استفاده از سه روش مان-کندال، اسپیرمن و رگرسیون خطی مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها حاکی از آن بود که روند تغییرات تبخیر-تعرق به دست آمده در دو روش پنمن مانیتیت و هارگریوز تقریباً مشابه بوده و در مقیاس زمانی فصلی برای اکثر ایستگاه‌ها روند افزایشی قابل توجهی در تابستان رخ داده است. با توجه به اهمیت تعیین روند تبخیر و تعرق در برنامه‌ریزی‌های مربوط به حفاظت منابع آب و خاک، هدف از این مطالعه بررسی روند سری زمانی در مقیاس‌های زمانی ماهانه و سالانه تبخیر-تعرق گیاه مرجع در ایستگاه‌های سینوپتیک استان کردستان با استفاده از آزمون اسپیرمن می‌باشد.

۲- روش تحقیق

در این تحقیق ۴ ایستگاه سینوپتیک استان کردستان مورد بررسی قرار گرفت. استان کردستان با وسعتی معادل ۲۸۲۰۳ کیلومترمربع در غرب ایران و در مجاورت کشور عراق قرار دارد. این استان که در دامنه‌ها و دشت‌های پراکنده زاگرس میانی قرار گرفته است، از شمال به استان‌های آذربایجان غربی و زنجان، از شرق به همدان و زنجان، از جنوب به استان کرمانشاه و از غرب به کشور عراق محدود است. با توجه به طولانی بودن دوره‌ی آماری داده‌های در دسترس، ۴ ایستگاه سنندج، سقز، زرینه و بیجار در استان کردستان انتخاب شدند. جزئیات مربوط به اطلاعات این ایستگاه‌ها در جدول ۱ ارائه شده است.

در این تحقیق به منظور برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع از روش استاندارد پنمن مانیتیت فائو ۵۶ (معادله‌ی ۱) استفاده شد (Allen et al., 1998). در این رابطه، R_n مقدار تابش خالص ($MJm^{-2}day^{-1}$)، T متوسط دمای هوا ($^{\circ}C$)، U_2 سرعت باد در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین (ms^{-1})، Δ شیب منحنی فشار بخار ($kPa^{\circ}C^{-1}$)، G چگالی شار حرارتی خاک و γ ضریب سایکرومتری

روند تغییرات زمانی متغیرهای هواشناسی را می‌توان با استفاده از روش‌های مان-کندال مرسوم، مان-کندال مرتبه دو، رگرسیون خطی و اسپیرمن مورد بررسی قرار داد. (Burn and Hesch, 2007) روند تغییرات ET_0 را در ۴۸ منطقه از مراتع کانادا را بررسی و گزارش نمودند که روند تغییرات برای ماه‌های گرم سال به صورت افزایشی بوده و در دوره‌های زمانی طولانی مدت، روند تغییرات تبخیر در ماه آوریل افزایشی است. این پژوهشگران سرعت باد را به عنوان مهم‌ترین فاکتور در ایجاد روند کاهشی و کمبود فشار بخار را به عنوان مهم‌ترین عامل در ایجاد روند افزایشی معرفی نموده‌اند. (Jhajharia et al., 2009) روند تغییرات ET_{pan} را در مناطق مرطوب هندوستان بررسی کرده و وجود روند کاهشی را در ماه‌های پر باران گزارش نمودند. این پژوهشگران سرعت باد و تعداد ساعات آفتابی را به عنوان مهم‌ترین فاکتورهای مؤثر در تبخیر از تشتک معرفی نموده‌اند. (Shadmani et al., 2011) اقدام به تجزیه و تحلیل روند تبخیر-تعرق مرجع با استفاده از آزمون‌های مان-کندال و

شیب روند دارند که مزیت و برتری اصلی آن نسبت به روش رگرسیون خطی می‌باشد (Sen, 1968). در این روش شاخص β (معادله ۴) محاسبه می‌شود که مقادیر مثبت β_{gk} نشان دهنده روند افزایشی و مقادیر منفی آن نشان دهنده روند کاهشی در داده‌ها می‌باشند.

$$\beta_{gk} = \text{Median} \left[\frac{X_{igk} - X_{jgk}}{i - j} \right], \quad \forall 1 \leq i < j \leq n \quad (4)$$

در این رابطه β_{gk} تخمین‌گر شیب خط روند برای ایستگاه k ام در ماه g ام می‌باشد. برای تعیین مهم‌ترین عوامل هواشناسی مؤثر بر روی ET_0 ماهانه ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه از روش رگرسیون چندگانه خطی گام به گام استفاده و برای انجام این روش از نرم‌افزار SPSS استفاده گردید.

نتایج و تحلیل نتایج

نتایج آزمون اسپیرمن برای تعیین روند تبخیر-تعرق گیاه مرجع برای سری زمانی ماهانه در جدول ۲ ارائه شده است. آزمون روند، افزایش معنی‌داری در ایستگاه سنندج برای همه سری‌های ماهانه نشان می‌دهد. بیشترین روند افزایشی در این ایستگاه مربوط به ماه‌های مارس و سپتامبر و به ترتیب برابر $5/32$ و $5/82$ میلی‌متر بوده است. برای ایستگاه سقز در ماه‌های مارس و دسامبر روند افزایشی معنی‌دار و در ماه‌های مه، ژوئن، ژوئیه، اوت و سپتامبر روند کاهشی رخ داده است. در ایستگاه زرینه، ET_0 ماهانه برای ماه‌های مارس و ژوئن در طول دوره آماری دارای روند افزایشی معنی‌دار بود. ایستگاه بیجار در سه ماه سرد (ژانویه، فوریه و مارس) روند افزایشی معنی‌دار را تجربه کرد.

شیب روند ماهانه ET_0 در جدول ۳ ارائه شده است. بررسی شیب روند (در مقیاس ماهانه) نشان داد که روند مشاهده شده در ایستگاه سنندج در مقایسه با سه ایستگاه دیگر سریع‌تر است. حداکثر مقدار افزایش ($7/13$ میلی‌متر در روز به ازای ده سال) در داده‌های ماهانه ET_0 در سنندج (ماه ژوئیه) مشاهده شد.

همچنین $e_a - e_d$ کمبود فشار بخار (kPa) است که تابعی از متوسط رطوبت نسبی و متوسط دمای هوا می‌باشد. در این پژوهش تغییرات تبخیر و تعرق مرجع برای هر ماه و هر سال به طور جداگانه محاسبه و تعیین گردید.

$$ET_0 = \frac{0.48\Delta(R_n - G) + \gamma[900/(T + 273)]U_2(e_a - e_d)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)} \quad (1)$$

به منظور تعیین روند تغییرات در هر سری زمانی از آزمون اسپیرمن استفاده شد. آزمون اسپیرمن آزمونی غیرپارامتری است که در آن فرض صفر (H_0)، یکنواختی توزیع و مستقل بودن داده‌ها در سری زمانی و فرض مقابل (H_1)، روند افزایشی یا کاهشی داده‌ها در سری زمانی است. برای انجام این آزمون ابتدا داده‌ها به ترتیب صعودی مرتب و از ۱ تا n رتبه‌بندی می‌شوند. سپس داده‌ها به شکل تاریخی در نظر گرفته شده و رتبه‌های هر کدام در مقابل آنها درج شد. این رتبه‌ها با $R(X_i)$ نشان داده می‌شوند. سپس آماره D برای مجموعه داده‌ها از رابطه ۲ بدست آمده و پس از محاسبه‌ی آن، آماره آزمون اسپیرمن (Z_S) نیز از رابطه‌ی ۳ محاسبه می‌گردد (Yue et al., 2002).

$$D = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n (R(X_i) - i)^2}{n(n^2 - 1)} \quad (2)$$

$$Z_S = D \sqrt{n - 2/1 - D^2} \quad (3)$$

در این پژوهش مقدار به منظور تشخیص معنی‌داری روند داده‌ها، آماره‌ی (Z_S) محاسبه شده از رابطه‌ی ۳ با آماره‌ی t-student جدول آماری (با درجه‌ی آزادی $n-2$) در سطح اطمینان ۹۵ درصد مورد مقایسه قرار گرفت. روند تغییرات متغیرهای اصلی مؤثر بر تبخیر و تعرق گیاه مرجع شامل رطوبت نسبی، سرعت باد، ساعات آفتابی، حداقل درجه حرارت ماهانه و حداکثر درجه حرارت ماهانه نیز با استفاده از آزمون اسپیرمن در مقیاس ماهانه و سالانه نیز بررسی شد.

شیب خط روند (تخمین گر Sen)

این روش برای تعیین مقدار شیب روند مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این روش مقادیر پرت موجود در سری داده‌ها، اثر کمی در تعیین

Table 1. Characteristics of the selected stations
جدول ۱- مشخصات مربوط به ایستگاه‌های انتخاب شده

Station	Longitude	Latitude	Altitude(m)	Period
Sanandaj	'47°00	'35°20	1373.4	1982-2011
Saqez	'46°16	'36°15	1522.5	1982-2011
Zarineh	'46°55	'36°04	2142.8	1989-2011
Bijar	'47°37	'35°53	1883.4	1987-2011

Table 2. Results of the Spearman test for reference plant evapotranspiration

جدول ۲- نتایج آماره اسپیرمن بر روی تبخیر و تعرق گیاه مرجع

Station	Des	Nov	Oct	Sep	Aug	July	Jun	May	Apr	Mar	Feb	Jan
Sanandaj	3.78 *	3.92 *	3.12 *	5.82 *	4.87 *	4.55 *	3.85 *	3.49 *	1.13 *	5.32 *	2.23 *	0.83
Saqez	2.47 *	0.12	1.43	-1.14	-0.09	0.78	-1.77	-0.38	-1.66	3.8 *	1.76	0.01
Zarneh	1.64	-0.51	0.82	1	0.38	-0.15	2.39 *	0.49	0.35	2.33 *	2.04	1.32
Bijar	1.28	0.11	1.83	1.03	1.92	0.55	1.88	0.74	0.58	2.18 *	2.93 *	2.46*

* Significant at 0.05 level

* معنی‌داری روند آماری در سطح ۵ درصد

Table 3. Results of the Sen's estimator for reference plant evapotranspiration

جدول ۳- نتایج ماهانه شیب تخمین گر سن بر روی تبخیر و تعرق گیاه مرجع

Station	Des	Nov	Oct	Sep	Aug	July	Jun	May	Apr	Mar	Feb	Jan
Sanandaj	0.233	0.345	0.366	0.699	0.652	0.713	0.638	0.537	0.315	0.396	0.146	0.06
Saqez	0.18	0.01	0.13	-0.14	-0.01	0.13	-0.24	-0.09	-0.13	0.29	0.14	-0.02
Zarneh	0.195	0.035	0.151	0.182	0.05	0.051	0.583	0.034	0.01	0.363	0.091	0.087
Bijar	0.07	0.06	0.18	0.09	0.39	0.01	0.36	0.04	0.13	0.4	0.33	0.22

نشان دهنده‌ی عدم تأثیر ساعات آفتابی در روند تغییرات تبخیر و تعرق گیاه مرجع برای ایستگاه زرینه بود. ۸۰ درصد از سری‌های زمانی ایستگاه بیجار روند افزایشی را برای متغیرهای حداکثر درجه حرارت، حداقل درجه حرارت و ساعات آفتابی در مقیاس ماهانه و سالانه را نشان دادند. (Dinpashoh et al. (2011) مهم‌ترین متغیرهای مؤثر بر تبخیر و تعرق در ایستگاه همدان را سرعت باد و حداکثر درجه حرارت به ترتیب با افزایش شیب ۰/۸۱ و ۰/۳۴ میلی‌متر در هر دهه در ماه ژوئیه بیان کردند. به طور کلی روند سالانه تغییرات برای متغیرهای حداقل درجه حرارت ماهانه، حداکثر درجه حرارت ماهانه و ساعات آفتابی در هر چهار ایستگاه افزایشی معنی‌دار بود.

جداول ۴ تا ۷ روند تغییرات شاخص‌های هواشناسی را با استفاده از آزمون اسپیرمن در مقیاس ماهانه و جدول ۸ نیز این روند را در مقیاس سالانه نشان می‌دهد. ساعات آفتابی در ایستگاه سنندج در مقیاس ماهانه دارای روند افزایشی بود و تنها در دو ماه مارس و ژوئن دارای روند کاهشی بود. روند کاهشی برای ماه مارس معنی‌دار و روند افزایشی نیز برای ماه‌های دسامبر، فوریه، سپتامبر، اکتبر و نوامبر معنی‌دار بود. در مقیاس سالانه نیز ساعات آفتابی برای ایستگاه‌های سنندج، سقز و بیجار روند افزایشی معنی‌دار اما برای ایستگاه زرینه این روند کاهشی بود. ساعات آفتابی براساس تحلیل رگرسیون، دارای بیشترین تأثیر بر میزان تبخیر و تعرق مرجع در ایستگاه سنندج بود. ساعات آفتابی برای مقیاس سالانه و ماهانه برای ایستگاه زرینه روند کاهشی را نشان داد. نتایج تحلیل رگرسیون نیز

Table 4. The results of relative humidity, wind speed and sunshine hours using the Spearman test for the cold months

جدول ۴- نتایج روند رطوبت نسبی، سرعت باد و ساعات آفتابی با استفاده از آزمون اسپیرمن برای ماه‌های سرد

Station	May			April			March			February			January			December		
	S	W	R	S	W	R	S	W	R	S	W	R	S	W	R	S	W	R
Sanandaj	a	d	d	a	d*	a	d*	d	a	a*	d	d	a	a	a	a*	a	d
Saqez	a	a	a	a	a*	a	a*	a*	d*	a*	a*	a	d	d*	a	a*	a*	d
Zarneh	d*	d	a	d*	a	a	d*	a	d	d*	a	a	d*	a	a	d*	a	d
Bijar	d	d	a	a	d	a	a	a*	d*	a	a	d	a	a	d	a	d	d

a و d به ترتیب نشان دهنده‌ی روند افزایشی (ascending) و کاهشی (descending): * معنی‌داری روند در سطح ۵ درصد؛ S و W به ترتیب رطوبت نسبی، سرعت باد و ساعات آفتابی

a and d shows the ascending and descending trends, respectively; * Significant at 0.05 level; R, S, and W are relative humidity, wind speed, and sunshine hours

Table 5. Results of Min. and Max. monthly temperature using the Spearman test for the cold months

جدول ۵- نتایج روند حداقل و حداکثر دمای ماهانه با استفاده از آزمون اسپیرمن برای ماه‌های سرد

Station	May		April		March		February		January		Desamber	
	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin
Sanandaj	a*	a	a	a*	a*	a*	a*	a*	a*	a*	a	a*
Saqez	a	a	a*	d	a*	a	a*	d	a*	d	a*	a
Zarneh	d	a	a	d	d	a	a	a	d	a	d	a
Bijar	a	a*	a	a*	a*	a*	a*	a*	a	a	a	a

a and d shows the ascending and descending trends, respectively; * Significant at 0.05 level; Tmax and Tmin are minimum and minimum monthly temperature, respectively

Table 6. Results of Spearman test for relative humidity, wind speed and sunshine hours during warm months

جدول ۶- نتایج روند رطوبت نسبی، سرعت باد و ساعات آفتابی با استفاده از آزمون اسپیرمن برای ماه‌های گرم

Station	November			October			September			Aught			July			June		
	S	W	R	S	W	R	S	W	R	S	W	R	S	W	R	S	W	R
Sanandaj	a*	a	d	a*	d	a	a*	d	a	a	d	d	a	d	d	d	d	d
Saqez	a	a	a	a	a*	d	a	a*	a	a	a*	d	a	a*	d	a	a*	a
Zarneh	d*	d	a	d*	a	d	d*	d	a	d*	a	a	d*	d	a	d*	d	a
Bijar	a	d	a	a	d	a	a	a	a	a	a	a	d	d	a	a	d	a

Table 7. Results of Mini. and Max. monthly temperature using the Spearman test for the warm months

جدول ۷- نتایج روند حداقل و حداکثر دمای ماهانه با استفاده از آزمون اسپیرمن برای ماه‌های گرم

Station	November		October		September		Aught		July		June	
	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin	Tmax	Tmin
Sanandaj	a*	a	a	a*	a*	a*	a*	a*	a*	a*	a	a*
Saqez	d	d	a	d	d	a	a	a	d	d	a	d
Zarneh	d	d	a*	a	a	a	d	a	a	a	d*	a
Bijar	d	d	a	a*	a	a*	a	a*	a*	a*	a*	a*

Table 8. Annual trend of meteorological variables using Spearman test

جدول ۸- نتایج روند سالانه‌ی متغیرهای هواشناسی با استفاده از آزمون اسپیرمن

station	Tmax	Tmin	S	W	R
Sanandaj	a*	a*	a*	d	d
Saqez	a	a	a*	a*	a
Zarneh	a*	a*	d	d	a
Bijar	a*	a*	a*	a	a

فصل‌ها معنی‌دار بود. به طوری که از نتایج روند افزایشی ایستگاه سنندج می‌توان استنباط کرد که میزان ET_0 سالانه ۵/۵۳ میلی‌متر در هر دهه افزایش می‌یابد.

تحلیل حساسیت متغیرهای هواشناسی

برای تشخیص مهم‌ترین متغیرهای مؤثر بر ET_0 آنالیز رگرسیون خطی چندگانه گام به گام با در نظر گرفتن سری ET_0 به عنوان متغیر وابسته و متغیرهای هواشناسی به عنوان متغیرهای مستقل برای هر ماه و سال در هر ایستگاه به طور جداگانه انجام شد.

تحلیل فصلی و سالانه

در این پژوهش آزمون اسپیرمن برای بررسی روند سری سالانه و فصلی ET_0 نیز به کار گرفته شد (جدول ۹) روند ET_0 در ایستگاه سقز به جز تابستان ر مقیاس سالانه و فصلی افزایشی بوده است. در ایستگاه‌های زرینه و بیجار، ET_0 در مقیاس سالانه و فصلی افزایشی بوده و در هر دو ایستگاه، سری‌های زمانی تابستان و زمستان افزایش معنی‌دار در مقدار ET_0 داشته‌اند. در ایستگاه سقز مقدار ET_0 در زمستان با یک روند افزایشی معنی‌دار مواجه بوده و برای بهار، پاییز و سالانه روند افزایشی داشته اما این روند معنی‌داری نبوده است. روند افزایشی ET_0 برای ایستگاه سنندج در مقیاس سالانه و تمامی

Table 9. Results of the Spearman test and Sen's estimator for seasonal and annual series

جدول ۹- نتایج آزمون اسپیرمن و شیب تخمین گر سن برای سری فصلی و سالانه

Station	Test	annual	seasonal			
			Autumn	Summer	Spring	Winter
Sanandaj	Spearman	8.49 *	5.1 *	5.78 *	5.84 *	4.07 *
	Sen's estimator	5.53	1.37	2.04	1.46	0.46
Saqez	Spearman	-0.22	0.29	-0.65	0.07	2.74 *
	Sen's estimator	-0.23	-0.36	0.11	-0.05	0.31
Zarineh	Spearman	2.04	1.36	2.22 *	0.81	2.85 *
	Sen's estimator	2.39	0.74	1.1	0.14	0.41
Bijar	Spearman	2.02	1.71	2.95 *	1.24	3.34 *
	Sen's estimator	2.92	0.6	1.56	0.25	0.59

تابستان بود. افزایش معنی‌دار متغیرهای هواشناسی مانند ساعات آفتابی و حداکثر درجه حرارت در مقیاس ماهانه و به ویژه در ماه‌های گرم سال که منجر به افزایش ET_0 در ایستگاه‌های بیجار و سنندج شده است می‌تواند در آینده منجر به افزایش نیاز آب آبیاری در کشاورزی شده سبب بروز مشکلات عدیده در تأمین آب شرب و کشاورزی در این مناطق گردد.

مراجع -

- Abte W, Obeysekera J, Iricanin N (2011) Pan evaporation and potential evapotranspiration trends in South Florida. *Hydrological Processes* 25(6):958-69
- Alizadeh A (2015) *Applied hydrology principles*. 28th edition. Emam Reza University Press. 946p (In Persian)
- Allen RG, Pereira LS, Raes D, Smith M (1998) *Crop evapotranspiration-guidelines for computing crop water requirements*. FAO Irrigation and Drainage Paper 56. FAO, Rome. 300(9):D05109
- Burn DH, Hesch NM (2007) Trends in evaporation for the Canadian Prairies. *Journal of Hydrology* 336(1):61-73
- Dinpashoh Y, Jhajharia D, Fakheri-Fard A, Singh VP, Kahya E (2011) Trends in reference crop evapotranspiration over Iran. *Journal of Hydrology* 399(3):422-33
- Gocic M, Trajkovic S (2014) Analysis of trends in reference evapotranspiration data in a humid climate. *Hydrological Sciences Journal* 59(1):65-80
- Hess TM (1998) Trends in reference evapotranspiration in the North East Arid Zone of Nigeria, 1961-91. *Journal of Arid Environments* 38(1):99-115

نتایج نشان داد که روند افزایشی قابل توجه ET_0 ماهانه در ماه ژوئیه برای ایستگاه سنندج، عمدتاً متأثر از افزایش معنادار حداکثر درجه حرارت و ساعات آفتابی در طول دوره آماری بوده است. (Jhajharia et al. (2009) نیز به طور مشابه نشان دادند که ساعات آفتابی و سرعت باد به ترتیب دو متغیر مهم مؤثر بر تبخیر از تشت در شمال شرق هندوستان هستند. Hess (1998) نیز سرعت باد را به عنوان عامل اصلی افزایش ET_0 در نواحی خشک نیجریه معرفی کرده است. (Dinpashoh et al. (2011) نیز نشان دادند که در ایستگاه همدان در ماه‌های گرم سال سرعت باد و درجه حرارت حداکثر هوا به ترتیب مهم‌ترین عوامل مؤثر بر ET_0 هستند. براساس نتایج رگرسیون گام به گام در شش ماه سرد سال (دسامبر، ژانویه، فوریه، مارس، آوریل و مه) و شش ماه گرم سال (ژوئن تا نوامبر) برای ایستگاه‌های سنندج، سقز و بیجار دو متغیر ساعات آفتابی و حداکثر درجه حرارت و برای ایستگاه زرینه حداکثر درجه حرارت متغیرهای مهم مؤثر بر تبخیر-تعرق می‌باشند. در مقیاس سالانه برای ایستگاه سنندج متغیر ساعات آفتابی می‌تواند روند افزایش قابل توجه ET_0 را توجیه نماید. برای دو ایستگاه سقز و زرینه نیز متغیر حداقل درجه حرارت، عوامل اصلی تأثیرگذار بر ET_0 می‌باشند. در مقیاس سالانه برای ایستگاه بیجار، ساعات آفتابی و سرعت باد مهم‌ترین متغیرهای تأثیرگذار می‌باشند که با توجه به نتایج آزمون روند، متغیر ساعات آفتابی روند افزایشی بیشتری را نشان می‌دهد.

در این مطالعه، روند زمانی داده‌های ET_0 برای ۴ ایستگاه با طول دوره آماری مناسب در استان کردستان با استفاده از آزمون ناپارامتری اسپیرمن بررسی شد. نتایج روند سالانه در سطح ۵ درصد برای ایستگاه سنندج معنی‌دار و افزایشی بود. روندهای تغییرات معنی‌دار برای ET_0 در بین فصول بیشتر متعلق به فصل‌های زمستان و

- Tabari H, Marofi S, Aeini A, Talaei PH, Mohammadi K (2011) Trend analysis of reference evapotranspiration in the western half of Iran. *Agricultural and Forest Meteorology* 151(2):128-36
- Wang Y, Jiang T, Bothe O, Fraedrich K (2007) Changes of pan evaporation and reference evapotranspiration in the Yangtze River basin. *Theoretical and Applied Climatology* 90(1-2):13-23
- Yue S, Pilon P, Cavadias G (2002) Power of the Mann-Kendall and Spearman's rho tests for detecting monotonic trends in hydrological series. *Journal of Hydrology* 259(1):254-71
- Jhajharia D, Shrivastava SK, Sarkar D, Sarkar S (2009) Temporal characteristics of pan evaporation trends under the humid conditions of northeast India. *Agricultural and Forest Meteorology* 149(5):763-70
- Sen PK (1968) Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. *Journal of the American Statistical Association* 63(324):1379-1389
- 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(1):211-24