Shahid Chamran University of Ahvaz

Irrigation Sciences and Engineering (JISE)
Vol. 48, No. 1, Spring 2025, p. 93-112

Journal homepage: https://jise.scu.ac.ir

Research Paper

EXTENDED ABSTRACT

Revealing climatic changes in reference evapotranspiration in Kermanshah province using the water requirement system

M. Jovzi[1*], N. A. Ebrahimi Pak[2] and S. N. Hosseini[3]

1- Corresponding Author, Assistant Professor, Soil and Water Research Department, Kermanshah Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Kermanshah, Iran. (m.jovzi@areeo.ac.ir)*
2- Associated Professor, Irrigation Research Department, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.
3- Researcher, Irrigation Research Department, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research and Education Organization (AREEO), Karaj, Iran

ARTICLE INFO

Artlcle history:
Received: 12 December 2023
Revised: 24 April 2024
Accepted: 27 April 2024

Keywords:
Climate change, Kermanshah, Penman Monteith, Pettitt's test, Revealing, Water requirements.

TO CITE THIS ARTICLE:

Jovzi, M., Ebrahimi Pak, N. A., Hosseini, S. N. (2025). 'Revealing climatic changes in reference evapotranspiration in Kermanshah province using the water requirement system', Irrigation Sciences and Engineering, 48(1), pp. 93-112. doi: 10.22055/jise.2024.45541.2107.

Introduction

Reference evapotranspiration, as one of the important components of the hydrologic cycle, is an important factor in field irrigation planning, drought assessment and climate change (Li et al., 2017)**.** Reference evapotranspiration represents the maximum amount of water transferred from the land surface to the atmosphere (Yang et al., 2020). Determining this parameter is the first step in estimating the water requirements of plants and irrigation water management (Yassen et al., 2020). Research on temporal and spatial changes of reference evapotranspiration is very important in order to understand climate change and its effects on hydrologic processes and water resources (Liu and Zhang, 2013). Knowledge of reference evapotranspiration change trends can help agricultural irrigation management and support decision makers involved in water resources management in the future (Yang et al., 2020). In many regions with a shortage of water resources, such as Kermanshah province, the study of reference evapotranspiration changes can help to understand the spatial distribution and temporal changes of water. The purpose of this research is to determine the temporal variations of reference evapotranspiration and the factors affecting it in 10 synoptic meteorological stations of Kermanshah province**.** The information obtained from this research can provide guidance for agricultural water requirements, irrigation planning and sustainable water resource management under climate change conditions.

Methodology

The study area is Kermanshah province. This province is located in the geographical coordinates of 33° 41′ to 35° 17′N and 45° 25′ to 48° 6′E. The area of this province is 2.44 million hectares, which is about 1.5% of the total area of Iran. Its average height is 1200 meters above sea level. The

meteorological data used include minimum and maximum temperature, average temperature, minimum and maximum relative humidity, wind speed, net radiation input to the surface, and daylight hours in the statistical period of 1999 to 2022**.** The water requirement system of plants which is the result of the Penman Monteith method of FAO was used to determine the reference evapotranspiration. This reference evapotranspiration estimation method is proposed in FAO publication No. 56 as the best method compared to other reference evapotranspiration estimation methods (Sumner and Jacobs, 2005). Pettitt's test of XLSTAT software was used to determine the possible changes in reference evapotranspiration and climatic factors affecting it. Pettitt's test was first presented by Pettitt (Pettitt, 1979). Pettitt's test is a non-parametric test that does not require any assumptions about the data distribution. This test is an adaptation of the Mann-Whitney test, which allows identifying the time in which the change occurs.

Results and Discussion

The results of Pettitt's test for reference evapotranspiration in the synoptic meteorological stations of Kermanshah province are shown in Table (1). In Table (1), when the p-value is < 0.05, Pettitt's test is significant at the 5% probability level and indicates the sudden changes of reference evapotranspiration in the investigated time series. The results of Table (1) showed that the changes of monthly and annual reference evapotranspiration time series were significant in 42 and 60% of the studied stations, respectively, at the 5% probability level and indicated the existence of a sudden change in these variables.

Table 1-The results of Pettitt's test for reference evapotranspiration in synoptic meteorological stations of Kermanshah province

Station	Pettitt's test statistics	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Annual
Eslamabad-e-	K_t	40	49	85	91	104	97	110	81	66	83	95	26	110
Gharb	p-value	0.74	0.51	0.045*	0.02*	0.01*	0.01*	0.00**	0.07	0.20	0.052	0.02*	0.98	0.00**
Kermanshah	K_t	40	47	65	118	105	143	112	89	86	105	99	32	129
	p-value	0.74	0.56	0.21	0.00**	0.00**	0.00**	0.00**	0.03*	0.04*	0.01*	0.01*	0.91	0.00**
Sarpol Zahab	K_t	38	30	42	52	70	54	66	49	40	41	36	37	58
	p-value	0.79	0.94	0.70	0.45	0.15	0.40	0.19	0.52	0.75	0.72	0.84	0.82	0.33
Sonqor	K_t	48	47	52	73	69	62	52	65	58	71	59	46	84
	p-value	0.55	0.57	0.45	0.12	0.17	0.25	0.45	0.21	0.32	0.14	0.31	0.59	0.05
Qasr-e-Shirin	K_t	89	94	96	35	69	71	103	56	44	63	44	58	72
	p-value	0.03*	0.02*	0.02*	0.86	0.16	0.13	0.01*	0.37	0.64	0.25	0.64	0.33	0.12
Kangavar	K_t	43	65	50	45	48	44	48	71	34	93	69	39	41
	p-value	0.66	0.21	0.50	0.62	0.55	0.64	0.54	0.14	0.88	0.02*	0.17	0.78	0.72
Gilan Gharb	K_t	91	99	97	105	101	100	91	110	108	108	107	90	99
	p-value	0.03*	0.01*	0.01*	0.01*	0.01*	0.01*	0.02*	0.00**	0.00**	0.00**	0.01*	0.03*	0.01*
Javanrud	K_t	37	43	73	100	110	94	99	71	73	38	59	61	86
	p-value	0.82	0.66	0.12	0.01*	0.00**	0.02*	0.01*	0.14	0.12	0.79	0.30	0.27	0.04*
Harsin	K_t	121	111	117	117	131	117	40	63	66	45	87	96	135
	p-value	0.00**	0.00**	0.00**	0.00**	0.00**	0.00**	0.74	0.24	0.20	0.61	0.04*	0.02*	0.00**
Ravansar	K_t	50	80	116	107	115	88	116	86	68	65	41	92	124
	p-value	0.50	0.07	0.00**	0.00**	0.00**	0.04*	0.00**	0.04*	0.17	0.21	0.72	0.02*	0.00**

Notes: * and ** indicate significant difference at a 5% probability level (P < 0.05), and significant difference at a 1% probability level (P < 0.01), respectively.

The year and amount of reference evapotranspiration change in the synoptic meteorological stations of Kermanshah province are presented in Table (2). The results of Table (2) showed that the meteorological station of Gilan Gharb had sudden incremental changes in reference evapotranspiration in all months of the year. Eslamabad-e-Gharb, Kermanshah, Gilan Gharb, Javanrud and Hersin stations had sudden incremental changes in annual reference evapotranspiration. Gilan Gharb station had the highest amount of this change with 429 mm. In order to find the reason for the biggest increase in annual reference evapotranspiration at Gilan Gharb station, the time series of each of the parameters

affecting the annual reference evapotranspiration was investigated by Pettitt's test. The results showed that although the maximum annual temperature had a sudden decrease, but with an increase in the average minimum annual temperature, wind speed, daylight hours and net radiation, and a decrease in the maximum relative humidity, the reference evapotranspiration increased in this station. The research results of Fu et al. (2022) in China showed that the increase in temperature and wind speed and the decrease in relative humidity had positive and large effects on the increase in evapotranspiration, which agrees with the results of the present study. Ravansar station had a sudden decrease in evapotranspiration of annual reference amounting to 183 mm. In order to find the reason for the reduction of annual reference evapotranspiration at Ravansar station, the time series of each of the parameters affecting the annual reference evapotranspiration was investigated by Pettitt's test. The results showed that although the average temperature, minimum temperature and maximum annual temperature had a sudden increase, but with the increase in the average maximum relative humidity and the decrease in wind speed and annual daylight hours, the annual reference evapotranspiration in this station decreased**.** In the study of Jhajharia et al. (2012) also pointed out the contradiction of increasing temperature while reducing evapotranspiration. The research results of Liu and Zhang (2013) showed that a significant reduction in wind speed dominates the change of reference evapotranspiration and neutralizes the effect of increasing air temperature that increases the reference evapotranspiration and leads to its reduction. This result agrees with the findings of the present study.

Table 2-The year and value of reference evapotranspiration change (mm) in synoptic meteorological stations of Kermanshah province

Station	Parameter	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Annual
Eslamabad-e-Gharb	Year of change	-	-	2005	2003	2014	2015	2014	-	-	-	2011	-	2014
	Value	-	-	22.4	46.9	31.3	30.8	23	-	-	-	8.4	-	164
Kermanshah	Year of change	-	-	-	2012	2011	2011	2012	2015	2012	2007	2011	-	2011
	Value	-	-	-	22.4	18.5	18.7	17.5	16.3	6.3	8.3	9.6	-	142
Sarpol Zahab	Year of change	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Value	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sonqor	Year of change	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Value	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Qasr-e-Shirin	Year of change	2007	2004	2004	-	-	-	2013	-	-	-	-	-	-
	Value	23.9	29.3	46.1	-	-	-	-20.5	-	-	-	-	-	-
Kangavar	Year of change	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2007	-	-	-
	Value	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6.9	-	-	-
Gilan Gharb	Year of change	2007	2005	2005	2005	2005	2006	2005	2006	2004	2004	2005	2004	2005
	Value	28.4	40.4	63.4	39.4	57.9	53.6	41.5	28.8	31.5	22.9	16.7	20.5	429
Javanrud	Year of change	-	-	-	2006	2006	2006	2013	-	-	-	-	-	2006
	Value	-	-	-	31.7	32.5	23.7	-15.8	-	-	-	-	-	104
Harsin	Year of change	2007	2011	2007	2007	2007	2007	-	-	-	-	2007	2006	2007
	Value	27.1	29	36.5	45.7	54.7	28.2	-	-	-	-	9.9	12.7	243
Ravansar	Year of change	-	-	2010	2009	2009	2008	2008	2008	-	-	-	2010	2008
	Value	-	-	-31.4	-28.4	-32.1	-19.9	-16.1	-13.1	-	-	-	-9	-183

Conclusions

The results of this study show that, in general, from 2003 to 2015, sudden incremental changes in reference evapotranspiration and have occurred in most meteorological stations of Kermanshah province. Sudden incremental changes in reference evapotranspiration indicate an increase in the water requirement of plants. Therefore, water resources should be providing to the agricultural sector with a more appropriate planning, and the farmers, considering the amount of evapotranspiration, should act with better planning regarding the crop selection.

Acknowledgments

The authors of this article express their appreciation and gratitude to the officials of the Water Requirement System of Plants (NIAZAB), Soil and Water Research Institute (SWRI), and the I.R. of Iran Meteorological Organization (IRIMO) for their cooperation and providing the data needed for this study.

References

1- Fu, J., Gong, Y., Zheng, W., Zou, J., Zhang, M., Zhang, Z., Qin, J., et al., 2022. Spatial-temporal variations of terrestrial evapotranspiration across China from 2000 to 2019. *Science of The Total Environment, 825*, p. 153951. doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.153951.

2- Jhajharia, D., Dinpashoh, Y., Kahya, E., Singh, V.P. and Fakheri-Fard, A., 2012. Trends in reference evapotranspiration in the humid region of northeast India. *Hydrological Processes, 26(3)*, pp. 421–435. doi: 10.1002/hyp.8140.

3- Li, Y., Yao, N. and Chau, H.W., 2017. Influences of removing linear and nonlinear trends from climatic variables on temporal variations of annual reference crop evapotranspiration in Xinjiang, China. *Science of the Total Environment, 592*, pp. 680–692. doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.02.196.

4- Liu, X. and Zhang, D., 2013. Trend analysis of reference evapotranspiration in Northwest China: The roles of changing wind speed and surface air temperature. *Hydrological Processes, 27(26)*, pp. 3941–3948. doi: 10.1002/hyp.9527.

5- Pettitt, A.N., 1979. A Non-Parametric Approach to the Change-Point Problem. *Applied Statistics, 28(2)*, pp. 126–135. doi: 10.2307/2346729.

6- Sumner, D.M. and Jacobs, J.M., 2005. Utility of Penman–Monteith, Priestley–Taylor, reference evapotranspiration, and pan evaporation methods to estimate pasture evapotranspiration. *Journal of Hydrology, 308(1–4)*, pp. 81–104. doi: 10.1016/j.jhydrol.2004.10.023.

7- Yang, L., Feng, Q., Adamowski, J.F., Yin, Z., Wen, X., Wu, M., Jia, B., et al., 2020. Spatio-temporal variation of reference evapotranspiration in northwest China based on CORDEX-EA. *Atmospheric Research, 238*, p. 104868. doi: 10.1016/j.atmosres.2020.104868.

8- Yassen, A.N., Nam, W. H. and Hong, E. M., 2020. Impact of climate change on reference evapotranspiration in Egypt. *CATENA, 194*, p. 104711. doi: 10.1016/j.catena.2020.104711.



© 2025 The Author(s). Published by Shahid Chamran University of Ahvaz. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

علوم و مهندسی آبیاری جلد ۴۸، شماره‌ی ۱، بهار ۱۴۰۴، مقاله پژوهشی، ص. ۱۱۲-۹۳

آشکارسازی تغییرات اقلیمی در تبخیر تعرق مرجع در استان کرمانشاه با استفاده از سامانه نیاز آب

مهدی جوزی[1*]، نیاز علی ابراهیمی پاک[2] و سید نرگس حسینی[3]

۱*- نویسنده مسئول، استادیار بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمانشاه، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمانشاه، ایران. (m.jovzi@areeo.ac.ir)

۲- دانشیار، بخش تحقیقات آبیاری، موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

۳- محقق، بخش تحقیقات آبیاری، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

دریافت: ۱۴۰۲/۰۹/۲۱ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۲/۰۵ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۲/۰۸

چکیده

تغییرات اقلیمی که در سالیان اخیر رخ داده است ایجاب می‌کند که تأثیر آن بر تبخیر تعرق مرجع به‌عنوان یک عامل مهم در تعیین نیاز آبی گیاهان مورد بررسی قرار گیرد. هدف از انجام این پژوهش تعیین تغییرات زمانی تبخیر تعرق مرجع و عوامل مؤثر بر آن در ۱۰ ایستگاه هواشناسی سینوپتیک استان کرمانشاه می‌باشد. داده‌های هواشناسی مورد استفاده شامل حداقل و حداکثر دما، میانگین دما، حداقل و حداکثر رطوبت نسبی، سرعت باد، تابش خالص ورودی به سطح و ساعات آفتابی در دوره آماری ۱۳۷۸ تا ۱۴۰۱ می‌باشد. برای تعیین تبخیر تعرق مرجع از سامانه نیاز آبی گیاهان کشور که منتج از روش پنمن مونتیث فائو است استفاده شد. برای تعیین تغییرات احتمالی تبخیر تعرق مرجع و عوامل اقلیمی مؤثر بر آن از آزمون پتیت نرم‌افزار XLSTAT استفاده شد. نتایج نشان داد متغیرهای اقلیمی مؤثر بر تبخیر تعرق مرجع در حال تغییر هستند. همچنین تغییرات سری‌های زمانی تبخیر تعرق مرجع ماهانه و سالانه به‌ترتیب در ۴۲ و ۶۰ درصد از ایستگاه‌های مورد بررسی در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بوده و نشان‌دهنده‌ی وجود تغییر ناگهانی این متغیرها بود. ایستگاه هواشناسی گیلانغرب در همه ماه‌های سال دارای تغییرات ناگهانی افزایشی تبخیر تعرق مرجع بود. در مقیاس سالانه نیز ایستگاه‌های اسلام‌آباد غرب، کرمانشاه، گیلانغرب، جوانرود و هرسین دچار این تغییر شدند به‌طوری‌که ایستگاه گیلانغرب با ۴۲۹ میلی‌متر داری بیشترین مقدار آن بود. تغییرات افزایشی تبخیر تعرق مرجع نشان‌دهنده‌ی افزایش نیاز آبی گیاهان است. لذا می‌بایست منابع آبی را با برنامه‌ریزی مناسب‌تر در اختیار بخش کشاورزی قرار داد.

کلیدواژه‌ها: آشکارسازی، آزمون پتیت، پنمن مونتیث، تغییر اقلیم، کرمانشاه، نیاز آبی.

مقدمه

کشور ایران به‌عنوان یک منطقه خشک و نیمه خشک، حدود ۹۰ درصد از کل منابع آبی را در بخش کشاورزی مصرف می‌کند. بنابراین تغییرات اقلیمی ممکن است بر نیاز آبی کشاورزی تأثیر بگذارد، زیرا تبخیر تعرق ممکن است تحت تأثیر تغییرات متغیرهای هواشناسی مانند دما، تابش خورشید، سرعت باد و رطوبت نسبی قرار گیرد (Eslamian et al., 2011). متوسط شرایط آب و هوایی در یک منطقه جغرافیایی به‌عنوان اقلیم آن منطقه توصیف می‌گردد و تغییر معنی‌دار متوسط داده‌های هواشناسی در یک دوره زمانی معین نیز به‌عنوان تغییر اقلیم شناخته می‌شود (Maunder, 1995). تبخیر تعرق مهم‌ترین عنصر اقلیمی است که بر تعادل آب و بهره‌وری گیاه تأثیرگذار است (Fisher et al., 2011). در دهه‌های گذشته، تغییرات چشم‌گیر اقلیمی (شامل متغیرهای اصلی هواشناسی) فرآیندهای هیدرولوژیک را در بسیاری از مناطق تغییر داده است. این امر در حال حاضر منجر به یک سری مشکلات منابع آبی در برخی از مناطق به ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک شده است (Xu et al., 2015). آگاهی از روند تغییرات تبخیرتعرق مرجع می‌تواند به مدیریت آبیاری کشاورزی کمک کند و از تصمیم‌گیرندگانی که در بخش مدیریت منابع آب درگیر هستند در آینده حمایت کند (Yang et al., 2020). تبخیر تعرق تأثیر زیادی بر سایر فرآیندهای هیدرولوژیک مرتبط مانند حرکت رطوبت خاک، تخلیه آب‌های زیرزمینی و تولید رواناب دارد (Liang et al., 2010). بنابر این درک توزیع مکانی و تغییرات زمانی تبخیر تعرق یک موضوع مهم در مطالعات هیدرولوژیک حوضه‌های آبریز می‌باشد (Xu et al., 2015).

تبخیر تعرق یکی از اجزای مهم چرخه هیدرولوژیک است که نیازهای جوی و شرایط سطح را ادغام می‌کند. تبخیر تعرق مطابق نشریه ۵۶ فائو (FAO) از حاصل‌ضرب ضریب گیاهی هر گیاه در تبخیر تعرق مرجع به‌دست می‌آید (Allen et al., 1998). تبخیر تعرق مرجع نشان‌دهنده‌ی حداکثر مقدار آب منتقل شده از سطح زمین به جو است (Yang et al., 2020). تعیین این عامل اولین گام در برآورد نیاز آبی گیاهان و مدیریت آب آبیاری است (Yassen et al., 2020). این عامل یک عامل مهم در برنامه‌ریزی آبیاری مزرعه، ارزیابی خشک‌سالی و تحقیقات تغییرات اقلیمی است (Li

DOI: 10.22055/jise.2024. 45541.2107

et al., 2017). پژوهش در مورد تغییرات زمانی و مکانی تبخیر و تعرق مرجع به‌منظور درک تغییرات اقلیمی و اثرات آن بر فرآیندهای هیدرولوژیک و منابع آب از اهمیت زیادی برخوردار است (Liu and Zhang, 2013).

در بسیاری از مناطق با کمبود منابع آب، مانند استان کرمانشاه، مطالعه تغییرات تبخیر تعرق مرجع می‌تواند به درک توزیع مکانی و تغییرات زمانی آب کمک کند. در این راستا در سال‌های گذشته مطالعه تغییرات زمانی تبخیر تعرق مرجع مورد توجه محققین مختلفی از دنیا قرار گرفته است که از آن جمله می‌توان به Li et al. (2017) در چین، Yang et al. (2020) در شمال‌غربی چین، Yassen et al. (2020) در مصر، de Oliveira et al. (2021) در برزیل، Ahmadi et al. (2022) در آمریکا، Fu et al. (2022) در چین، Di Nunno و Granata (2023) در ایتالیا و Rahman et al. (2023) در بنگلادش اشاره کرد. در ایران نیز مطالعه Dinpazhoh و Foroughi (2018) در شمال‌غرب ایران نشان داد که در اکثر ایستگاه‌های مورد مطالعه تغییرات تبخیر تعرق مرجع سالانه به‌طور ناگهانی افزایش یافته است. آن‌ها دلیل این افزایش را افزایش دمای هوا یا سرعت باد یا ترکیبی از این دو عامل عنوان کردند. در مطالعه آن‌ها تغییرات زمانی تبخیر تعرق مرجع فقط در برخی از ایستگاه‌های استان کرمانشاه تا سال ۲۰۱۵ میلادی مورد بررسی قرار گرفت. در پژوهشی Dinpazhoh et al. (2019) حساسیت تبخیر تعرق مرجع به تغییر عوامل هواشناسی را در شمال‌غرب و غرب ایران بررسی نمودند. نتایج آن‌ها نشان داد بیشترین تأثیر در نوسانات تبخیر تعرق مرجع مربوط به دمای حداقل و حداکثر می‌باشد. طی مطالعه‌ای Ebrahimi Haftcheshmeh و Farhadi Bansouleh (2021) در استان کرمانشاه تغییرات مکانی تبخیر تعرق مرجع را پهنه‌بندی کردند اما به تغییرات زمانی آن اشاره‌ای نداشتند. در مطالعه‌ای Jovzi et al. (2023) نیز ضمن پهنه‌بندی تغییرات مکانی تبخیر تعرق مرجع در استان کرمانشاه، تبخیر تعرق مرجع را از سامانه نیاز آبی گیاهان کشور تعیین و با روش‌های تعیین تبخیر تعرق مرجع هارگریوز سامانی و هارگریوز سامانی اصلاح شده مورد مقایسه قرار دادند. نتایج حاکی از دقت بالای این سامانه در تعیین تبخیر تعرق مرجع بود. مطالعه‌های مختلف دیگری در رابطه با تبخیر تعرق مرجع در برخی از ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک استان کرمانشاه با استفاده از روش پنمن مونتیث فائو انجام شده است که از آن جمله می‌توان به مطالعه‌های Zare Abyaneh (2012) Mirmousavi et al.، Akhvan et al. (2014)، Ghamarnia et al. (2015)، Haghizadeh et al. (2019) و Haghizadeh et al. (2019) اشاره کرد اما در هیچکدام از این مطالعه‌ها تغییرات ناگهانی سری زمانی تبخیر تعرق مرجع بررسی نشده است.

لذا بررسی منابع نشان داد تا کنون پژوهشی که نشان دهنده تغییرات زمانی تبخیر تعرق مرجع و تغییرات اقلیمی مؤثر بر آن در همه ایستگاه‌های سینوپتیک استان کرمانشاه که دارای آمار بلند مدت هواشناسی باشد؛ صورت نگرفته است. بنابراین هدف از انجام این پژوهش تعیین تغییرات زمانی تبخیر تعرق مرجع و عوامل مؤثر بر آن در ایستگاه‌های سینوپتیک استان کرمانشاه می‌باشد. اطلاعات به دست‌آمده از این پژوهش می‌تواند راهنمایی برای نیاز آبی کشاورزی، برنامه‌ریزی آبیاری و مدیریت منابع آب پایدار تحت شرایط تغییرات اقلیمی ارائه دهد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه استان کرمانشاه می‌باشد. این استان در مختصات جغرافیایی ۳۳ درجه و ۴۱ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۱۷ دقیقه عرض شمالی و ۴۵ درجه و ۲۵ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۶ دقیقه طول شرقی قرار دارد. مساحت آن ۲/۴۴ میلیون هکتار می‌باشد که حدود ۱/۵ درصد مساحت کل کشور را در بر دارد. ارتفاع متوسط آن ۱۲۰۰ متر از سطح دریا است. این استان از جنوب به استان‌های ایلام و لرستان، از شمال به کردستان، از غرب به کشور عراق و از شرق به استان همدان متصل می‌باشد. این استان ۱۴ شهرستان دارد که شامل: پاوه، اسلام‌آباد غرب، جوانرود، ثلاث باباجانی، دالاهو، سرپل زهاب، روانسر، صحنه، سنقر، قصرشیرین، کنگاور، کرمانشاه، هرسین و گیلانغرب است (شکل ۱).

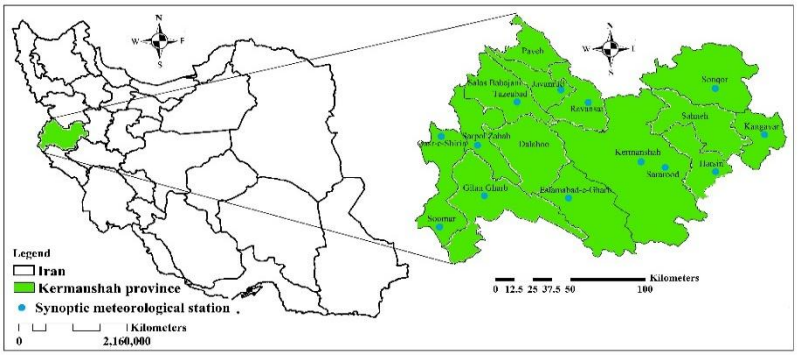


Fig. 1- Location of Kermanshah province and synoptic meteorological stations

شکل ۱- موقعیت استان کرمانشاه و ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک

داده‌های هواشناسی

داده‌های هواشناسی استفاده شده در این پژوهش شامل حداقل دما، حداکثر دما، میانگین دما، حداقل رطوبت نسبی، حداکثر رطوبت نسبی، سرعت باد، تابش خالص ورودی به سطح و ساعات آفتابی ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک منتخب استان کرمانشاه براساس دوره آماری ۱۳۷۸ تا ۱۴۰۱ می‌باشد. در جدول (۱) موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک مورد مطالعه استان کرمانشاه ارائه شده است.

تبخیر تعرق مرجع

به‌منظور تعیین تبخیر تعرق مرجع در ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک استان کرمانشاه از سامانه نیاز آبی گیاهان کشور استفاده شد (Soil and Water Research Institute, 2023). تبخیر تعرق مرجع در این سامانه توسط روش پنمن مونتیث فائو محاسبه می‌شود. این روش برآورد تبخیر تعرق مرجع در نشریه ۵۶ فائو به‌عنوان بهترین روش در مقایسه با سایر روش‌های برآورد تبخیر تعرق مرجع پیشنهاد شده است (Sumner and Jacobs, 2005). تبخیر تعرق مرجع از روش پنمن مونتیث فائو با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$ET_o = \frac{0.408\,\Delta\,(R_n-G) + \gamma \frac{900}{T+273}\,U_2(e_s-e_a)}{\Delta + \gamma\,(1+0.34\,U_2)} \qquad (۱)$$

که در آن، R_n تابش خالص ورودی به سطح ($MJ\ m^{-2}\ d^{-1}$)، T میانگین روزانه دمای هوا (^oC)، e_a فشار بخار واقعی (kPa)، e_s فشار بخار اشباع (kPa)، U_2 میانگین روزانه سرعت باد در ارتفاع دو متری ($m\ s^{-1}$)، γ ضریب ثابت سایکرومتری ($kPa\ ^oC^{-1}$)، ET_o تبخیر تعرق مرجع ($mm\ day^{-1}$) و Δ شیب منحنی فشار بخار ($kPa\ ^oC^{-1}$) است که از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\Delta = \frac{2504\exp[17.27T \div (T+237.3)]}{(T+237.3)^2} \qquad (۲)$$

تحلیل آماری

برای تعیین احتمال تغییرات در تبخیر تعرق مرجع و عوامل اقلیمی مؤثر بر آن در ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک استان کرمانشاه از آزمون پتیت (Pettitt test) در نرم‌افزار XLSTAT استفاده شد. آزمون پتیت اولین بار توسط پتیت ارائه شد (Pettitt, 1979). آزمون پتیت یک آزمون ناپارامتریک است که به هیچ فرضی در مورد توزیع داده‌ها نیاز ندارد. این آزمون اقتباسی از آزمون من-ویتنی (Mann-Whitney) است که امکان شناسایی زمانی را که در آن تغییر اتفاق می‌افتد را می‌دهد. در آزمون پتیت فرض صفر: دنباله ($x_1, x_2, \ldots, x_n$) دارای نقطه تغییر نمی‌باشد و فرض مخالف می‌گوید که: دنباله ذکر شده دارای نقطه تغییر می‌باشد. در این آزمون سری زمانی x_i به دو زیر سری $x_1, x_2, \ldots, x_t$ و $x_{t+1}, x_{t+2}, \ldots, x_n$ دسته‌بندی شده و با آماره $U_{t,n}$ دو زیر سری ذکر شده را از لحاظ یکسان بودن توزیع هر کدام با توزیع آماری سری زمانی x_i آزمون می‌کند. برای انجام آزمون پتیت آماره $U_{t,n}$ ($1\le t<n$) از رابطه زیر محاسبه می‌گردد.

$$U_{t,n} = \sum_{i=1}^{t}\sum_{i=t+1}^{n} D_{ij} \qquad (۳)$$

که در آن مقادیر D_{ij} برای هر i و j (بین ۱ تا n) با توجه به شرایط زیر محاسبه می‌شود. اگر $(x_i-x_j)>0$ باشد آنگاه $D_{ij} = -1$، اگر $(x_i-x_j)=0$ باشد آنگاه $D_{ij} = 0$ و اگر $(x_i-x_j)<0$ باشد آنگاه $D_{ij} = 1$ قرار داده می‌شود.

در آزمون پتیت آماره K_t که از رابطه زیر محاسبه می‌شود نقطه تغییر $1\le t<n$ را در صورت وجود ارائه می‌کند.

$$K_t = \max_{1\le t<n} |U_{t,n}| \qquad (۴)$$

برای تعیین معنی‌دار بودن این آزمون از مقدار آماره p استفاده می‌شود. در صورتی‌که مقدار p از ۰/۰۵ کوچکتر باشد آنگاه فرض صفر آزمون پتیت در سطح اطمینان ۹۵ درصد رد خواهد شد.

$$p = \exp\left(\frac{-6K_t^2}{t^3+t^2}\right) \qquad (۵)$$

نتایج و بحث

به منظور تعیین تغییرات تبخیر تعرق مرجع ماهانه و سالانه در ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک استان کرمانشاه از آزمون پتیت استفاده شد که نتایج این آزمون در جدول (۲) ارائه شده است. در جدول (۲) هنگامی‌که $p\text{-value} < 0.05$ باشد آزمون پتیت در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بوده و نشان‌دهنده‌ی تغییرات ناگهانی تبخیر تعرق مرجع در سری زمانی مورد بررسی می‌باشد. نتایج جدول (۲) نشان می‌دهد آزمون پتیت در ۴۲ درصد از سری‌های زمانی تبخیر تعرق مرجع ماهانه در ایستگاه‌های مورد بررسی در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بوده و نشان‌دهنده‌ی وجود تغییر ناگهانی در تبخیر تعرق مرجع ماهانه در ایستگاه‌های مربوطه می‌باشد. در بین ایستگاه‌های مورد مطالعه، ایستگاه هواشناسی گیلانغرب در همه ماه‌های سال دارای تغییرات ناگهانی در تبخیر تعرق مرجع ماهانه بود. ضمن آن‌که ایستگاه‌های هواشناسی سرپل ذهاب و سنقر در هیچ‌یک از ماه‌های سال دارای تغییرات ناگهانی در تبخیر تعرق مرجع نبودند. هم‌چنین نتایج جدول (۲) نشان می‌دهد آزمون پتیت در ۶۰ درصد از سری‌های زمانی تبخیر تعرق مرجع سالانه در ایستگاه‌های مورد مطالعه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بوده و نشان‌دهنده‌ی وجود تغییر ناگهانی در تبخیر تعرق مرجع سالانه این ایستگاه‌ها (اسلام‌آباد غرب، کرمانشاه، گیلانغرب، جوانرود، هرسین و روانسر) می‌باشد.

DOI: 10.22055/jise.2024. 45541.2107

جدول ۱- مختصات جغرافیایی ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک مورد مطالعه استان کرمانشاه

Table 1- Geographical coordinates of studied synoptic meteorological stations in Kermanshah province

Station	Latitude (°N)	Longitude (°E)	Elevation (m)	Statistical period	Climate type*
Eslamabad-e-Gharb	34.12	46.47	1350	1378-1401	Semi-arid, cold
Kermanshah	34.35	47.15	1320	1378-1401	Semi-arid, cold
Sarpol Zahab	34.45	45.87	545	1378-1401	Semi-arid, moderate
Sonqor	34.78	47.58	1700	1378-1401	Semi-arid, cold
Qasr-e-Shirin	34.53	45.6	376	1378-1401	Semi-arid, warm
Kangavar	34.5	47.98	1470	1378-1401	Semi-arid, cold
Gilan Gharb	34.13	45.93	816	1378-1401	Semi-arid, moderate
Javanrud	34.77	46.5	1375	1378-1401	Mediterranean, cold
Harsin	34.27	47.55	1580	1378-1401	Semi-arid, cold
Ravansar	34.72	46.65	1380	1378-1401	Mediterranean, cold

Notes: *: Climate type from Modified De Martonne method (de Martonne, 1926).

جدول ۲- نتایج آزمون پتیت برای تبخیر تعرق مرجع در ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک استان کرمانشاه

Table 2- The results of Pettitt's test for reference evapotranspiration in synoptic meteorological stations of Kermanshah province

Station	Pettitt's test statistics	Farvardin	Ordibehesht	Khordad	Tir	Mordad	Shahrivar	Mehr	Aban	Azar	Day	Bahman	Esfand	Annual
Eslamabad-e-Gharb	K_t	40	49	85	91	104	97	110	81	66	83	95	26	110
	p-value	0.74	0.51	0.045*	0.02*	0.01*	0.01*	0.00**	0.07	0.20	0.052	0.02*	0.98	0.00**
Kermanshah	K_t	40	47	65	118	105	143	112	89	86	105	99	32	129
	p-value	0.74	0.56	0.21	0.00**	0.00**	0.00**	0.00**	0.03*	0.04*	0.01*	0.01*	0.91	0.00**
Sarpol Zahab	K_t	38	30	42	52	70	54	66	49	40	41	36	37	58
	p-value	0.79	0.94	0.70	0.45	0.15	0.40	0.19	0.52	0.75	0.72	0.84	0.82	0.33
Sonqor	K_t	48	47	52	73	69	62	52	65	58	71	59	46	84
	p-value	0.55	0.57	0.45	0.12	0.17	0.25	0.45	0.21	0.32	0.14	0.31	0.59	0.05
Qasr-e-Shirin	K_t	89	94	96	35	69	71	103	56	44	63	44	58	72
	p-value	0.03*	0.02*	0.02*	0.86	0.16	0.13	0.01*	0.37	0.64	0.25	0.64	0.33	0.12
Kangavar	K_t	43	65	50	45	48	44	48	71	34	93	69	39	41
	p-value	0.66	0.21	0.50	0.62	0.55	0.64	0.54	0.14	0.88	0.02*	0.17	0.78	0.72
Gilan Gharb	K_t	91	99	97	105	101	100	91	110	108	108	107	90	99
	p-value	0.03*	0.01*	0.01*	0.01*	0.01*	0.01*	0.02*	0.00**	0.00**	0.00**	0.01*	0.03*	0.01*
Javanrud	K_t	37	43	73	100	110	94	99	71	73	38	59	61	86
	p-value	0.82	0.66	0.12	0.01*	0.00**	0.02*	0.01*	0.14	0.12	0.79	0.30	0.27	0.04*
Harsin	K_t	121	111	117	117	131	117	40	63	66	45	87	96	135
	p-value	0.00**	0.00**	0.00**	0.00**	0.00**	0.00**	0.74	0.24	0.20	0.61	0.04*	0.02*	0.00**
Ravansar	K_t	50	80	116	107	115	88	116	86	68	65	41	92	124
	p-value	0.50	0.07	0.00**	0.00**	0.00**	0.04*	0.00**	0.04*	0.17	0.21	0.72	0.02*	0.00**

Notes: * and ** indicate significant difference at a 5% probability level ($P < 0.05$), and significant difference at a 1% probability level ($P < 0.01$), respectively.

نتایج نشان می‌دهد هرچند که ایستگاه‌های هواشناسی قصر شیرین و کنگاور دارای تغییر ناگهانی در تبخیر تعرق مرجع سالانه نیستند اما در برخی از ماه‌های سال مانند دی در کنگاور و فروردین، اردیبهشت، خرداد و مهر در قصر شیرین دارای تغییرات ناگهانی می‌باشند. مطالعه Tabari et al. (2011) در نیمه غربی ایران نیز حاکی از تغییرات ناگهانی تبخیر تعرق مرجع در ۷۰ درصد از ایستگاه‌های مورد مطالعه بوده است که با یافته‌های این پژوهش در مورد تغییرات ناگهانی این پارامتر در ایستگاه‌های استان کرمانشاه مطابقت دارد.

در شکل‌های (۲) تا (۵) تبخیر تعرق مرجع ماهانه در ایستگاه‌های اسلام‌آباد غرب، کرمانشاه، کنگاور، قصر شیرین، گیلانغرب، جوانرود، هرسین و روانسر که دارای تغییرات ناگهانی بودند نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد در ایستگاه‌های اسلام‌آباد غرب (ماه‌های خرداد تا مهر و بهمن)، کرمانشاه (تیر تا بهمن)، قصرشیرین (فروردین تا خرداد)، کنگاور (دی)، گیلانغرب (فروردین تا اسفند)، جوانرود (تیر تا شهریور) و هرسین (فروردین تا شهریور، بهمن و اسفند) تبخیر تعرق مرجع ماهانه دارای تغییر ناگهانی افزایشی می‌باشد. اما در ایستگاه‌های قصر شیرین (مهر ماه)، جوانرود (مهر ماه) و روانسر (خرداد تا آبان و اسفند) تبخیر تعرق مرجع ماهانه دارای تغییر ناگهانی کاهشی است. این امر نشان می‌دهد در یک ایستگاه مشخص ممکن است در برخی از ماه‌های سال، تغییرات تبخیر تعرق مرجع افزایشی و در برخی از آن‌ها کاهشی باشد. همچنین تغییرات تبخیر تعرق مرجع ماهانه در بین ایستگاه‌های مورد بررسی همواره افزایشی نبوده بلکه در برخی از آن‌ها کاهشی می‌باشد.



Fig. 2- Sudden monthly ETo changes in Eslamabad-e-Gharb, Kermanshah and Kangavar stations

شکل ۲- تغییرات ناگهانی ETo ماهانه در ایستگاه‌های اسلام‌آباد غرب، کرمانشاه و کنگاور

DOI: 10.22055/jise.2024. 45541.2107



Fig. 3- Sudden monthly ETo changes in Qasr-e-Shirin and Gilan Gharb stations

شکل ۳- تغییرات ناگهانی ETo ماهانه در ایستگاه‌های قصر شیرین و گیلانغرب



Fig. 4- Sudden monthly ETo changes in Gilan Gharb (Esfand), Javanrud, Harsin and Ravansar (Khordad and Tir) stations

شکل ٤- تغییرات ناگهانی ETo ماهانه در ایستگاه‌های گیلانغرب (اسفند)، جوانرود، هرسین و روانسر (خرداد و تیر)

DOI: 10.22055/jise.2024. 45541.2107

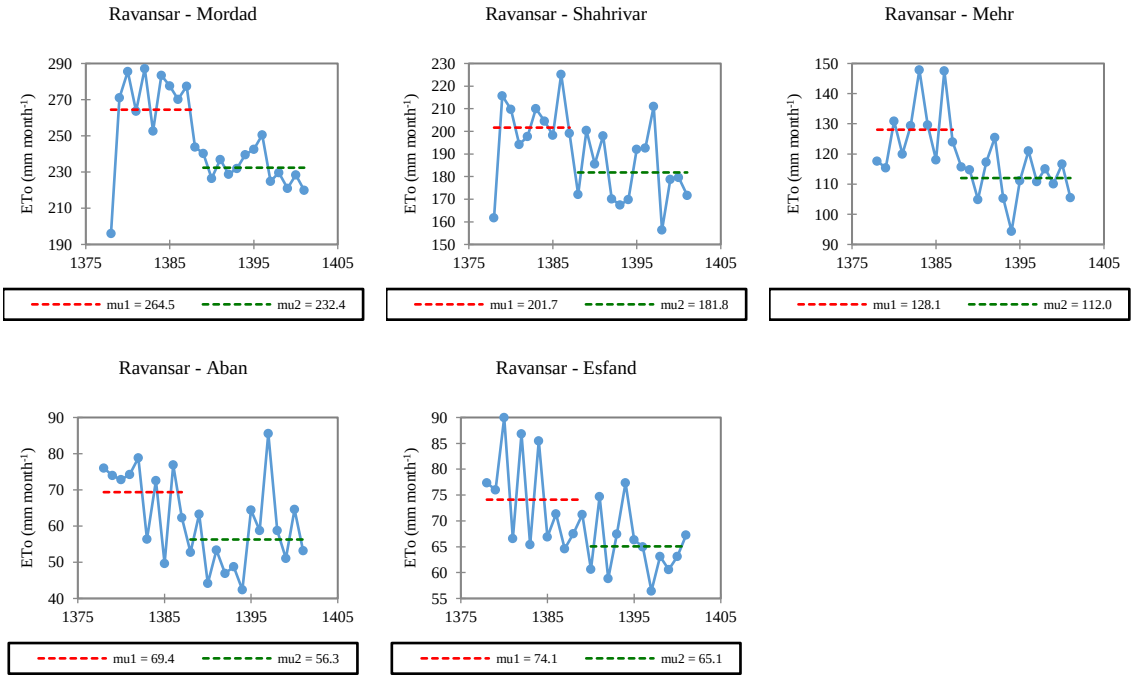


Fig. 5- Sudden monthly ETo changes in Ravansar station
شکل ۵- تغییرات ناگهانی ETo ماهانه در ایستگاه روانسر

در شکل (۶) تغییرات ناگهانی تبخیر تعرق مرجع سالانه در ایستگاه‌های اسلام‌آباد غرب، کرمانشاه، گیلانغرب، جوانرود، هرسین و روانسر که دارای تغییرات ناگهانی بودند نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد در ایستگاه‌های اسلام‌آباد غرب، کرمانشاه، گیلانغرب، جوانرود و هرسین تبخیر تعرق مرجع سالانه دارای تغییر ناگهانی افزایشی می‌باشد. اما در ایستگاه روانسر تبخیر تعرق مرجع سالانه دارای تغییر ناگهانی کاهشی است. این امر نشان می‌دهد تغییرات تبخیر تعرق مرجع سالانه در بین ایستگاه‌های مورد بررسی برخلاف انتظار همواره افزایشی نبوده بلکه ممکن است کاهشی نیز باشد. نتایج مطالعه Dinpazhoh و Foroughi (2018) در شمال غرب ایران نیز نشان می‌دهد که در اکثر ایستگاه‌های مورد مطالعه تغییرات تبخیر تعرق مرجع سالانه افزایشی می‌باشد. آن‌ها دلیل این افزایش را افزایش دمای هوا یا سرعت باد یا ترکیبی از این دو عامل عنوان کردند. هم‌چنین نتایج آن‌ها نشان داد در برخی از ایستگاه‌های مورد مطالعه (سهند و پارس آباد) تغییرات تبخیر تعرق مرجع سالانه کاهشی بوده است. نتایج ایشان با نتایج پژوهش حاضر که در برخی ایستگاه‌ها تغییرات تبخیر تعرق مرجع افزایشی و در برخی از آن‌ها کاهشی است، هم‌خوانی دارد. تحقیقات Tabari et al. (2011) نشان داد تبخیر تعرق مرجع در ۷۰ درصد از ایستگاه‌های مورد مطالعه در غرب ایران دارای تغییرات ناگهانی افزایشی است که با یافته‌های این پژوهش در ایستگاه‌های استان کرمانشاه همخوانی دارد. مطالعه Rahman et al. (2023) در بنگلادش نیز نشان داد که تبخیر تعرق مرجع سالانه دارای تغییرات کاهشی می‌باشد که با نتایج این مطالعه در مورد کاهشی بودن این عامل در ایستگاه روانسر هم‌راستا است. نتایج مطالعه‌ها در برخی از مناطق چین و آمریکا نشان داد افزایش دما در همه موارد نمی‌تواند مسئول افزایش تبخیر تعرق مرجع باشد بلکه کاهش در تشعشعات خورشیدی ناشی از افزایش پوشش ابر می‌تواند منجر به کاهش این عامل گردد (Peterson et al., 1995; Yin et al., 2010).

مقدار تغییر تبخیر تعرق مرجع در ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک استان کرمانشاه در جدول (۳) ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد مقدار تفاوت میانگین تبخیر تعرق مرجع قبل و بعد از سال تغییر (۱۳۸۶) در ماه فروردین در ایستگاه‌های قصر شیرین، گیلانغرب و هرسین به‌ترتیب ۲۳/۹، ۲۸/۴، ۲۷/۱ میلی‌متر بود. مقدار این تفاوت در ماه اردیبهشت برای ایستگاه‌های ذکر شده به‌ترتیب ۲۹/۳ (۱۳۸۳)، ۴۰/۴ (۱۳۸۴) و ۲۹/۰ (۱۳۹۰) میلی‌متر شد. لازم به ذکر است که اعداد داخل پرانتز مربوط به سال تغییر ناگهانی تبخیر تعرق مرجع در ایستگاه‌های مورد نظر می‌باشد. مقدار تفاوت میانگین تبخیر تعرق مرجع قبل و بعد از سال تغییر در ماه خرداد در ایستگاه‌های اسلام‌آباد غرب، قصر شیرین، گیلانغرب، هرسین و روانسر به‌ترتیب ۲۲/۴ (۱۳۸۴)، ۴۶/۱ (۱۳۸۳)، ۶۳/۴ (۱۳۸۴) ۳۶/۵ (۱۳۸۶) و ۳۱/۴- (۱۳۹۰) میلی‌متر بود. لازم به ذکر است که عدد منفی نشان دهنده مقدار کاهش میانگین تبخیر تعرق مرجع بعد از سال وقوع تغییر ناگهانی در ایستگاه مربوطه است.

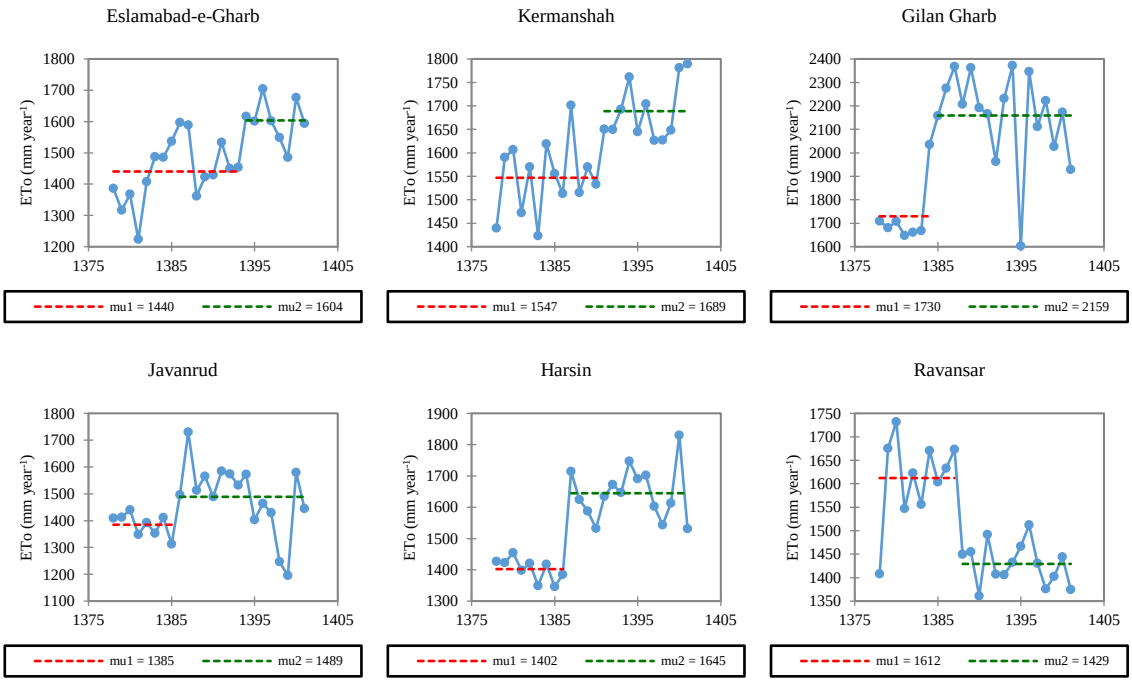


Fig. 6- Sudden annual ETo changes in Eslamabad-e-Gharb, Kermanshah, Gilan Gharb, Javanrud, Hersin, Ravansar stations

شکل ٦- تغییرات ناگهانی ETo سالانه در ایستگاه‌های اسلام‌آباد غرب، کرمانشاه، گیلانغرب، جوانرود، هرسین، روانسر

جدول ۳- سال و مقدار تغییر تبخیر تعرق مرجع (mm) در ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک استان کرمانشاه

Table 3- The year and value of reference evapotranspiration change (mm) in synoptic meteorological stations of Kermanshah province

Station	Parameter	Farvardin	Ordibehesht	Khordad	Tir	Mordad	Shahrivar	Mehr	Aban	Azar	Day	Bahman	Esfand	Annual
Eslamabad-e-Gharb	Year of change	-	-	1384	1382	1393	1394	1393	-	-	-	1390	-	1393
	Value	-	-	22.4	46.9	31.3	30.8	23	-	-	-	8.4	-	164
Kermanshah	Year of change	-	-	-	1391	1390	1390	1391	1394	1391	1386	1390	-	1390
	Value	-	-	-	22.4	18.5	18.7	17.5	16.3	6.3	8.3	9.6	-	142
Sarpol Zahab	Year of change	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Value	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sonqor	Year of change	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Value	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Qasr-e-Shirin	Year of change	1386	1383	1383	-	-	-	1392	-	-	-	-	-	-
	Value	23.9	29.3	46.1	-	-	-	-20.5	-	-	-	-	-	-
Kangavar	Year of change	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1386	-	-	-
	Value	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6.9	-	-	-
Gilan Gharb	Year of change	1386	1384	1384	1384	1384	1385	1384	1385	1383	1383	1384	1383	1384
	Value	28.4	40.4	63.4	39.4	57.9	53.6	41.5	28.8	31.5	22.9	16.7	20.5	429
Javanrud	Year of change	-	-	-	1385	1385	1385	1392	-	-	-	-	-	1385
	Value	-	-	-	31.7	32.5	23.7	-15.8	-	-	-	-	-	104
Harsin	Year of change	1386	1390	1386	1386	1386	1386	-	-	-	-	1386	1385	1386
	Value	27.1	29	36.5	45.7	54.7	28.2	-	-	-	-	9.9	12.7	243
Ravansar	Year of change	-	-	1389	1388	1388	1387	1387	1387	-	-	-	1389	1387
	Value	-	-	-31.4	-28.4	-32.1	-19.9	-16.1	-13.1	-	-	-	-9	-183

DOI: 10.22055/jise.2024. 45541.2107

مقدار تفاوت میانگین تبخیر تعرق مرجع قبل و بعد از سال تغییر برای ایستگاه‌های اسلام‌آباد غرب، کرمانشاه، گیلانغرب، جوانرود، هرسین و روانسر در ماه تیر به‌ترتیب ۴۶/۹ (۱۳۸۲)، ۲۲/۴ (۱۳۹۱)، ۳۹/۴ (۱۳۸۴)، ۳۱/۷ (۱۳۸۵)، ۴۵/۷ (۱۳۸۶) و ۲۸/۴- (۱۳۸۸) میلی‌متر، در ماه مرداد به‌ترتیب به‌ترتیب ۳۱/۳ (۱۳۹۳)، ۱۸/۵ (۱۳۹۰)، ۵۷/۹ (۱۳۸۴)، ۳۲/۵ (۱۳۸۵)، ۵۴/۷ (۱۳۸۶) و ۳۲/۱- (۱۳۸۸) میلی‌متر و در ماه شهریور به‌ترتیب به‌ترتیب ۳۰/۸ (۱۳۹۴)، ۱۸/۷ (۱۳۹۰)، ۵۳/۶ (۱۳۸۵)، ۲۳/۷ (۱۳۸۵) ۲۸/۲ (۱۳۸۶) و ۱۹/۹- (۱۳۸۷) میلی‌متر حاصل شد. مقدار این تفاوت در ماه مهر برای ایستگاه‌های اسلام‌آباد غرب، کرمانشاه، قصر شیرین، گیلانغرب، جوانرود، و روانسر به‌ترتیب ۲۳/۰ (۱۳۹۳)، ۱۷/۵ (۱۳۹۱)، ۲۰/۵- (۱۳۹۲)، ۴۱/۵ (۱۳۸۴)، ۱۵/۸- (۱۳۹۲) و ۱۶/۱- (۱۳۸۷) میلی‌متر به‌دست آمد. مقدار تفاوت ذکر شده در ماه آبان برای ایستگاه‌های کرمانشاه، گیلانغرب و روانسر به‌ترتیب ۱۶/۳ (۱۳۹۴)، ۲۸/۸ (۱۳۸۵) و ۱۳/۱- (۱۳۸۷) میلی‌متر بود. مقدار این تفاوت در ماه آذر برای ایستگاه‌های کرمانشاه و گیلانغرب به‌ترتیب ۶/۳ (۱۳۹۱) و ۳۱/۵- (۱۳۸۳) میلی‌متر شد. مقدار تفاوت ذکر شده در ماه دی برای ایستگاه‌های کرمانشاه، کنگاور و گیلانغرب به‌ترتیب ۸/۳ (۱۳۸۶)، ۶/۹ (۱۳۸۶) و ۲۲/۹ (۱۳۸۳) میلی‌متر بود. مقدار این تفاوت در ماه بهمن برای ایستگاه‌های اسلام‌آباد غرب، کرمانشاه، گیلانغرب و هرسین به‌ترتیب ۸/۴ (۱۳۹۰)، ۹/۶ (۱۳۹۰)، ۱۶/۷ (۱۳۸۴) و ۹/۹ (۱۳۸۶) میلی‌متر شد. مقدار تفاوت ذکر شده در ماه اسفند برای ایستگاه‌های گیلانغرب، هرسین و روانسر به‌ترتیب ۲۰/۵ (۱۳۸۳)، ۱۲/۷ (۱۳۸۵) و ۹/۰- (۱۳۸۹) میلی‌متر بود. همچنین نتایج جدول (۳) نشان می‌دهد مقدار تفاوت میانگین تبخیر تعرق مرجع سالانه قبل و بعد از سال تغییر در ایستگاه‌های اسلام‌آباد غرب، کرمانشاه، گیلانغرب، جوانرود هرسین و روانسر به‌ترتیب ۱۶۴ (۱۳۹۳)، ۱۴۲ (۱۳۹۰)، ۴۲۹ (۱۳۸۴)، ۱۰۴ (۱۳۸۵)، ۲۴۳ (۱۳۸۶) و ۱۸۳- (۱۳۸۷) میلی‌متر بود.

به‌منظور یافتن دلیل کاهش تبخیر تعرق مرجع سالانه در ایستگاه روانسر، سری زمانی هر یک از عوامل مؤثر بر تبخیر تعرق مرجع سالانه با آزمون پتیت مورد بررسی قرار گرفت که نتایج این آزمون در جدول (۴) نشان داده شده است. نتایج جدول (۴) نشان می‌دهد آزمون پتیت برای سری‌های زمانی حداقل، حداکثر و میانگین دمای هوا، حداکثر رطوبت نسبی و ساعات آفتابی در ایستگاه روانسر در سطح احتمال پنج درصد و سرعت باد در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بوده و نشان‌دهنده‌ی وجود تغییر ناگهانی این پارامترها می‌باشد. در شکل (۷) تغییرات ناگهانی عوامل مؤثر بر تبخیر تعرق مرجع سالانه در ایستگاه روانسر نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد به‌جز عوامل تابش خالص و حداقل رطوبت نسبی سالانه سایر عوامل مؤثر بر تبخیر تعرق مرجع سالانه دارای تغییر ناگهانی بودند. مقدار و سال تغییر عوامل مؤثر بر تبخیر تعرق مرجع سالانه در ایستگاه روانسر نیز در جدول (۵) ارائه شده است.

نتایج این جدول نشان می‌دهد میانگین حداقل دما، حداکثر دما، میانگین دما، حداکثر رطوبت نسبی، سرعت باد و ساعات آفتابی سالانه به‌ترتیب بعد از سال‌های ۱۳۹۰، ۱۳۹۲، ۱۳۹۰، ۱۳۹۲، ۱۳۸۸ و ۱۳۹۳ به‌طور ناگهانی تغییر داشت. نتایج جدول (۵) نشان می‌دهد هرچند که میانگین دما، حداقل و حداکثر دمای سالانه‌ی بعد از سال‌های دارای تغییر ناگهانی به‌ترتیب ۵/۳ (۱۳۹۰)، ۸/۵ (۱۳۹۰) و ۴/۴ (۱۳۹۲) درصد نسبت به میانگین آن‌ها در قبل از سال‌های دارای تغییر ناگهانی، افزایش یافته است اما با افزایش ۵/۷ (۱۳۹۲) درصدی میانگین حداکثر رطوبت نسبی و کاهش ۲۸/۷ (۱۳۸۸) درصدی سرعت باد و ۴/۲ (۱۳۹۳) درصدی ساعات آفتابی سالانه موجب کاهش ۱۱/۴ درصدی (۱۳۸۷) تبخیر تعرق مرجع سالانه در ایستگاه روانسر در شکل (۶) شده است. لازم به ذکر است که اعداد داخل پرانتز مربوط به سال تغییر ناگهانی عامل مورد نظر می‌باشد. در مطالعه‌ی Jhajharia et al. (2012) نیز به تناقض افزایش دما ضمن کاهش تبخیر تعرق اشاره شده است. نتایج پژوهش Liu و Zhang (2013) نشان داد که کاهش قابل توجه سرعت باد بر تغییر تبخیر تعرق مرجع غالب بوده و اثر افزایش دمای هوا که باعث افزایش تبخیر تعرق مرجع می‌شود را خنثی کرده و منجر به کاهش آن می‌شود. این نتیجه موافق با یافته‌های نتایج پژوهش حاضر است. نتایج مطالعه Dinpazhoh و Foroughi (2018) نشان داد که علت کاهشی بودن تغییرات تبخیر تعرق مرجع سالانه در برخی از ایستگاه‌های مورد مطالعه (سهند و پارس آباد) هرچند که به‌علت اثر هم‌زمان عوامل هواشناسی شامل سرعت باد، دمای هوا و غیره می‌باشد اما کاهش سرعت باد در این مناطق باعث افزایش میزان مقاومت سطحی انتشار بخار آب روزنه‌های برگ گیاه شده و در نتیجه موجب کاهش تبخیر تعرق مرجع می‌شود. نتایج ایشان با نتایج پژوهش حاضر که کاهش سرعت باد موجب کاهش تبخیر تعرق مرجع می‌شود همخوانی دارد. نتایج مطالعه Ghasemi (2015) نشان داد دمای هوا در ایران در دوره آماری ۱۹۶۱ تا ۲۰۱۰ به‌میزان ۰/۱ تا ۰/۴ درجه سلسیوس افزایش یافته است که با نتایج این پژوهش در مورد افزایش دمای هوا در ایستگاه روانسر مطابقت دارد. مطالعه Xu et al. (2015) در چین نشان داد کاهش سرعت باد غالب‌ترین عامل برای روند نزولی تبخیر تعرق مرجع بود که موافق یافته‌های این پژوهش می‌باشد.

بیشترین مقدار تغییرات ناگهانی میانگین تبخیر تعرق مرجع ماهانه و سالانه، سال تغییر و مقدار میانگین آن در قبل و بعد از تغییر در ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک استان کرمانشاه در جدول (۶) ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد تمامی ماه‌های سال دارای ایستگاه‌هایی هستند که تغییرات ناگهانی تبخیر تعرق مرجع در آن‌ها رخ داده است. ماه‌های تیر تا مهر با شش ایستگاه (۶۰ درصد) دارای بیشترین و ماه آذر با دو ایستگاه (۲۰ درصد) دارای کمترین تعداد ایستگاه با تغییرات ناگهانی تبخیر تعرق مرجع می‌باشد.

جدول ٤- نتایج آزمون پتیت برای عوامل مؤثر بر تبخیر تعرق مرجع سالانه در ایستگاه هواشناسی سینوپتیک روانسر

Table 4- the results of Pettitt's test for the factors affecting the annual reference evapotranspiration in synoptic meteorological station of Ravansar

Pettitt's test statistics	T_{min}	T_{max}	T_{mean}	RH_{min}	RH_{max}	u_2	n	Rn
K_t	101	89	97	77	99	135	92	78
p-value	0.01*	0.03*	0.014*	0.09	0.01*	0.00**	0.03*	0.09

Notes: * and ** indicate significant difference at a 5% probability level ($P < 0.05$), and significant difference at a 1% probability level ($P < 0.01$), respectively.

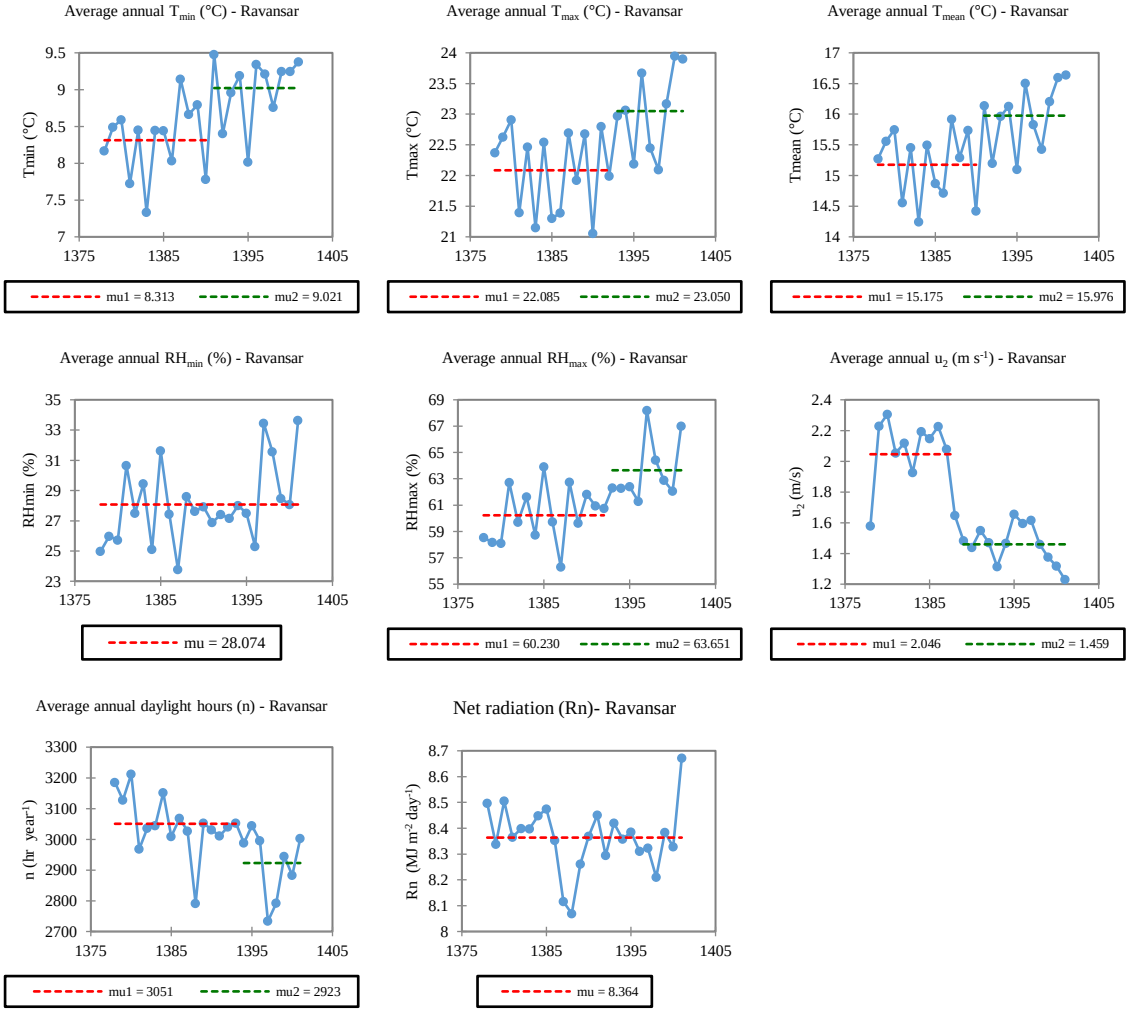


Fig. 7- Sudden changes of the factors affecting on the annual ETo in Ravansar station

Notes: ETo: Reference evapotranspiration; T_{min}: Minimum air temperature; T_{max}: Maximum air temperature; T_{mean}: Mean air temperature; RH_{min}: Minimum air relative humidity; RH_{max}: Maximum air relative humidity; u_2: Wind speed at 2 m above ground surface; n: Daylight hours; Rn: Net radiation.

شکل ۷- تغییرات ناگهانی عوامل مؤثر بر ETo سالانه در ایستگاه روانسر

جدول ٥- سال و مقدار تغییر عوامل مؤثر بر تبخیر تعرق مرجع سالانه در ایستگاه هواشناسی سینوپتیک روانسر

Table 5- the year and value of change of the factors affecting the annual reference evapotranspiration in synoptic meteorological station of Ravansar

Parameter	T_{min} (°C)	T_{max} (°C)	T_{mean} (°C)	RH_{min} (%)	RH_{max} (%)	u_2 (m s^{-1})	n (hr $year^{-1}$)	Rn (MJ m^{-2} day^{-1})
Value of change	0.71	0.97	0.80	-	3.42	-0.59	-128	-
Percentage change	8.5	4.4	5.3	-	5.7	-28.7	-4.2	-
Year of change	1390	1392	1390	-	1392	1388	1393	-

DOI: 10.22055/jise.2024. 45541.2107

جدول ٦- بیشترین مقدار تغییرات میانگین تبخیر تعرق مرجع ماهانه ($mm\ month^{-1}$) و سالانه ($mm\ year^{-1}$) و سال تغییر آن در بین ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک استان کرمانشاه

Table 6- The greatest value of changes in the average monthly ($mm\ month^{-1}$) and annual reference evapotranspiration ($mm\ year^{-1}$) and the year of its change among the synoptic meteorological stations of Kermanshah province

Parameter	Farvardin	Ordibehesht	Khordad	Tir	Mordad	Shahrivar	Mehr	Aban	Azar	Day	Bahman	Esfand	Annual
Number of stations with change	3	3	5	6	6	6	6	3	2	3	4	3	6
Percent	30	30	50	60	60	60	60	30	20	30	40	30	60
Station with most change	Gilan Gharb	Gilan Gharb	Gilan Gharb	Eslamabad-e-Gharb	Gilan Gharb	Gilan Gharb	Gilan Gharb	Gilan Gharb	Gilan Gharb	Gilan Gharb	Gilan Gharb	Gilan Gharb	Gilan Gharb
Year of change	1386	1384	1384	1382	1384	1385	1384	1385	1383	1383	1384	1383	1384
Average ETo before	126	174.7	222.7	202.4	250.7	217.1	149.3	86.8	41.8	42.9	57.5	83.8	1730
Average ETo after	154.4	215.1	286.1	249.3	308.6	270.7	190.8	115.6	73.3	65.8	74.2	104.3	2159
Value of change	28.4	40.4	63.4	46.9	57.9	53.6	41.5	28.8	31.5	22.9	16.7	20.5	429

ایستگاه گیلانغرب در بین ایستگاه‌های مورد بررسی در ۱۱ ماه سال (همه ماه‌های سال به جز تیرماه) دارای بیشترین مقدار تغییرات ناگهانی میانگین تبخیر تعرق مرجع ماهانه بوده است که بیشترین مقدار این تغییرات در بین ماه‌های مورد بررسی مربوط به ماه خرداد با ۶۳/۴ میلی‌متر (در سال ۱۳۸۴) بوده است (جدول ۶). در تیرماه نیز ایستگاه اسلام‌آباد غرب با ۴۶/۹ میلی‌متر (در سال ۱۳۸۲) دارای بیشترین مقدار تغییرات ناگهانی میانگین تبخیر تعرق مرجع بوده است. دامنه سال‌های بیشترین مقدار تغییر ناگهانی میانگین تبخیر تعرق مرجع ماهانه بین سال‌های ۱۳۸۲ تا ۱۳۸۶ بود به طوری‌که سال ۱۳۸۴ در پنج ماه سال (اردیبهشت، خرداد، مرداد، مهر و بهمن) دارای بیشترین فراوانی این تغییر می‌باشد. هم‌چنین نتایج جدول (۶) در مقیاس سالانه نشان می‌دهد تعداد ۶ ایستگاه (۶۰ درصد) از بین ایستگاه‌های مورد مطالعه دارای تغییرات ناگهانی میانگین تبخیر تعرق مرجع سالانه بودند به‌طوری که از میان آن‌ها ایستگاه گیلانغرب با ۴۲۹ میلی‌متر (سال ۱۳۸۴) دارای بیشترین مقدار این تغییر بوده است. به عبارت دیگر میانگین تبخیر تعرق مرجع سالانه در این ایستگاه قبل از سال ۱۳۸۴، ۱۷۳۰ میلی‌متر بوده که بعد از این سال به طور ناگهانی میانگین آن به ۲۱۵۹ میلی‌متر افزایش یافته است.

به‌منظور یافتن دلیل بیشترین افزایش تبخیر تعرق مرجع سالانه در ایستگاه گیلانغرب، سری زمانی هر یک از عوامل مؤثر بر تبخیر تعرق مرجع سالانه با آزمون پتیت بررسی شد که نتایج این آزمون در جدول (۷) نشان داده شده است. نتایج جدول (۷) نشان می‌دهد آزمون پتیت برای سری‌های زمانی حداقل و حداکثر دمای هوا در ایستگاه گیلانغرب در سطح احتمال پنج درصد و حداکثر رطوبت نسبی، سرعت باد، ساعات آفتابی و تابش خالص سالانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بوده و نشان‌دهنده‌ی وجود تغییر ناگهانی این پارامترها می‌باشد. در شکل (۸) تغییرات ناگهانی عوامل مؤثر بر تبخیر تعرق مرجع سالانه در ایستگاه گیلانغرب نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد به‌جز متغیرهای میانگین دما و حداقل رطوبت نسبی سالانه سایر متغیرهای مؤثر بر تبخیر تعرق مرجع سالانه دارای تغییر ناگهانی بودند. مقدار و سال تغییر عوامل مؤثر بر تبخیر تعرق مرجع سالانه در ایستگاه گیلانغرب نیز در جدول (۸) ارائه شده است. نتایج این جدول نشان می‌دهد میانگین حداقل دما، حداکثر دما، حداکثر رطوبت نسبی، سرعت باد، ساعات آفتابی و تابش خالص سالانه به‌ترتیب بعد از سال‌های ۱۳۸۳، ۱۳۸۳، ۱۳۸۳، ۱۳۸۴، ۱۳۸۴، ۱۳۹۵ و ۱۳۹۵ به‌طور ناگهانی تغییر داشت. نتایج جدول (۸) نشان می‌دهد هرچند که حداکثر دمای سالانه‌ی بعد از سال دارای تغییر ناگهانی ۵/۰ (۱۳۸۳) درصد نسبت به میانگین آن در قبل از سال دارای تغییر ناگهانی، کاهش یافته است اما با افزایش ۱۶/۶ (۱۳۹۲) درصدی میانگین حداقل دمای سالانه، ۷۵/۳ درصدی سرعت باد، ۴۶/۵ درصدی ساعات آفتابی و ۱۷/۴ درصدی تابش خالص و کاهش ۲۲/۹ درصدی حداکثر رطوبت نسبی سالانه موجب افزایش ۲۴/۸ درصدی (۱۳۸۴) تبخیر تعرق مرجع سالانه در ایستگاه گیلانغرب شده است (شکل ۶). لازم به ذکر است که اعداد داخل پرانتز مربوط به سال تغییر ناگهانی متغیر مورد نظر می‌باشد. نتایج پژوهش Fu et al. (2022) در چین نشان داد که افزایش دما و سرعت باد و کاهش رطوبت نسبی اثرات مثبت و بزرگی بر افزایش تبخیر تعرق مرجع داشته و کاهش تابش آفتاب در مناطق مختلف کشاورزی اثرات کاهشی بر این عامل داشته که موافق نتایج پژوهش حاضر است. نتایج پژوهش Eslamian et al. (2011) در تهران، اصفهان، شیراز، تبریز و مشهد نشان داد دما و رطوبت نسبی بیشترین تأثیر را در تبخیر تعرق مرجع دارند.

جدول ۷- نتایج آزمون پتیت برای متغیرهای مؤثر بر تبخیر تعرق مرجع سالانه در ایستگاه هواشناسی سینوپتیک گیلانغرب

Table 7- the results of Pettitt's test for the variables affecting the annual reference evapotranspiration in synoptic meteorological station of Gilan Gharb

Pettitt's test statistics	T_{min}	T_{max}	T_{mean}	RH_{min}	RH_{max}	u_2	n	Rn
K_t	94	86	57	38	108	109	108	108
p-value	0.02*	0.04*	0.34	0.80	0.004**	0.003**	0.004**	0.004**

Notes: * and ** indicate significant difference at a 5% probability level ($P < 0.05$), and significant difference at a 1% probability level ($P < 0.01$), respectively.

جدول ۸- سال و مقدار تغییر متغیرهای مؤثر بر تبخیر تعرق مرجع سالانه در ایستگاه هواشناسی سینوپتیک گیلانغرب

Table 8- the year and value of change of the variables affecting the annual reference evapotranspiration in synoptic meteorological station of Gilan Gharb

Parameter	T_{min} (°C)	T_{max} (°C)	T_{mean} (°C)	RH_{min} (%)	RH_{max} (%)	u_2 (m s^{-1})	n (hr $year^{-1}$)	Rn (MJ m^{-2} day^{-1})
Value of change	1.95	-1.4	-	-	-15.2	1.39	1392	1.44
Percentage change	16.6	-5.0	-	-	-22.9	75.3	46.5	17.4
Year of change	1383	1383	-	-	1383	1384	1395	1395

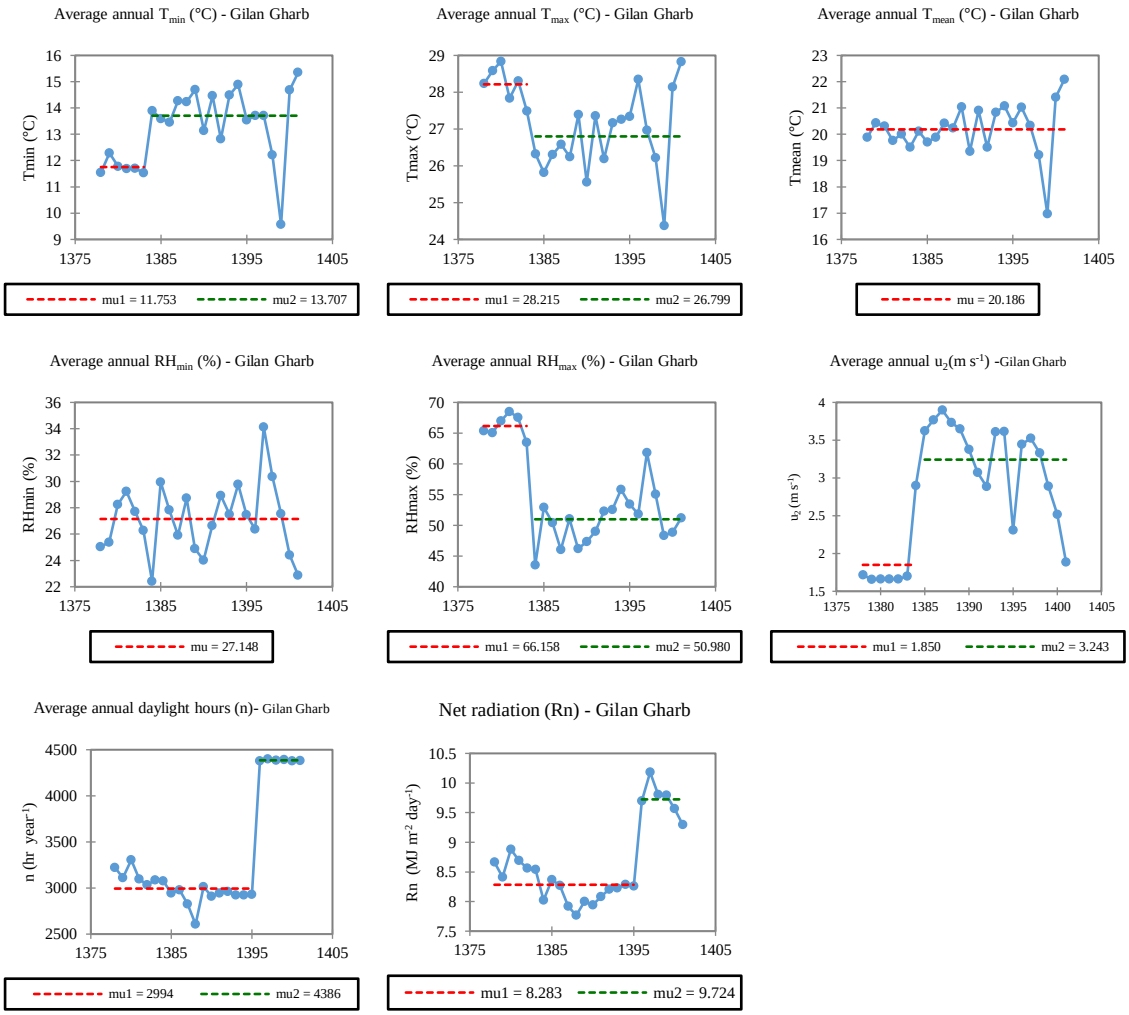


Fig. 8- Sudden changes of the factors affecting on the annual ETo in Gilan Gharb station

Notes: ETo: Reference evapotranspiration; T_{min}: Minimum air temperature; T_{max}: Maximum air temperature; T_{mean}: Mean air temperature; RH_{min}: Minimum air relative humidity; RH_{max}: Maximum air relative humidity; u_2: Wind speed at 2 m above ground surface; n: Daylight hours; Rn: Net radiation.

شکل ۸- تغییرات ناگهانی عوامل مؤثر بر ETo سالانه در ایستگاه گیلانغرب

DOI: 10.22055/jise.2024. 45541.2107

نتیجه‌گیری

در این پژوهش تغییرات تبخیر تعرق مرجع ماهانه و سالانه و عوامل اقلیمی مؤثر بر آن در ۱۰ ایستگاه هواشناسی سینوپتیک استان کرمانشاه طی سال‌های ۱۴۰۱-۱۳۷۸ با استفاده از آزمون پتیت مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد متغیرهای اقلیمی مؤثر بر تبخیر تعرق مرجع در حال تغییر هستند. در مقیاس ماهانه ۴۲ درصد از سری‌های زمانی تبخیر تعرق مرجع در ایستگاه‌های مورد بررسی دارای تغییرات ناگهانی تبخیر تعرق مرجع بودند که از این میان ۸۲ درصد ایستگاه‌ها دارای تغییرات افزایشی رو به بالا بوده و تنها در ۱۸ درصد از آن‌ها تغییرات کاهشی رو به پایین بوده است. بازه زمانی این تغییرات از سال ۱۳۸۲ تا ۱۳۹۴ بود. در مقیاس سالانه نیز ۶۰ درصد از سری‌های زمانی تبخیر تعرق مرجع در ایستگاه‌های مورد بررسی دارای تغییرات ناگهانی تبخیر تعرق مرجع شدند که از این میان ۸۳ درصد ایستگاه‌ها دارای تغییرات افزایشی رو به بالا بوده و تنها در ۱۷ درصد از آن‌ها تغییرات کاهشی رو به پایین اتفاق افتاد. بازه زمانی این تغییرات نیز از سال ۱۳۸۴ تا ۱۳۹۳ بود. در بین ماه‌های سال نیز، ماه‌های تیر تا مهر در ۶۰ درصد از ایستگاه‌های مورد مطالعه دارای بیشترین تغییرات ناگهانی تبخیر تعرق مرجع بودند که از این میان ۷۵ درصد ایستگاه‌ها دارای تغییرات افزایشی رو به بالا بوده و تنها در ۲۵ درصد از آن‌ها تغییرات کاهشی رو به پایین داشتند. این امر نشان می‌دهد نیاز آبی محصولات بهاره به طور کلی در استان افزایش یافته است. در پایان نتایج این مطالعه نشان می‌دهد به‌طور کلی از بازه زمانی ۱۳۸۲ تا ۱۳۹۴ به بعد، تغییرات ناگهانی افزایشی تبخیر تعرق مرجع در اغلب ایستگاه‌های هواشناسی استان کرمانشاه رخ داده است و باعث افزایش میزان نیاز آبی گیاهان زراعی و باغی در این استان گردیده است و باید منابع آبی استان را با برنامه‌ریزی مناسب‌تر در اختیار بخش کشاورزی قرار دهند. توصیه می‌شود کشاورزان نیز با لحاظ این امر که نیاز آبی گیاهان در استان افزایش یافته است با برنامه‌ریزی بهتری نسبت به انتخاب گیاه و مساحت کشت محصولات خود اقدام کنند تا با کاهش محصول مواجه نشوند. در این پژوهش تنها از داده‌های هواشناسی ۲۴ ساله (۱۳۷۸ تا ۱۴۰۱) برای محاسبه تبخیر تعرق مرجع و تغییرات آن استفاده شده است. اگر داده‌های بیشتری به‌عنوان مثال بیش از ۵۰ سال در دسترس بود، نتایج بهتری می‌توانست به‌دست آید. همچنین در سال‌های اخیر با توجه به افزایش تولید گازهای گلخانه‌ای مثل دی اکسید کربن و تأثیر احتمالی آن بر تبخیر تعرق گیاه مرجع (چمن یا یونجه)، علاوه بر متغیرهای هواشناسی می‌بایست پاسخ فیزیولوژیکی گیاه مرجع به تغییرات غلظت دی اکسید کربن هوا نیز مورد توجه قرار گیرد. با این حال، در پژوهش حاضر این موضوع مورد توجه قرار نگرفته است و نیاز به تحقیقات بیشتری در این راستا وجود دارد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله از مسئولین سامانه نیاز آبی گیاهان کشور، مؤسسه تحقیقات خاک و آب و سازمان هواشناسی کشور به دلیل همکاری‌های لازم و در اختیار قرار دادن داده‌های مورد نیاز این مطالعه کمال تقدیر و تشکر را دارند.

Refrences

1- Ahmadi, A., Daccache, A., Snyder, R.L. and Suvočarev, K., 2022. Meteorological driving forces of reference evapotranspiration and their trends in California. *Science of the Total Environment, 849,* p. 157823. doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.157823.

2- Akhvan, S., Mousabeygi, F. and Hashemi Garmdareh, S.E., 2019. Assessment of reference evapotranspiration (ETo) methods under data scarcity scenarios (case study: Kermanshah). *Journal of Irrigation and Water Engineering, 9(1),* pp. 183–197. doi: 10.22125/iwe.2018.93443 (In Persian).

3- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. and Smith, M., 1998. *Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements*. FAO Irrigation and Drainage Paper 56, Rome, Italy.

4- de Martonne, E., 1926. L'indice d'aridité. *Bulletin de l'Association de géographes français, 3 (9)*, pp. 3–5. doi: 10.3406/bagf.1926.6321.

5- de Oliveira, R.G., Valle Júnior, L.C.G., da Silva, J.B., Espíndola, D.A.L.F., Lopes, R.D., Nogueira, J.S., Curado, L.F.A., et al., 2021. Temporal trend changes in reference evapotranspiration contrasting different land uses in southern Amazon basin. *Agricultural Water Management, 250,* p. 106815. doi: 10.1016/j.agwat.2021.106815.

6- Di Nunno, F. and Granata, F., 2023. Future trends of reference evapotranspiration in Sicily based on CORDEX data and Machine Learning algorithms. *Agricultural Water Management, 280,* p. 108232. doi: 10.1016/j.agwat.2023.108232.

7- Dinpazhoh, Y. and Foroughi, M., 2018. Impact of Climate Change on Sudden Changes in Potential Evapotranspiration Time Series (Case Study: NW of Iran). *Journal of Water and Soil, 32(3),* pp. 617–632. doi: 10.22067/jsw.v32i3.71351 (In Persian).

8- Dinpazhoh, Y., Jahanbakhsh Asl, S. and Foroughi, M., 2019. Sensitivity Analysis of Evapotranspiration to Change in Meteorological Parameters in North-West and West of Iran. *Journal of Water and Soil Resources Conservation, 8(2),* pp. 1–14. (In Persian).

9- Ebrahimi Haftcheshmeh, I. and Farhadi Bansouleh, B., 2021. Spatial variation of reference evapotranspiration in Kermanshah province. *Journal of Agricultural Meteorology, 9(2),* pp. 61–66. doi: 10.22125/agmj.2021.262567.1106 (In Persian).

10- Eslamian, S., Khordadi, M. J. and Abedi-Koupai, J., 2011. Effects of variations in climatic parameters on evapotranspiration in the arid and semi-arid regions. *Global and Planetary Change, 78 (3–4),* pp. 188–194. doi: 10.1016/j.gloplacha.2011.07.001.

11- Fisher, J.B., Whittaker, R.J. and Malhi, Y., 2011. ET come home: potential evapotranspiration in geographical ecology. *Global Ecology and Biogeography, 20(1),* pp. 1–18. doi: 10.1111/j.1466-8238.2010.00578.x.

12- Fu, J., Gong, Y., Zheng, W., Zou, J., Zhang, M., Zhang, Z., Qin, J., Liu, J., Quan, B., 2022. Spatial-temporal variations of terrestrial evapotranspiration across China from 2000 to 2019. *Science of The Total Environment, 825,* p. 153951. doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.153951.

13- Ghamarnia, H., Mousabeygi, F., Amiri, S. and Amirkhani, D., 2015. Evaluation of a Few Evapotranspiration Models Using Lysimeteric Measurements in a Semi Arid Climate Region. *International Journal of Plant & Soil Science, 5(2),* pp. 100–109. doi: 10.9734/IJPSS/2015/14320.

14- Ghasemi, A.R., 2015. Changes and trends in maximum, minimum and mean temperature series in Iran. *Atmospheric Science Letters, 16(3),* pp. 366–372. doi: 10.1002/asl2.569.

15- Haghizadeh, A., Bayat, V. and Arshia, A., 2019. Estimation of The Evapotranspiration potential of Kermanshah synoptic stations Using Genetic Programming. *Journal of Geographic Space, 19(67),* pp. 29–42. (In Persian).

16- Jhajharia, D., Dinpashoh, Y., Kahya, E., Singh, V.P. and Fakheri-Fard, A., 2012. Trends in reference evapotranspiration in the humid region of northeast India. *Hydrological Processes, 26(3),* pp. 421–435. doi: 10.1002/hyp.8140.

17- Jovzi, M., Ebrahimi Pak, N.A. and Tafteh, A., 2023. Estimation of reference crop evapotranspiration by Hargreaves Samani and modified Hargreaves Samani methods and evaluating them using the water requirement system of plants in Kermanshah province. *Hydrogeology, 8(1),* pp. 1–16. doi: 10.22034/hydro.2023.53196.1271 (In Persian).

18- Li, Y., Yao, N. and Chau, H.W., 2017. Influences of removing linear and nonlinear trends from climatic variables on temporal variations of annual reference crop evapotranspiration in Xinjiang, China. *Science of the Total Environment, 592,* pp. 680–692. doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.02.196.

19- Liang, L., Li, L. and Liu, Q., 2010. Temporal variation of reference evapotranspiration during 1961–2005 in the Taoer River basin of Northeast China. *Agricultural and Forest Meteorology, 150(2),* pp. 298–306. doi: 10.1016/j.agrformet.2009.11.014.

20- Liu, X. and Zhang, D., 2013. Trend analysis of reference evapotranspiration in Northwest China: The roles of changing wind speed and surface air temperature. *Hydrological Processes, 27(26),* pp. 3941–3948. doi: 10.1002/hyp.9527.

21- Maunder, W.J., 1995. *Dictionary of Global Climate Change.* 1st ed., Springer US, Boston, MA. doi: 10.1007/978-1-4615-6841-4.

22- Mirmousavi, H., Panahi, H., Akbari, H. and Akbarzadeh, Y., 2012. Calibration Methods to Estimate Reference Crop Evapotranspiration and Calculated Potential Water Requirements of Olive Plant in Kermanshah Province. *Geography and Environmental Sustainability, 2(2),* pp. 45–64. (In Persian).

23- Peterson, T.C., Golubev, V.S. and Groisman, P.Y., 1995. Evaporation losing its strength. *Nature, 377,* pp. 687–688. doi: 10.1038/377687b0.

24- Pettitt, A.N., 1979. A Non-Parametric Approach to the Change-Point Problem. *Applied Statistics, 28(2),* pp. 126–135. doi: 10.2307/2346729.

25- Rahman, M.N., Azim, S.A., Jannat, F.A., Hasan Rony, M.R., Ahmad, B. and Sarkar, M.A.R., 2023. Quantification of rainfall, temperature, and reference evapotranspiration trend and their interrelationship in sub-climatic zones of Bangladesh. *Heliyon, 9(9),* p. e19559. doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e19559.

26- Soil and Water Research Institute, 2023. *Water Requirement System of Plants*. available at: http://niwr.ir/Login.aspx..

27- Sumner, D.M. and Jacobs, J.M., 2005. Utility of Penman–Monteith, Priestley–Taylor, reference evapotranspiration, and pan evaporation methods to estimate pasture evapotranspiration. *Journal of Hydrology, 308(1–4),* pp. 81–104. doi: 10.1016/j.jhydrol.2004.10.023.

28- Tabari, H., Marofi, S., Aeini, A., Talaee, P.H. and Mohammadi, K., 2011. Trend analysis of reference evapotranspiration in the western half of Iran. *Agricultural and Forest Meteorology, 151(2),* pp. 128–136. doi: 10.1016/j.agrformet.2010.09.009.

29- Xu, L., Shi, Z., Wang, Y., Zhang, S., Chu, X., Yu, P., Xiong, W., et al., 2015. Spatiotemporal variation and driving forces of reference evapotranspiration in Jing River Basin, northwest China. *Hydrological Processes, 29(23),* pp. 4846–4862. doi: 10.1002/hyp.10541.

30- Yang, L., Feng, Q., Adamowski, J.F., Yin, Z., Wen, X., Wu, M., Jia, B., et al., 2020. Spatio-temporal variation of reference evapotranspiration in northwest China based on CORDEX-EA. *Atmospheric Research, 238,* p. 104868. doi: 10.1016/j.atmosres.2020.104868.

31- Yassen, A.N., Nam, W. H. and Hong, E. M., 2020. Impact of climate change on reference evapotranspiration in Egypt. *CATENA, 194,* p. 104711. doi: 10.1016/j.catena.2020.104711.

32- Yin, Y., Wu, S. and Dai, E., 2010. Determining factors in potential evapotranspiration changes over China in the period 1971–2008. *Chinese Science Bulletin, 55(29),* pp. 3329–3337. doi: 10.1007/s11434-010-3289-y.

33- Zare Abyaneh, H., Saghaei, S., Ershad-Fath, F. and Nozari, H., 2014. Modeling and Forecasting of Reference Crop Evapotranspiration Using Time Series, Case Study: Kermanshah Province. *Journal of Agricultural Meteorology, 2(1),* pp. 45–56. (In Persian).