



Study of Relative Effectiveness of Climatic Factors on Reference Crop Potential Evapotranspiration in the Southern Fringe of Caspian Sea

Yagob Dinpashoh¹, Saeid Jahanbaksh^{2✉}, Asma Azadeh Gare Bagh³

1. Corresponding author, Department of of Water Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

E-mail: dinpashoh@yahoo.com

2. Department of Geography and Climatology, Faculty of Planning and Environmental Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran. E-mail: jahanbakshsaeed@yahoo.com

3. Department of Geography and Climatology, Faculty of Planning and Environmental Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran. E-mail: asmaazade@gmail.com

Article Info

ABSTRACT

Article type:

Research Article

Article history:

Received: 4 November 2023

Revised : 18 January 2024

Accepted : 23 January 2024

Published : 18 February 2025

Keywords:

Evapotranspiration,

Factor Analysis,

Mann-Kendall,

Varimax

In this study the values of potential reference crop evapotranspiration were calculated using the FAO-56 Penman Monteith method in six stations located in southern shores of Caspian Sea. Trends in annual ET₀ values of the stations were analyzed using the Mann-Kendall test. Then to determine the relative importance of climatic variables on ET₀ in a certain station factor analysis conducted. To do this, correlation matrix (R) of seven variables also called similarity matrix was constructed. The significance of correlation coefficients were tested. Results of trends in ET₀ showed that in all the stations (except Noshahr) trends of annual ET₀ were upward and significant. The slopes of trend lines were positive in all the stations. Factor analysis showed that the first two factors accounted the total variance in the range of 56.5 per cent in the Rasht to 79.6 per cent in the Sari. The largest loading of the first factor is attributed to sunshine hours in the station Rasht, however, it was maximum air temperature in all other sites. In the case of the second factor, the largest loading belonged to wind speed (in Rasht, Gorgan, Sari and Noshahr) and precipitation (in Ramsar and Astara). The findings of this study can be helpful in optimum management of regional water resources.

Cite this article: Dinpashoh, Y., Jahanbaksh, S., & Azadeh Gare Bagh, A. (2025). Title of paper in lower case letters (except for initial letter of first word, initial of first word after a colon, and proper nouns). *Journal of Geography and Planning*, 28 (89), 79-93. <http://doi.org/10.22034/gp.2024.58543.3187>



© The Author(s).

DOI: <http://doi.org/10.22034/gp.2024.58543.3187>

Publisher: University of Tabriz.

Introduction

Evapotranspiration (ET) is an important element of water cycle. This parameter as well as many other climatic variables can be affected by climate change. ET is a complex function of many parameters such as air temperature, relative humidity, actual sunshine hours, wind speed and rainfall. Potential reference crop evapotranspiration (ET_0) is a key parameter in determining crop water requirements. Many researchers interested in trend analysis of ET_0 in different regions (Dinpashoh et al. 2011,). Many others interested in sensitivity analysis of ET_0 to climatic variables (Biazar et al., 2019; Nandagiri and Kovoor, 2004; Sharifi and Dinpashoh 2014 and many others). Factor analysis is known as an efficient tool in converting some variables having strong correlation with each other into the few orthogonal variables called factors. This method is selected in analysis of multivariate phenomena by many investigators such as Panda et al. (2006) and Mohan and Arumugam (1996). In the present study, we tried to estimate ET_0 in the six synoptic weather stations located in the southern shores of Caspian Sea in northern Iran. In order to find the relative importance of climatic variables in the region factor analysis conducted in each of the stations.

Data and Method

Data used in this study are the daily time series of climatic variables namely maximum air temperature (T_{max}), minimum air temperature (T_{min}), relative humidity (Rh), actual sunshine hours (n), wind speed (u) and precipitation. Data gathered from the Islamic Republic of Iran Meteorological Organization (IRIMO). Six stations selected in this study for analysis.

Values of the potential reference crop evapotranspiration $ET_{0\text{ were}}$ calculated using the FAO-56 Penman Monteith method in the six selected stations. Then trends in annual ET_0 values of the stations were analyzed using the Mann-Kendall test. In order to determine the relative effectiveness of the selected climatic variables on ET_0 the factor analysis conducted in each of the stations, separately. Correlation matrix (R) of the climatic variables was constructed and then used as the similarity matrix in each site.

Results and Discussion

Preliminary results of trends in ET_0 showed that in all of the stations (except Noshahr) trends of annual ET_0 were upward and significant. The largest value of Z statistics belonged to Gorgan was 5.03. The stations Sari and Rasht having the Z equal to 4.44 and 4.28 are positioned in the second and third ranks. The slopes of trend lines are positive in all the stations (except Bojnurd). The steepest trend line slope belonged to the Gorgan which was about 13.43 mm per year. Then Sari and Rasht positioned in the second and third ranks from the view of having steep slopes. Results of the factor analysis showed that the first two factors accounted the total variance in the range of 56.5 per cent in the Rasht to 79.6 per cent in the Sari. The largest loading of the first factor is attributed to sunshine hours in Rasht, however, it was T_{max} for all the other sites. In the case of the second factor the largest loading belonged to wind speed (in Rasht, Gorgan, Sari and Noshahr) and precipitation (in Ramsar and Astara). The findings of this study can be useful in optimum management of regional water resources.

Conclusion

Potential reference crop evapotranspiration (ET_0) evaluated in the six stations using the FAO-56 Penman-Monteith method. Stations located in southern fringe of Caspian Sea located in north of Iran. The values of annual ET_0 for the stations calculated and found that it was varied from site to site. Stations located in the west of Caspian shores had ET_0 from 700 to 950 mm. However, it was ranged between 800-1200 mm in the case of stations located in the east of the region. Visual inspection of annual ET_0 time series revealed an upward trend for all the stations (except station Noshahr) which is verified later by MK method. The steepest trend line of annual ET_0 time series belonged to Gorgan having 13.43 mm per year. Conducting factor analysis resulted for reducing dimensionality of the data. Inspection of screeplots of the sites revealed that only two factors would be sufficient to be retained. Because these two factors accounted for more than 56 per cent of variances in each of the stations. In the station Rasht, sunshine hours had the largest loading among other variables. However, in the case of other sites, the T_{max} showed the largest loading among the other climatic variables.



بررسی اثر نسبی متغیرهای اقلیمی بر تبخیر - تعرق پتانسیل گیاه مرجع در حاشیه جنوبی دریای خزر

یاقوب دین پژوه^۱، سعید جهانبخش اصل^۲، آزاده قره باغ^۳

۱. نویسنده مسئول، استاد گروه مهندسی آب دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. رایانامه: dinpashoh@yahoo.com

۲. استاد، گروه آب و هواشناسی، دانشگاه تبریز. دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. رایانامه: jahanbakhshsaed@yahoo.com

۳. دانشجوی دکترا، گروه آب و هواشناسی، دانشگاه تبریز، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. رایانامه: asmaazade@gmail.com

چکیده

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:

مقاله پژوهشی

در این مطالعه، مقادیر تبخیر-تعرق پتانسیل گیاه مرجع (ET_0) با روش پنمن-مانتیت برای شش ایستگاه در حاشیه جنوبی دریای خزر محاسبه شد. روند تغییرات ET_0 سالانه ایستگاه‌ها با آزمون من کندال تحلیل شد. آنگاه تجزیه به عامل‌ها برای تعیین اثر نسبی متغیرهای اقلیمی روی ET_0 هر ایستگاه انجام شد. برای این کار ماتریس همبستگی (R) بین هفت متغیر اقلیمی به‌عنوان ماتریس مشابهت تشکیل شد. معنی داری ضرایب همبستگی آزمایش شد. نتایج روند تغییرات ET_0 نشان داد که در همه ایستگاه‌ها (بجز نوشهر) روند ET_0 سالانه مثبت و معنی‌دار بود. شیب خط روند ET_0 ایستگاه‌ها در همه آن‌ها صعودی بود. تجزیه به عامل‌ها نشان داد که مجموع واریانس توجیه شده توسط دو عامل اول از حداقل ۵/۵ درصد در رشت تا حداکثر ۶/۶ درصد در ساری تغییر می‌کند. بیشترین ضریب عامل اول در رشت ساعات آفتابی و در ایستگاه‌های دیگر حداکثر درجه حرارت بود. بیشترین ضریب عامل دوم، متعلق به سرعت باد (در ایستگاه‌های رشت، ساری، گرگان و نوشهر) و بارش (در ایستگاه‌های رامسر و آستارا) بودند. نتایج این مطالعه در مدیریت منابع آب منطقه می‌تواند مفید واقع شود

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۷/۰۹

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۱۱/۰۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۰۷

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۱۱/۳۰

کلیدواژه‌ها:

تبخیر-تعرق،

تجزیه به عامل‌ها،

من-کندال،

وریماکس

استناد: دین پژوه، یعقوب، جهانبخش اصل، سعید؛ و قره باغ، آزاد (۱۴۰۳). بررسی اثر نسبی متغیرهای اقلیمی بر تبخیر-تعرق پتانسیل گیاه مرجع در حاشیه جنوبی

دریای خزر. جغرافیا و برنامه‌ریزی، ۲۸ (۹۰)، ۹۳-۷۹.

<http://doi.org/10.22034/gp.2024.58543.3187>



مقدمه

تبخیر- تعرق (ET) که یکی از مؤلفه‌های مهم چرخه آب است. این پدیده توسط متغیرهای اقلیمی (مانند باد، درجه حرارت هوا، ... و نیز عوامل دیگر از قبیل موقعیت جغرافیایی (طول جغرافیایی، عرض جغرافیایی، ارتفاع) و توپوگرافی تغییر می‌کند. به طور کلی ET به دو روش مستقیم و غیرمستقیم قابل تخمین است. از جمله روش‌های مستقیم می‌توان به لایسیمترها (وزنی، زهکش‌دار، شناور و غیره) اشاره کرد. این روش‌ها دقیق بوده ولی پرزحمت و هزینه‌بر هستند (بختیاری و همکاران ۲۰۱۱). از روش‌های غیرمستقیم می‌توان به مدل‌های تجربی مختلف اشاره نمود. برخی از این مدل‌ها در مطالعات قبلی معرفی و استفاده شده‌اند (سبزی‌پرور و همکاران ۱۳۸۷، بابا میری و دین پژوه ۱۳۹۳، بابا میری و دین پژوه ۱۳۹۵، دین پژوه و همکاران ۱۴۰۰، دین پژوه، ۲۰۰۶ و طبری و همکاران ۲۰۱۱) همچنین در بسیاری از مطالعات از روش تشکک تبخیر برای تخمین تبخیر-تعرق واقعی (ET_a) استفاده شده است (چیو و همکاران ۱۹۹۵ و جهانبخش‌اصل و همکاران ۱۳۸۰). براساس نتایج مطالعات انجام شده در مناطق مختلف، روش فائو-پنمن-مانتیت (PMF56) به‌عنوان معتبرترین روش برای تخمین ET_0 شناخته شده است (وزیری و همکاران، ۱۳۸۷)، این روش بارها به‌عنوان یک روش مبنا برای مقایسه نتایج دیگر مدل‌های تجربی قرار گرفته است (مانند شیرزاد و همکاران ۱۴۰۱، دین پژوه و همکاران ۲۰۱۱، دین پژوه و همکاران ۲۰۲۱، بی‌آزار و همکاران ۲۰۱۹).

با افزایش دمای جو زمین، تحلیل روند تغییرات ET_0 مورد توجه بسیاری از اندیشمندان قرار گرفته است. مثلاً دین‌پژوه و همکاران (۲۰۱۱) روند ET_0 را در ۱۶ ایستگاه مختلف ایران تحلیل نمودند. دین پژوه (۱۳۹۰) روند تغییرات ET_0 را با استفاده از روش PMF56 در همدان (ایستگاه نوژه) برای دوره آماری ۲۰۰۵-۱۹۵۱ تحلیل کرد. اسمعیل‌پور و دین‌پژوه (۱۳۹۱) مقادیر ET_0 شش ایستگاه واقع در ساحل راست رود ارس (1986-2008) را با استفاده از روش بلانی-کریدل محاسبه و سپس روند تغییرات آن را تحلیل کردند.

حساسیت ET_0 به تغییرات فراسنج‌های اقلیمی نیز مورد توجه محققین مختلف بوده است (بی‌آزار و همکاران ۲۰۱۹، دین پژوه و همکاران ۲۰۱۹، شریفی و دین پژوه ۲۰۱۴ و حجابی و همکاران ۱۴۰۱). تجزیه به عامل‌ها (FA) یک ابزار سودمند و قوی برای تحلیل آماری آن سری از فرایندهایی (مانند ET_0) است که متغیرهای مختلف اقلیمی بطور خطی یا غیرخطی روی آن اثر دارند. چون متغیرهای اقلیمی کم و بیش به‌همدیگر وابستگی دارند، بنابراین، می‌توان با روش FA اثر این وابستگی‌ها را از بین برد. این کار با یافتن چند عامل مستقل از هم (که خود تابعی از متغیرهای اقلیمی است) امکان‌پذیر است.

روش FA قادر است تغییر پذیری پدیده ET_0 را که توسط متغیرهای اقلیمی مختلف صورت می‌گیرد با تعداد کمی عامل‌های مستقل از هم توجیه کند. این روش در زمینه‌های مختلف هیدرولوژیکی مانند الف) تعیین عوامل مختلف موثر بر آلودگی آب‌ها در ناحیه ماهانادی هند (پاندا و همکاران ۲۰۰۶)، ب) ارزیابی تغییرات زمانی و مکانی کیفیت آب در رودخانه‌ای واقع در هند (سینگ و همکاران ۲۰۰۴)، ج) ارزیابی ریسک آلودگی آب‌های منطقه صنعتی به فلزات سنگین مانند کادمیوم، کبالت، آرسینیک، نیکل، سرب و روی (کریشنا و موهان، ۲۰۱۴) و د) تعیین اثر نسبی متغیرهای اقلیمی روی ET_0 ایستگاه‌های هند مورد استفاده قرار گرفته است (موهان و آروماگام ۱۹۹۶). بنه‌امیشه و همکاران (۲۰۱۶) روش FA را در مورد داده‌های هیدروشمیایی آب زیرزمینی با بهره‌گیری از نمونه‌های ۱۸ چاه عمیق در حوضه ساممام واقع در الجزایر استفاده کردند. نامبردگان منشا تغییرات زمانی و مکانی کیفیت آب زیرزمینی را با روش FA مطالعه کردند. تحلیل FA برای این داده‌ها نشان داد که در دوره پر آب بیش از ۸۳ درصد و در دوره کم آب حدود ۷۸ درصد واریانس کل داده‌ها با چند عامل اصلی توجیه می‌شود. لیا و همکاران (۲۰۰۳) روش FA را در مورد داده‌های هیدروشمیایی آب زیرزمینی (۲۸ نمونه آب) در تایوان تحلیل نمودند. ایشان همبستگی ۱۳ متغیر کیفی آب شامل آنیونها و کاتیونها را با روش PMF56 در آب‌ها به‌عنوان ماتریس مشابهت استفاده کردند. نتایج حاکی از آن بود که فقط دو عامل نخست حدود ۷۸ درصد واریانس داده‌ها را توجیه می‌کند.

شریفی و همکاران (Sharifi et al., 2014) حساسیت ET_0 را روی پارامترهای اقلیمی در هشت ایستگاه هواشناسی در ایران در دوره آماری ۲۰۰۵-۱۹۶۵ مطالعه کردند. پس از تخمین ET_0 با روش PMF56 در ایستگاه‌ها هر یک از پارامترهای اقلیمی

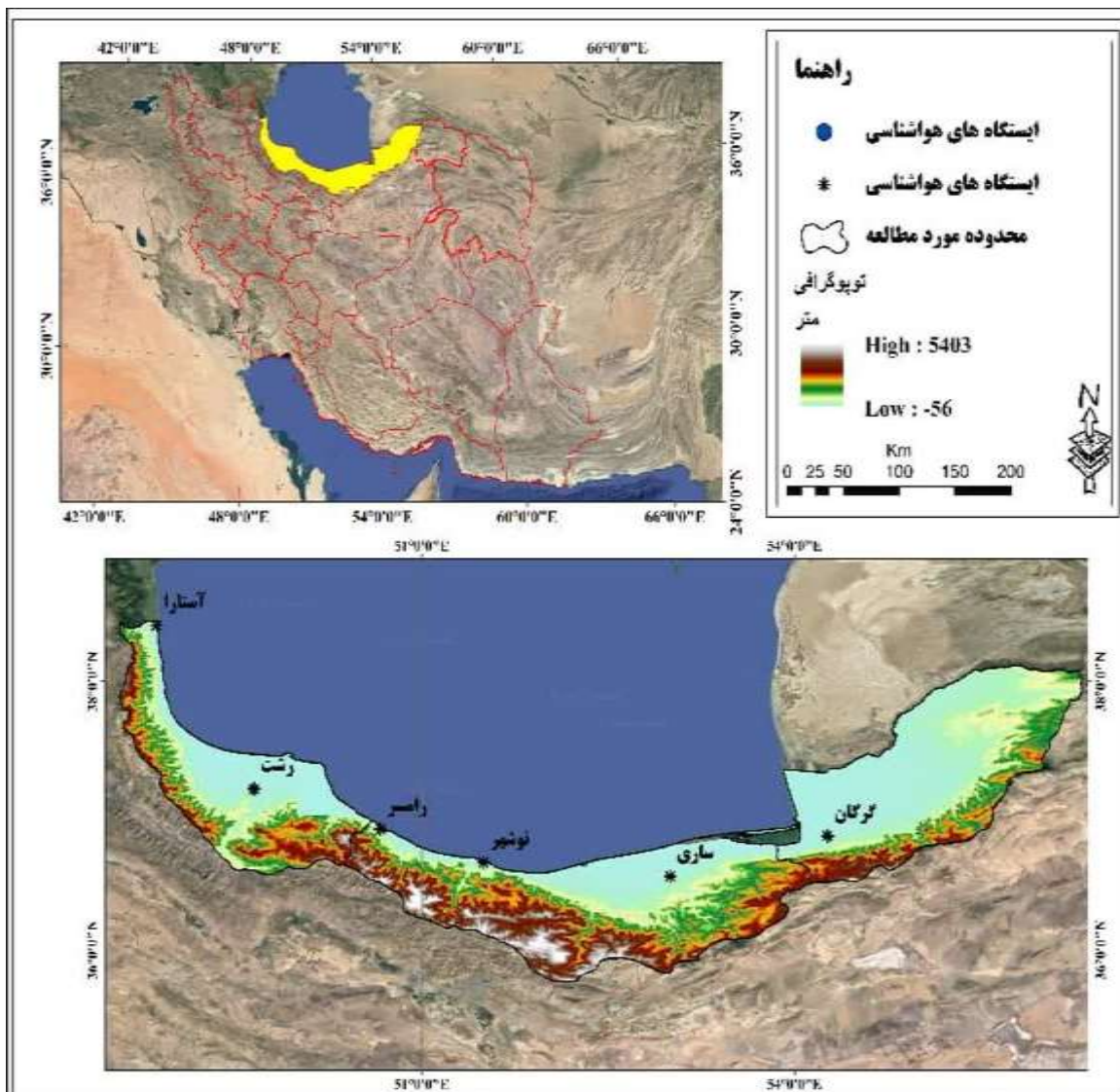
به میزان $\pm 20\%$ با گام‌های ۵٪ تغییر داده شد و مقدار تغییر در ET_0 مورد پایش قرار گرفت. نتایج نشان داد که در شش ایستگاه ET_0 به پارامتر درجه حرارت هوا حساس است. در پژوهش ایشان، کمترین تاثیر ET_0 به پارامترهای هواشناسی مورد بررسی متعلق به فشار بخار واقعی هوا بود.

روش FA بار اول در ایران توسط دین‌پژوه و همکاران (۲۰۰۴) در مورد شناخت پهنه‌های بارشی ایران استفاده شد. ایشان از داده‌های ۷۷ ایستگاه هواشناسی در دوره آماری ۱۹۵۶ تا ۱۹۹۷ بهره‌گرفتند و از بین ۵۷ متغیر اقلیمی کاندیدا تعداد ۱۲ متغیر را با استفاده از فن پروکراسستس انتخاب کردند. آنگاه از روش خوشه‌بندی وارد استفاده و ایستگاهها را به ۶ خوشه متمایز تفکیک کردند. روش مذکور بر اساس استفاده از روش تجزیه به مولفه‌های اصلی می‌باشد. در نهایت، نامبردگان منحنی رشد بارش بی‌بعد را برای هر خوشه در یک نمودار نشان دادند. قربانی اقدم و همکاران (۲۰۱۳) خشکسالی‌های حوضه دریاچه ارومیه را بمنظور مشخص کردن نواحی مستعد خشکسالی با روش FA بررسی کردند. نامبردگان از داده‌های بارشهای ماهانه ۳۰ ایستگاه هواشناسی در دوره آماری ۱۹۷۲ تا ۲۰۰۹ بهره‌گرفتند و مقادیر سری شاخص‌های SPI را برای هر ایستگاه محاسبه کردند آنگاه با استفاده از روش FA ناحیه را از نظر مشخصه‌های خشکسالی به پنج ناحیه متمایز تفکیک نمودند. عسگری و همکاران (۱۳۹۷) توان سیل‌خیزی را در حوضه جعفرآباد واقع در استان ایلام مطالعه کردند. ایشان ۲۸ پارامتر فیزیوگرافی حوضه را در ۱۲ زیرحوضه نظر گرفته و آن‌ها را به عامل‌های مستقل از هم با استفاده از روش FA و بهره‌گیری از نرم افزار SPSS تفکیک کردند. در نهایت کل حوضه‌ها را از نظر سیل‌خیزی به سه خوشه متمایز تفکیک کردند. روش FA برای تحلیل خشکسالی‌های نیمه جنوبی استان گلستان به کار برده شده است (رضاپور و همکاران ۱۹۹۸). با این حال، تاکنون روش FA در زمینه تشخیص متغیرهای مهم و اثرگذار روی ET_0 ایستگاه‌ها در ایران استفاده نشده است. مطالعه فعلی، در صدد پرکردن این خلاء علمی است. بنابراین، اهداف اصلی این مطالعه شامل الف) تخمین ET_0 در ایستگاه‌های منتخب در حاشیه جنوبی دریای خزر و ب) تجزیه به عامل‌های اصلی به منظور تشخیص متغیرهای موثر بر ET_0 ایستگاه‌ها می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه، حاشیه جنوبی دریای خزر است که بصورت نوار ساحلی در شمال ایران واقع است. شکل ۱ محدوده منطقه مورد مطالعه را بر روی نقشه ایران نشان می‌دهد. تعداد شش ایستگاه که اغلب در نوار ساحلی دریای خزر قرار دارند، انتخاب شد. داده‌ها از سازمان هواشناسی کشور اخذ شد. جدول ۱ مختصات جغرافیایی ایستگاه‌ها را نشان می‌دهد.



شکل (۱) محدوده منطقه مورد مطالعه همراه با نقشه DEM منطقه و موقعیت ایستگاه‌های منتخب در مطالعه

جدول (۱) مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های منتخب در این مطالعه

نام ایستگاه	آستارا	رامسر	رشت	ساری	گرگان	نوشهر
طول جغرافیایی دقیقه درجه	48°85'	50°68'	49°62'	49°62'	54°41'	51°46'
عرض جغرافیایی دقیقه درجه	38°36'	36°90'	37°32'	36°53'	36°90'	36°66'
ارتفاع (m)	-21.1	-20	-8.6	23	0	-20.9

در این روش مقدار ET_0 از رابطه زیر بدست آمد (آلن و همکاران، ۱۹۹۸)

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در آن ET_0 : تبخیر-تعرق پتانسیل گیاه مرجع به میلی‌متر بر روز، Δ : شیب فشار بخار اشباع تابعی از میانگین درجه حرارت هوا (کیلوپاسکال بر درجه سانتی‌گراد)، R_n : تابش خالص رسیده به سطح گیاه (مگاژول بر مترمربع بر روز)، G : شار حرارتی خاک (مگاژول بر مترمربع بر روز)، γ : ثابت سایکرومتری (کیلوپاسکال بر درجه سانتی‌گراد)، T : متوسط روزانه درجه حرارت هوا (درجه سانتی‌گراد)، u_2 : متوسط سرعت باد روزانه در ارتفاع دو متری (متر بر ثانیه)، e : میانگین فشار بخار اشباع هوا

(کیلوپاسکال) و e_a : میانگین فشار بخار واقعی هوا (کیلوپاسکال) است. برای تبدیل سرعت باد از ۱۰ متری به ۲ متری از رابطه زیر بهره گرفته شد (نانداگیری و کوور ۲۰۰۴ و حجابی و همکاران ۱۴۰۱):

$$u_2 = u_h \frac{4.87}{\ln(67.8h - 5.42)} \quad \text{رابطه (۲)}$$

که در آن u_2 : سرعت باد در ارتفاع دو متری (ms^{-1})، u_h : سرعت باد در ارتفاع h متری (ms^{-1}) و h ارتفاع دکل بادسنج (در این مطالعه ده متر) است.

آزمون من-کندال (MK)

روش من-کندال (MK) اول بار توسط مان (۱۹۴۵) و سپس کندال (۱۹۷۵) ارائه شد. این روش از جمله مهم‌ترین روش‌های آمار ناپارامتری است که به‌طور گسترده برای ارزیابی روند تغییرات متغیرهای اقلیمی استفاده می‌شود. این روش برای سری‌هایی که از توزیع آماری خاصی تبعیت نمی‌کنند و/یا توزیع منحنی فراوانی آنها چولگی دارد، قابل استفاده است. اثرپذیری ناچیز از مقادیر پرت (بسیار بزرگ یا بسیار کوچک) از دیگر مزایای این روش است. در این مطالعه نیز از روش MK برای تحلیل روند ET_0 استفاده شد. ضمناً برای تخمین شیب خط روند از روش تخمینگر Sen استفاده شد. جزئیات این روش‌ها را می‌توان در مطالعات مختلف مانند دین‌پژوه و همکاران (۲۰۱۱) و دین‌پژوه (۱۳۹۰) یافت.

تجزیه به عامل‌ها (FA)

برای انجام روش FA، در هر ایستگاه، شش متغیر اقلیمی شامل بارش، دمای حداکثر، دمای حداقل، رطوبت نسبی، سرعت باد، ساعات آفتابی واقعی در مقیاس ماهانه انتخاب شد. علت آن اثر احتمالی این متغیرها روی ET_0 ایستگاه‌ها است. قبل از انجام FA، ضریب همبستگی بین متغیرهای اقلیمی با همدیگر و با ET_0 در هر ایستگاه از رابطه زیر به دست آمد:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \times \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad \text{رابطه (۳)}$$

که در آن r ضریب همبستگی بین دو سری x و y و n تعداد جفت مشاهدات می‌باشد. در این رابطه \bar{x} و \bar{y} بترتیب، میانگین مشاهدات x و y می‌باشد. ضریب r برای هر زوج متغیر اقلیمی بدست آمد و نتایج هر ایستگاه بطور جداگانه در یک ماتریس همبستگی (R) درج شد. معنی‌داری ضرایب همبستگی در سطح $\alpha/2$ مورد آزمون قرار گرفت. برای این کار از آماره t بشرح زیر استفاده شد (هرش و همکاران ۱۹۹۳):

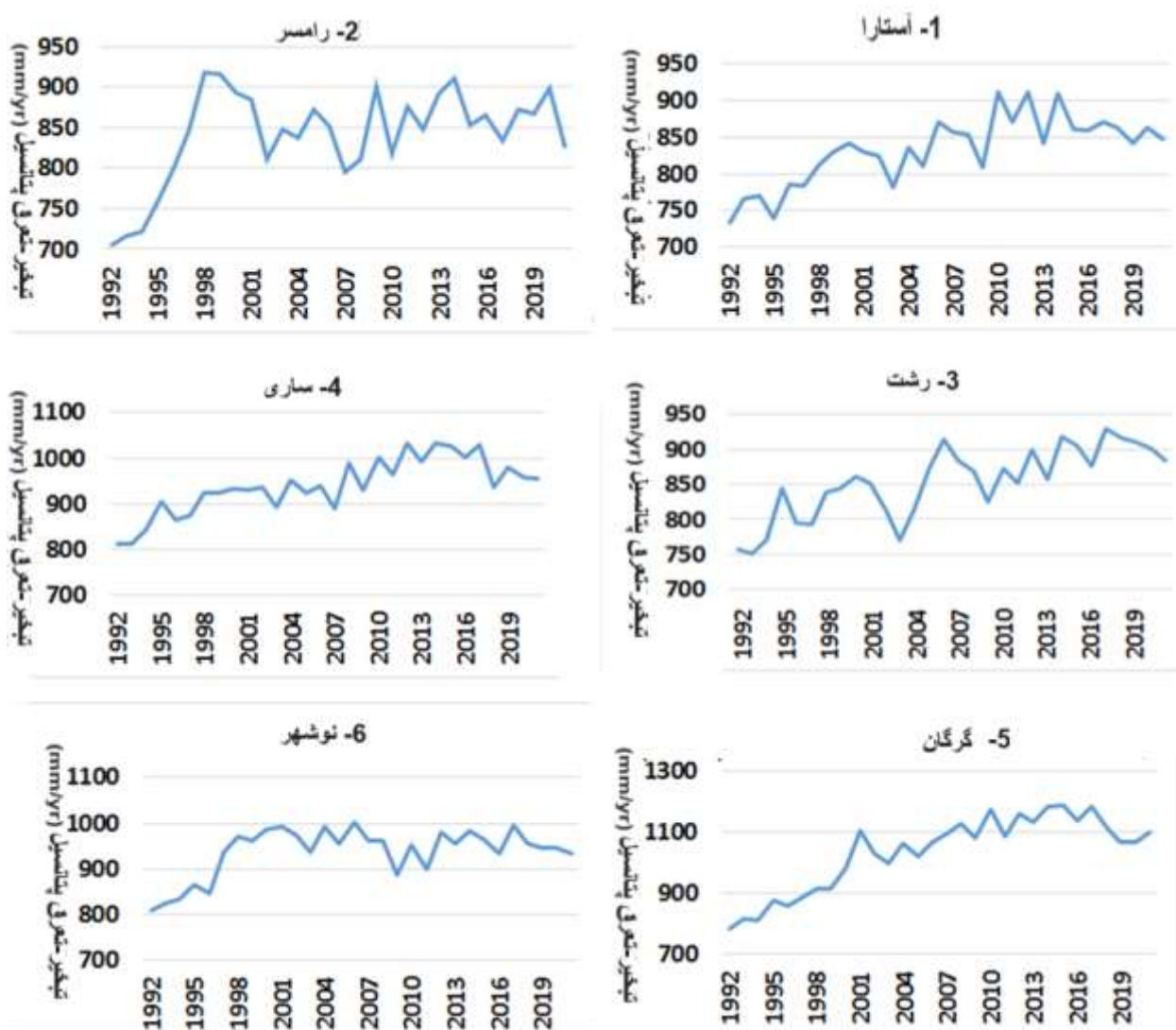
$$t = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}} \quad \text{رابطه (۴)}$$

که در آن r ضریب همبستگی، n تعداد جفت مشاهده و α سطح معنی‌داری می‌باشد. این آماره با مقدار نظیر جدول t استیودنت با $n-2$ درجه آزادی و سطح معنی‌داری α مقایسه می‌شود. اگر t محاسبه شده از t مستخرج از جدول استیودنت بزرگتر می‌شد آنگاه r معنی‌دار، و در غیر این صورت غیرمعنی‌دار در نظر گرفته می‌شود.

دترمینان ماتریس همبستگی (R) نیز برای یکایک ایستگاه‌ها حساب شد. این عدد برای تحلیل پدیده چند هم خطی بین سری داده‌ها مهم است. در صورتی که مقدار دترمینان از یک عدد خیلی کوچک (در اینجا معادل $1/1000$) بیشتر می‌شود، اقدام به FA می‌گردید. در غیر این صورت، لازم است یکی از متغیرها (بدلخواه) که با دیگر متغیرها همبستگی بالایی ($r > 0.8$) داشته باشد حذف شود و با این شگرد مشکل چند همخطی حل و FA با متغیرهای باقی مانده پس از حذف اجرا می‌گردد. برای قابل مقایسه بودن نتایج تفسیر در این مطالعه دو عامل اصلی نگاه داشته شد. از چرخش محورها بصورت متعامد با روش وریماکس بهره گرفته شد. پس از چرخش، ضرایب بزرگ در خصوص هر عامل (مثلاً بزرگتر از 0.4) مشخص و عامل مذکور براساس این متغیرها نام‌گذاری شد. این تجزیه برای یکایک ایستگاه‌ها در نرم افزار SPSS انجام شد. جزئیات FA در متون آماری مانند هارمن (۱۹۷۶)، بزیلوسکی (۱۹۹۴)، رنچر (۱۹۹۵) و مانلی (۱۹۹۴) قابل دست‌یابی است.

نتایج و بحث

شکل ۲ نمودارهای سری زمانی ET_0 سالانه را با روش PMF56 در شش ایستگاه منتخب نشان می‌دهد. بطوریکه از این شکل می‌توان استنباط کرد، مقادیر ET_0 سالانه اکثر ایستگاه‌ها بویژه ایستگاه‌های واقع در نیمه غربی سواحل دریای خزر (شامل آستارا، رامسر و رشت) بطور تقریب در دامنه ۷۰۰ تا ۹۵۰ میلیمتر نوسان می‌کند. در حالی‌که، این مقادیر در نیمه شرقی (شامل نوشهر، گرگان و ساری) در دامنه ۸۰۰ تا ۱۲۰۰ میلیمتر تغییر می‌کند. از سویی، ET_0 سالانه همه ایستگاه‌ها دارای روند صعودی محسوس است. این نتیجه خود نشانی از اثر افزایش دمای جو روی روند افزایشی ET_0 این ناحیه است. در الگوی ماهانه، بیشترین مقدار ET_0 در ماه ژوئیه و کمترین آن در ماه ژانویه اتفاق می‌افتد.



شکل (۲) نمودارهای ET_0 سالانه در هر یک از ایستگاه‌های منتخب با روش پنمن - مانتیش.

جدول ۲ خلاصه نتایج مربوط به روند تغییرات ET_0 ایستگاه‌ها را با روش مان کندال نشان می‌دهد. در همه ایستگاه‌ها (بجز نوشهر) روند ET_0 سالانه مثبت و معنی دار یا بسیار معنی‌دار بود. بیشترین آماره Z مربوط به گرگان برابر با ۵/۰۳ بود پس از آن ایستگاه‌های ساری و رشت بترتیب با دارا بودن آماره Z معادل با ۴/۴۲ و ۴/۲۸ در ردیف‌های دوم و سوم جای گرفتند. این نشان می‌دهد که در این ایستگاه‌ها به مرور زمان ET_0 بطور بسیار معنی‌دار (در سطح ۱ درصد) افزایش یافته است. این روند در

ایستگاه‌ها صعودی بود. در نوشهر روند صعودی غیرمعنی دار بود ولی در رامسر در سطح ۵ درصد معنی دار و در بقیه در سطح ۱ درصد بسیار معنی دار بود. حاجابی و همکاران (۱۴۰۱) نیز روند افزایشی معنی دار را در ET_0 ایستگاه‌های حوضه دریاچه ارومیه گزارش کرده است.

جدول (۲) خلاصه نتایج تحلیل روند تغییرات ET_0 ایستگاه‌های منتخب در مطالعه حاضر

ردیف	ایستگاه	S	V(s)	β	Z	نتیجه آزمون
۱	رشت	۲۴۱	۳۱۴۱	۴/۵۸	۴/۲۸	بسیار معنی دار در سطح یک درصد
۲	نوشهر	۵۷	۳۱۴۱	۱/۹۱	۱	غیر معنی دار
۳	رامسر	۱۱۱	۳۱۴۱	۳/۰۷	۱/۹۶	معنی دار در سطح ۵ درصد
۴	ساری	۳۴۹	۳۱۴۱	۵/۶۴	۴/۴۲	بسیار معنی دار در سطح یک درصد
۵	گرگان	۲۸۳	۳۱۴۱	۱۳/۴۳	۵/۰۳	بسیار معنی دار در سطح یک درصد
۶	آستارا	۲۱۷	۳۱۴۱	۳/۹۵	۳/۸۵	بسیار معنی دار در سطح یک درصد
۷	بجنورد	-۲۱	۳۱۴۱	-۰/۱۹	-۰/۳۶	غیر معنی دار

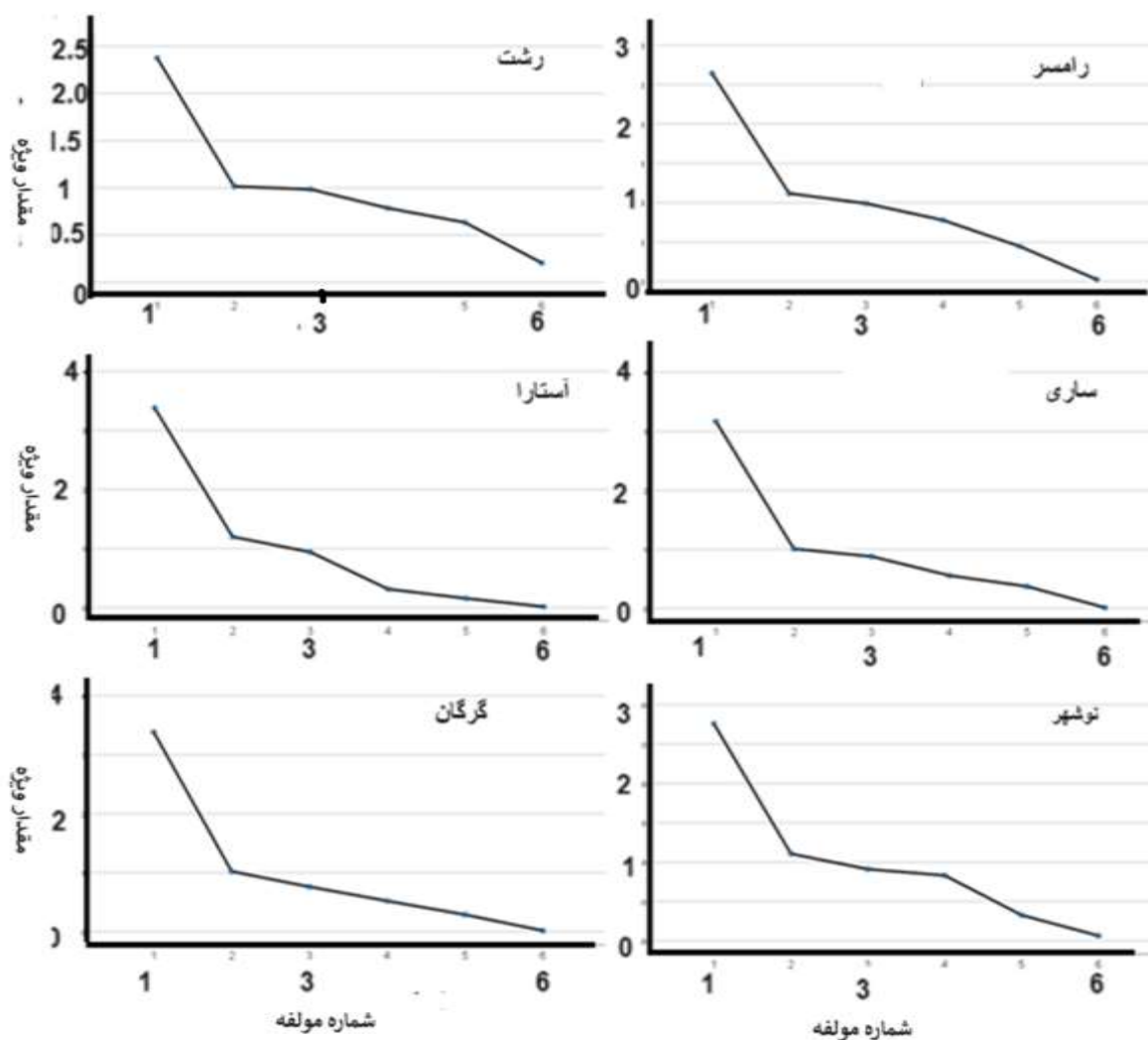
توجه: در این جدول β شیب خط روند است.

نتایج شیب خط روند در جدول ۲ با نماد β نشان داده شده است. براساس این جدول، شیب خط روند ET_0 در همه ایستگاه‌ها صعودی است. بیشترین شیب متعلق به گرگان بود که در آن مقدار ET_0 سالانه در هر سال حدود ۱۳/۴۳ میلیمتر افزایش داشته است. پس از گرگان، ایستگاه‌های ساری و رشت از نظر داشتن تندترین شیب صعودی در مکان‌های دوم و سوم جای گرفتند. جدول ۳ نتایج ماتریس همبستگی R را به عنوان نمونه برای رشت نشان می‌دهد. در رشت هرمتغیر اقلیمی ۷۰۳ داده داشت که چون قبل از تحلیل استاندارد شده بود پس میانگین و انحراف معیار آن‌ها بترتیب صفر و یک بود. بطوریکه از جدول ۳ مشاهده می‌شود این جدول دو نیمه دارد، نیمه بالایی مقادیرضرایب همبستگی (r) و نیمه پایینی سطح معنی‌داری آن‌ها می‌باشد. درایه-های قطر اصلی R همه یک هستند. ماتریس مذکور متقارن و درایه‌های قطر اصلی آن یک هستند. بعنوان مثال، ضریب همبستگی (r) بین متغیرهای بارش و حداکثر درجه حرارت در رشت ۰/۰۸- است. بیشترین مقدار r معادل 0.774 بود که مابین متغیرهای ساعات آفتابی و حداقل درجه حرارت بدست آمد. از سویی، کمترین مقدار r معادل ۰/۰۰۷ بوده که مابین سرعت باد و حداکثر درجه حرارت بدست آمد. نیمه پایینی جدول مذکور، سطح معنی‌داری مقادیر r ها را نشان می‌دهد. در این نیمه، ارقامی که از 0.05 (بطور پیش فرض برای آزمون معنی‌داری) کمتر هستند، معنی دارند. در پایین جدول نیز مقدار دترمینان ماتریس R که برای رشت برابر با ۰/۲۴۳ است، دیده می‌شود. بنابراین، چون این عدد بزرگتر از ۰/۰۰۰۰۱ می‌باشد، پس انجام عمل FA مجاز تلقی شد. یادآوری می‌شود که اگر عدد مذکور کوچکتر از ۰/۰۰۰۰۱ می‌شد در این صورت، همبستگی بین متغیرها بسیار بالا بوده و ناگزیر باید یکی از متغیرها، که سبب این افزایش شده، قبل از FA حذف گردد. در این مطالعه، چنین موردی برای ایستگاه‌ها دیده نشد.

جدول (۳) ماتریس همبستگی (R) بین متغیرهای استاندارد شده اقلیمی در مقیاس ماهانه در رشت.

متغیر اقلیمی	بارش	Tmax	Tmin	Rh	Sun	Wind
متغیر همبستگی	بارش	۱	۰/۰۸۰	۰/۲۹۸	۰/۳۵۵	۰/۴۳
	Tmax	۰/۰۸۰	۱/۰۰۰	۰/۲۲۰	۰/۱۹۶	۰/۰۰۷
	Tmin	۰/۲۹۸	۰/۲۲۰	۱/۰۰۰	۰/۲۹۴	۰/۰۳۷
	Rh	۰/۰۷۸	۰/۲۹۴	۰/۰۷۸	۱/۰۰۰	۰/۰۵۴
	sun	۰/۳۹۳	۰/۱۹۶	۰/۷۷۴	۰/۴۳۶	۱/۰۰۰
	wind	۰/۰۴۳	۰/۰۰۷	۰/۰۳۷	۰/۰۵۴	۰/۰۰۷
سطح ممتد داری یک دامنه آبی	بارش	۰/۰۱۷	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۱۲۶
	Tmax	۰/۰۱۷	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۴۳۳
	Tmin	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۱۶۳
	Rh	۰/۰۰۰	۰/۰۱۹	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۷۸
	Sun	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۴۲۶
	Wind	۰/۱۲۶	۰/۴۲۳	۰/۱۶۳	۰/۰۷۸	۰/۴۲۶
۰/۲۴۳ = دترمینان ماتریس همبستگی						

شکل ۳ نمودار صخره‌ای را برای ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد. بطوریکه از این شکل می‌توان مشاهده کرد، هر منحنی از چپ به راست دارای شیب کاهشی تند بوده و از مقدار ویژه سوم به بعد شیب آن بطور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد. به عبارت بهتر، مقادیر ویژه اول و دوم همه ایستگاه‌ها بطور قابل ملاحظه‌ای بزرگتر از مقادیر نظیر بعدی هستند. بنابراین، در هر ایستگاه، دو مولفه نخست برای تحلیل در نظر گرفته شد. جدول ۴ مقادیر ویژه، واریانس و واریانس تراکمی مقادیر متغیرهای استاندارد شده اقلیمی در ایستگاه‌های منتخب را قبل و پس از چرخش وریماکس نشان می‌دهد. در این جدول ستون اول شماره مولفه، ستون‌های ۲ تا ۴ بترتیب مقادیر ویژه، واریانس و واریانس تراکمی دو مولفه انتخاب شده قبل از چرخش و سه ستون آخر، این مقادیر را پس از چرخش وریماکس نشان می‌دهد. می‌توان دید که با نگهداشتن دو مولفه اول و حذف سایر مولفه‌ها، در رشت واریانس تراکمی دو مولفه اول تغییر نداشتند. با انتخاب دو عامل اول مجموع درصد واریانس، حتی پس از چرخش، بدون تغییر (معادل ۵۶/۵۱ درصد) باقی مانده ولیکن درصد واریانس هر عامل اندکی تغییر یافته است. پس از چرخش واریانس عامل اول از ۳۹/۵۸ به ۳۹/۴۹ درصد کاهش یافته، اما عامل دوم از ۱۶/۹۳ به ۱۷/۰۲ درصد افزایش یافته است. درعین حال، مجموع واریانس این دو عامل ثابت مانده است. در دیگر ایستگاه‌ها دامنه تغییر در واریانس دو مولفه اول از ۵۶/۵ درصد در رشت تا ۷۹/۶ درصد در ساری تغییر می‌کند. ضرایب عامل‌ها در خصوص هریک از متغیرهای اقلیمی شش‌گانه بین ۱- و ۱+ می‌باشد. در رشت عامل اول، دارای ضریب مثبت بزرگتر برای متغیرهای حداکثر درجه حرارت، ساعات آفتابی و حداقل درجه حرارت می‌باشد. مقادیر ضرایب آن‌ها بترتیب، معادل با ۰/۸۱۹، ۰/۸۹۰ و ۰/۳۱۷ بود.



شکل (۳) نمودارهای صخره‌ای حاصل از FA ایستگاه‌های منتخب در این مطالعه.

همچنین عامل اول دارای ضریب منفی نزدیک به -۱ برای متغیرهای رطوبت نسبی و باران به ترتیب، برابر با $-0/637$ و $-0/631$ می‌باشد. در حالی که عامل دوم دارای ضریب بزرگتر ($0/951$) برای متغیر سرعت باد می‌باشد. بنابراین، سرعت باد در رشت با عامل دوم قابل توجیه است. در نتیجه می‌توان نتیجه گرفت که در بین همه ضرایب بیشترین آن متعلق به سرعت باد برابر با $0/951$ است. معنای آن این است که ET_0 در رشت بیشتر با سرعت باد تغییر می‌کند پس از آن مقدار قدرمطلق ضریب عامل اول متعلق به حداکثر درجه حرارت هوا (معادل $0/371$) بوده که بیشتر از سایر متغیرها بود. متغیر مذکور ET_0 را تحت تاثیر خود قرار داده و در مرتبه بعد ساعات آفتابی با ضریب عامل اول $0/89$ بیشترین تاثیر را روی ET_0 رشت دارا بود.

در حالت کلی، برطبق ضرایب عامل اول، بزرگترین ضریب در رشت $0/89$ برای ساعات آفتابی، در رامسر $0/966$ برای حداکثر درجه حرارت، در آستارا $0/982$ برای حداکثر درجه حرارت، در ساری $0/956$ برای حداکثر درجه حرارت، در گرگان $0/944$ برای حداکثر درجه حرارت و در نوشهر $0/948$ برای حداقل درجه حرارت بدست آمد. بطور مشابه، برطبق ضرایب عامل دوم، بزرگترین ضریب در رشت $0/951$ برای سرعت باد، در رامسر $0/879$ برای بارش، در آستارا $0/883$ برای بارش، در ساری $-0/907$ برای سرعت باد، در گرگان $0/956$ برای سرعت باد و در نوشهر $0/684$ برای سرعت باد بدست آمد. در همه ایستگاه‌ها فقط دو عامل نگهداشته شد زیرا دو عامل اول در همه ایستگاه‌ها بیش از ۵۶ درصد واریانس را توجیه می‌کرد. حتی در آستارا دو عامل اول، بیش از ۷۶ درصد واریانس داده‌ها را در بر می‌گرفت. یکی از روش‌های گروه‌بندی متغیرهای اقلیمی نمایش هندسی ضرایب عامل‌های منتخب در صفحه می‌باشد (موهان و آروماگام، ۱۹۹۶).

شکل ۴ موقعیت متغیرهای اقلیمی را با توجه به ضریب عامل‌های اول (محور افقی) و دوم (محور قائم) در دستگاه عمود برهم نشان می‌دهد. هر نمودار مربوط به یک ایستگاه و هر نقطه بر روی شکل متعلق به یک متغیر اقلیمی است که نام آن در کنار همان نقطه درج شده است. بطوریکه از این شکل استنباط می‌شود الگوی مکان هندسی متغیرهای اقلیمی در صفحه مذکور برای همه ایستگاه‌ها تقریباً مشابه هم می‌باشند. مثلاً متغیرهای حداکثر و حداقل درجه حرارت هوا و ساعات آفتابی در این ایستگاه‌ها در سمت راست شکل طوری قرار دارند که ضریب مولفه اول آنها به یک و ضریب مولفه دوم آنها به صفر نزدیک است. تقریباً در همه ایستگاه‌ها متغیرهای بارش و رطوبت نسبی دارای ضریب مولفه اول منفی هستند. براساس شکل ۴ می‌توان اظهار داشت که در یک ایستگاه معین، متغیرهای اقلیمی که در منتهی الیه سمت راست و سمت چپ شکل قرار دارند دارای قدرمطلق ضریب عامل اول بزرگتری نسبت به بقیه هستند. بطور مشابه، در همان ایستگاه، متغیرهای اقلیمی که در حد بالایی و/یا پایینی شکل قرار دارند دارای ضریب عامل دوم (از نظر قدرمطلق) بزرگتری در مقایسه با سایر متغیرهای اقلیمی (که اغلب در مرکز شکل واقع هستند) می‌باشند. بنابراین، متغیرهای واقع در کرانه‌های شکل (منتهی الیه سمت راست، چپ، بالا و پایین) در هر ایستگاه وزن یا تاثیر بیشتری روی ET_0 آن ایستگاه دارند.

جدول (۴) مقادیر ویژه، واریانس و واریانس تجمعی حاصل از FA قبل و بعد از چرخش وریماکس در هریک از ایستگاه‌های منتخب.

رشت

شماره عامل	مقادیر ویژه عامل‌ها			مقادیر ویژه عامل‌های منتخب قبل از چرخش			مقادیر ویژه عامل‌های منتخب بعد از چرخش		
	مقدار ویژه	درصد واریانس	درصد واریانس تجمعی	مقدار ویژه	درصد واریانس	درصد واریانس تجمعی	مقدار ویژه	درصد واریانس	درصد واریانس تجمعی
۱	۲/۳۷۵	۳۹/۵۸۲	۳۹/۵۸۲	۲/۳۷۵	۳۹/۵۸۲	۳۹/۵۸۲	۲/۳۷۰	۳۹/۴۹۴	۳۹/۴۹۴
۲	۱/۰۱۶	۱۶/۹۳۳	۵۶/۵۱۵	۱/۰۱۶	۱۶/۹۳۳	۵۶/۵۱۵	۱/۰۲۱	۱۷/۰۲۱	۵۶/۵۱۵
۳	۰/۹۸۴	۱۶/۴۰۰	۷۲/۹۱۶						
۴	۰/۷۸۵	۱۳/۰۹۰	۸۶/۰۰۵						
۵	۰/۶۳۴	۱۰/۵۷۰	۹۶/۵۷۵						
۶	۰/۲۰۶	۳/۴۲۵	۱۰۰/۰۰۰						

رامسر

شماره عامل	مقادیر ویژه عامل‌ها			مقادیر ویژه عامل‌های منتخب قبل از چرخش			مقادیر ویژه عامل‌های منتخب بعد از چرخش		
	مقدار ویژه	درصد واریانس	درصد واریانس تجمعی	مقدار ویژه	درصد واریانس	درصد واریانس تجمعی	مقدار ویژه	درصد واریانس	درصد واریانس تجمعی
۱	۲/۶۴۳	۴۴/۰۴۶	۴۴/۰۴۶	۲/۶۴۳	۴۴/۰۴۶	۴۴/۰۴۶	۲/۳۹۱	۳۹/۸۴۵	۳۹/۸۴۵
۲	۱/۱۱۸	۱۸/۶۳۵	۶۲/۶۸۱	۱/۱۱۸	۱۸/۶۳۵	۶۲/۶۸۱	۱/۳۷۰	۲۲/۸۳۷	۶۲/۶۸۱

۳	-/ ۹۹۱	۱۶/۵۱۳	۷۹/۱۹۴						
۴	-/ ۷۷۹	۱۲/۹۷۷	۹۲/۱۷۱						
۵	-/ ۴۴۵	۷/۴۲۰	۹۹/۵۹۱						
۶	-/ ۰۲۵	۰/۴۰۹	۱۰۰/۰۰۰						

آستارا

شماره عامل	مقادیر ویژه عامل ها			مقادیر ویژه عامل های منتخب قبل از چرخش			مقادیر ویژه عامل های منتخب بعد از چرخش		
	مقدار ویژه	درصد واریانس	درصد تجمعی	مقدار ر ویژه	درصد واریانس	درصد تجمعی	مقدار ر ویژه	درصد واریانس	درصد تجمعی
۱	۳/ ۳۸۰	۵۶/۳۳۲	۵۶/۳۳۲	۳/ ۳۸۰	۵۶/۳۳۲	۵۶/۳۳۲	۳/ ۱۰۹	۵۱/۸۱۴	۵۱/۸۱۴
۲	۱/ ۱۹۹	۱۹/۹۸۲	۷۶/۳۱۴	۱/ ۱۹۹	۱۹/۹۸۲	۷۶/۳۱۴	۱/ ۴۷۰	۲۴/۵۰۰	۷۶/۳۱۴
۳	-/ ۹۴۰	۱۵/۶۶۰	۹۱/۹۷۵						
۴	-/ ۳۱۲	۵/۱۹۹	۹۷/۱۷۴						
۵	-/ ۱۵۵	۲/۵۸۲	۹۹/۷۵۵						
۶	-/ ۰۱۵	۰/۲۴۵	۱۰۰/۰۰۰						

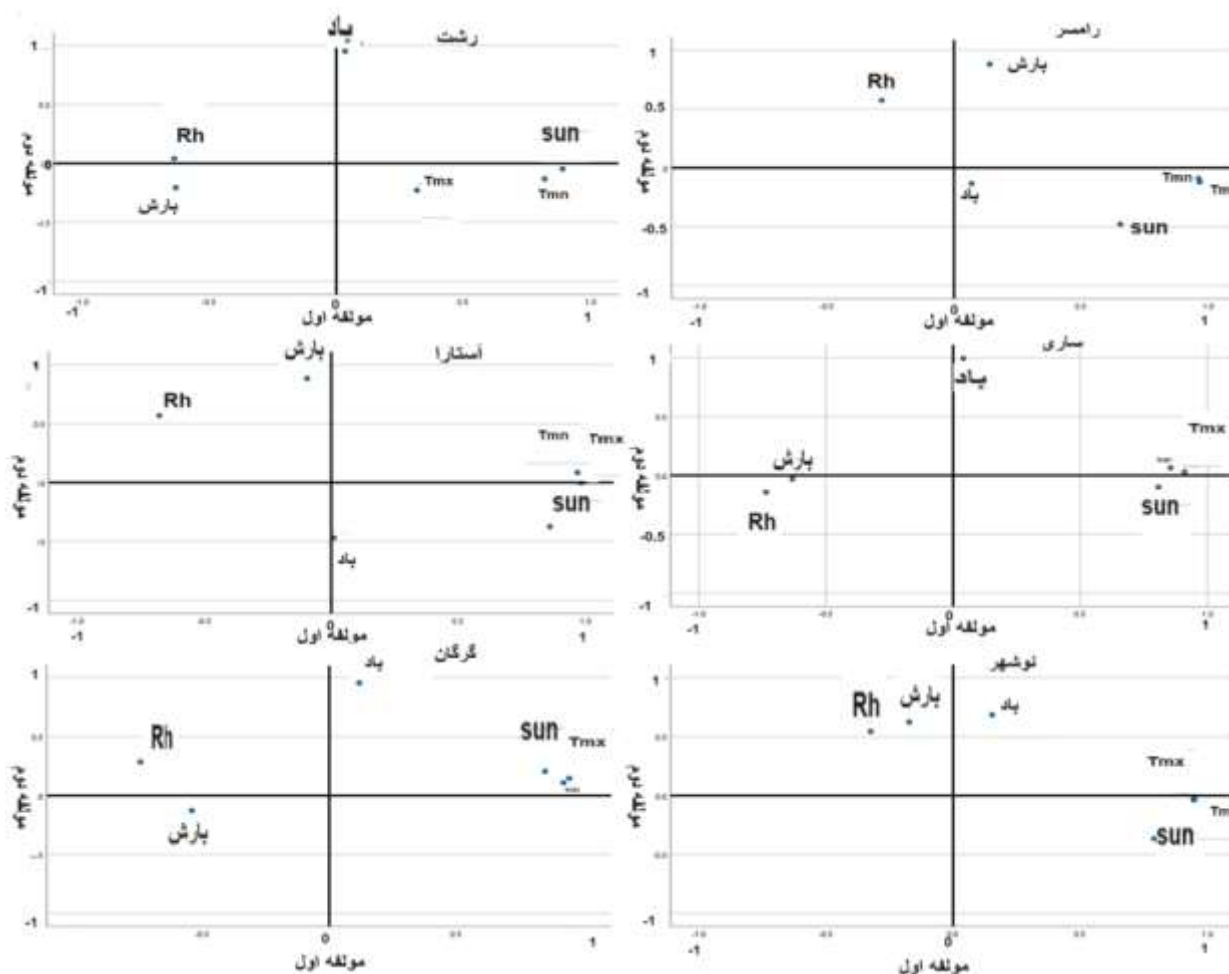
ساری

شماره عامل	مقادیر ویژه عامل ها			مقادیر ویژه عامل های منتخب قبل از چرخش			مقادیر ویژه عامل های منتخب بعد از چرخش		
	مقدار ویژه	درصد واریانس	درصد تجمعی	مقدار ر ویژه	درصد واریانس	درصد تجمعی	مقدار ر ویژه	درصد واریانس	درصد تجمعی
۱	۳/ ۱۶۶	۵۲/۷۷۴	۵۲/۷۷۴	۳/ ۱۶۶	۵۲/۷۷۴	۵۲/۷۷۴			
۲	۱/ ۰۱۰	۱۶/۸۳۵	۶۹/۶۰۹	۱/ ۰۱۰	۱۶/۸۳۵	۶۹/۶۰۹			
۳	-/ ۸۸۱	۱۴/۶۸۰	۸۴/۲۹۰						
۴	-/ ۵۵۷	۹/۲۸۹	۹۳/۵۷۹						
۵	-/ ۳۷۲	۶/۲۰۰	۹۹/۷۷۹						
۶	-/ ۰۱۳	۰/۲۲۱	۱۰۰/۰۰۰						

شماره عامل	مقادیر ویژه عامل ها			مقادیر ویژه عامل های منتخب قبل از چرخش			مقادیر ویژه عامل های منتخب بعد از چرخش		
	مقدار ویژه	درصد واریانس	درصد واریانس تجمعی	مقدار ویژه	درصد واریانس	درصد واریانس تجمعی	مقدار ویژه	درصد واریانس	درصد واریانس تجمعی
۱	۳۸ ۳/۱	۵۶/۳۵۷	۵۶/۳۵۷	۳۸۱ ۳	۵۶/۳۵۷	۵۶/۳۵۷	۳۱۸ ۳/	۵۵/۲۹۸	۵۵/۲۹۸
۲	۰۲ ۱/۳	۱۷/۰۴۵	۷۳/۴۰۲	۰۲۳ ۱	۱۷/۰۴۵	۷۳/۴۰۲	۰۸۶ ۱/	۱۸/۱۰۵	۷۳/۴۰۲
۳	۷۶ ۰/۳	۱۲/۷۰۹	۸۶/۱۱۲						
۴	۵۲ ۰/۳	۸/۷۱۷	۹۴/۸۲۹						
۵	۲۹ ۰/۰	۴/۸۳۶	۹۹/۶۶۵						
۶	۰۲ ۰/۰	۰/۳۳۵	۱۰۰						

نوشهر

شماره عامل	مقادیر ویژه عاملها			مقادیر ویژه عاملهای منتخب قبل از چرخش			مقادیر ویژه عاملهای منتخب بعد از چرخش		
	مقدار ویژه	درصد واریانس	درصد واریانس تجمعی	مقدار ویژه	درصد واریانس	درصد واریانس تجمعی	مقدار ویژه	درصد واریانس	درصد واریانس تجمعی
۱	۲/ ۷۵۸	۴۵/۹۶۶	۴۵/۹۶۶	۲/ ۷۵۸	۴۵/۹۶۶	۴۵/۹۶۶	۲/ ۵۷۷	۴۲/۹۴۷	۴۲/۹۴۷
۲	۱/ ۱۰۷	۱۸/۴۵۶	۶۴/۴۲۲	۱/ ۱۰۷	۱۸/۴۵۶	۶۴/۴۲۲	۱/ ۲۸۸	۲۱/۴۷۵	۶۴/۴۲۲
۳	۰/ ۹۱۱	۱۵/۱۸۲	۷۹/۶۰۴						
۴	۰۸ ۳۱	۱۳/۸۵۶	۹۳/۴۶۰						
۵	۰/ ۳۲۷	۵/۴۵۶	۹۸/۹۱۶						
۶	۰/ ۰۶۵	۱/۰۸۴	۱۰۰/۰۰۰						



شکل (۴) موقعیت نسبی متغیرهای اقلیمی در ایستگاه‌های منتخب از نظر ضرایب دو عامل نخست.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه از روش تجزیه به عاملها برای تشخیص متغیرهای مهم و موثر بر ET_0 در نوار ساحلی دریای خزر استفاده شد. میزان ET_0 در شش ایستگاه واقع در نوار ساحلی دریای خزر با روش PMF56 بدست آمد. این پارامتر تابعی غیرخطی از دیگر متغیرهای اقلیمی است. تغییرات زمانی و مکانی ET_0 معلول تغییر همزمان پارامترهای دیگر اقلیمی است. در مطالعه حاضر متغیرهای اقلیمی مانند ساعات آفتابی، سرعت باد، حداکثر درجه حرارت هوا، حداقل درجه حرارت هوا، بارش و رطوبت نسبی هوا برای تحلیل تغییر در ET_0 انتخاب شد. همین شش متغیر اقلیمی در مطالعه موهان و اروماگام (۱۹۹۶) نیز انتخاب و استفاده شده بود. نتایج نشان داد که مقدار دامنه تغییرات ET_0 سالانه این منطقه بطور تقریب از حداقل ۸۵۰ میلیمتر (در رشت و رامسر) تا حداکثر ۱۲۰۰ میلیمتر (در گرگان) تغییر می‌کند. بررسی چشمی نمودارهای سری زمانی این پارامتر حاکی از صعودی بودن سری زمانی ET_0 سالانه این ایستگاه‌ها است. بررسی‌های دقیقتر با روش MK سری زمانی ET_0 سالانه نشان داد که تقریباً همه ایستگاه‌ها (بجز نوشهر) روند صعودی معنی‌دار داشتند. تندترین شیب خط روند صعودی ET_0 در این ایستگاه‌ها معادل ۱۳/۴۳ میلیمتر در سال متعلق به گرگان بود. می‌توان نتیجه گرفت که میزان ET_0 در ایستگاه با تندترین شیب، در طول چهار دهه گذشته، بیش از ۵۳۶ میلیمتر افزایش داشته است. هرچند این ناحیه از نواحی پرباران کشور محسوب می‌شود (دین پژوه و همکاران ۲۰۰۴) لیکن امروزه افزایش نرخ تبخیر-تعرق شرایط نامطلوبی را برای اکوسیستم منطقه فراهم ساخته است. به منظور تشخیص متغیرهای اثر گذار روی ET_0 از روش FA بهره گرفته شد. روش FA این مزیت مهم را دارد که ابعاد داده‌ها را به مراتب کاهش و متغیرهای وابسته به هم را به یک سری عامل‌های مستقل از هم تبدیل می‌کند (مانلی ۱۹۹۴ و رنچر ۱۹۹۵). به

همین دلیل یکی از روش‌های پرکاربرد در مطالعات مختلف به‌شمار می‌رود (مانلی ۱۹۹۴). بررسی ماتریس همبستگی بین متغیرها نشان داد که متغیرها همبستگی بالایی را با همدیگر دارند این نتیجه نشان می‌دهد که روش FA را می‌توان با موفقیت روی داده‌ها تحلیل کرد. نتایج نشان داد که دو عامل اول در ایستگاه‌های منتخب از حداقل ۵/۵۶ درصد در رشت تا حداکثر ۳/۷۶ درصد در آستارا تغییر می‌کند. موهان و آروماگام (۱۹۹۶) در مطالعه خود که برای هفت ایستگاه هند انجام داد حداقل و حداکثر واریانس دو عامل نخست را بترتیب معادل با ۷۴ و ۸۹ درصد گزارش کرده‌اند. عامل‌ها مستقل از هم بوده و ترکیب خطی از شش متغیر اقلیمی مذکور می‌باشد. ضرایب دو عامل نخست برای هریک از متغیرهای اقلیمی محاسبه شد. بیشترین ضریب متعلق به یکی از فراسنج‌های اقلیمی بود. در مورد عامل اول بیشترین ضریب در بین شش ایستگاه مورد مطالعه متعلق به حداکثر دمای هوا (در آستارا) بود در حالی که در خصوص عامل دوم، بیشترین ضریب متعلق به سرعت باد در گرگان بود. عامل اول در اغلب ایستگاه‌ها به دمای هوا نسبت داده شد. درحالی که در اغلب ایستگاه‌ها عامل دوم بیشتر با سرعت باد و بارش توجیه گردید. بی‌تردید، شیب صعودی در ET_0 ایستگاه‌ها نیاز آبی گیاهان مختلف را افزایش می‌دهد. اغلب پوشش خاک این منطقه جنگلی است اگر میزان بارش منطقه نیز به تناسب ET_0 افزایش یابد، مشکل چندان متصور نیست، در غیر این صورت، ممکن است بخش‌هایی از جنگل‌های منطقه خشک و اراضی مرتعی نیز بتدریج به بیابان تبدیل شوند. برای بهره‌برداری از اراضی آبی منطقه لازم است تمهیداتی اندیشیده شود. مثلاً سطح زیر کشت برنج کاهش یافته و بخشی از اراضی به زیر کشت غلات مانند گندم و جو بروند. افزایش محسوس و معنی‌دار در ET_0 ایستگاه‌های مورد مطالعه زنگ خطر کمبود آب را برای تصمیم‌گیران صنعت آب منطقه به صدا درآورده است. به‌نظر می‌رسد، سازگاری با شرایط جاری طبیعت یگانه راه استفاده پایدار از منابع طبیعی منطقه از جمله آب می‌باشد.

منابع

- اسمعیل پور مرضیه و دین پژوه یعقوب (۱۳۹۱). تحلیل روند بلند مدت تبخیر-تعرق پتانسیل در حوضه جنوبی رود ارس، جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، مقاله ۱۲، دوره ۲۳، شماره ۳: ۲۱۰-۱۹۳.
- بابامیری امید و دین پژوه یعقوب (۱۳۹۳). مقایسه و واسنجی نه روش تخمین تبخیر-تعرق گیاه مرجع مبتنی بر انتقال جرم در حوضه آبریز دریاچه ارومیه. پژوهشهای حفاظت آب و خاک (گرگان)، ۲۱(۵): ۱۳۵-۱۵۳.
- بابامیری امید و دین پژوه یعقوب (۱۳۹۵). مقایسه و ارزیابی بیست روش تخمین تبخیر-تعرق گیاه مرجع مبتنی بر سه دسته کلی دمای هوا، تابش خورشید و انتقال جرم در حوضه آبریز دریاچه ارومیه، نشریه علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی)، سال بیستم، ۷۷: ۱۶۱-۱۴۵.
- حجابی سمیه، رضائیان حسن و وظیفه خواه محمد امین (۱۴۰۱) بررسی متغیرهای هواشناسی مؤثر در روند تبخیر-تعرق مرجع در حوضه دریاچه ارومیه. مهندسی آبیاری و آب ایران ۴۸: ۳۱۰-۳۳۳.
- دین پژوه یعقوب (۱۳۹۰)، تجزیه و تحلیل روند تغییرات زمانی تبخیر-تعرق گیاه مرجع (ET₀) در ایستگاه همدان (نوژه)، فصلنامه فضایی جغرافیایی دانشگاه آزاد اسلامی اهر، سال یازدهم، شماره ۳۴: ۲۸۶-۲۶۰.
- دین پژوه یعقوب، جهانبخش-اصل سعید، موسوی جهانی لایلا (۱۴۰۰). مدل سازی تبخیر و تعرق بالقوه با استفاده از فراسنج-های هواشناسی (مطالعه موردی: حوضه دریاچه ارومیه). نشریه جغرافیا و برنامه ریزی ۲۵(۷۵): ۱۲۷-۱۳۹.
- رضاپور، ام البنی، امیری، میثم، ابراهیمی، محبوبه و امینی راگان، امین (۱۳۹۸) بررسی خشکسالی در نیمه جنوبی استان گلستان با استفاده از روش تجزیه به عامل ها و GIS. مهندسی آبیاری و آب ایران ۳۵: ۱۲۵-۱۴۲.
- رضایی بنفشه، مجید، جهانبخش اصل، سعید، مسعودیان، سید ابوالفضل و جعفری شندی، فاطمه (۱۳۹۷)، پهنه بندی تبخیر-تعرق پتانسیل استان آذربایجان شرقی به کمک داده های دورسنجی فرآورده مودیس، جغرافیای طبیعی ۱۱(۴۱): ۳۸-۴۸.
- سبزی پرور، علی اکبر، تفضلی، فرزین، زارع ابیانه، حمید، موسوی بایگی، محمد، غفوری، محمد، محسنی موحد، سید اسدالله و مریانجی زهره (۱۳۸۷)، مقایسه چند مدل برآورد تبخیر-تعرق گیاه مرجع در یک اقلیم سرد نیمه خشک، به منظور استفاده بهینه از مدل های تابش، مجله آب و خاک، دوره ۲۲، شماره ۲، شماره پیاپی ۶۵: ۳۴۰-۳۲۸.
- شیرزاد، منیر، فیضی، هاجر و رضایی بنفشه مجید (۱۴۰۱) شبیه سازی تبخیر تعرق روزانه گیاه مرجع با استفاده از روش هوش مصنوعی و مقایسه آن با روش های تجربی (مطالعه موردی: آذربایجان شرقی). نشریه علمی جغرافیا و برنامه ریزی ۲۶(۸۰): ۱۸۳-۱۷۱.
- عسگری، شمس اله، صفاری، امیر و فتحی حجت اله (۱۳۹۷) بررسی توان سیل خیزی در حوضه آبریز جعفرآباد. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال ۱۸، ۵۰: ۹۰-۷۷.
- وزیری، ژاله، سلامت، علیرضا، انتصاری، محمد رضا، مسچی، محمود، حیدری، نادر و دهقانی سانچ، حسین (۱۳۸۷)، تبخیر-تعرق گیاهان (دستورالعمل محاسبه آب مورد نیاز گیاهان). ترجمه و تدوین گروه کار استفاده پایدار از منابع آب برای تولید محصولات کشاورزی، کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، چاپ اول، تهران: کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، ۳۵۵ صفحه.

Esmailpour Marzieh and Dinpajouh Yaghoub (2012). Long-term trend analysis of potential evapotranspiration in the southern Aras River basin, Geography and Environmental Planning, Article 12, Volume 23, Number 3: 210-193. [In persian]

Babamiri Omid and Dinpajouh Yaghoub. (2014). Comparison and calibration of nine methods for estimating reference plant evapotranspiration based on mass transfer in the Urmia Lake watershed. Soil and Water Conservation Research (Gorgan), 21(5): 135-153. [In persian]

- Babamiri Omid and Dinpajouh Yaghoub. (2016). Comparison and evaluation of twenty methods for estimating reference plant evapotranspiration based on three general categories of air temperature, solar radiation and mass transfer in the Urmia Lake watershed, *Journal of Water and Soil Sciences (Agricultural Sciences and Technologies and Natural Resources)*, Year 20, 77: 145-161. [In persian]
- Hejabi Somayeh, Rezaian Hassan and Vazvaikhah Mohammad Amin (1401) Investigation of meteorological variables affecting the reference evapotranspiration process in the Urmia Lake basin. *Iranian Irrigation and Water Engineering* 48: 310-333. [In persian]
- Dinpajouh Yaghoub (1390), Analysis of the temporal changes in reference plant evapotranspiration (ET₀) at Hamedan Station (Nojeh), *Geographical Spatial Quarterly of Islamic Azad University Ahar*, Year 11, No. 34: 260-286. [In persian]
- Dinpajouh Yaghoub, Jahanbakhsh-Asl Saeed, Mousavi Jahani Leila (2011). Modeling potential evapotranspiration using meteorological parameters (case study: Lake Urmia basin). *Journal of Geography and Planning* 25(75): 127-139. [In persian]
- Rezapour, Um-al-Bani, Amiri, Meysam, Ebrahimi, Mahboobeh and Amini-Ragan, Amin (2019). Study of drought in the southern half of Golestan province using factor analysis and GIS. *Iranian Irrigation and Water Engineering* 35: 125-142. [In persian]
- Rezaei Banafsheh, Majid, Jahanbakhsh-Asl Saeed, Masoudian, Seyed Abolfazl and Jafari Shandi, Fatemeh (2018). Zoning of potential evapotranspiration in East Azerbaijan province using remote sensing data from MODIS product, *Natural Geography* 11(41): 38-48. [In persian]
- Sabziparvar, Ali Akbar, Tafazzoli, Farzin, Zare Abyaneh, Hamid, Mousavi Bayegi, Mohammad, Ghafouri, Mohammad, Mohseni Movahed, Seyyed Asadollah and Marianji Zohreh (2008), Comparison of several models for estimating evapotranspiration of reference plants in a cold semi-arid climate, for the purpose of optimal use of radiation models, *Journal of Water and Soil*, Volume 22, Issue 2, Serial No. 65: 328-340. [In persian]
- Shirzad, Monir, Feizi, Hajar and Rezaei, Banafsheh Majid (2012) Simulation of daily evapotranspiration of reference plants using artificial intelligence and its comparison with empirical methods (Case study: East Azerbaijan). *Scientific Journal of Geography and Planning* 26(80): 171-183. [In persian]
- Asgari, Shams-ollah, Safari, Amir and Fathi Hojjatollah (2018) Investigation of flood potential in Jafarabad watershed. *Journal of Applied Research in Geographical Sciences*, Year 18, 50: 90-77. [In persian]
- Vaziri, Zhaleh, Salamat, Alireza, Entesari, Mohammad Reza, Meschi, Mahmoud, Heydari, Nader and Dehghani, Sanich, Hossein (2008), Evapotranspiration of plants (Guidelines for calculating water requirements of plants). Translation and compilation: Working Group on Sustainable Use of Water Resources for Agricultural Production, National Committee Irrigation and Drainage of Iran, first edition, Tehran: National Committee of Irrigation and Drainage of Iran, 355 pages. [In persian]