

کاربرد روش تجزیه به عامل‌ها در بررسی اثر نسبی عوامل اقلیمی روی تبخیر-تعرق پتانسیل در ایستگاه خرمدره

نازنین حیدری^{۱*} و یعقوب دین پژوه^۲

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

n.hedari1998@gmail.com

۲- استاد، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

چکیده

در این تحقیق، روش تجزیه به عامل‌ها برای بررسی اهمیت نسبی متغیرهای مختلف هواشناسی موثر بر تبخیر-تعرق پتانسیل گیاه مرجع (ET_0) در ایستگاه خرمدره با حداقل ۲۰ سال آمار منتهی به ۲۰۲۱ استفاده شده است. روش فائو-پنمن-مانتیت برای تخمین ET_0 استفاده شد. داده‌ها شامل بارش، میانگین دمای هوا (بیشینه و کمینه)، سرعت باد، رطوبت نسبی و ساعات آفتابی بوده و همبستگی بین آنها تحلیل شد. نتایج نشان داد که در ایستگاه خرمدره کلیه ضرایب همبستگی در سطح ۵ درصد معنی‌دار بودند. در ایستگاه خرمدره، دو مولفه اول دارای مقدار ویژه‌ی بیش از یک بود و مولفه‌های بعدی مقدار ویژه‌ی بسیار ناچیزی (نزدیک صفر) داشت. در خرمدره، دو مولفه‌ی اول در کل ۸۳/۵ درصد واریانس را توجیه می‌کرد. در این ایستگاه پارامتر ساعات آفتابی مهمترین عامل موثر بر ET_0 بود، پس از آن پارامترهای حداکثر دمای هوا، حداقل دمای هوا و رطوبت نسبی به ترتیب در رتبه‌های دوم تا چهارم قرار گرفتند. نتایج نشان داد که متغیر بارش بر روی ET_0 اثر چندان موثری نداشته است. یافته‌های این مطالعه در مدیریت منابع آب خرمدره می‌تواند مفید واقع شود.

کلمات کلیدی: خرمدره، تبخیر-تعرق، تجزیه به عامل‌ها، وریماکس.

۱. مقدمه

تبخیر-تعرق پتانسیل گیاه مرجع (ET_0) بنا به تعریف عبارت است از میزان شدت تبخیر-تعرق از گیاه چمن سبز به ارتفاع ۱۲-۸ سانتی متر، خوب آبیاری شده و فاقد بیماری در یک مدت زمان معین (مانند یک روز) می‌باشد. این پدیده به پارامترهای مختلف اقلیمی از جمله میانگین دمای روزانه هوا (بیشینه و کمینه)، رطوبت نسبی، تابش خورشیدی، ساعات آفتابی و سرعت باد بستگی دارد. با این حال، در ایستگاه‌های هواشناسی مختلف ممکن است اهمیت نسبی این متغیرها به یک اندازه نباشد (Mohan & Arumugam., 1996). در زمینه مذکور کارهای متعددی در جهان و ایران انجام شده است. مثلاً Mohan & Arumugam., (1996) از روش تجزیه به عامل‌ها برای مطالعه اهمیت نسبی متغیرهای هواشناسی در ۸ ایستگاه هواشناسی واقع در هند بهره بردند. آنها نتیجه گرفتند با این روش، سه عامل اول که هیچگونه همبستگی باهمدیگر ندارند ولی هر کدام به نوبه خود به پارامترهای اقلیمی وابسته هستند. (Popova et al., (2006 مقادیر ET_0 را با استفاده از داده‌های محدود هواشناسی در دشت تریس واقع در جنوب بلغارستان برآورد کردند. آنان از داده‌های پنج ایستگاه هواشناسی در این دشت استفاده و نتیجه گرفتند که روش پیشنهادی فائو برای تخمین ET_0 خطای کمتری داشته و تنها از داده‌های حداکثر و حداقل دمای هوا از آن برای برآورد ET_0 استفاده می‌شود. (Haghighat & Fooladmand., (2007 با استفاده از داده‌های اقلیمی هفت ایستگاه سینوپتیک در استان فارس و هفت ایستگاه دیگر واقع در خارج از استان، برای تخمین ET_0 بهره بردند. (Zhai et al., (2010 از ۱۱ معادله تجربی برای ET_0 را با داده‌های تبخیر از تشت اندازه‌گیری شده در ۱۰ ایستگاه هواشناسی واقع در استان گانسو در شمال غربی چین مقایسه کردند. (Valipour., (2015 مدل‌های ET_0 مختلف مبتنی بر دمای هوا را با مقایسه خروجی هر کدام با مدل پنمن-مانتیت اصلاح شده توسط FAO مطالعه کردند. برای این منظور از داده‌های هواشناسی ۱۸۱ ایستگاه سینوپتیک در ۳۱ استان ایران استفاده کردند. ایشان از ۱۱ مدل تجربی مبتنی بر دما استفاده کردند. نتایج نشان داد که مدل اصلاح شده هارگریوز-سازمانی مقدار ET_0 را بهتر از مدل‌های دیگر برآورد می‌کند. (Varga-Haszonits et al., (2022 ET_0 را با روش پنمن-مانتیت در شرایط اقلیمی نیمه مرطوب مجارستان محاسبه کردند. نتایج این روش با نتایج اندازه‌گیری شده توسط لایسیمتر در ایستگاه آزمایشی سزارواس مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج حاکی از این بود که عوامل تابش و کمبود فشار بخار نقش مهمی در تعیین ET_0 دارند.

در ایران نیز کارهای مشابهی کم و بیش انجام شده است. مثلاً اسدی (۱۳۹۷)، تبخیر-تعرق پتانسیل را با استفاده از روش فائو-پنمن-مانتیت برای ایستگاه سینوپتیک یزد در دوره (۱۹۶۶-۲۰۱۰) محاسبه کرد. حقی زاده و همکاران (۱۳۹۸)، یک مدل ساده و کاربردی جهت محاسبه ET_0 انجام دادند. ایشان از مدل GEP استفاده کردند و از آمار تشت تبخیر به عنوان متغیر تابع و از عوامل دما، کمبود بخار اشباع، سرعت باد و رطوبت نسبی به عنوان متغیرهای مستقل در ایستگاه‌های اسلام آباد غرب، روانسر، سرپل ذهاب، کرمانشاه و کنگاور استفاده کردند. نتایج حاصل از پهنه‌بندی ET_0 در سطح استان کرمانشاه نشان داد که از شرق به غرب و از شمال به جنوب، بر میزان آن افزوده می‌شود. میرحسینی و همکاران (۱۴۰۰)، ET_0 را در حوضه آبخیز گلپایگان با استفاده از شش الگوریتم هارگریوز-سامانی، تورنت-وایت، روماننکو، اودین، خاروفا و بلانی کریدل استفاده کردند. میکائیلی و صمدیان فرد (۱۴۰۲)، توانایی مدل رگرسیون بردار (SVR)، مدل جنگل تصادفی (RF) و مدل درختی P5M را در پیش‌بینی مقادیر روزانه تبخیر-تعرق گیاه مرجع بررسی کردند. ایشان دو ایستگاه آستارا و سیرجان را که به ترتیب در مناطق مرطوب و خشک ایران قرار دارند برای مطالعه انتخاب نمودند. شیرزاد و همکاران (۱۴۰۱)، از روش شبکه عصبی مصنوعی ANN و سه روش تجربی دیگر شامل پنمن-مانتیت فائو (PMF56)، بلانی کریدل (BC) و کمبرلی پنمن (K-P) برای مدل‌سازی تبخیر-تعرق گیاه مرجع (ET_0) در مقیاس روزانه استفاده کردند. نتایج ایشان نشان داد که روش ANN دارای دقت بیشتری در مقایسه با سایر روش‌های کلاسیک دارا می‌باشد. بررسی پیشینه پژوهش نشان می‌دهد که هرچند روش پنمن-مانتیت فائو در مطالعات ایرانی

مرتبط با تبخیر- تعرق گیاه مرجع (ET_0) استفاده شده است ولیکن کاربرد روش تجزیه به عامل‌ها (FA) در زمینه مطالعات مرتبط با ET_0 در ایران انجام نشده است. هدف اصلی این مطالعه استفاده از روش نوین تجزیه به عامل‌ها، برای بررسی اثر نسبی عامل‌های اقلیمی موثر بر تبخیر-تعرق پتانسیل گیاه مرجع است. در این مطالعه، مقادیر ET_0 با روش استاندارد فائو پنمن-مانتیت برآورد شده است.

۲. مواد و روش‌ها

۲-۱. منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه ایستگاه خرمدره در استان زنجان می‌باشد. استان زنجان در شمال غرب کشور واقع است. موقعیت جغرافیایی استان در عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۳۵ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۱۵ دقیقه شمال و طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۴۵ درجه و ۲۵ دقیقه شرقی است. شهرستان خرمدره در منطقه ای کوهستانی و در دشتی هموار و مرتفع در ارتفاع ۱۵۷۰ متر از سطح دریا قرار گرفته است. آب و هوای شهرستان خرمدره غالباً سرد و خشک و در بیش‌تر روزهای تابستان معتدل است. بیشینه دمای شهرستان خرمدره ۳۹ درجه در مرداد و کمینه مطلق آن ۲۴- درجه سانتیگراد در دی ماه ۱۳۹۸ گزارش شده است. تعداد روزهای برفی حدود ۲۲ روز است. ماه‌های برفی سال هم از آذر تا فروردین هستند. تعداد روزهای بارانی شهرستان هم حدود ۱۲۱ روز در طول سال می‌باشد که در تمامی ماه‌های سال به جز مرداد ماه اتفاق می‌افتد و بیشترین مقدار آن حدود ۱۷ روز (۶۰ میلی‌متر) در فروردین و کمترین آن حدود ۳ روز (۴ میلی‌متر) در تیر ماه بوده است. این شهرستان به‌طور میانگین دمای ۱۵ درجه سانتیگراد در طول سال دارد. این شهرستان در طول تابستان هم آب و هوایی معتدل و خنک دارد و از سردسیرترین شهرستان‌های استان در زمستان به حساب آمد.

۲-۲. داده‌های مورد استفاده

در این مقاله از داده‌های هواشناسی شش متغیر اقلیمی شامل میانگین حداکثر دمای هوا (T_{max})، میانگین حداقل دمای هوا (T_{min})، میانگین حداکثر رطوبت نسبی هوا (RH_{min})، سرعت باد در ارتفاع ۱۰ متری (U_{10})، مجموع ساعات آفتابی واقعی (n) و بارش (P) در مقیاس روزانه استفاده شد. داده‌ها از سازمان هواشناسی استان زنجان اخذ شد. سری‌ها دارای تعداد کمی داده‌های گمشده بودند. برای بازسازی داده‌های گمشده از میانگین سالانه هر ماه استفاده شد و داده‌ها بازسازی شدند. جدول ۱ ویژگی‌های آماری داده‌ها را نشان می‌دهد. مقادیر ET_0 با روش پنمن مانتیت محاسبه شد.

جدول ۱- ویژگی‌های آماری داده‌های مورد استفاده در ایستگاه خرمدره

ایستگاه	T (□)	SD-T (□)	n (hr)	SD-n (hr)	ea (kPa)	SD-ea (kPa)	U2 (m/s)	SD-U2 (m/s)	ET0 (mm/yr)	SD-ET0 (mm/yr)	P (mm)	SD-P (mm)
خرمدره	۱۳/۵	۰/۷۷	۲۹۲۷	۱۰۷/۲	۰/۵۷	۰/۰۵	۱/۰۱	۰/۱۶	۱۲۷۲/۵	۷۸/۸	۳۰۱/۳	۶۰/۴

توجه: در این جدول T: میانگین دمای سالانه، SD-T: انحراف معیار سری دمای سالانه، n: میانگین سالانه ساعات آفتابی، ea: میانگین سالانه فشار بخار واقعی، U2: میانگین سالانه سرعت باد در ارتفاع ۲ متری، ET_0 : میانگین سالانه تبخیر-تعرق پتانسیل و P: بارش سالانه است.

۳-۲. روش تجزیه به عامل‌ها (FA)

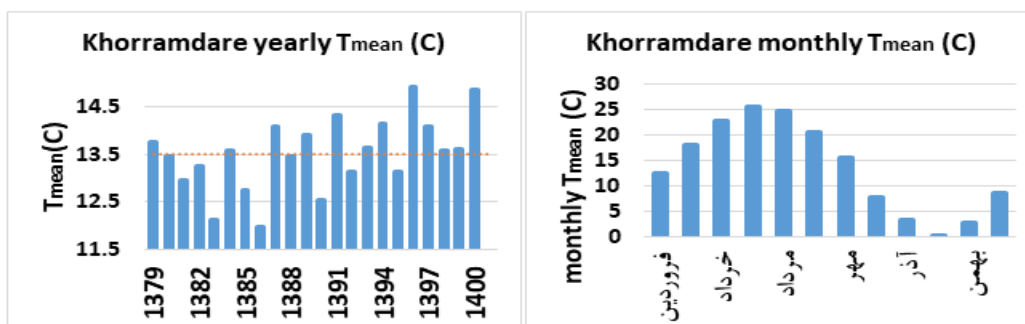
در روش تجزیه به عامل‌ها بر خلاف تجزیه به مولفه‌های اصلی (PCA) که در آن مولفه‌ها تابعی از متغیرهای مشاهداتی می‌باشند، در روش FA سعی می‌شود که متغیرها چنان بصورت ترکیب خطی از عامل‌ها ارائه شود که تعداد عامل‌ها کمتر از تعداد متغیرها باشد (Rencher., 1995). برای انجام عمل (FA) در مورد P متغیر ابتدا عمل PCA را روی آنها انجام شد. در این مطالعه متغیرها شامل میانگین Z_i تعیین شدند (Manly., 1994)، آنگاه ضرایب متغیرها استاندارد شدند و ماتریس همبستگی تشکیل شد. مقادیر مولفه‌های اصلی یعنی Z_i تعیین شدند (Manly., 1994)، آنگاه ضرایب متغیرها که معادل با بردارهای ویژه ماتریس همبستگی داده‌ها می‌باشند. با ترانهاده کردن ماتریس ضرایب، روابط عکس متغیرها و مولفه‌های اصلی بدست آمد. سپس برای عمل FA فقط m مولفه اصلی که دارای مقدار ویژه بیش از یک بود، در نظر گرفته شد. بعد از آن برای تغییر مقیاس مولفه‌های اصلی Z_m ، مقادیر Z_i به انحراف استاندارد سری نظیر خود تقسیم شد تا مولفه‌ها دارای واریانس یک باشند. آنگاه پس از تغییر مقیاس، مولفه‌های اصلی معادله در نظر گرفته شده و در نتیجه مدل عامل غیر چرخشی بدست آمد.

برای انتخاب تعداد عامل‌های غالب یا m چندین معیار وجود دارد (Rencher., 1995) ولی در این مطالعه آن تعداد از عامل‌ها که مقادیر ویژه آنها بیش از یک (حداقل ۲ عامل) بود در تحلیل در نظر گرفته شد. هدف از چرخش محورها، حول مبدا ثابت، تغییر مکان آنهاست، طوری که پس از آن محورها تا حد امکان از نزدیکی تعداد زیادی از نقاط بگذرند (Rencher., 1995). در این مطالعه از روش وریماکس برای چرخش محورها استفاده شد.

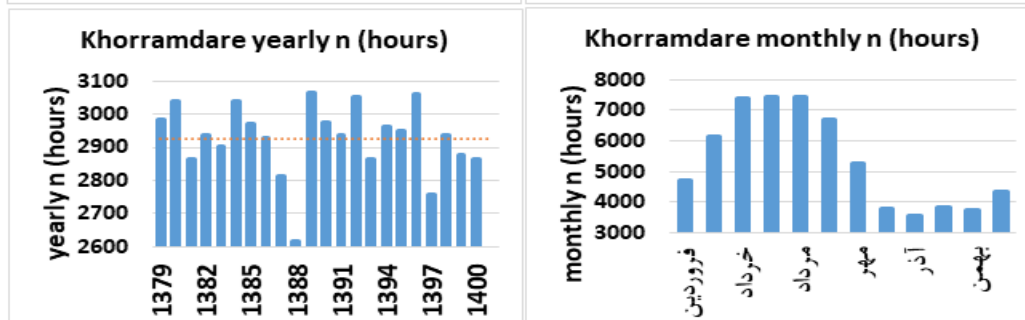
۴-۲. نتایج و بحث

شکل ۲ نمودارهای سری‌های زمانی و الگوی تغییرات ماهانه هر کدام از متغیرهای میانگین دمای هوا، ساعات آفتابی، فشار بخار واقعی (e_a)، سرعت باد در ارتفاع ۲ متری را در ایستگاه خرمدره را نشان می‌دهد.

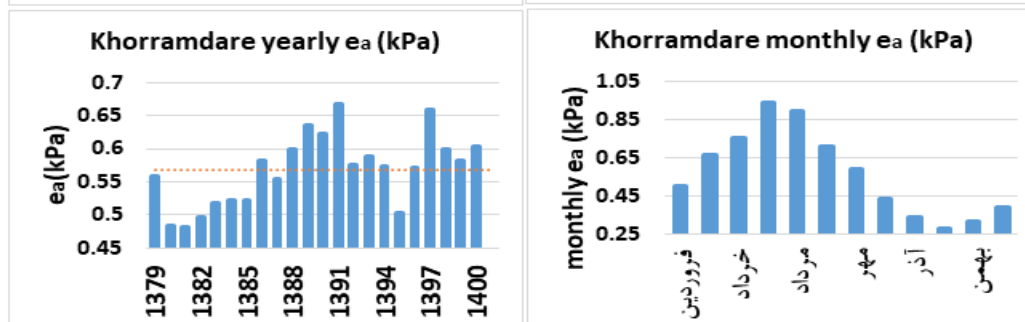
پانل ۱



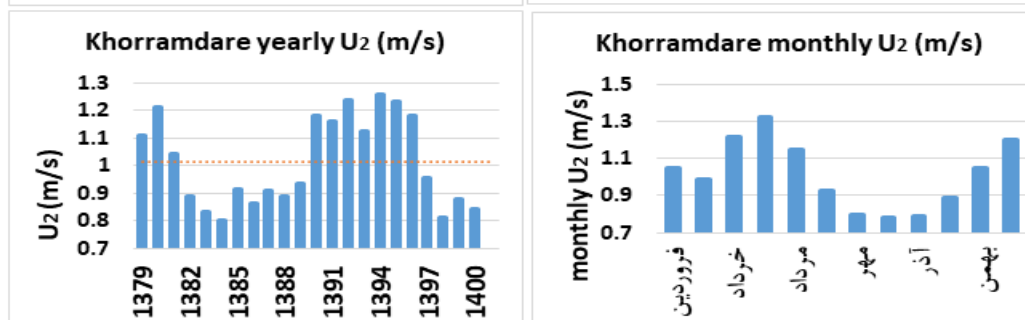
پانل ۲



پانل ۳



پانل ۴



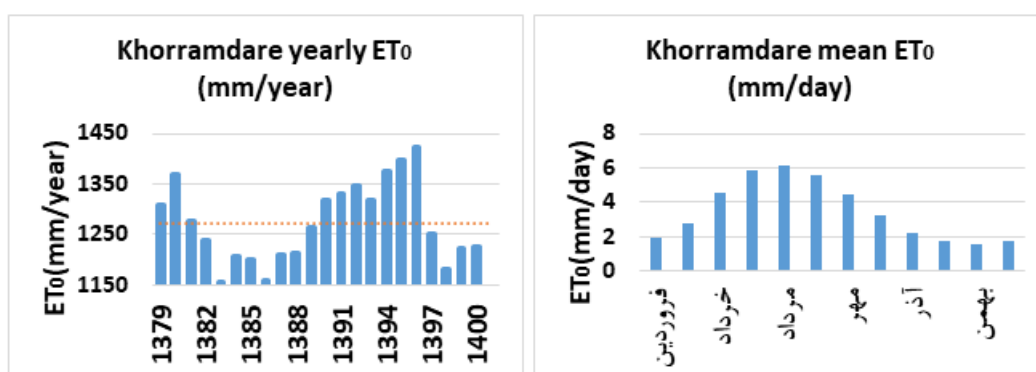
شکل ۲- نمودارهای متغیرهای اقلیمی در ایستگاه خرمدره (۱۳۷۹-۱۴۰۰).

توجه: در این شکل سری زمانی میانگین سالانه دمای هوا و الگوی توزیع میانگین ماهانه دمای هوا ایستگاه خرمدره (پانل ۱)، تعداد ساعات آفتابی واقعی در سال و الگوی توزیع ماهانه تعداد ساعات آفتابی واقعی در ایستگاه خرمدره (پانل ۲)، میانگین فشار بخار واقعی آب در طی سال و الگوی توزیع میانگین فشار بخار واقعی آب در ایستگاه خرمدره (پانل ۳) و میانگین سالانه سرعت باد در ارتفاع ۲ متری و الگوی توزیع میانگین سالانه سرعت باد در ایستگاه خرمدره (پانل ۴) می باشد.

نتایج ET_0 در ایستگاه خرمدره در شکل ۳ (۱۳۷۹-۱۴۰۰) نشان داده شده است. در این نمودار می توان مشاهده کرد که کمترین ET_0 سالانه متعلق به سال ۱۳۸۳ (معادل با ۱۱۵۵ mm/year) و بیشترین آن متعلق به سال ۱۳۹۶ (معادل با ۱۴۲۳ mm/year) در ایستگاه خرمدره می باشد. ضمن اینکه میانگین ET_0 سالانه در کل دوره آماری که با نقطه چین در شکل نشان داده شده برابر

1273 mm/year در ایستگاه خرمدره است. از این شکل در ایستگاه خرمدره می‌توان نتیجه گرفت که در اوایل دوره آماری ET_0 سالانه کمتر از میانگین طولانی مدت بوده و در اواخر دوره آماری بیشتر از میانگین دراز مدت است.

شکل ۳ نیز الگوی تبخیر-تعرق پتانسیل گیاه مرجع را در ماه‌های مختلف سال با روش پنمن-مانتیت در ایستگاه خرمدره نشان می‌دهد. بطوریکه از این شکل می‌توان دید بیشترین ET_0 متعلق به ماه مرداد (برابر با 6/13 mm/day) و کمترین آن متعلق به ماه بهمن (برابر با 1/51 mm/day) در ایستگاه خرمدره می‌باشد. از شکل مذکور می‌توان فهمید که ET_0 در ایستگاه مذکور از اسفند تا مرداد روند صعودی دارد در حالی که به تدریج از مرداد تا بهمن از روند نزولی برخوردار است. شاید علت آن بیشتر به افزایش دمای هوا از اسفند تا مرداد و متعاقب آن کاهش دما از مرداد تا بهمن باشد.



شکل ۳- نمودارهای سری زمانی ET_0 در مقیاس سالانه (چپ) و الگوی توزیع ماهانه آن (راست) در ایستگاه خرمدره در دوره آماری (۱۳۷۹-۱۴۰۰).

پس از استاندارد کردن داده‌ها، که شامل ۶ متغیر و ۲۶۴ مورد (برای ایستگاه خرمدره) در مقیاس ماهانه بوده است. با استفاده از نرم افزار SPSS عمل تجزیه به عامل‌ها انجام شد. در عمل FA، تحلیل ماتریس همبستگی بین متغیرها از اهمیت زیادی برخوردار است. جدول ۲ ماتریس همبستگی را برای ایستگاه خرمدره نشان می‌دهد. این شکل، ضرایب همبستگی هر متغیر را نشان می‌دهد. مثلاً بیشترین ضریب همبستگی مثبت بین T_{max} و T_{min} ، برابر با ۰/۹۳۷ می‌باشد که نشان دهنده افزایش T_{max} با افزایش T_{min} و یا کاهش یکی با کاهش دیگری است. از طرفی ضریب همبستگی T_{max} با RH_{ave} معادل با ۰/۸۲۴- است که حاکی از کاهش مقدار T_{max} با افزایش RH_{ave} و برعکس یعنی افزایش یکی با کاهش دیگری می‌باشد. بطوریکه از این جدول می‌توان استنباط کرد کلیه متغیرها دو به دو در سطح ۵ درصد معنی‌دار بودند.

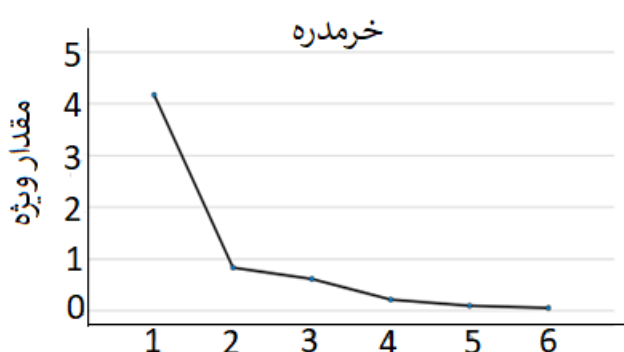
جدول ۲- ماتریس همبستگی داده‌های اقلیمی در ایستگاه خرمدره

Rain	RHave	Tmax	Tmin	Wind	Sun	
	۰/۵۹۷*	-۰/۵۱۶*	-۰/۴۹۱*	-۰/۲۵۹*	-۰/۶۳۸*	Rain
		-۰/۸۲۴*	-۰/۷۸۸*	-۰/۳۴۳*	-۰/۸۳۴*	RHave
			۰/۹۳۷*	۰/۳۵۹*	۰/۸۹۶*	Tmax
				۰/۲۸۰*	۰/۸۷۵*	Tmin
					۰/۴۱۴*	Wind

Sun

دترمیان = ۰/۰۰۳

شکل ۴ نمودار صخره‌ای حاصل از تجزیه به عاملها را برای ایستگاه خرمدره نشان می‌دهد. در این نمودار محور افقی، شماره مولفه و محور قائم مقدار ویژه می‌باشد. به طوریکه از این شکل می‌توان دید فقط دو مولفه اول دارای مقدار ویژه‌ی بیشتری نسبت به مولفه‌های بعدی دارند. بنابراین، انتخاب دو مولفه‌ی اصلی اول که هر کدام ترکیبی از همه‌ی پارامترهای اقلیمی مندرج در ماتریس همبستگی است، منطقی می‌باشد. در نهایت، این دو مولفه برای خرمدره انتخاب گردید.



شکل ۴- نمودار صخره‌ای حاصل از تجزیه به مولفه‌های اصلی در ایستگاه خرمدره.

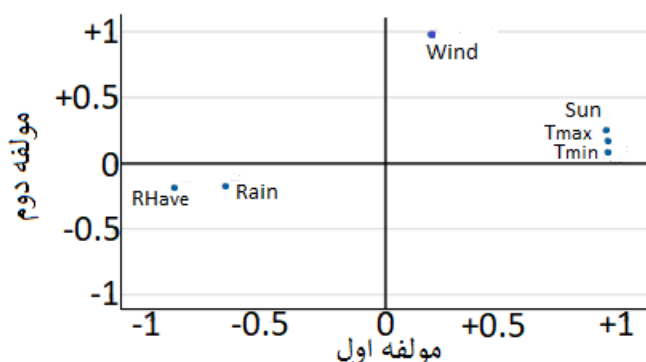
در جدول ۳، مقادیر واریانس توجیه شده توسط هر مولفه‌ی اصلی و درصد آنها قبل و بعد از چرخش وریماکس بصورت مجزا و تراکمی در خرمدره نشان داده شده است. بطوریکه می‌توان دید عامل اول پس از چرخش ۶۴/۷۴۳ درصد واریانس را توجیه می‌کند و عامل دوم ۱۸/۷۴۴ درصد واریانس را توجیه می‌کند که در مجموع دو مولفه‌ی اول در کل ۸۳/۴۸۷ درصد واریانس را توجیه می‌کند. به طوریکه می‌توان نتیجه گرفت هر چند مجموع واریانس‌های دو عامل منتخب (۸۳/۴۸۷) پس از چرخش محورها هیچ تغییری نکرده است ولیکن مقدار واریانس توجیه شده توسط هر عامل پس از چرخش اندکی تغییر یافته است مثلاً عامل اول قبل از چرخش مقدار واریانس ۶۹/۵۶۱ درصد را توجیه کرده است ولی بعد از چرخش محور مقدار آن به ۶۴/۷۴۳ درصد کاهش یافته است. به طور مشابه عامل دوم قبل از چرخش مقدار واریانس ۱۳/۹۲۶ درصد را توجیه کرده است ولی بعد از چرخش محور مقدار آن به ۱۸/۷۴۴ درصد افزایش یافته است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که با چرخش محورها اندکی واریانس توجیه شده با عامل‌های منتخب تغییر یافته اما قابلیت تفسیر نتایج بهبود یافته است. باتوجه به اینکه تعداد عامل‌های منتخب دو بوده است بنابراین در جدول زیر برای عامل‌های سوم تا ششم درصد واریانس‌ها درج نشده است.

جدول ۳- مقدار واریانس توجیه شده توسط عامل‌های منتخب قبل و پس از چرخش محورها به روش وریماکس در ایستگاه خرمدره.

مولفه	مقادیر ویژه ثانویه				مقادیر ویژه اولیه			
	کل	درصد واریانس	درصد واریانس	کل	کل	درصد واریانس	درصد واریانس	پس از چرخش وریماکس
		تجمعی	تجمعی	تجمعی		تجمعی	تجمعی	تجمعی
۱	۴/۱۷۴	۶۹/۵۶۱	۶۹/۵۶۱	۴/۱۷۴	۶۹/۵۶۱	۶۹/۵۶۱	۶۴/۷۴۳	۶۴/۷۴۳
۲	۰/۸۳۶	۱۳/۹۲۶	۸۳/۴۸۷	۰/۸۳۶	۱۳/۹۲۶	۸۳/۴۸۷	۱۸/۷۴۴	۸۳/۴۸۷
۳	۰/۶۱۷	۱۰/۲۷۶				۹۳/۷۶۳		

۹۷/۳۹۸	۳/۶۳۵	۰/۲۱۸	۴
۹۹/۰۴۶	۱/۶۴۸	۰/۰۹۹	۵
۱۰۰/۰۰۰	۰/۹۵۴	۰/۰۵۷	۶

شکل ۵ نمودار ضرایب عامل های اول و دوم را در ایستگاه خرمدره بعد از چرخش محورها نشان می دهد. می توان نتیجه گرفت که در ایستگاه خرمدره پارامتر Sun حساس ترین عامل اقلیمی در تبخیر-تعرق گیاه مرجع محسوب می شود پس از آن پارامترهای T_{min} ، T_{max} و RH به ترتیب در رتبه های دوم تا چهارم قرار گرفتند. بنابراین اگر بخواهیم مولفه های اول و دوم را در ایستگاه خرمدره نام گذاری کنیم، مولفه ی اول را می توان به دمای هوا و رطوبت نسبی و مولفه ی دوم را به نام عامل باد نام گذاری کرد.



شکل ۵- نمودار ضرایب عامل های اول و دوم در ایستگاه خرمدره بعد از چرخش محورها.

۳. نتیجه گیری

در این مطالعه اهمیت نسبی متغیرهای اقلیمی مختلف روی تبخیر-تعرق با استفاده از روش چند متغیره موسوم به تجزیه به عامل ها بررسی شده است. داده های ماهانه مربوط به شش پارامتر اقلیمی شامل میانگین حداکثر دما، میانگین حداقل دما، تعداد ساعات آفتابی واقعی، مقدار بارش ماهانه، میانگین رطوبت نسبی هوا و میانگین سرعت باد در مقیاس ماهانه در ایستگاه هواشناسی خرمدره بررسی گردید. روش FA در زمینه تاثیر نسبی متغیرهای اقلیمی روی ET_0 برای اولین بار در ایران در این مطالعه بکار گرفته شد. تا کنون در ایران و در مطالعات مرتبط با ET_0 روش مذکور استفاده نشده بود. نتایج نشان داد که همه جفت متغیرهای موثر بر تبخیر-تعرق پتانسیل دارای همبستگی معنی دار در سطح ۵ درصد بودند. در این مطالعه، ابتدا تجزیه به مولفه های اصلی بدون چرخش محورها انجام گرفت و سپس با استفاده از چرخش عامل های اصلی با روش وریماکس مطالعه به انجام رسید. برای ایستگاه خرمدره، تعداد دو عامل اصلی که تقریباً در همه ایستگاه ها دارای مقدار ویژه ی بیش از یک بودند، انتخاب شد. این دو عامل تقریباً در هر دو ایستگاه بیش از ۸۳ درصد واریانس کل متغیرها را توجیه می کرد. عامل های اول و دوم در ارتباط با فرآیندهای فیزیکی مرتبط با تبخیر-تعرق پتانسیل گیاه مرجع است که هیچ همبستگی با هم دیگر ندارند. نتایج نشان داد که متغیرهای اقلیمی دما، رطوبت نسبی هوا و سرعت باد روی فرآیند تبخیر-تعرق ایستگاه های مورد مطالعه موثر بودند. در حالیکه معلوم شد که متغیر بارش بر روی تبخیر-تعرق پتانسیل گیاه مرجع اثر موثری نداشته است. مهمترین متغیر موثر بر فرآیند تبخیر-تعرق پتانسیل پارامتر تعداد ساعات آفتابی واقعی بود. پس از آن پارامترهای T_{min} ، T_{max} و RH به ترتیب در رتبه های دوم تا چهارم قرار گرفتند. بر اساس مطالعات انجام یافته در دو ایالت هندوستان موسوم به تامیل نادو و کارناتاكا معلوم شده است که در این دو ایالت نیز تبخیر-تعرق متأثر از پارامترهای رطوبت نسبی هوا، دما و سرعت باد بوده است که با نتیجه ی بدست آمده از مطالعه ی حاضر کاملاً همخوانی دارد. لزوم توجه به حفاظت آب از خطرات آلودگی با توجه به افزایش جمعیت شهرها و گسترش

کارخانجات بیش از پیش احساس می‌شود. در این زمینه تاسیس و شروع بکار تیم‌های ویژه مانند پلیس آب در حوضه‌های آبخیز استان زنجان ضروری بنظر می‌رسد. کنترل مصرف آب بویژه در بخش کشاورزی و حفاظت آبخوان‌ها از بهره‌برداری بی‌رویه می‌تواند در جلوگیری از فرو نشست خاک در منطقه و خطرات بالقوه آن مفید ضروری است. با توجه به کاهش بارندگی در مناطق مختلف کشور و فشار بر آبخوان‌ها جهت استفاده هرچه بیشتر از آب‌های زیرزمینی در منطقه بویژه از سوی کشاورزان و باغداران بنظر می‌رسد که زمان آن فرا رسیده که ملت و دولت نیازهای خود را با مقدار آب قابل تجدید حوضه‌ها (بدون چشمداشت به استفاده از منابع آب سایر حوضه‌ها) تامین کنند.

تشکر و قدردانی

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

مراجع

اسدی، م. ا. ۱۳۹۷. پیش‌بینی تبخیر و تعرق پتانسیل با استفاده از مدل غیر خطی NARX (مطالعه موردی، استان یزد). دو فصلنامه علمی - پژوهشی خشک بوم، ۸(۲): ۳۷-۴۸.

حق‌ی زاده، ع.، بیات، و.، ارشیا، آ. ۱۳۹۸. برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل ایستگاه‌های سینوپتیک کرمانشاه با استفاده از مدل برنامه‌نویس ژنتیکی. فصلنامه علمی فضای جغرافیایی، ۱۹(۶۷): ۲۹-۴۲.

شیرزاد، م.، فیضی، ه.، رضایی بنفشه، م. ۱۴۰۱. شبیه سازی تبخیر تعرق روزانه گیاه مرجع با استفاده از روش هوش مصنوعی و مقایسه آن با روش‌های تجربی (مطالعه موردی: آذربایجان شرقی). نشریه علمی جغرافیا و برنامه ریزی، ۲۶(۸۰): ۱۸۳-۱۷۱.

میرحسینی، س. م.، قاسمیه، ه.، عبداللهی، خ. ۱۴۰۰. پیش‌بینی میزان تبخیر و تعرق پتانسیل ماهانه تحت سناریوهای RCP در دوره‌های آتی (مطالعه موردی حوضه آبخیز گلپایگان). اکو هیدرولوژی، ۱: ۲۲۰-۲۰۵.

میکائیلی، ف.، صمدیان فرد، س. ۱۴۰۲. کاربرد مدل‌های درختی و مبتنی بر کرنل در تعیین تبخیر تعرق مرجع روزانه در دو منطقه مرطوب و خشک ایران. نشریه دانش آب و خاک، ۳۳(۲): ۳۵-۵۱.

Fooladmand, H. & Haghighat, M. 2007. Spatial and temporal calibration of Hargreaves equation for calculating monthly ET_0 based on Penman-Monteith method. Irrigation and Drainage, 56: 439-449.

Manly, B.F.J. 1994. Multivariate Statistical Methods, A primer. Second edition. Chapman and Hall (pp.215).

Mohan, S. & Arumugam, N. 1996. Relative importance of meteorological variables in evapotranspiration: Factor analysis approach. Water Resources Management, 10: 1-20.

Popova, Z., Kercheva, M. & Sepriro, L. 2006. Validation of the FAO methodology for computing ET_0 with limited data. Application to South Bulgaria. Irrigation and Drainage, 55: 201-215.

Rencher, A.C. 1995. Methods of Multivariate Analysis. John Wiley and Sons INC (pp: 627)

Valipour, M. 2015. Temperature analysis of reference evapotranspiration models. Meteorological Applications, 22: 385-394.

Varga-Haszonits, Z., Szalka, E., & Szakál, T. 2022. Determination of reference evapotranspiration using penman-monteith method in case of missing wind speed data under Sub-humid climatic condition in Hungary. Atmospheric and Climate Sciences, 12(2): 235-245.

Zhai, L., Feng, Q., LI, Q. & Xu, C. 2010. Comparison and modification of equations for calculating evapotranspiration (ET) with data from Gansu province. Northwest China. Irrigation and Drainage, 59(4): 477-490.

Application of Factor Analysis in Study of Relative importance of Climatic Factors on Potential Evapotranspiration in station Khorramdareh

Nazanin Heidari^{1*}, Yagob Dinpashoh²

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

2- Professor, Water Engineering Department, University of Tabriz

Abstract

In this research relative importance of different meteorological variables that affect potential evapotranspiration in the Khorramdareh station which had at least twenty years of data ended to 2021 were analyzed. The FAO Penman-Monteith method was used to estimate ET_0 . Data used are precipitation, mean of air temperature (maximum and minimum), wind velocity, relative humidity and actual sunshine hours. The correlation between the variables were analyzed. Results showed that in Khorramdareh station all the correlation coefficients were significant in 5 percent level. In station Khorramdareh the eigenvalues of the two first factors were great than one, however, they were negligible (close to zero) in the cases of other factors. In Khorramdareh, the first two factors accounted was about 83.5 percent of total variance. In this station, the actual sunshine hours was the main parameter that affect ET_0 . After that, the T_{max} , T_{min} and RH are positioned in the second to the fourth ranks, respectively. Results indicated that the precipitation had no effect on ET_0 . The findings of this study are helpful in Khorramdareh water resources management.

Keywords: Khorramdareh, Evapotranspiration, Factor Analysis, Varimax.