

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

نازنین حیدری^۱ و یعقوب دین پژوه^۲

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز.
رایانامه: n.hedari1998@gmail.com (شماره تماس: ۰۹۱۲۹۴۸۳۴۲۴)

۲- استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز. رایانامه: dinpashoh@yahoo.com (شماره
تماس: ۰۹۱۴۴۰۳۶۱۷۶)

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 ماهنشان با حداقل ۲۰ سال آمار منتهی به ۲۰۲۱ استفاده شده است. روش فائو-پنمن-مانتیش 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 ماهنشان کلیه ضرایب همبستگی در سطح ۵ درصد معنی‌دار بودند. در ایستگاه ماهنشان، دو مولفه اول دارای مقدار ویژه‌ی بیش از یک بود و مولفه‌های بعدی مقدار ویژه‌ی بسیار ناچیزی (نزدیک صفر) داشت. در ماهنشان، دو مولفه‌ی اول در کل ۸۲/۵ 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 چندانی نداشته است. یافته‌های این مطالعه در مدیریت منابع آب ماهنشان می‌تواند مفید واقع شود.

کلمات کلیدی: ماهنشان، 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 هرکدام 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

اولین کنفرانس ملی بهره‌وری سبز از منابع آب و انرژی استان اردبیل

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 بهره‌بردند. (Zhai et al., 2010) از ۱۱ معادله تجربی برای ET_0 را با داده‌های تبخیر از تشریح 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 لایسمتر 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.

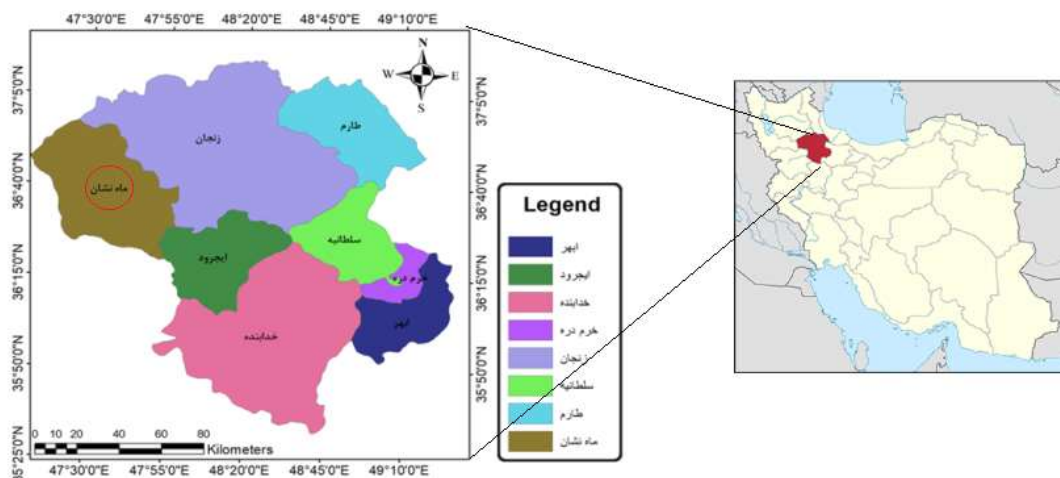
در ایران نیز کارهای مشابهی کم و بیش انجام شده است. مثلاً اسدی (۱۳۹۷)، تبخیر-تعرق پتانسیل را با استفاده از روش فائو-پنمن-مانتیت برای ایستگاه سینوپتیک یزد در دوره (۲۰۱۰-۱۹۶۶) محاسبه کرد. حقی زاده و همکاران (۱۳۹۸)، یک مدل ساده و کاربردی جهت محاسبه ET_0 انجام دادند. ایشان از مدل GEP استفاده کردند و از آمار تشریح 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 در این تحقیق استان زنجان می‌باشد. استان زنجان در شمال غرب کشور و ما بین هفت استان واقع گردیده است و از شمال با استان اردبیل و استان گیلان، از شمال شرقی و مشرق با استان قزوین، از جنوب با استان همدان، از جنوب غربی با استان کردستان و از مغرب با استان آذربایجان غربی و همچنین از شمال غرب با استان آذربایجان شرقی همسایه است. موقعیت جغرافیایی استان منطبق بر عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۳۵ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۱۵ دقیقه شمال و طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۴۵ درجه و ۲۵ دقیقه شرقی از نصف النهار گرینویچ است. شهرستان ماهشان دارای اقلیم سرد و خشک بوده و میانگین بارش سالانه ۲۴۸ میلیمتر می‌باشد میانگین دمای سالانه ماهشان ۱۴/۷ درجه سلسیوس بوده ولی بالاترین بیشینه در ماهشان ۴۳/۲ و پایین‌ترین کمینه ۲۷/۴- درجه سلسیوس می‌باشد. تعداد روزهای یخبندان در این شهرستان ۹۱ روز در سال برآورد شده است.

اولین کنفرانس ملی بهره‌وری سبز از منابع آب و انرژی استان اردبیل



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی شهرستان ماهشان واقع در استان زنجان به عنوان منطقه مورد مطالعه

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 مانیت محاسبه شد.

جدول ۱- ویژگی‌های آماری داده‌های مورد استفاده در ایستگاه ماهشان

ایستگاه	T	SD-T	n	SD-n	ea	SD-ea	U2	SD-U2	ET0	SD-ET0	P	SD-P
	(°C)		(hr)	(hr)	(kPa)	(kPa)	(m/s)	(m/s)	(mm/yr)	(mm/yr)	(mm)	(mm)
ماهستان	۱۵/۳۲	۰/۸	۲۷۷۲	۵۸۷	۰/۶۰	۰/۰۴	۱/۱۳	۰/۲۲	۱۳۷۹	۹۸	۲۶۱	۶۶

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.

۲-۳. 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 T_{max} ، T_{min} ، RH ، U_{10} ، n و P در مقیاس ماهانه بودند. 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 ترانزاده 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.

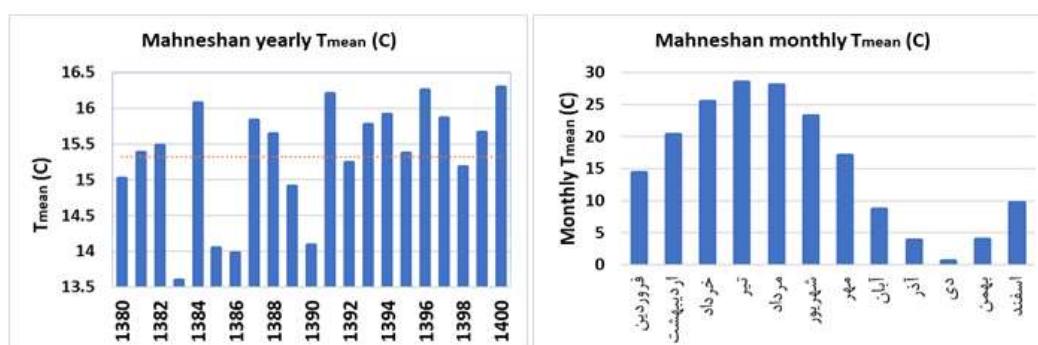
اولین کنفرانس ملی بهره‌وری سبز از منابع آب و انرژی استان اردبیل

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.

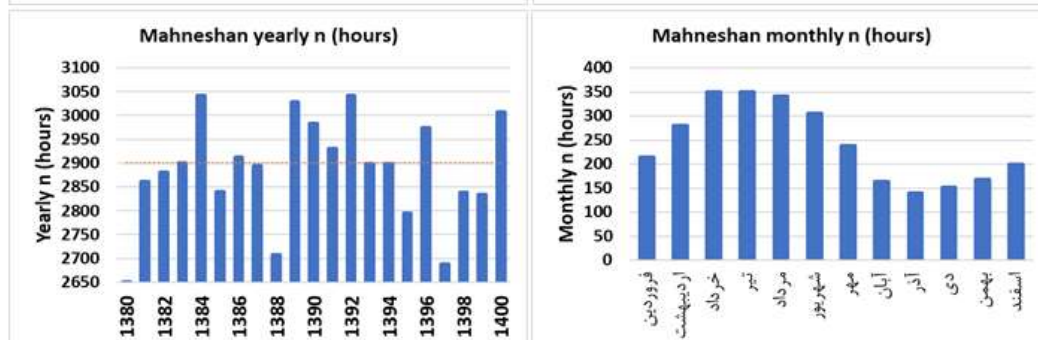
۴-۲. نتایج و بحث

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 ماه‌نشان را نشان می‌دهد.

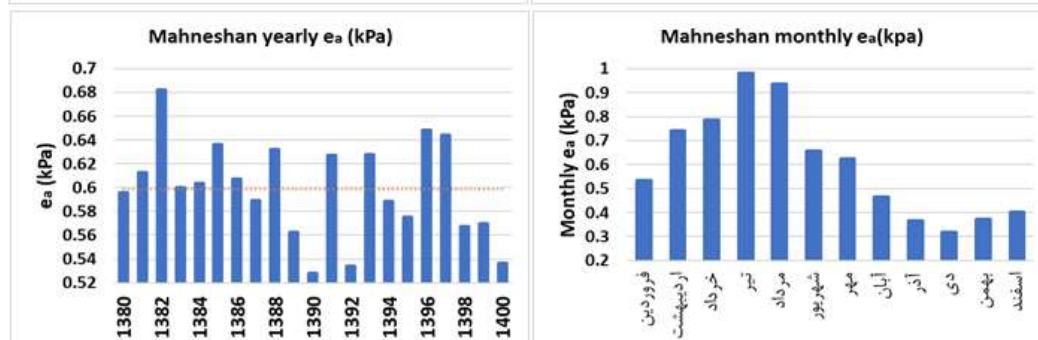
پنل ۱



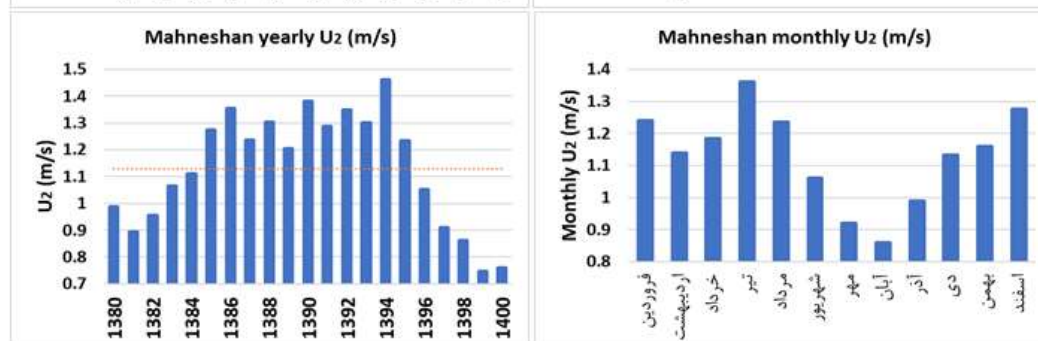
پنل ۲



پنل ۳



پنل ۴



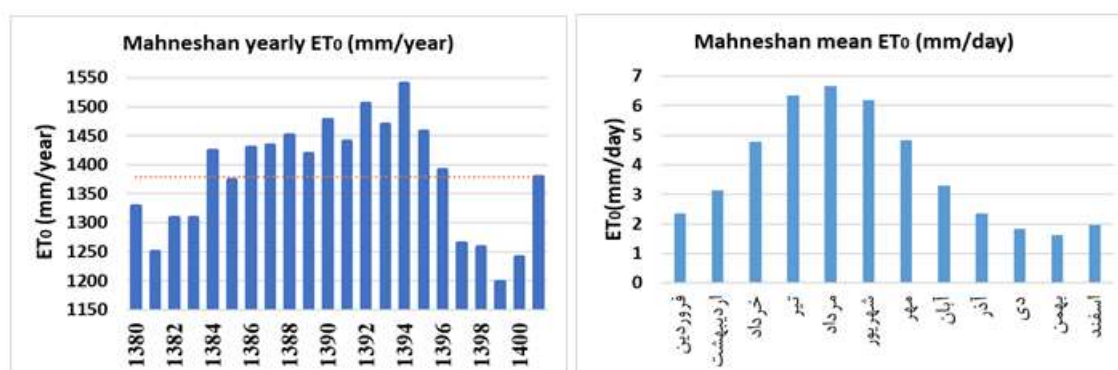
اولین کنفرانس ملی بهره وری سبز از منابع آب و انرژی استان اردبیل

شکل ۲- نمودارهای متغیرهای اقلیمی در ایستگاه ماهنشان (۱۴۰۰-۱۳۸۰).

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

نتایج ET_0 در ایستگاه ماهنشان در شکل ۳ (۱۴۰۰-۱۳۸۰) نشان داده شده است. در این نمودار می توان مشاهده کرد که کمترین ET_0 سالانه متعلق به سال ۱۳۹۹ (معادل با 1198 mm/year) و بیشترین آن متعلق به سال ۱۳۹۴ (معادل با 1540 mm/year) در ایستگاه ماهنشان می باشد. ضمن اینکه میانگین ET_0 سالانه در کل دوره آماری که با نقطه چین در شکل نشان داده شده برابر 1379 mm/year در ایستگاه ماهنشان است. از شکل ۳ در ایستگاه ماهنشان می توان نتیجه گرفت که در اوایل دوره آماری ET_0 سالانه بیشتر از میانگین طولانی مدت بوده و در اواخر دوره آماری کمتر از میانگین دراز مدت است. از شکل مذکور می توان دید که ET_0 سالانه ایستگاه ماهنشان در دوره آماری مورد بررسی روند کاهشی قابل ملاحظه داشته است.

شکل ۳ نیز الگوی تبخیر-تعرق پتانسیل گیاه مرجع را در ماه های مختلف سال با روش پنمن-ماتیتث در ایستگاه ماهنشان نشان می دهد. بطوریکه از این شکل می توان دید بیشترین ET_0 متعلق به ماه مرداد (برابر با $6/65 \text{ mm/day}$) و کمترین آن متعلق به ماه بهمن (برابر با $1/62 \text{ mm/day}$) در ایستگاه ماهنشان می باشد. از شکل مذکور می توان فهمید که ET_0 در این ایستگاه 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- نمودار سری زمانی ET_0 در مقیاس سالانه (چپ) و الگوی توزیع ماهانه آن (راست) در ایستگاه ماهنشان در دوره آماری (۱۴۰۰-۱۳۸۰).

پس از استاندارد کردن داده ها، که شامل ۶ متغیر و ۲۵۲ مورد (برای ایستگاه ماهنشان) در مقیاس ماهانه بوده است. با استفاده از نرم افزار SPSS عمل تجزیه به عامل ها انجام شد. در عمل FA، تحلیل ماتریس همبستگی بین متغیرها از اهمیت زیادی برخوردار است. جدول ۲ ماتریس همبستگی را برای ایستگاه ماهنشان نشان می دهد. این شکل، دو قسمت متمایز دیده می شود که قسمت اول (بالا) ضرایب همبستگی هستند. قسمت دوم سطح معنی داری هر ضریب را نشان می دهد. مثلاً بیشترین ضریب همبستگی مثبت بین T_{min} و T_{max} برابر با $0/937$ می باشد 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 $-0/872$ است که حاکی از کاهش

اولین کنفرانس ملی بهره وری سبز از منابع آب و انرژی استان اردبیل

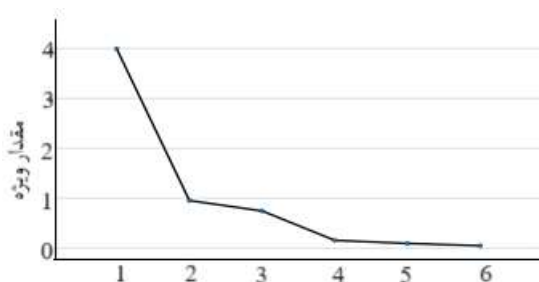
مقدار T_{max} با افزایش RH_{ave} و برعکس یعنی افزایش یکی با کاهش دیگری می باشد. بطوریکه از این جدول می توان استنباط کرد بجز یک مورد (باد و بارش) که فاقد همبستگی معنی دار بودند در سایر موارد متغیرها دو به دو در سطح ۵ درصد معنی دار بودند.

جدول ۲- ماتریس همبستگی داده های اقلیمی در ایستگاه ماهنشان

		Correlation Matrix					
		Rain	RHave	Tmax	Tmin	Wind	Sun
Correlation	Rain	۰/۵۳۶	-۰/۴۲۲	-۰/۳۶۲	-۰/۱۰۰	-۰/۵۴۰	
	RHave		-۰/۸۷۲	-۰/۸۳۴	-۰/۲۰۳	-۰/۸۶۰	
	Tmax			۰/۹۳۷	۰/۱۷۳	۰/۹۲۰	
	Tmin				۰/۱۴۱	۰/۸۷۴	
	Wind					۰/۲۵۰	
	Sun						
	Sun						
Sig.(1-tailed)	Rain	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۵۸	۰/۰۰۰	
	RHave		۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰	
	Tmax			۰/۰۰۰	۰/۰۰۳	۰/۰۰۰	
	Tmin				۰/۰۱۳	۰/۰۰۰	
	Wind					۰/۰۰۰	
	Sun						
	Sun						

a. Determinant=0/003

شکل ۶ نمودار صخره ای حاصل از تجزیه به عاملها را برای ایستگاه ماهنشان می دهد. به طوریکه از این شکل می توان دید دو مولفه اول که دارای مقدار ویژه ی بیشتر نسبت به بقیه می باشند انتخاب گردید. این دو مولفه ی اصلی ترکیبی از همه ی پارامترهای اقلیمی مندرج در ماتریس همبستگی است و نسبت به همدیگر متعامد می باشند. به عبارت بهتر این دو مولفه دارای ضریب همبستگی صفر می باشد. بنابراین، این دو مولفه اول برای ماهنشان انتخاب گردید.



شکل ۶- نمودار صخره ای حاصل از تجزیه به مولفه های اصلی در ایستگاه ماهنشان

در جدول ۴، مقادیر واریانس توجیه شده توسط هر مولفه ی اصلی و درصد آنها قبل و بعد از چرخش وریماکس بصورت مجزا و تراکمی در ماهنشان نشان داده شده است. بطوریکه می توان دید مولفه ی اول ۶۵/۱۴۵ درصد واریانس را توجیه می کند و مولفه ی دوم ۱۷/۳۶۵ درصد واریانس را توجیه می کند که در مجموع دو مولفه ی اول در کل ۸۲/۵۰۹ درصد واریانس را توجیه می کند. به طوریکه می توان نتیجه گرفت هر چند مجموع واریانس های دو مولفه ی منتخب (۸۲/۵۰۹) پس از چرخش محورها هیچ تغییری نکرده است ولیکن مقدار واریانس توجیه شده توسط هر مولفه پس از چرخش اندکی تغییر یافته است مثلاً مولفه ی اول مقدار واریانس ۶۶/۵۹۴ درصد را توجیه کرده است ولی بعد از چرخش محور مقدار آن به ۶۵/۱۴۵

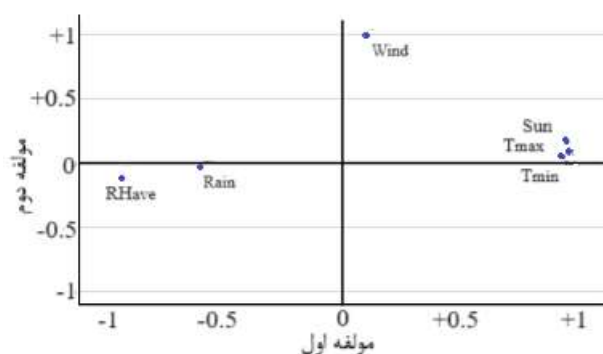
اولین کنفرانس ملی بهره وری سبز از منابع آب و انرژی استان اردبیل

درصد کاهش یافته است. به طور مشابه مولفه‌ی دوم مقدار واریانس ۱۵/۹۱۶ درصد را توجیه کرده است ولی بعد از چرخش محور مقدار آن به ۱۷/۳۶۵ درصد افزایش یافته است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که با چرخش محورها اندکی قابلیت تفسیر نتایج بهبود یافته است.

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

مولفه	مقادیر ویژه اولیه			مقادیر ویژه ثانویه			پس از چرخش وریماکس		
	کل	درصد	درصد واریانس	کل	درصد	درصد واریانس	کل	درصد	درصد واریانس
۱	۳/۹۹۶	۶۶/۵۹۴	۶۶/۵۹۴	۳/۹۹۶	۶۶/۵۹۴	۶۶/۵۹۴	۳/۹۰۹	۶۵/۱۴۵	۶۵/۱۴۵
۲	۰/۹۵۵	۱۵/۹۱۶	۸۲/۵۰۹	۰/۹۵۵	۱۵/۹۱۶	۸۲/۵۰۹	۱/۰۴۲	۱۷/۳۶۵	۸۲/۵۰۹
۳	۰/۷۴۷	۱۲/۴۴۴	۹۴/۹۵۳						
۴	۰/۱۵۷	۲/۶۲۰	۹۷/۵۷۳						
۵	۰/۰۹۵	۱/۵۹۱	۹۹/۱۶۴						
۶	۰/۰۵۰	۰/۸۳۶	۱۰۰/۰۰۰						

شکل ۷ نمودار ضرایب عامل‌های اول و دوم را در ایستگاه ماهنشان بعد از چرخش محورها نشان می‌دهد. این شکل نشان می‌دهد که در ایستگاه ماهنشان پارامتر Sun حساس‌ترین عامل اقلیمی در تبخیر-تعرق گیاه مرجع محسوب می‌شود پس از آن پارامترهای T_{max} ، T_{min} و RH به ترتیب در رتبه‌های دوم تا چهارم قرار گرفتند. در نهایت می‌توان نتیجه گرفت که نمودار مربوط به زنجار دارای الگوی مشابه با نمودار ایستگاه ماهنشان می‌باشد.



شکل ۵- نمودار ضرایب عامل‌های اول و دوم در ایستگاه ماهنشان بعد از چرخش محورها

۳. نتیجه گیری

اولین کنفرانس ملی بهره‌وری سبز از منابع آب و انرژی استان اردبیل

تبخیر-تعرق نه تنها یکی از مهم‌ترین متغیرهای مرتبط با آبیاری گیاهان زراعی و باغی است بلکه از مهمترین مولفه‌های مربوط به چرخه‌ی آب در طبیعت بشمار می‌رود. در این مطالعه اهمیت نسبی متغیرهای اقلیمی مختلف روی تبخیر-تعرق با استفاده از روش چند متغیره موسوم به تجزیه به عامل‌ها بررسی شده است. داده‌های ماهانه مربوط به شش پارامتر اقلیمی شامل میانگین حداکثر دما، میانگین حداقل دما، تعداد ساعات آفتابی واقعی، مقدار بارش ماهانه، میانگین رطوبت نسبی هوا و میانگین سرعت باد در مقیاس ماهانه در ایستگاه هواشناسی واقع در استان زنجان (ایستگاه ماهنشان) 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 تقریباً همه جفت متغیرهای موثر بر تبخیر-تعرق پتانسیل (بجز باد با بارش) دارای همبستگی معنی‌دار در سطح ۵ درصد بودند. در این مطالعه، ابتدا تجزیه به مولفه‌های اصلی بدون چرخش محورها انجام گرفت و سپس با استفاده از چرخش عامل-های اصلی با روش وریماکس مطالعه به انجام رسید. برای ایستگاه ماهنشان، تعداد دو عامل اصلی که دارای مقدار ویژه‌ی بیش از یک بود، انتخاب شد. این دو عامل تقریباً بیش از ۸۰ درصد واریانس کل متغیرها را توجیه می‌کرد. به طور اخص، مقدار واریانس توجیه شده با دو عامل اول در ایستگاه ماهنشان ۸۲/۵۰۹ درصد بود. عامل‌های اول و دوم در ارتباط با فرآیندهای فیزیکی مرتبط با تبخیر-تعرق پتانسیل گیاه مرجع است که هیچ همبستگی با هم‌دیگر ندارند. نتایج نشان داد که تقریباً در ماهنشان، متغیرهای اقلیمی دما، رطوبت نسبی هوا و سرعت باد روی فرآیند تبخیر-تعرق ایستگاه‌های 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 فرایند تبخیر-تعرق پتانسیل پارامتر تعداد ساعات آفتابی واقعی بود. پس از آن پارامترهای T_{max} ، T_{min} و RH به ترتیب در رتبه‌های دوم تا چهارم قرار گرفتند. بر اساس مطالعات انجام یافته در دو ایالت هندوستان موسوم به تامیل نادو و کارناتا‌کا 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 نتیجه‌ی بدست آمده از مطالعه‌ی حاضر کاملاً همخوانی دارد. این مطالعه توسط موهان و آروموگام (۱۹۹۶) به انجام رسیده است. 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 نشستن 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.

از محدودیت‌های این مطالعه می‌توان به کم بودن طول دوره آماری ایستگاه‌ها و محدودیت انتخاب متغیرهای هواشناسی موثر بر تبخیر-تعرق اشاره کرد. زیرا در اغلب ایستگاه‌های هواشناسی ایران همه پارامترهای مورد نیاز یا اندازه‌گیری نشده‌اند یا دارای آمار کافی نیستند. مثلاً میزان تشعشع آفتاب در مقیاس روزانه در دسترس محقق نیست. از مزیت‌های این مطالعه می‌توان به درک عمیق ارتباط پارامترهای هواشناسی با تبخیر-تعرق در ایستگاه‌های منتخب اشاره کرد. انجام چنین مطالعه‌ای در دیگر استان‌های کشور با اقلیم‌های متفاوت توصیه می‌شود. نتایج این مطالعه در مدیریت بهینه آب قابل دسترس بویژه در بخش کشاورزی مفید واقع شود.

۴. مراجع

- 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.
- 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.
- 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.
- 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.



اولین کنفرانس ملی بهره‌وری سبز از منابع آب و انرژی استان اردبیل

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

حق‌زاده، 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.

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.

شیرزاد، م.، فیضی، ه.، رضایی بنفشه، م. ۱۴۰۱. شبیه‌سازی 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 برنامه‌ریزی، ۲۶(۸۰): ۱۷۱-۱۸۳.

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

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