Archive of SID

پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۷۳، پاییز ۱۳۸۹
صص. ۱۱۰-۹۷

بررسی عوامل مؤثر در تبخیر و تعرق مرجع، با استفاده از آنالیز حساسیت معادله فائو ـ پنمن ـ مانتیث مطالعه موردی: ایستگاه‌های یزد، طبس و مروست

علی طالبی* ـ استادیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه یزد
سمانه پورمحمدی ـ کارشناس ارشد مدیریت مناطق بیابانی، دانشگاه یزد
محمدحسن رحیمیان ـ کارشناس آبیاری و زهکشی، مرکز ملی تحقیقات شوری

پذیرش مقاله: ۱۳۸۸/۹/۴ تأیید مقاله: ۱۳۸۹/۷/۲۶

چکیده

یکی از راه‌های هدررفت آب در مناطق مختلف آب و هوایی ایران، تبخیر و تعرق است. این پدیده سهم مهمی در اتلاف آب به‌ویژه در مناطق کویر مرکزی کشور دارد و تابع پارامترهای مختلف اقلیمی و ویژگی‌های توپوگرافی هر منطقه است. اولویت‌بندی و تعیین شدت تأثیر هر یک از این پارامترها بر روی تبخیر و تعرق می‌تواند ضمن افزایش شناخت از عوامل مؤثر بر تبخیر و تعرق در هر منطقه، به مدیریت منابع آب در آن منطقه بسیار کمک کند. در این تحقیق اقدام به بررسی و آنالیز میزان حساسیت پدیده تبخیر و تعرق نسبت به تغییر پارامترهای اقلیمی مؤثر بر آن در چند نقطه از استان یزد در ایران مرکزی شده است. بدین منظور ابتدا به تغییر مقادیر پارامترهای ورودی به مدل کراپ‌وات، به عنوان یکی از معتبرترین مدل‌های محاسبه تبخیر و تعرق مرجع به روش فائو ـ پنمن ـ مانتیث پرداخته شد، و سپس تأثیر تغییر این پارامترها در هر یک از ماه‌های سال در ایستگاه‌های مختلف به صورت کمّی محاسبه گردید و مورد مقایسه قرار گرفت. این تغییرات شامل افزایش و کاهش ۱۰±، ۲۰± و ۳۰± درصد پارامترهای ورودی به مدل بود. نتایج این تحقیق نحوه اولویت‌بندی پارامترهای اقلیمی و میزان تأثیرگذاری آنها را در ماه‌های مختلف سال در هر یک از ایستگاه‌های مطالعاتی نشان می‌دهد. بر این اساس، تغییرات دو پارامتر بیشینه دما و سرعت باد در سال بیشترین تأثیر را در نوسانات تبخیر و تعرق در هر سه ایستگاه داشته است. همچنین اولویت‌بندی عوامل مؤثر در تبخیر و تعرق در فصول مختلف متفاوت‌اند، به‌طوری‌که برای مثال در فصل بهار در هر سه ایستگاه دمای بیشینه، سرعت باد و دمای کمینه به ترتیب مؤثرترین عوامل بوده‌اند، در حالی‌که در فصل پاییز سرعت باد، دمای بیشینه و رطوبت نسبی به ترتیب مؤثرترین عوامل بوده‌اند.

کلیدواژه‌ها: آنالیز حساسیت، تبخیر و تعرق، کراپ‌وات، پارامترهای اقلیمی، یزد.

نویسندهٔ مسئول: ۰۹۱۳۴۱۳۷۰۱۰
* E- mail:talebisf@yazuni.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

بیشتر وسعت کشور پهناور ایران در اقلیم خشک و نیمه‌خشک واقع شده است. در این میان تبخیر و تعرق از جمله پارامترهای اقلیمی است که این اقالیم خشک و نیمه‌خشک را بیش از پیش تحت تأثیر خود قرار داده است. لذا آگاهی هر چه بیشتر در زمینه روابط بین پارامترهای اقلیمی و تبخیر و تعرق کمک زیادی به متخصصان در زمینه مدیریت منابع آب منطقه به صورت فعالیت‌های آبخیزداری و عملیات کشاورزی می‌کند. پدیده تبخیر و تعرق پدیده‌ای منطقه‌ای است، نه نقطه‌ای؛ و با توجه به تغییرات مکانی عوامل دخیل در تبخیر اعم از سطح تبخیرکننده و عوامل محیطی مؤثر بر آن، در برآورد مقدار تبخیر و تعرق بایستی اقدام به مدل‌سازی توزیعی در مکان کرد (Allen et al., 2003, 12).

۶۴ درصد بارش‌های جَو به علت تبخیر و تعرق از سطح زمین است و در واقع تبخیر و تعرق مرتبط‌کننده سه جزء مهم زیست‌کره، هیدروسفر و اتمسفر به شمار می‌آید (Su et al., 2006, 60).

اقلیم ناحیه شمال اتمسفر، سطح زمین و پوشش آن، موجودیت توده آب‌های سطحی و مقادیر انرژی خورشیدی دریافتی، دارای چنان پیچیدگی و پویایی‌ای است که درک کامل آن در گرو این مدل‌های منطقه‌ای و گاه مدل‌سازی‌های بسیار پیچیده است (Bastiaanssen, 2002, 85). عوامل اقلیمی مانند رطوبت نسبی، کمینه و بیشینه دما، سرعت باد و ساعت‌های آفتابی از عوامل تأثیرگذار بر روی تبخیر و تعرق‌اند و با توجه به فصل سال و ویژگی‌های توپوگرافی منطقه، نقش هر یک از عوامل بیان شده بر روی تبخیر و تعرق بیشتر یا کمتر می‌شود.

در زمینه پارامترهای اقلیمی و تبخیر و تعرق، برخی از محققان از روش تجزیه عاملی[1] برای تأثیر عوامل اقلیمی بر روی تبخیر و تعرق استفاده کردند. این تکنیک‌ها قادر به توضیح ارتباط مشاهده شده بین چندین متغیر به صورت روابط نسبتاً ساده هستند و همچنین از روی ساختار حاکم بر متغیرهای مورد نظر، ایده‌ای را مبنی بر اهمیت نسبی فاکتورهای مختلف تأثیرگذار بر روی پدیده مورد مطالعه ارائه می‌دهند (Matalas, and Feyen, 1967, 892). به علاوه، این روش برای قضاوت براساس بردارهای مقادیر ویژه[2] (Gray, 1981, Kidson 1967, 892) و نیز توابع تجربی قائم (Roa, 1990, 235) کاربرد دارند. برخی از تحقیقات انجام شده در گذشتهٔ نزدیک نشان داده است که روش آماری تجزیه عاملی می‌تواند به‌منظور بررسی پدیده‌های هیدرولوژیکی، هیدرواقلیمی و هیدروشیمیایی مورد استفاده قرار گیرد. گادگیل و اینگار (۱۹۸۰، ۸۷۳) و اینگار (۱۹۹۱) روش پی سی ای[3] را برای تعیین الگوی تغییرات زمانی بارش در منطقه‌ای از هند مورد استفاده قرار دادند.

در تحقیقی که ملکی‌نژاد و پورمحمدی (۱۳۸۷، ۱۸۵) انجام دادند، پارامترهای اقلیمی مؤثر بر تبخیر و تعرق در ایران مرکزی به‌وسیله نرم‌افزار مینی تب[4] و روش تجزیه عاملی بررسی شد و مشخص گردید که در هر یک از ماه‌های سال یکی از پارامترهای اقلیمی مورد مطالعه نقش مؤثرتری بر میزان تبخیر داشته است. در این میان نقش دما، سرعت باد و

1. Factor Analysis
2. eigenvectors
3. PCA
4. minitab

www.SID.ir

Archive of SID

میزان ابرناکی از بقیه مشهودتر بوده است. در نهایت مناطق همگن اقلیمی با توجه به پارامترهای مؤثر بر تبخیر و تعرق مناطق از هم جدا شدند.

یکی دیگر از روش‌های تعیین رابطه همبستگی بین تبخیر و تعرق و مجموعه‌ای از عوامل اقلیمی، رگرسیون چندمتغیره است. در این روش تبخیر و تعرق به‌عنوان متغیر وابسته و عوامل اقلیمی مختلف به‌عنوان متغیرهای مستقل به مدل معرفی می‌شوند. بهترین مدل انتخابی، مدلی است که بتواند تخمین بهتری را از دو یا چند متغیر وابستهٔ دیگر ارائه دهد. یکی از مهم‌ترین محدودیت‌های این روش (همانند سایر روش‌های رگرسیونی) این است که مدل ارائه شده تنها در همان بازه از اعداد مورد استفاده در تجزیه و تحلیل‌ها معتبر است، و بنابراین امکان برون‌یابی وجود ندارد (عبداللهی و رحیمیان ۱۳۸۶، ۲۹).

در تحقیقی که در جنوب ایتالیا بر روی حساسیت اجزای مختلف معادله پنمن ـ مانتیث بر روی گیاه مرجع چمن و گیاهان تحت استرس انجام شد، این نتیجه به دست آمد که برای گیاه مرجع چمن مقاومت آیرودینامیکی و پایداری پوشش نقش اساسی را در تبخیر و تعرق دارد و در گیاهان تحت تنش بلندقد فشار بخار آب و در کوتاه‌قدها مقاومت گیاهی دارای نقش اساسی است (Rana and Katerji, 1998, 60). در تحقیق دیگری که بر روی تأثیر هر یک از عوامل اقلیمی بر روی تبخیر و تعرق در حوزه منشاد یزد با استفاده از معادله پنمن ـ مانتیث و روش تجزیه عاملی صورت گرفت، در فصل زمستان و بهار کمینه دما و در فصل پاییز و تابستان بیشینه دما بیشترین نقش را بر روی تبخیر و تعرق داشته است (پورمحمدی و همکاران، ۱۳۸۷، ۷۵). در تحقیق حاضر نیز با انجام آنالیز حساسیت، اولویت‌بندی و میزان تأثیرگذاری هر یک از پارامترهای اقلیمی بر روی تبخیر و تعرق ایستگاه‌های یزد، طبس و مروست در ماه‌های مختلف سال بررسی خواهد شد.

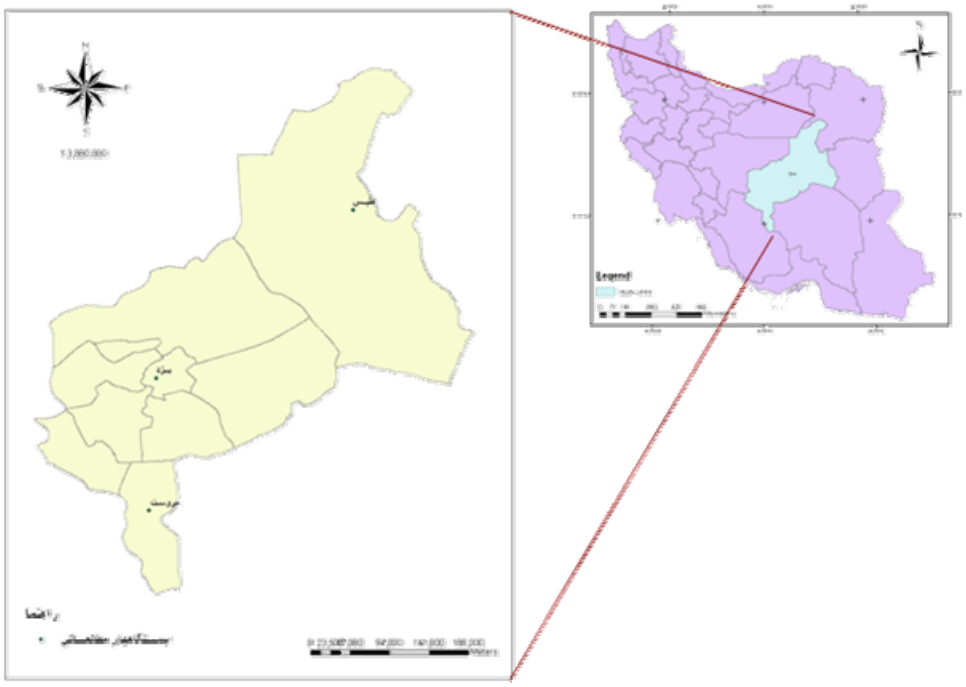
مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مطالعاتی

مناطق مطالعاتی در این تحقیق ایستگاه‌های سینوپتیک یزد و طبس و مروست در استان یزد هستند. شهرستان طبس در قسمت شمال شرقی شهر یزد و شهرستان مروست در جنوب آن واقع شده است. موقعیت قرارگیری ایستگاه‌های مطالعاتی در شکل ۱ دیده می‌شود. همچنین در جدول ۱ پارامترهای اقلیمی مؤثر بر تبخیر و تعرق و ارتفاع از سطح دریا در سه ایستگاه مطالعاتی نشان داده شده است. انتخاب این سه ایستگاه از آن رو بوده است که در یک یا چند پارامتر اقلیمی مقادیر حداقل یا حداکثر را در سطح استان داشته و همچنین دارای توزیع مکانی مناسبی در مقیاس استانی بوده‌اند.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱. موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه در استان یزد

جدول ۱. مشخصات اقلیمی ایستگاه‌های مورد مطالعه

نام ایستگاه	ارتفاع از سطح دریا(m)	متوسط دمای بیشینه سالانه(سانتیگراد)	متوسط دمای کمینه سالانه(سانتیگراد)	متوسط سرعت باد سالانه(knot)	متوسط رطوبت نسبی سالانه(درصد)	متوسط بارش سالانه(mm)
یزد	۱۲۳۰	۲۷/۲	۱۳	۳	۳۰	۵۰
طبس	۷۱۱	۲۸/۸	۱۶/۲	۱/۴	۳۳	۸۰
مروست	۱۵۴۷	۲۶	۹/۱	۲/۱	۳۳	۶۸

روش تحقیق

محاسبه تبخیر و تعرق مرجع (ETo) از مباحثی است که اهمیت فوق‌العاده‌ای در تعیین آب مورد نیاز گیاهان دارد و تاکنون روش‌های مختلفی هم برای آن ارائه شده است. یکی از مقبول‌ترین این روش‌ها فائو ـ پنمن ـ مانتیث است که کاربرد گسترده‌ای دارد. فرمول محاسبه ETo در این روش به صورت رابطه (۱) است (Allen et al., 1998, 12):

$$\lambda ETo = \frac{\Delta(Rn - G) + \rho Cp(ea - ed) \,/\, ra}{\Delta + \gamma(1 + rc / ra)}$$

رابطه (۱)

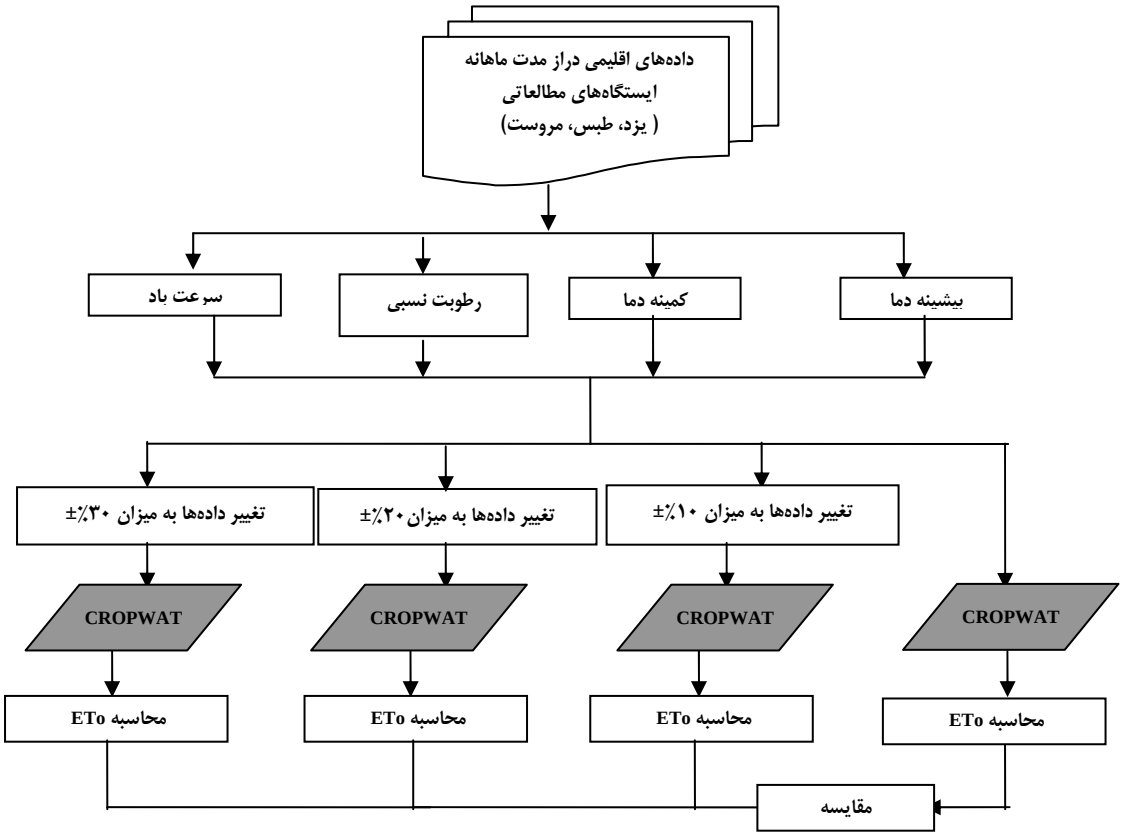
www.SID.ir

Archive of SID

که در این فرمول، Rn شار تشعشع خالص در سطح $\left[KJM^{-2}S^{-1}\right]$، G شار گرمای خاک است $\left[KJM^{-2}S^{-1}\right]$، ρ وزن مخصوص اتمسفر برحسب کیلوگرم بر مترمکعب، Cρ گرمای ویژه گرمای مرطوب برحسب کیلوژول بر کیلوگرم است. $\left[KJg^{-1}\circ C^{-1}\right]$، $(ea-ed)$ کمبود فشار بخار آب برحسب کیلوپاسکال است. rc مقاومت سایه‌انداز پوشش گیاهی برحسب ثانیه بر متر است. ra مقاومت آئرودینامیکی هوا برحسب ثانیه بر متر (S/m) است. Δ شیب منحنی فشار بخار است $\left[KPa\circ-1\right]$، λ گرمای نهان تبخیر برحسب مگاژول بر کیلوگرم است $\left[MJKg-\circ\right]$ l، γ ثابت سایکرومتری است $\left[KPa\circ-1.\right]$. با کنکاش بر روی اجزای مختلف این معادله، مشخص می‌گردد که مقدار تبخیر و تعرق تابعی از مجموعه عوامل مختلف اقلیمی یعنی دم (T)، رطوبت (H)، ساعات آفتابی (n) و سرعت باد (U_{2m}) است که در رابطه (۲) نشان داده شده است:

$$ETo = f(T, H, n, U_{2m}) \qquad \text{رابطه (۲)}$$

این عوامل به همراه عرض جغرافیایی (ϕ) و نیز ارتفاع از سطح دریای آن محل (z) منجر به تعیین مقدار تبخیر و تعرق مرجع می‌گردند. برخی از اجزای این معادله $(\Delta, \gamma, R_n, e_a, e_d)$ نیز به طور مستقیم یا غیرمستقیم با عوامل اقلیمی مذکور مرتبطاند و از طریق آنها محاسبه می‌گردند. هدف اصلی از انجام این تحقیق بررسی میزان تأثیرگذاری و سهم عوامل اقلیمی مذکور بر روی تبخیر و تعرق مرجع است و به عبارتی آنالیز حساسیت روش فائو ـ پنمن ـ مانتیث براساس تغییرات پارامترهای اقلیمی مؤثر بر تبخیر و تعرق است. در نمودار ترسیمی در شکل ۲ مراحل مختلف انجام این کار آورده شده است.



شکل ۲. مراحل مختلف انجام تحقیق

www.SID.ir

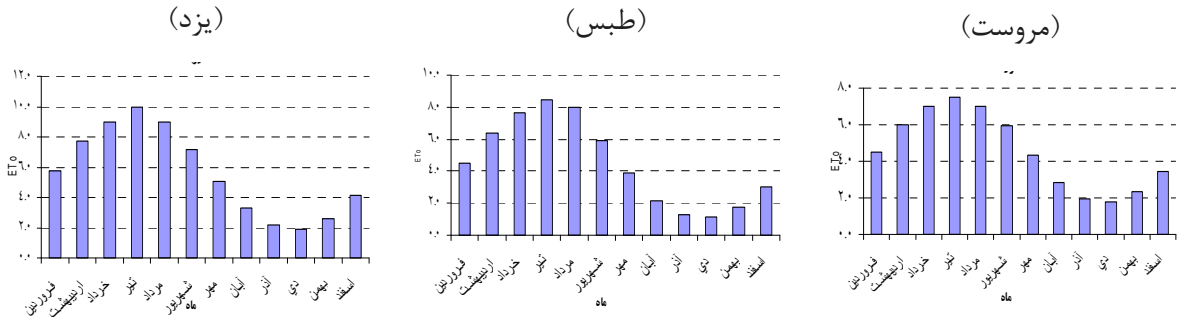
Archive of SID

همان‌طور که مشاهده می‌شود، پس از جمع‌آوری داده‌های ماهانه درازمدت شهر یزد، طبس و مروست (دمای حداقل، دمای حداکثر، رطوبت نسبی، ساعات آفتابی و سرعت باد) به‌وسیله نرم‌افزار کراپ وات[1] که بر پایه معادله پنمن ـ مانتیث بنا شده است، تبخیر و تعرق ماهانه درازمدت ایستگاه‌های مطالعاتی محاسبه گردید. سپس با کم و زیاد کردن هر یک از عوامل اقلیمی به کار رفته در معادله تبخیر و تعرق به میزان ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد، مجدداً با استفاده از نرم‌افزار کراپ وات تبخیر و تعرق مرجع با توجه به تغییرات عوامل اقلیمی برای هر ایستگاه محاسبه گردید. بنابراین چهار گروه تبخیر و تعرق در هر ۳ ایستگاه مطالعاتی به‌دست آمد که پس از رسم نمودارهای هر یک از آنها، به صورت ماهانه و سالانه مقایسه‌ای بین آنها صورت گرفت. با انجام این کار میزان تأثیرگذاری هر یک از پارامترهای اقلیمی بر روی تبخیر و تعرق در هر ماه به طور جداگانه بررسی شد.

یافته‌های تحقیق

بررسی تغییرات ماهانه تبخیر و تعرق مرجع

به‌منظور بررسی نتایج اصلی این تحقیق ابتدا به تغییرات ماهانه تبخیر و تعرق مرجع در ایستگاه‌های مطالعاتی توجه شده است. شکل ۳ تغییرات ماهانه تبخیر و تعرق در ایستگاه‌های یزد، طبس و مروست را نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌گردد، بیشترین مقدار تبخیر و تعرق مربوط به ایستگاه یزد با مقدار متوسط ماهیانه ۱۰ میلیمتر در تیر ماه است، در حالی‌که در ماه مشابه آن مروست کمترین تبخیر و تعرق را در مقایسه با دو ایستگاه (۷/۵ میلیمتر در روز) دارد و ایستگاه طبس که در بین دو ایستگاه مذکور از نظر تبخیر و تعرق بلندمدت قرار می‌گیرد، در تیرماه به میزان ۸/۵ میلیمتر در روز تبخیر و تعرق مرجع دارد.



شکل ۳. تبخیر و تعرق مرجع درازمدت ماهانه ایستگاه‌های مطالعاتی

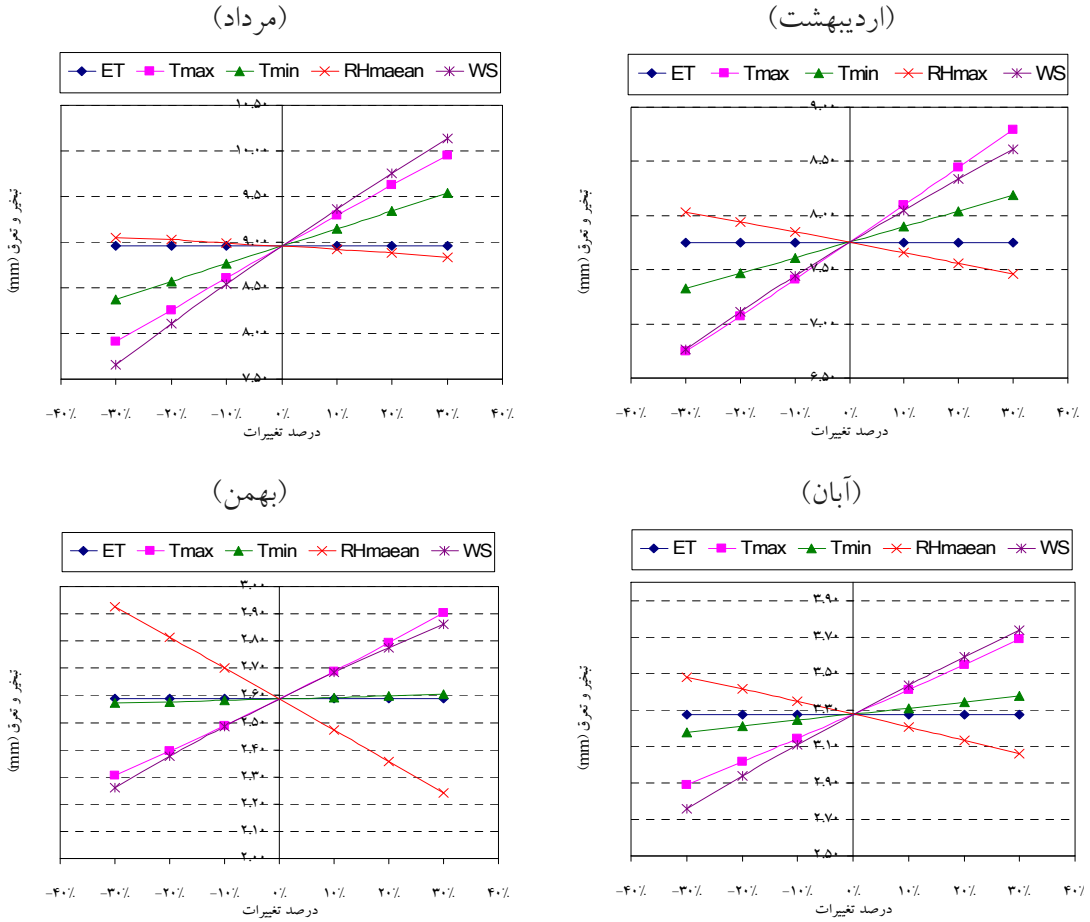
پس از مشاهده تغییرات ماهانه تبخیر و تعرق در ایستگاه‌های مطالعاتی، به بررسی آنالیز حساسیت معادله فائو ـ پنمن ـ مانتیث بر اثر تغییر هر یک از پارامترهای ورودی آن (دما، رطوبت، سرعت باد و ساعات آفتابی) در هر سه ایستگاه مطالعاتی پرداخته شده است. در شکل ۴ نمودار تغییرات تبخیر و تعرق با توجه به کاهش و افزایش هر کدام از پارامترهای

1. CROPWAT

www.SID.ir

Archive of SID

مؤثر بر تبخیر و تعرق در هر یک از فصول سال در ایستگاه‌های مطالعاتی نمایش داده شده است. در هر یک از این نمودارها خط افقی بیان‌کننده تبخیر و تعرق مرجع (ET) در هر ماه است. با تغییر مقداری مشخص (به طور مثال ±۱۰، ±۲۰ و ±۳۰درصد) در مقادیر عددی هر یک از پارامترهای اقلیمی، مجدداً اقدام به محاسبه تبخیر و تعرق در آن ماه گردیده و مقدار محاسبه شده به صورت خطوط مختلفی بر روی این نمودار آورده شده است. به عنوان مثال، خط مربوط به سرعت باد (WS)، نشان‌دهنده تبخیر و تعرق محاسبه شده پس از اعمال تغییرات به میزان ±۱۰، ±۲۰ و ±۳۰ درصد در مقادیر عددی سرعت باد است. در اینجا ماه وسط هر فصل به عنوان نماینده هر فصل نمایش داده شده و با دیگر ایستگاه‌های مطالعاتی مقایسه شده است. نحوه تفسیر این خطوط بدین ترتیب است که وجود شیب بیشتر هر یک از خطوط مذکور با خط افقی، نشان‌دهنده حساسیت بیشتر تبخیر و تعرق به تغییر پارامتر مذکور است، اما چنانچه تبخیر و تعرق به‌طور خطی با تغییر یک پارامتر تغییر کند، خط مربوط به آن پارامتر نیز فاقد انحنا و با زاویه مشخص نسبت به افق خواهد بود. در چنین حالتی روند تغییرات تبخیر و تعرق به راحتی پیش‌بینی‌شدنی است و امکان مدل‌سازی آن نیز وجود دارد. نکته جالب توجه اینکه چنانچه این خط با افق زاویه ۴۵ درجه بسازد، نشان می‌دهد که تبخیر و تعرق به‌طور یک به یک با تغییر آن پارامتر مرتبط است.



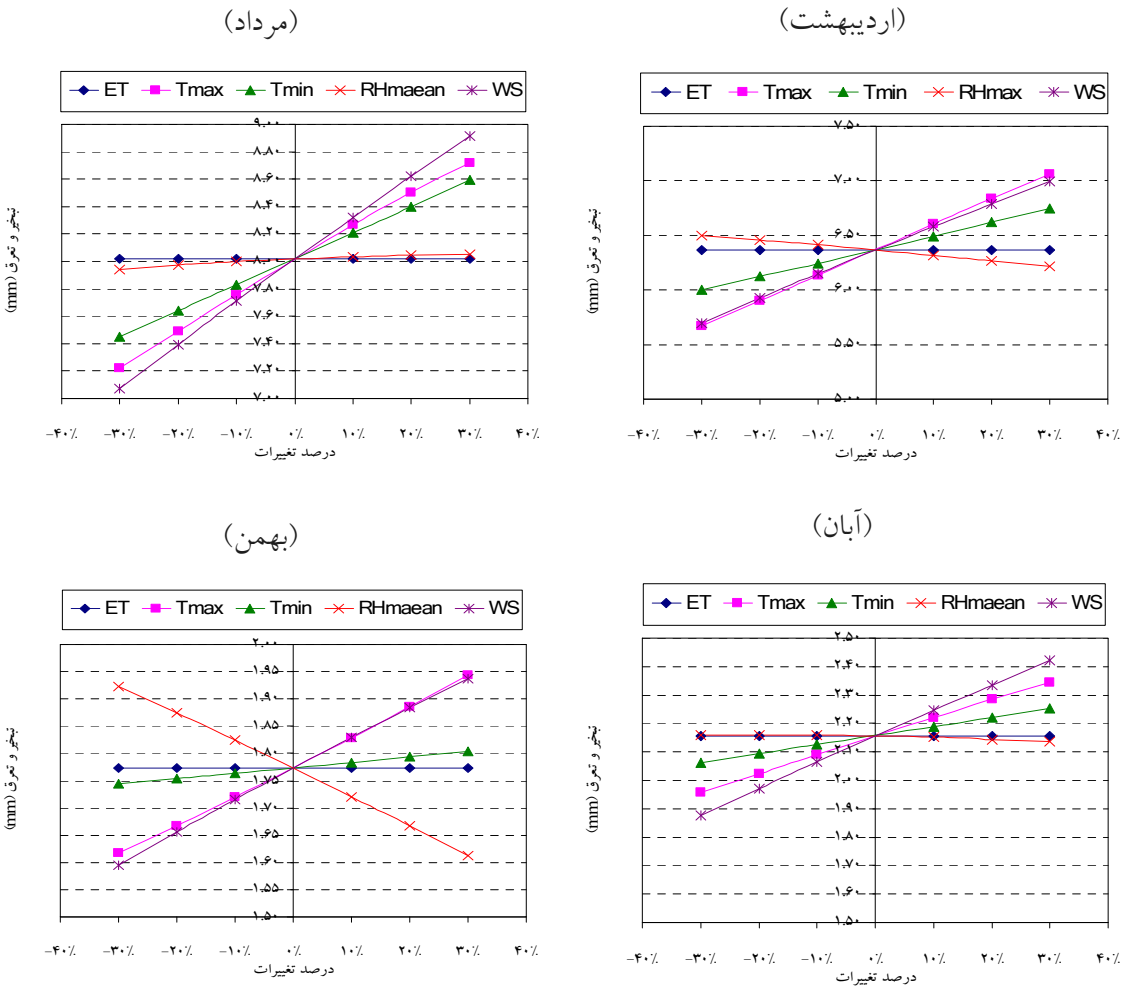
شکل ۴. میزان تغییرات تبخیر و تعرق (ET) با تغییرات چهار پارامتری دمای کمینه (Tmin)، دمای بیشینه (Tmax)، رطوبت نسبی (H) و سرعت باد (WS) در ماه‌های مختلف، در ایستگاه یزد

www.SID.ir

Archive of SID

همان‌طور که در نمودارهای ترسیمی (شکل ۴ تا ۶) ملاحظه می‌گردد، پارامتری که تغییر آن بیشترین تأثیر را بر روی تبخیر و تعرق هر ایستگاه دارد، در هر ماه متفاوت از ماه دیگر خواهد بود. عوامل مؤثر بر تبخیر و تعرق در هر یک از فصول سال به ترتیب اولویت در جدول ۲ نشان داده شده است.

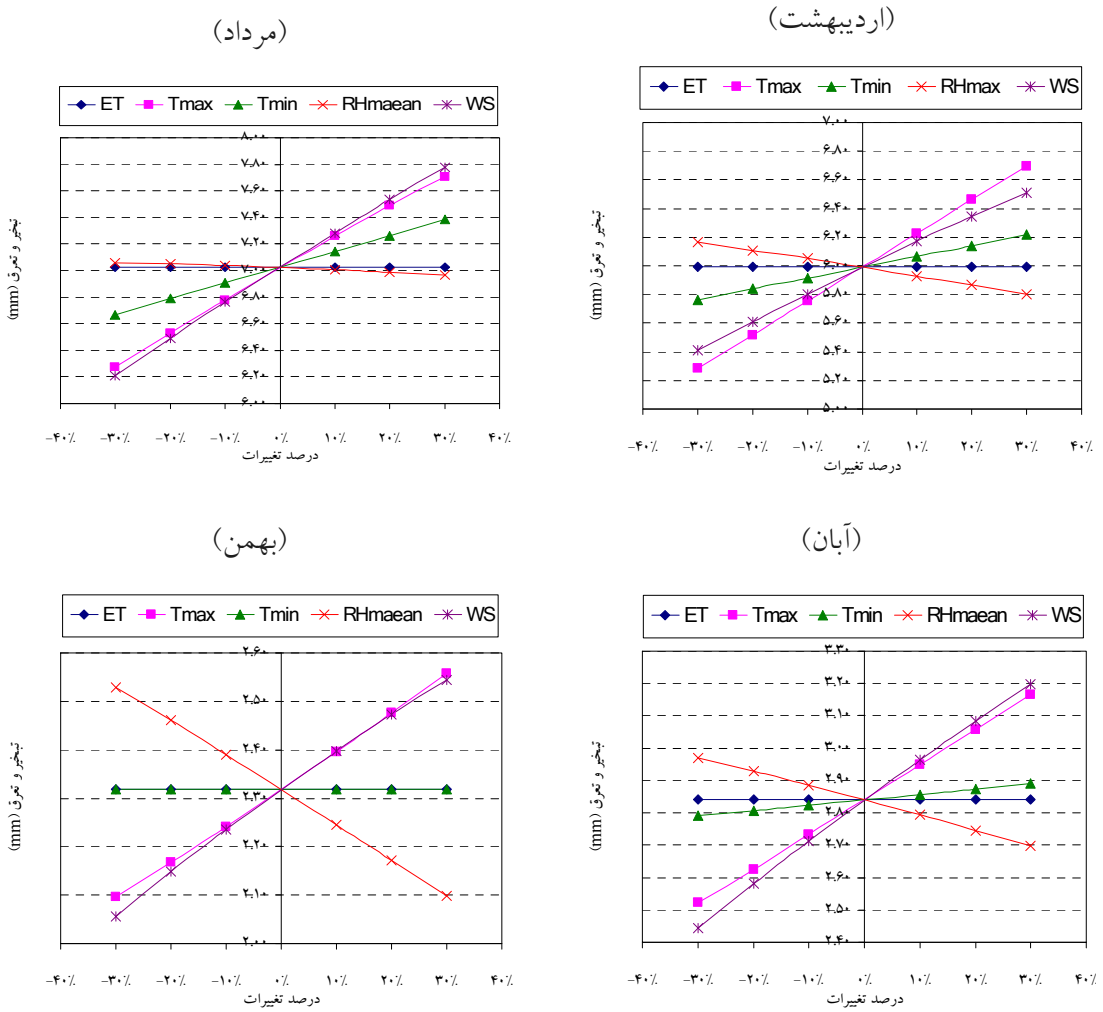
نکته شایان توجه دیگر در نمودارهای رسم شده، فاصله گرفتن خطوط از محور افقی است، به‌طوری که رطوبت نسبی به‌علت تأثیر کاهنده در تبخیر و تعرق و طرز قرار گرفتن آن در محور افقی، متفاوت از عوامل دیگر مثل سرعت باد است،که نقش افزایشی در تبخیر و تعرق دارد.



شکل ۵. میزان تغییرات تبخیر و تعرق (ET) با تغییرات چهار پارامتر دمای کمینه (Tmin)، دمای بیشینه (Tmax)، رطوبت نسبی (H) و سرعت باد (WS) در ماه‌های مختلف، در ایستگاه طبس

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۶. میزان تغییرات تبخیر و تعرق (ET) با تغییرات چهار پارامتر دمای کمینه (Tmin)، دمای بیشینه (Tmax)، رطوبت نسبی (H) و سرعت باد (WS) ماه‌های مختلف، در ایستگاه مروست

همان‌طور که در جدول ۲ نشان داده شده است، در هر سه ایستگاه در فصل بهار و تابستان عوامل اصلی مؤثر بر تبخیر و تعرق مرجع مشابه بوده است، به‌طوری که به ترتیب اولویت دمای بیشینه، سرعت باد و دمای کمینه در فصل بهار و همچنین پارامترهای سرعت باد، دمای بیشینه و دمای کمینه در فصل تابستان مؤثر بوده‌اند. بیشترین سرعت باد در هر سه ایستگاه در فصول بهار و تابستان است که این خود توجیه‌کننده نقش مؤثر این پارامتر بر روی تبخیر و تعرق مرجع در فصل تابستان است. در واقع در این فصل که بیشترین دمای بیشینه در کل سال را دارد، به‌علت دمای بالای تبخیر و تعرق، همان‌طور که در شکل ۳ در تمامی ایستگاه‌ها دیده شد، دما به بیشترین مقدار می‌رسد اما در واقع عامل سرعت باد است که تبخیر و تعرق را تحت تأثیر قرار می‌دهد و تغییر این پارامتر باعث کاهش و افزایش تبخیر و تعرق می‌شود.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲. عوامل مؤثر بر تبخیر و تعرق به ترتیب اهمیت در فصول مختلف در هر سه ایستگاه مطالعاتی

ایستگاه	فصل	پارامتر اقلیمی اول	پارامتر اقلیمی دوم	پارامتر اقلیمی سوم
یزد	بهار	دمای بیشینه	سرعت باد	دمای کمینه
	تابستان	سرعت باد	دمای بیشینه	دمای کمینه
	پائیز	سرعت باد	دمای بیشینه	رطوبت نسبی
	زمستان	رطوبت نسبی	دمای بیشینه	سرعت باد
طبس	بهار	دمای بیشینه	سرعت باد	دمای کمینه
	تابستان	سرعت باد	دمای بیشینه	دمای کمینه
	پائیز	سرعت باد	دمای بیشینه	دمای کمینه
	زمستان	رطوبت نسبی	دمای بیشینه	سرعت باد
مروست	بهار	دمای بیشینه	سرعت باد	دمای کمینه
	تابستان	سرعت باد	دمای بیشینه	دمای کمینه
	پائیز	سرعت باد	دمای بیشینه	رطوبت نسبی
	زمستان	رطوبت نسبی	دمای بیشینه	سرعت باد

درمورد فصل پاییز، همان‌طور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، بیشینه دو ایستگاه یزد و مرودست شرایطی مشابه دارند؛ ولی در ایستگاه طبس عوامل اول و دوم مؤثر بر تبخیر و تعرق مرجع با دو ایستگاه یزد و مروست مشابه است ولی عامل سوم تفاوت دارد. در هر سه ایستگاه در فصل پاییز سرعت باد و دمای بیشینه عوامل اول و دوم مؤثر بر تبخیر و تعرق مرجع هستند و عامل سوم در دو ایستگاه یزد و مروست رطوبت نسبی است ولی در ایستگاه طبس عامل سوم دمای کمینه است. علت این مورد همانا بالا بودن کمینه دما در ایستگاه طبس در فصل پاییز در قیاس با دو ایستگاه یزد و مروست است، به طوری که میانگین کمینه دما در ایستگاه طبس در فصل پاییز در قیاس با دو ایستگاه یزد و مروست است، به طوری که میانگین کمینه دما در ایستگاه طبس ۱۲ درجه سانتی‌گراد و در ایستگاه یزد و مروست به ترتیب ۹ و ۵/۵ درجه سانتی‌گراد است. نکته در خور توجه آن است که در فصل پاییز در هر ۳ ایستگاه سرعت باد، که بیشترین تأثیر را بر تبخیر و تعرق داشته است، به کمترین مقدار خود در طول سال می‌رسد.

در فصل زمستان هر سه ایستگاه با هم مشابهت دارند، به طوری که رطوبت نسبی به عنوان عامل اول و دمای بیشینه و سرعت باد به‌عنوان عوامل بعدی در نظر گرفته می‌شوند. به این علت که بیشترین بارندگی‌ها در هر سه ایستگاه در فصل زمستان است، رطوبت نسبی به عنوان عامل اول در زمستان منطقی به نظر می‌رسد.

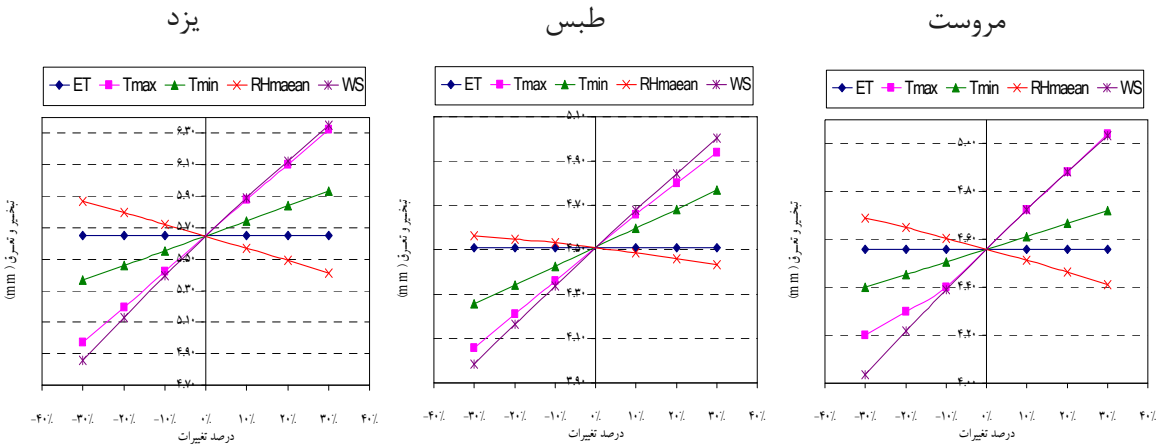
بررسی تغییرات سالانه تبخیر و تعرق

در شکل ۷ تغییرات تبخیر و تعرق سالانه با کاهش و افزایش چهار پارامتر اقلیمی مؤثر بر تبخیر و تعرق در سه ایستگاه یزد، طبس و مروست نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، کاهش و افزایش هر یک از عوامل اقلیمی

www.SID.ir

Archive of SID

تأثیر متفاوتی بر روی تبخیر و تعرق دارد، به‌طوری که تغییرات بیشینه دما و سرعت باد بیشترین تأثیر را بر تبخیر و تعرق سالانه هر ۳ ایستگاه داشته است. با افزایش ۳۰ درصدی دمای بیشینه و سرعت باد در ایستگاه یزد، تبخیر و تعرق تا حدود ۱/۳ میلیمتر افزایش یافته و در ایستگاه مروست افزایش ۳۰ درصدی دمای بیشینه و سرعت باد حدود ۰/۶ میلیمتر و در طبس ۰/۵ میلیمتر سالیانه باعث افزایش تبخیر و تعرق مرجع شده است. البته با توجه به مطلب بیان شده، تغییرات دمای بیشینه و سرعت باد در ایستگاه یزد بیشتر از دو ایستگاه طبس و مروست بر تبخیر و تعرق مرجع سالانه تأثیر نهاده است، به طوری که کاهش دمای بیشینه و سرعت باد تا حد ۳۰ درصد، حدود ۱/۲ میلیمتر از تبخیر و تعرق مرجع ایستگاه یزد در سال کاسته است. این در حالی است که دو ایستگاه طبس و مروست در شرایط مشابه تنها در حدود ۰/۵ میلیمتر تبخیر و تعرق مرجع را در سال کاهش داشته‌اند.



شکل ۷. میزان تغییرات تبخیر و تعرق سالانه (ET) با تغییرات چهار پارامتر دمای کمینه (Tmin)، دمای بیشینه (Tmax)، رطوبت نسبی (H) و سرعت باد (WS) در ایستگاه‌های مورد مطالعه

نکته دیگر اینکه تغییرات بیشینه دما و سرعت باد به طور خطی بر روی تبخیر و تعرق سالانه در هر سه ایستگاه تأثیر دارند. با دقت در شیب خط مربوط به بیشینه دما و سرعت باد، می‌توان گفت که تغییرات بیشینه دما علاوه بر خطی بودن، به صورت یک به یک نیز با میزان تبخیر و تعرق مرجع مرتبط است. کمترین تأثیر در مورد تغییرات رطوبت نسبی بر تبخیر و تعرق مرجع سالانه در هر سه ایستگاه مطالعاتی است، به گونه‌ای که در ایستگاه طبس با کاهش و افزایش ۳۰ درصدی رطوبت نسبی، تغییرات تبخیر و تعرق حدود ۱ میلیمتر خواهد بود.

نتیجه‌گیری

انجام آنالیز حساسیت بر روی معادله فائو ـ پنمن ـ مانتیث از کارآمدترین روش‌ها برای شناخت درجه تأثیر پارامترهای مختلف اقلیمی بر تبخیر و تعرق مرجع است. این کار علاوه بر شناخت بهتر پدیده تبخیر و تعرق، به شناخت عوامل

www.SID.ir

Archive of SID

تأثیرگذارتر در هر منطقه کمک فراوان می‌کند و می‌توان در مطالعات مشابه از آنها استفاده کرد. به عنوان مثال، در منطقه مطالعاتی در هر سه ایستگاه، مشخص شد که نقش دمای بیشینه و سرعت باد، مهم‌تر از سایر پارامترهای اقلیمی است و تأثیرگذاری بیشتری بر تبخیر و تعرق دارد. با درک این نکته، می‌توان چنین استنباط کرد که چنانچه دمای هوا و یا سرعت باد در مقطع زمانی مشخصی تشدید شود، افزایش شدید در تبخیر و تعرق مرجع و متعاقب آن افزایش نیاز آبی گیاهان در منطقه مطالعاتی امری حتمی خواهد بود. این نکته به بازنگری در تقویم آبیاری محصولات کشاورزی در منطقه خواهد انجامید و خواهد توانست از بروز تنش آبی و کاهش احتمالی محصول جلوگیری کند. با توجه به متفاوت بودن ارتفاع و عرض جغرافیایی سه ایستگاه یزد و طبس و مروست، و از طرفی مشابه بودن هر سه منطقه از نظر اقلیمی، می‌توان چنین نتیجه گرفت که نقش اقلیم در تبخیر و تعرق مرجع مهم‌تر از تفاوت ارتفاع و عرض جغرافیایی است. بنابراین پیشنهاد می‌شود در مناطق دیگر ابتدا به گروه‌بندی مناطق مطالعاتی از نظر اقلیمی پرداخته شود و سپس اقدام به آنالیز حساسیت هر زون و مقایسه با یکدیگر گردد.

منابع

Abdollahi J., Rahimian M.H., 2006, **Application of Multiple Regression for Generation of Vegetation Cover Map Using RS and GIS**, Journal of desert and rangeland research, Vol. 14, No. 2, p. 29.

Allen, R.G., Bastiaanssen W.G.M., Wright, J.L., Morse, A., Tasumi M. and Trezza, R., 2002, **Evapotranspiration from Satellite Images for Water Management and Hydrologic Balances**, Proceedings of the 2002 ICID conference, Montreal, Canada pp,1-12.

Bastiaanssen W.G.M., E.J.M. Noordman , H. Pelgurm, G. Davids , B.P. Thoreson , R.G. Allen, 2002, **SEBALModel With Remotely Sensed Data to Improve Water-Resources Management under Acual Field Condition**, Journal of Irrigarion and Drainage Engineering, p. 85-93.

Gadgil, S. and R.N. Lyengar, 1980, **Cluster Analysis of Rainfall Station of India**, Peninsula, Meteorol, Soc. 106 (450), pp. 873-896.

Kidson, J.W., 1975, **Eigen Vector Analysis of Monthly Mean Surface Data**, Monthly Weather Rev.103, pp. 639-649.

Malekinejhad H., Poormohammadi S., 2008, **Study the Role of Climatic Parameters in Evaporation Phenomenon at Heterogeneous Zones of Arid and Semi Arid Regions of Iran**, Water Resource conference, Tabriz, Iran, p. 185.

Malekinejhad H., Poormohammadi S., 2008, **Determination of Main Important Climatic Factors on Evaporation of Arid Zones Using Rotated Factor Analysis Procedure**, Water Resource conference, Tabriz, Iran, p. 215.

Matalas, D., and Feyen J., 1990, **Defining Homogenous Precipitation Regions Means of Principal Component Analysis**, J. APL. Meteorol, 29, pp. 892-910.

Poormohammadi S., Dastorani M.T., Cheraghi S.A.M., Mokhtari M.H., 2008, **Determination of Main Climatic Factors of EvapoTranspiration Using Multiple Regression (Case study: Manshad Catchment in Yazd Province)**, National conference on integrated water management, Kerman Uni., p 75.

www.SID.ir

Archive of SID

Poormohammadi S., Rahimian M.H., 2008, **Spatial Development of Climatic Factors using GIS capabilities (Case study: Evapotranspiration in Yazd province)**, National conference on conference Geographic Information System (GIS87), p. 126.

Rana G. and N. Katerji, 1998, **A Measurement Based Sensitivity Analysis of the Penman-Monteith Actual Evapotranspiration Model for Crops of Different Height and in Contrasting Water Status**, Theor. Appl. Climatol. 60, 141±149 .

Rao, A.R., 1990, **Emprical Orthogonal Function Analysis of Rainfall and Run off Series, Water Resource manage**, 4, pp. 235-250.

Su, H.; Wood, E. F.; Wojcik, R.; McCabe, M., 2006, **Sensitivity Analysis of Regional Scale Evapotranspiration Predictions to the Forcing Data**, American Geophysical Union, Fall Meeting 2007, abstract #H31A-02.

www.SID.ir