حساسیت‌سنجی معادله تبخیر و تعرق پتانسیل فائو-پنمن-مانتیث در سه منطقه اقلیمی مختلف

(مطالعه موردی قم، اراک و خرم‌آباد)

علیرضا جوشنی
دانشجوی دورهٔ دکترای اقلیم‌شناسی دانشگاه اصفهان

چکیده

از آن‌جا که کشـــور ایران به لحاظ اقلیمی و شـــرایط آب و هوایی جزو کشورهای خشک و نیمه خشک است و حجم زیادی از بارش این سرزمین صرف بخش کشاورزی می‌شود و با توجه به اینکه تبخیر و تعرق از مهم‌ترین مؤلفه‌های چرخهٔ آب‌شناختی است و تخمین دقیق آن در برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب و حصول توسعهٔ پایدار اهمیت بسزایی برای این کشور دارد، در این تحقیق بر آن شدیم تا به بررسی عوامل مؤثر بر تبخیر و تعرق و میزان تأثیرپذیری معادلهٔ تبخیر و تعرق فائو - پنمن - مانتیث از این عوامل در اقلیم‌های متفاوت بپردازیم. بدین منظور سه ایستگاه قم، اراک و خرم‌آباد که اقلیم‌های متفاوت دارند، انتخاب شدند و با استفاده از آنالیز حساسیت و با ایجاد تغییرات ۱۰درصد + - تا ۳۰درصد+ - در عوامل اقلیمی به بررسی میزان تأثیرپذیری تبخیر و تعرق مرجع پرداخته شد. نتایج تحقیق بیانگر این مسئله بود که در این سه ایستگاه عامل‌های دمای حداکثر و سرعت باد از درجهٔ اهمیت بسیار در تأثیرگذاری بر تبخیر و تعرق برخوردارند.

کلیدواژه‌ها: آنالیز حساسیت، فائو- پنمن- مانتیث، کراپ وات، تبخیر و تعرق

مقدمه

تبخیر و تعرق (ET) از مهم‌ترین مؤلفه‌های چرخهٔ آب‌شـــناختی اســـت که تخمین دقیق آن در طراحی و مدیریت سیستم‌های آبیاری، مطالعات مربوط به منابع آب و مواردی از این قبیل از اهمیت فوق‌العاده زیاد برخوردار است.

تخمین بیش از اندازهٔ آب مورد نیاز گیاه ضمن هدر رفت آب آبیاری باعث اشباع بیش از حد خاک و اراضی، شست‌وشوی مواد مغذی خاک و آلودگی منابع آب زیرزمینی می‌شود. از سوی دیگر، تخمین مقداری که کمتر از حد مورد نیاز گیاه است موجب اعمال استرس رطوبتی کنترل شده به گیاه می‌شود که این امر کاهش محصول را درپی دارد (فتحی و کوچک‌زاده، ۲۰۰۴). تبخیر و تعرق را به دو صورت مستقیم با لایسی‌متر یا روش بیلان آب، می‌توان اندازه‌گیری یا غیرمستقیم با داده‌های هواشناسی تخمین زد.

استفاده از لایسی‌متر برای اندازه‌گیری تبخیر و تعرق به دلیل صرف وقت زیاد و نیازمند عملیات و برنامه‌ریزی دقیق، همواره امکان‌پذیر نیست. به همین دلیل روش‌های غیرمستقیم برپایهٔ داده‌های هواشناسی برای تبخیر و تعرق گیاه مرجع استفاده می‌شود. این روش‌ها شامل تعدادی معادلهٔ تجربی یا روش‌های پیچیده‌ای است که بر اساس فرایندهای فیزیکی بنا نهاده شده‌اند. از جملهٔ این روش‌ها می‌توان به روش‌های ترکیبی اشاره کرد که تغییرات تبخیر را با شار تابش خالص و ویژگی‌های انتقال آیرودینامیک یک سطح طبیعی ارتباط می‌دهند. یکی از روش‌های ترکیبی که برای تخمین تبخیر و تعرق مرجع بسیار به‌کار می‌رود روش پنمن، مانتیث است (کومار و همکاران، ۲۰۰۲).

روش پنمن- مانتیث یکی از دقیق‌ترین روش‌های محاسباتی تخمین تبخیر و تعرق است که می‌توان از آن برای اقلیم‌های متفاوت بهره جست (چپو و همکاران، ۱۹۹۵).

پژوهش‌های انجام‌شده در سایر نقاط کرهٔ خاکی نشان‌دهندهٔ آن است که دقت مقادیر تبخیر و تعرق برآورد شده از معادلهٔ فائو – پنمن – مانتیث (F- P- M) در مقایسه با مقادیر اندازه‌گیری‌شده با روش لایسی‌متر از دیگر روابط تجربی بیشتر است

از سوی دیگر، پژوهش‌های انجام‌شده در سایر نقاط کرهٔ خاکی نشان‌دهندهٔ آن است که دقت مقادیر تبخیر و تعرق برآورد شده از معادلهٔ فائو - پنمن - مانتیث (F- P- M) در مقایسه با مقادیر اندازه‌گیری‌شده با روش لایسی‌متر از دیگر روابط تجربی بیشتر است (آلن، ۱۹۹۶؛ آلن و همکاران، ۱۹۹۸).

در بررسی مقایسه‌ای، روش فائو - پنمن - مانتیث چه در شرایط آب و هوایی خشک و چه در شرایط آب و هوایی مرطوب در ردیف اول قرار دارد. به همین دلیل سازمان فائو روش مذکور را به‌عنوان استاندارد برای محاسبهٔ نیاز آبی گیاهان معرفی کرده و نرم‌افزار مربوط به محاسبات آن را با عنوان کروپ وات[1] در اختیار قرار داده که براساس روش موسوم به فائو- پنمن - مانتیث است (امین علیزاده، ۱۳۸۶).

این روش از سوی بسیاری از محققان صاحب‌نظر و مجامع علمی تحقیقاتی دنیا در شرایطی که داده‌های لایسی‌متری در دسترس نباشد، به عنوان روش استاندارد برای ارزیابی سایر معادله‌های تخمین مورد استفاده قرار می‌گیرد (هارگریوز، ۱۹۹۴).

در این تحقیق به دلیل موجود نبودن لایسی‌متر و داده‌های دقیق در ایستگاه‌ها در بازهٔ زمانی مورد نظر از روش فوق به عنوان روش استاندارد بهره‌گرفته شد.

منطقهٔ مورد مطالعه

از آن‌جاکه این تحقیق به‌صورت ایستگاهی است، سه ایستگاه با اقلیم‌های متفاوت را به‌عنوان نمایندهٔ هر یک از مناطق اقلیمی انتخاب کردیم.

جدول ۱: مشخصات اقلیمی ایستگاه‌های مورد مطالعه

نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (m)	میانگین دمای حداقل سالانه (°C)	میانگین دمای حداکثر سالانه (°C)	میانگین سالانهٔ سرعت باد (Km)	میانگین رطوبت نسبی به درصد	میانگین ساعت آفتابی	بارش (mm)
قم	۵۰/۸۵° E	۳۴/۷° N	۸۷۷/۴	۱۰/۳	۲۵/۹	۱۴۱	۴۲	۸/۶	۱۴۶/۵
اراک	۴۹/۷۷° E	۳۴/۱° N	۱۷۰۸	۷	۲۰/۷	۹۷/۷	۴۷	۸/۲	۳۰۵/۶
خرم‌آباد	۴۸/۲۸° E	۳۳/۴۳° N	۱۱۴۷/۸	۸/۴	۲۵	۱۲۳/۷	۴۳	۸/۳	۴۹۰/۶

در جدول شمارهٔ ۱ مختصات جغرافیایی و مقادیر پارامترهای اقلیمی مؤثر بر تبخیر و تعرق مرجع و ارتفاع از سطح دریای سه ایستگاه مورد بررسی درج شده‌اند.

مواد و روش‌ها

در مطالعهٔ حاضر، داده‌های اقلیمی متوسط ماهانهٔ حداقل و حداکثر دما، حداقل و حداکثر رطوبت نسبی، سرعت باد و ساعت آفتابی مربوط به ایستگاه سینوپتیک قم، اراک و خرم‌آباد مربوط به دورهٔ آماری سال ۱۳۶۶ تا ۱۳۸۷ برای محاسبهٔ تبخیر و تعرق متوسط ماهانه و سالانهٔ گیاه مرجع مورد استفاده قرار گرفت.

این سه ایستگاه اقلیم‌های متفاوت دارند. اقلیم ایستگاه قم، اراک و خرم‌آباد بر اساس روش دمارتن به ترتیب خشک، نیمه‌خشک و مدیترانه‌ای و براساس روش آمبرژه، به ترتیب خشک سرد، نیمه‌خشک سرد و نیمه‌مرطوب سرد تشخیص داده شد. در ادامه با بهره‌گیری از نرم‌افزار کروپ‌وات که سازمان فائو ارائه داده است به محاسبهٔ تبخیر و تعرق مرجع در ایستگاه‌های نام‌برده پرداخته شد. سپس برای بررسی میزان تأثیر عوامل مؤثر در تبخیر و تعرق مرجع با استفاده از آنالیز حساسیت معادلهٔ فائو- پنمن - مانتیث، به تخمین مقادیر ET0 پرداخته شد. گفتنی است که در زمینهٔ تبخیر و تعرق مانند دیگر زمینه‌های علوم وابسته به آب، روش‌ها و عملیات گوناگونی برای بررسی میزان حساسیت یک مدل نسبت به پارامترهای ورودی به آن مدل ارائه شده است.

در هر یک از ایستگاه‌های مطالعاتی، در فصل بهار عوامل مؤثر بر تبخیر و تعرق مرجع به ترتیب دمای حداکثر، ساعت آفتابی و سرعت باد هستند. اما در فصل تابستان عوامل مؤثر بر تبخیر و تعرق مرجع در ایستگاه‌های قم و خرم‌آباد به ترتیب دمای حداکثر، سرعت باد و ساعت آفتابی، ولی در ایستگاه اراک ترتیب اولویت به‌صورت دمای حداکثر، ساعت آفتابی و سرعت باد است

یکی از راه‌های آسان برای بررسی میزان آنالیز حساسیت، رسم نمودار است. در این روش تغییرات نسبی متغیر مستقل (در این‌جا داده‌های مختلف هواشناسی) نسبت به تغییرات نسبی متغیر وابسته (در این‌جا تبخیر و تعرق مرجع) رسم می‌شود. معمولاً میزان تغییرات متغیر مستقل از ۱۰درصد ± تا ۵۰ درصد ± در نظر گرفته می‌شود که این مقادیر قراردادی و قابلیت تغییرند. این روش به روش نمودار حساسیت معروف است که در سال ۲۰۰۴ گویال آن را ارائه داد. سپس با استفاده از نرم‌افزار کروپ‌وات و بهره جستن از روش گویال با کم‌وزیاد کردن هر یک از عوامل اقلیمی دخیل در معادلهٔ تبخیر و تعرق به میزان ۱۰درصد± تا ۳۰درصد± و ورود این داده‌ها به نرم‌افزار نام برده، مقادیر تبخیر و تعرق جدید برای هر ایستگاه محاسبه شد. با این عمل برای هر یک از ایستگاه‌ها چهار گروه دادهٔ تبخیر و تعرق به‌دست آمد. سپس برای هر یک از ورودی‌ها و خروجی‌های حاصل، یک نمودار ماهانه و سالانه رسم شد و برای آن‌که مقایسهٔ آن‌ها آسان‌تر باشد نمودارهای مربوط به متغیرها در یک دستگاه مختصات رسم شدند از آن‌جاکه درج کلیهٔ نمودارهای ماهانه در این‌جا میسر نیست، ماه وسط هر فصل به‌عنوان نمایندهٔ هر فصل در نظر گرفته و نمودار مربوط به آن ماه در این‌جا به نمایش گذاشته شده است.

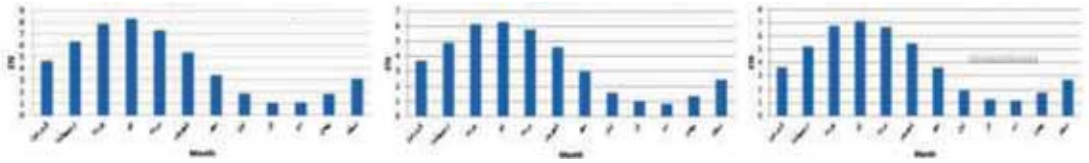
یافته‌های تحقیق

در این پژوهش در دو بعد زمانی ماهانه و سالانه به بررسی مقادیر تبخیر و تعرق مرجع پرداخته شد که در زیر به ترتیب، هر یک از ابعاد زمانی شرح داده شده‌اند.

الف) بررسی تغییرات ماهانهٔ تبخیر و تعرق مرجع

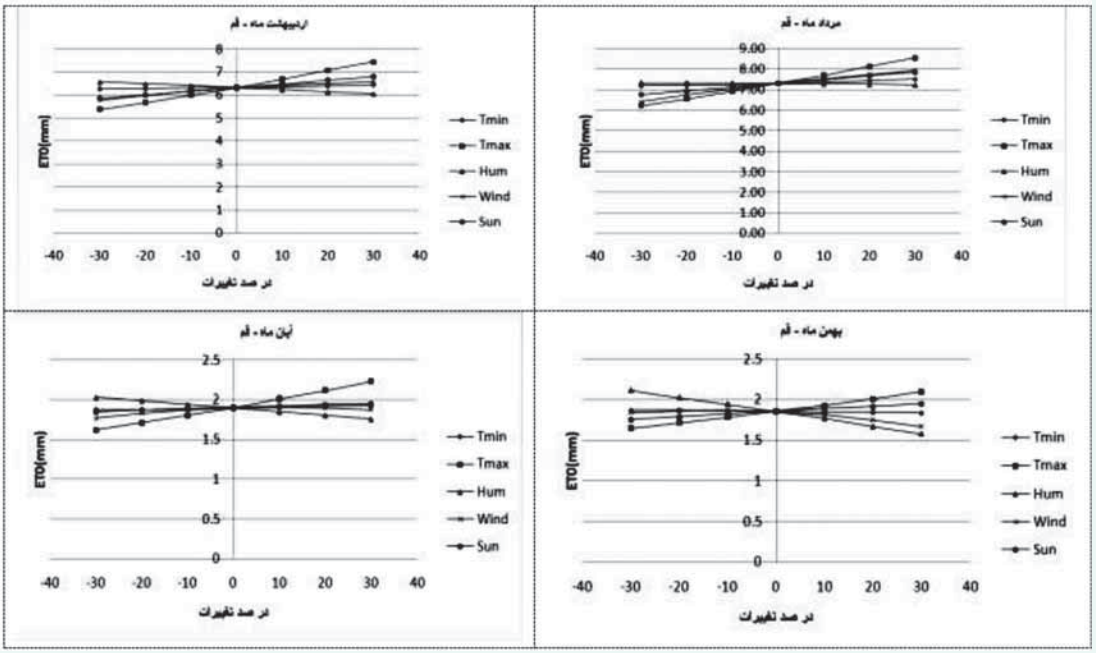
ازآن‌جا که در ابتدای امر باید یک دید کلی نسبت به تبخیر و تعرق ماهانهٔ این سه ایستگاه پیدا کرد، نمودار تغییرات ماهانهٔ تبخیر و تعرق مرجع در هر یک از ایستگاه‌ها را رسم کردیم. این نمودارها در شکل۱ آورده شده‌اند.

شکل۱: نمودار تغییرات ماهانهٔ تبخیر و تعرق مرجع ایستگاه‌ها

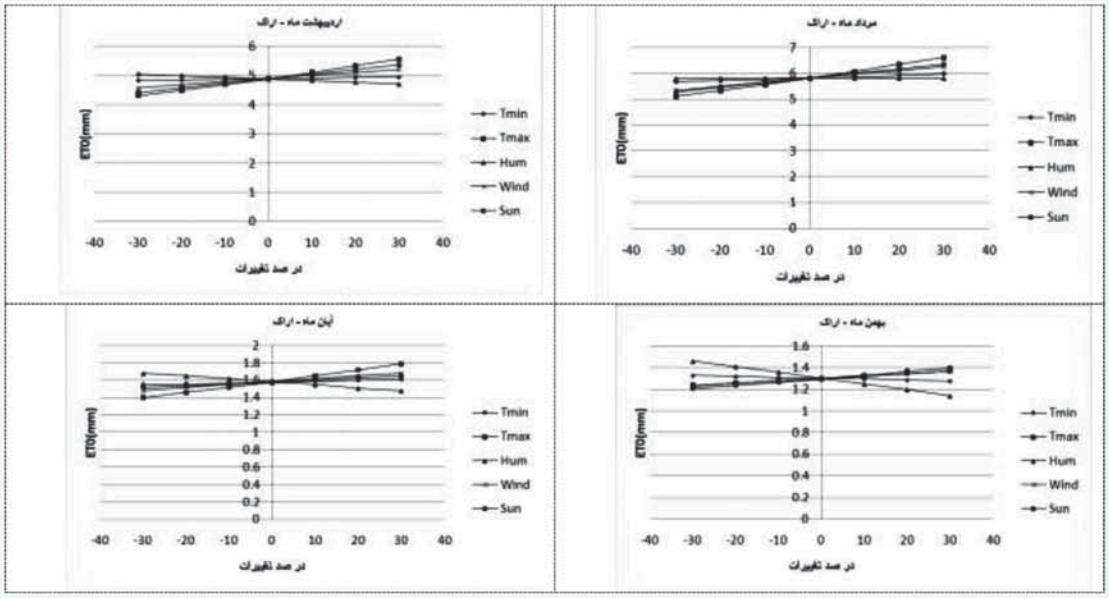


با اولین نگاه به سه نمودار فوق متوجه می‌شویم که در ماه‌های تیر و دی هر سه ایستگاه به ترتیب بیشترین و کمترین مقدار تبخیر و تعرق را دارند. این مقدار در ماه تیر برای قم ۸/۳، ارا ۶/۳ و خرم‌آباد ۷/۱ میلی‌متر در روز و در ماه دی برای قم ۱/۱، اراک ۸/. و برای خرم‌آباد ۱/۲ میلی‌متر در روز است. یعنی با اینکه این سه ایستگاه دارای اقلیم‌های متفاوت‌اند، اما در ماه‌هایی که کمترین و بیشترین ET0 را دارند، مشترک‌اند.

در ادامه بر اساس روش گویال به بررسی آنالیز حساسیت تبخیر و تعرق مرجع در هر سه ایستگاه پرداختیم و با ایجاد تغییراتی از ۱۰± تا ۳۰± درصد در مقادیر هر یک از پارامترهای اقلیمی، مقدار ET0 مورد نظر را با نرم‌افزار به دست آوردیم که نمودارهای مربوط به هریک از ایستگاه‌ها در زیر آمده است. البته به دلیل اینکه نمودارهای رسم‌شده فضای زیادی را می‌طلبیدند از هر فصل ماه وسط را به‌عنوان نمایندهٔ آن فصل در نظر گرفتیم که نمودار آن در شکل‌های ۲، ۳ و ۴ نشان داده شده است.



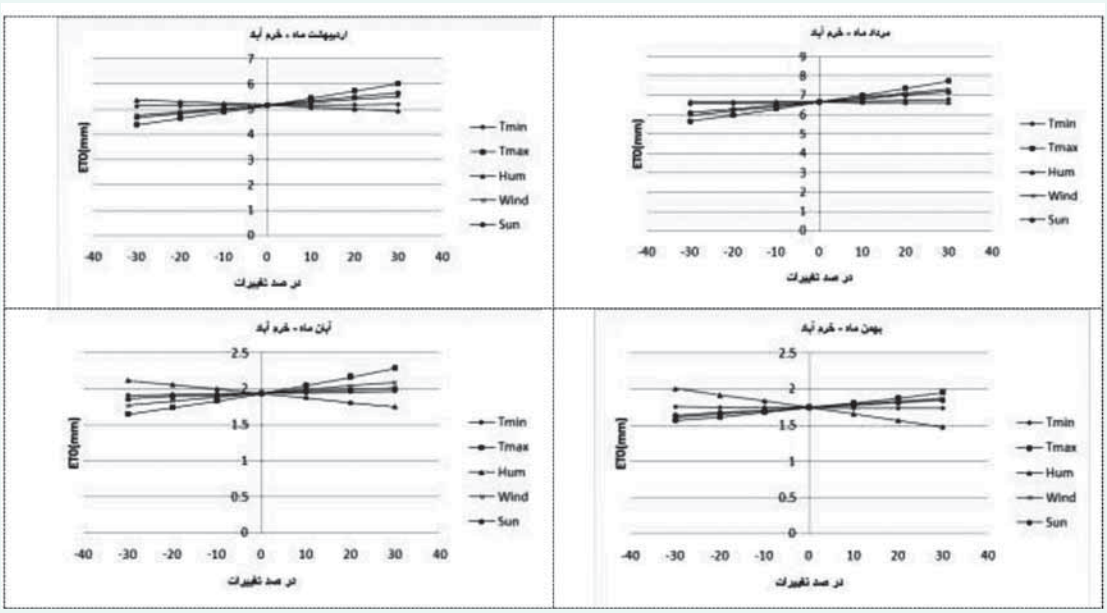
شـــکل۲: میزان تغییرات ماهانهٔ تبخیر و تعرق (ET.) با تغییرات چهار پارامتری دمای حداقل (Tmin)، دمای حداکثر (Tmax)، رطوبت نسبی (Hum)، سرعت باد (Wind) و ساعت آفتابی (Sun) در ماه‌های مختلف در ایستگاه قم



شکل ۳: میزان تغییرات ماهانهٔ تبخیر و تعرق (ET.) با تغییرات چهار پارامتری دمای حداقل (Tmin)، دمای حداکثر (Tmax)، رطوبت نسبی (Hum)، سرعت باد (Wind) و ساعت آفتابی (Sun) در ماه‌های مختلف در ایستگاه اراک

برای هر یک از داده‌های اقلیمی که نمودار آنها در یک دستگاه مختصات رسم شده است خطی برازش داده و درصد شیب خط حاصل را که حاکی از میزان حساسیت معادله نسبت به پارامتر اقلیمی است در جدول شماره ۲ قید گردیده است.

براســاس جدول ۲، جدول ۳ (عوامل مؤثر بر تبخیر و تعرق به ترتیب اهمیت در فصول مختلف ســال در ایســتگاه‌های مطالعاتی) به دست آمد.



شکل۴: میزان تغییرات ماهانهٔ تبخیر و تعرق (ET) با تغییرات چهار پارامتری دمای حداقل (Tmin)، دمای حداکثر (Tmax)، رطوبت نسبی (Hum)، سرعت باد (Wind) و ساعت آفتابی (Sun) در ماه‌های مختلف در ایستگاه خرم‌آباد

جدول ۲: میزان حساسیت معادلهٔ فائو – پنمن – مانتیث نسبت به تغییرات عوامل اقلیمی

مردادماه					اردیبهشت‌ماه					
Sun	Wind	Hum	Tmax	Tmin	Sun	Wind	Hum	Tmax	Tmin	ایستگاه
۱/۸	۲/۵	-۰/۱	۳/۹	۰/۵	۱/۵	۱/۳	-۰/۸	۳/۴	۰/۲	قم
۱/۸	۱/۴	۰	۲/۵	۰/۵	۱/۵	۱	-۰/۵	۲	۰/۱	اراک
۱/۷	۲/۲	۰	۳/۴	۰/۳	۱/۶	۱/۲	-۰/۷	۲/۷	۰/۱	خرم‌آباد
بهمن ماه					آبان ماه					
Sun	Wind	Hum	Tmax	Tmin	Sun	Wind	Hum	Tmax	Tmin	ایستگاه
۰/۳	-۰/۳	-۰/۹	۰/۷	۰	۰/۱	۰/۲	-۰/۴	۱	۰	قم
۰/۳	۰/۲	-۰/۵	۰/۲	۰	۰/۲	۰/۳	-۰/۴	۰/۶	۰/۱	اراک
۰/۳	۰/۴	-۰/۸	۰/۶	۰	۰/۲	۰/۵	-۰/۶	۱	۰/۱	خرم‌آباد

در هر سه ایستگاه دمای حداکثر اولین درجهٔ اهمیت را در تغییر میزان تبخیر و تعرق مرجع دارد. سرعت باد در دو ایستگاه قم و خرم‌آباد و ساعت آفتابی در ایستگاه اراک اولویت دوم را به خود اختصاص می‌دهند

جدول ۳: عوامل مؤثر بر تبخیر و تعریق به ترتیب اهمیت در فصول مختلف سال در ایستگاه‌های مطالعاتی

ایستگاه	فصل	پارامتر اقلیمی دارای رتبهٔ ۱		پارامتر اقلیمی دارای رتبهٔ ۲		پارامتر اقلیمی دارای رتبهٔ ۳		تغییر ایجاد شده در مقدار ETo به میلی‌متر در صورت افزایش ۳۰ درصد عامل اقلیمی
قم	بهار	دمای حداکثر	۳۱/۹	ساعت آفتابی	۹/۷	سرعت باد	۱۹۱	+۰/۷
	تابستان	دمای حداکثر	۳۹/۵	سرعت باد	۱۶۰	ساعت آفتابی	۱۱/۳	+۱/۲۴
	پاییز	دمای حداکثر	۱۸/۹	رطوبت نسبی	۵۲	سرعت باد	۸۴	+۰/۳
	زمستان	رطوبت نسبی	۵۸	دمای حداکثر	۱۳/۴	سرعت باد	۱۳۹	-۰/۳
اراک	بهار	دمای حداکثر	۲۵/۵	ساعت آفتابی	۹/۶	سرعت باد	۱۳۲	+۰/۷
	تابستان	دمای حداکثر	۳۴/۷	ساعت آفتابی	۱۰/۷	سرعت باد	۱۰۴	+۰/۸
	پاییز	دمای حداکثر	۱۴/۶	رطوبت نسبی	۵۸	سرعت باد	۶۴	+۰/۲
	زمستان	رطوبت نسبی	۶۵	ساعت آفتابی	۶/۳	سرعت باد	۸۹	-۰/۲
خرم‌آباد	بهار	دمای حداکثر	۲۹	ساعت آفتابی	۹/۴	سرعت باد	۱۴۰	+۰/۹
	تابستان	دمای حداکثر	۳۹/۱	سرعت باد	۱۳۲	ساعت آفتابی	۱۰/۹	+۱/۰۷
	پاییز	دمای حداکثر	۱۸/۸	رطوبت نسبی	۶۰	سرعت باد	۹۳	+۰/۴
	زمستان	رطوبت نسبی	۶۴	دمای حداکثر	۱۲/۸	سرعت باد	۱۲۵	-۰/۳

دما بر حسب درجهٔ سانتی‌گراد، رطوبت نسبی برحسب درصد، سرعت باد برحسب کیلومتر در روز

همان‌طور که در جدول فوق نشان داده شده است، در هر یک از ایستگاه‌های مطالعاتی، در فصل بهار عوامل مؤثر بر تبخیر و تعرق مرجع به ترتیب دمای حداکثر، ساعت آفتابی و سرعت باد هستند. اما در فصل تابستان عوامل مؤثر بر تبخیر و تعرق مرجع در ایستگاه‌های قم و خرم‌آباد به ترتیب دمای حداکثر، سرعت باد و ساعت آفتابی، ولی در ایستگاه اراک ترتیب اولویت به صورت دمای حداکثر، ساعت آفتابی و سرعت باد است. به‌عبارت دیگر در هر سه ایستگاه از بین پنج عامل اقلیمی مورد بررسی، دمای حداکثر، ساعت آفتابی و سرعت باد از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر تبخیر و تعرق مرجع‌اند که از میان این سه عامل اقلیمی، دمای حداکثر نقش مهم خود را بیشتر به نمایش گذاشته است.

همان‌طور که جدول۳ بیان می‌کند ساعت آفتابی در فصل تابستان در ایستگاه اراک حضور خود را بیشتر از سرعت باد در تعیین مقدار تبخیر و تعرق به رخ می‌کشد. در فصل پاییز در هر سه ایستگاه دمای حداکثر، رطوبت نسبی و سرعت باد به ترتیب اهمیت خود را در تأثیری که بر مقدار تبخیر و تعرق دارند، نشان می‌دهند.

اما در فصل زمستان در دو ایستگاه قم وخرم‌آباد رطوبت نسبی در اولویت اول و دمای حداکثر و سرعت باد در رده‌های بعدی اهمیت قرار می‌گیرند. این در حالی است که در ایستگاه اراک رطوبت نسبی در اولویت اول و ساعت آفتابی و سرعت باد در درجهٔ بعدی اهمیت قرار می‌گیرند.

به‌عبارت دیگر در هر سه ایستگاه، اولویت اول با رطوبت نسبی است. این موضوع حاکی از آن است که بارش در این ایستگاه‌ها در زمستان بیشترین مقدار را دارد. همین امر باعث افزایش درجهٔ اهمیت رطوبت نسبی در میزان تبخیر و تعرق مرجع شده است.

با دقت نظر در جدول ۳ پی می‌بریم که چون در این فصل سرعت باد به کمترین مقدار خود می‌رسد، کمترین اثر را در بین سه عامل ذکر شده دارد از طرفی به دلیل اینکه مقدار بارش در این فصل کمتر از فصل زمستان است، رطوبت نسبی در جایگاه دوم از اهمیت قرار دارد.

ب) بررسی تغییرات سالانهٔ تبخیر و تعرق مرجع

در جدول ۴ میزان درصد شیب یا درصد حساسیت تبخیر و تعرق مرجع سالانه نسبت به تغییرات ۱۰درصد ± تا ۳۰ درصد± عوامل اقلیمی نشان داده شده است.

جدول ۴: میزان حساسیت معادلهٔ فانو ـ پنمن ـ مانتیث نسبت به تغییرات عوامل اقلیمی

نام ایستگاه	Tmin	Tmax	Hum	Wind	Sun
قم	۰/۲	۲/۲	-۰/۵	۱/۵	۰/۹
اراک	۰/۱	۱/۴	-۰/۳	۰/۸	۰/۹
خرم‌آباد	۰/۱	۲	-۰/۵	۱/۱	۱

جدول ۵: عوامل مؤثر بر تبخیر و تعرق به ترتیب اهمیت در ایستگاه‌های مطالعاتی

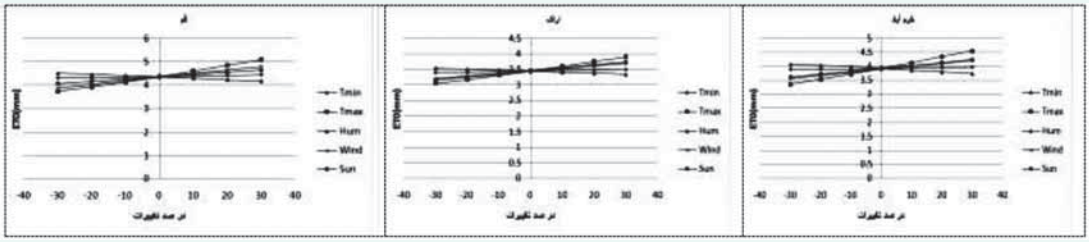
نام ایستگاه	اولویت اول	اولویت دوم	نام ایستگاه
قم	دمای حداکثر	سرعت باد	ساعت آفتابی
اراک	دمای حداکثر	ساعت آفتابی	سرعت باد
خرم‌آباد	دمای حداکثر	سرعت باد	ساعت آفتابی

از آن‌جا که کشور ایران به لحاظ اقلیمی و شرایط آب و هوایی جزو کشورهای خشک و نیمه‌خشک است و حجم زیادی از بارش این سرزمین صرف بخش کشاورزی می‌شود و با توجه به اینکه تبخیر و تعرق از مهم‌ترین مؤلفه‌های چرخهٔ آب‌شناختی است تخمین دقیق آن در برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب و حصول توسعهٔ پایدار اهمیت بسزایی برای این کشور دارد

همان‌طور که جدول ۵ نشان می‌دهد، در هر سه ایستگاه دمای حداکثر اولین درجهٔ اهمیت را در تغییر میزان تبخیر و تعرق مرجع دارد. سرعت باد در دو ایستگاه قم و خرم‌آباد و ساعت آفتابی در ایستگاه اراک اولویت دوم را به خود اختصاص می‌دهند.

این امر بیانگر آن است که در دو ایستگاه قم و خرم‌آباد بعد از دمای حداکثر، سرعت باد نقش مهم‌تری را نسبت به ساعات آفتابی در ایجاد حساسیت در معادلهٔ فائو - پنمن- مانتیث بازی می‌کند.

همان‌طور که نمودارهای شکل ۵ بیان می‌کنند افزایش ۳۰درصد در دمای حداکثر در ایستگاه قم، تبخیر سالانه را به اندازهٔ ۰/۷ میلی‌متر و در اراک و خرم‌آباد به ترتیب ۰/۵ میلی‌متر و ۰/۶ میلی‌متر افزایش می‌دهد و افزایش ۳۰ درصدی در مقدار سرعت باد باعث افزایش تبخیر و



شکل ۵: میزان تغییرات سالانهٔ ماهانهٔ تبخیر و تعرق (ET) با تغییرات چهار پارامتری دمای حداقل (Tmin)، دمای حداکثر (Tmax)، رطوبت نسبی (Hum)، سرعت باد (Wind) و ساعت آفتابی (Sun) در ماه‌های مختلف در ایستگاه خرم‌آباد

تعرق مرجع سالانه در ایستگاه‌های قم، اراک و خرم‌آباد به ترتیب به اندازه ۰/۴ ، ۰/۲و ۰/۳ میلی‌متر می‌شود.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق به دنبال این موضوع بودیم که کدام‌یک از عوامل تأثیر بیشتری بر تبخیر و تعرق مرجع اعمال می‌کند. بنابراین متناسب با زمان حضور و قوت و ضعف آن پارامتر و در پی آن تأثیرش بر تبخیر و تعرق مرجع یا به عبارتی نیاز آبی گیاهان حاضر در منطقه، تقویم آبیاری محصولات کشاورزی را مورد بررسی قرار دادیم، زیرا افزایش تبخیر و تعرق باعث ایجاد استرس آبی در گیاهان می‌شود و عمل آن‌ها را در ساخت‌وساز مواد غذایی و تولید محصول با مشکل مواجه می‌کند. همان‌طور که بررسی‌ها نشان داد، در سه ایستگاه مورد مطالعه در بین پنج عامل اقلیمی که به نام‌های آن‌ها در صفحات قبل اشاره شد، سرعت باد و دمای حداکثر بیشترین فراوانی را در فصول مختلف سال در افزایش تبخیر و تعرق مرجع بر عهده داشتند. و به دنبال آن، بیشترین تأثیر را در افزایش ET. گذاشتند. این امر ما را به سمت این موضوع هدایت می‌کند که با کاهش دمای حداکثر در این مناطق و از طرفی قرار دادن گیاهان در پناه بادشکن‌ها می‌توانیم از افزایش تبخیر و تعرق گیاهان جلوگیری به‌عمل‌آوریم.

هم‌چنین تحقیق مذکور نشان داد که خرم‌آباد با اینکه در عرض جغرافیایی پایین‌تری نسبت به اراک قرار دارد و از شرایط اقلیمی بهتری برخوردار است، اما به‌دلیل ارتفاع کمتر نسبت به اراک از لحاظ تبخیر و تعرق مرجع در بین اراک و قم قرار می‌گیرد. به‌عبارتی از لحاظ مقدار تبخیر و تعرق مرجع کمتر از قم و بیشتر از اراک است (زیرا در معادلهٔ فائو - پنمن - مانتیث، عرض جغرافیایی و ارتفاع نیز در تعیین مقدار ET. نقش دارند).

از دیگر نتایج این بررسی می‌توان به نقش خیلی ضعیف دمای حداقل پی برد که در هیچ یک از ایستگاه‌ها و در هیچ یک از فصول نتوانست تأثیر خودش را در تغییر تبخیر و تعرق مرجع نشان دهد.

پی‌نوشت

1. Cropwat

منابع

۱. طالبی، ع. و پورمحمدی، س. (۱۳۸۹)، «بررسی عوامل مؤثر در تبخیر و تعرق مرجع با استفاده از آنالیز حساسیت معادلهٔ فائو – پنمن – مانتیث»، پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی، شمارهٔ ۷۳.

۲. علیزاده، امین (۱۳۸۶)، *اصول هیدرولوژی کاربردی*، چاپ نوزدهم، مؤسسهٔ انتشارات آستان قدس رضوی.

3. Fathi, P. and KoschakZadeh, M (2004), "Estimate of greenhouse cucumber transpiration by artificial networks", Journal of soil and water Science, 18: 2.213-220.

4. Goyal. R. K. (2004), "Sensitivity of evapotranspration to global warming: a case study of arid zone of Rajasthan (india)", Agricultural Water Management, 69: 1-11.

5. Chiew FHS, Kamaladassa NN, Malano HM and MacMahon TA (1995), Penman-Monteith, FAO - 24 referenc Crop evapptanspiration and Class - A Pandata in Australia, Agricultural Water Management 28: 9-21.

6. Kumar M, Raghuwanshi NS, Singh R, Wallender, WW and Pruitt WO (2002), "Estimating evapotranspiration using artificial neural network", Journal of Irrigation and Drainage Engineering ASCE 128 (4): 224-223.

7. Allen RG, Pereira LS, RaesDand Smith M (1998), "Crop evapotranspiration, guideline for computing water requirements", Irrigation Dranage Paper No. 56. FAO, Rome Italy.

8. Hargreaves G.H. (1994), "Defining and using reference evapotranspiration", Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 120 (6): 1132-39.

9. Allen, R.g. (1996), "Assessing integrity of weather date for reference evapotranspiration estimation", J. Irrige. Drain. Eng. 122 (2): 97-106.