

ارزیابی و اصلاح مدل مناسب تبخیر و تعرق بالقوه برای ایران

غلامرضا روشن - استادیار گروه جغرافیا، دانشگاه گلستان، گرگان

فرامرز خوش اخلاق* - استادیار اقلیم‌شناسی، دانشکده‌ی جغرافیا، دانشگاه تهران

مصطفی کریمپور - دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی، دانشکده‌ی جغرافیا، دانشگاه تهران

پذیرش مقاله: ۱۳۸۹/۷/۱۱ تأیید نهایی: ۱۳۹۰/۹/۱۹

چکیده

هدف اصلی این پژوهش، اصلاح و بومی‌سازی مدل تبخیر و تعرق بالقوه‌ی مناسب برای ایران است. بنابراین، این پژوهش متشکل از سه مرحله‌ی اصلی: ۱- خوشه‌بندی کشور براساس مؤلفه‌های آب‌وهوایی مؤثر بر تبخیر و تعرق؛ ۲- آزمون نتایج استخراج شده‌ی تبخیر و تعرق با استفاده از رابطه‌های پیشنهادی و مقادیر تجربی (تشت تبخیر و لایسیمتری) و ۳- اصلاح و بومی‌سازی معادله‌ی تبخیر و تعرق منتخب با استفاده از داده‌های مشاهداتی است. برای این پژوهش، از هشت متغیر آب‌وهوایی، میانگین اختلاف دما، میانگین حداقل، حداکثر رطوبت نسبی، مقادیر ساعت آفتابی، مقادیر بارش ماهانه، روزهای با بارش بالاتر از ۱۰ و ۵ میلی‌متر، فراوانی مقادیر رخداد سرعت متوسط باد بالای ۵ نات بر ثانیه، برای یک دوره‌ی ۲۶ ساله از ۱۹۸۰ تا ۲۰۰۵ و برای ۶۴ ایستگاه سینوپتیکی و کلیماتولوژی کشور استفاده شده است. هدف از انتخاب این متغیرها، خوشه‌بندی ایستگاه‌های مورد مطالعه، بر اساس فراسنج‌های تأثیرگذار بر تبخیر و تعرق است تا بتوان پس از این مرحله، برای هر خوشه، براساس تشابه ایستگاه‌ها از نظر تبخیر و تعرق، ضرایب اصلاحی مشابهی را اعمال کرد. در انجام خوشه‌بندی، بهترین حالت به‌شکل شش خوشه‌ای معرفی شد. همچنین نتایج واسنجی چهار روش تورنت وایت، بلانی کریدل، جنسن - هیز و هارگریوز - سامانی نشان داد که روش بلانی کریدل همخوانی بهتری با شرایط محیطی را ارائه می‌دهد. در انتها، با استفاده از داده‌های لایسیمتر، معادله‌ی بلانی کریدل برای ماه‌های مختلف هر شش خوشه‌ی مطالعاتی اصلاح و بومی‌سازی شد.

کلیدواژه‌ها: تبخیر و تعرق بالقوه، داده‌های تجربی، ارزیابی و استخراج مدل، خوشه‌بندی، ایران.

مقدمه

ایران سرزمینی خشک با ریزش‌های جوی بسیار کم است، به‌گونه‌ای که بارش سالانه‌ی آن کمتر از یک‌سوم بارش میانگین دنیاست. یکی از راه‌های مهم سازگاری با خشکی در ایران به‌ویژه در بخش کشاورزی، استفاده‌ی بهینه و پایدار

از منابع آب است (شکور و همکاران، ۲۰۱۰: ۹۹). بنابراین، همواره تلاش بر این است که تا حد امکان از ریزش‌های جوئی، جریان‌های سطحی و منابع آب زیرزمینی به‌روش مطلوب استفاده شود. این کار بدون شناخت دقیق نیازهای آبی در بخش کشاورزی عملی نخواهد بود. اطلاعات در مورد تبخیر و تعرق که فرایند ترکیبی از تبخیر محیطی و تعرق گیاهی است، در برنامه‌ریزی آبیاری و زهکشی بسیار اهمیت دارد (میرزایی و همکاران، ۱۳۸۷: ۱۴۹؛ السا و همکاران، ۲۰۰۶: ۳۵۰).

تبخیر و تعرق یکی از اجزای اصلی چرخه‌ی آب‌شناختی است و محاسبه‌ی درست آن برای بسیاری از مطالعات از قبیل توازن هیدرولوژیکی آب، طراحی و مدیریت سامانه‌های آبیاری، شبیه‌سازی میزان محصولات و طراحی و مدیریت منابع آب در درجه‌ی اول اهمیت قرار دارد (تاو و همکاران، ۲۰۰۳: ۲۰۵؛ آواد، ۲۰۰۶: ۴۵؛ دانیل و همکاران، ۲۰۰۹: ۱۱۲۱).

هدرشدن آب به‌شکل بخار از سطح خاک و آب را تبخیر و از سطح گیاهان را تعرق گویند. از نظر فیزیکی این دو فرایند مشابه هستند؛ زیرا در هر دو شکل، تغییر حالت آب از مایع به بخار و انتقال آن به جو رخ می‌دهد. حدود ۰/۹۷ درصد آبی که در بخش ریشه‌ی گیاه در اختیار آن قرار می‌گیرد، صرف تبخیر و تعرق می‌شود و بر این اساس، نیاز آبی گیاهان را برابر با تبخیر و تعرق فرض می‌کنند (آپندینی و لیورمن، ۱۹۹۴: ۱۵۰؛ ناگی و همکاران، ۲۰۰۷: ۲۲؛ شایان‌نژاد، ۱۳۸۵: ۳).

تبخیر و تعرق بر دو گونه است:

الف) تبخیر و تعرق پتانسیل (بالقوه - مرجع) که تعریف مختلفی از آن شده که یکی از آنها عبارتست از: شدت تبخیر و تعرق از یک سطح پوشیده از چمن یکنواخت با ارتفاع ۱۵-۸ سانتی‌متر که رشد فعال داشته و زمین را به‌طور کامل می‌پوشاند و کمبود آب ندارد.

ب) تبخیر و تعرق واقعی که عبارتست از شدت تبخیر و تعرق از هر نوع سطح مزروعی و در یک زمان مشخص (ایستوا و همکاران، ۲۰۰۵: ۲۳۹؛ میکا و همکاران، ۲۰۰۵: ۲۲۴).

به‌گفته‌ی دیگر، تبخیر و تعرق واقعی همان آب مصرفی گیاه است. برای اندازه‌گیری تبخیر و تعرق هر گیاه از دستگاهی به‌نام لایسیمتر^۱ استفاده می‌شود. از آنجاکه استفاده از این دستگاه وقت‌گیر و پرهزینه و بیشتر اوقات دور از دسترس کاربران است، پژوهشگران روابطی را برای تخمین تبخیر و تعرق پتانسیل ارائه کردند که تابعی از عوامل و عناصر جوئی و اقلیمی است.

مقادیر تبخیر و تعرق پتانسیل در نهایت در ضرایب گیاهی ضرب شده و این‌گونه مقدار تبخیر و تعرق یا نیاز آبی واقعی گیاه به‌دست می‌آید (برگرفته از شایان‌نژاد، ۱۳۸۵: ۲). البته این محاسبه در شرایط بدون تنش آبی صحیح است. به‌طور کلی روش‌های موجود برای تخمین تبخیر و تعرق پتانسیل به سه دسته تقسیم می‌شود:

دسته‌ی اول: معادله‌های تجربی که یک یا چند عامل اقلیمی در آنها وجود دارد، مانند تورنت وایت^۱، بلانی کریدل، تورک، جنسن هیز^۲ و هارگریوز - سامانی^۳ و مانند آنها.

دسته‌ی دوم: در این دسته، تبخیر و تعرق به‌عنوان فرایند انتقال جرم (بخار آب) در نظر گرفته می‌شود و به‌روش‌های انتقال جرم یا روش‌های فیزیکی موسوم‌اند، مانند روش دالتون^۴ و روش آیرودینامیکی (شایان‌نژاد، ۱۳۸۵: ۲).
دسته‌ی سوم: این دسته ترکیبی از روش آیرودینامیکی و روش توازن انرژی است، مانند روش نسبت باوون، روش پنمن - مانتیس^۵ و روش پنمن - مانتس - فائو^۶.

در چند دهه‌ی پیش، افزون‌بر مطالعاتی که در زمینه‌ی محاسبه‌ی نیاز آبی و تبخیر و تعرق در مناطق مختلف انجام شده (عزیزی، ۱۳۷۹: ۱۱۶؛ زنگ، ۱۹۹۴: ۱۹۴؛ وارینگتن، ۱۹۷۷: ۱۲؛ ناصری و همکاران، ۲۰۰۶: ۴؛ وانوستر، ۱۹۹۳: ۳۰۱) مطالعاتی نیز بر گسترش روش‌های تخمین تبخیر و تعرق و همچنین بهبود روش‌های موجود انجام شده است (هرشفیلد، ۱۹۶۴: ۳۴؛ ازرسکی و مازکوس، ۱۹۶۴: ۲۷؛ اس ماجسترال و زازویتا، ۲۰۰۱) و تلاش در این راه هنوز هم ادامه دارد.

از جمله پژوهش‌های دیگر در همین ارتباط، می‌توان به کار آماتیا و همکاران (۱۹۹۵: ۴۲۸) برای بررسی بهترین مدل تبخیر و تعرق برای نواحی مرطوب و ساحلی شرق آمریکا اشاره کرد. آنها بعد از بررسی‌های مورد نظر روش تورک را به‌عنوان روش مناسب برای محدوده‌ی مورد مطالعه معرفی کردند. در کاری دیگر ساعد (۱۹۸۶: ۴۳۴) با بررسی روش‌های تبخیر و تعرق مختلف برای کشور عربستان، سه روش بلانی کریدل، جنسن هیز و هارگریوز را به‌عنوان روش‌های مناسب معرفی کرد و در نهایت، ضرابی اصلاحی برای این روابط اعمال کرد. اما از جمله‌ی این نوع مطالعات برای ایران، می‌توان به بررسی رحیم‌زادگان در تعیین و اصلاح بهترین مدل تبخیر و تعرق برای اصفهان اشاره کرد. وی از ۱۲ روش استفاده کرد و در نهایت به این نتیجه رسید که روش‌های جنسن هیز، هارگریوز، پنمن، تورک، بلانی کریدل و کریستین سن، برآوردهای بهتری را نسبت به روش‌های دیگر در تخمین و محاسبه‌ی تبخیر و تعرق ارائه می‌دهند (به‌نقل از شفیع فسقندیس، ۱۳۸۶: ۶۷).

همچنین شفیع و همکاران، در کاری دیگر با بررسی تعدادی از روش‌های محاسباتی تبخیر و تعرق برای اهر، نشان دادند که روش تورک، تورنت وایت، کریستین هارگریوز و بلانی کریدل پس از اعمال ضرایب اصلاحی، بهترین انطباق را با مقادیر تبخیر و تعرق بالقوه ماهانه‌ی حاصل از تشت تبخیر دارند (فسقندیس و همکاران، ۱۳۸۶: ۶۶).

بنابراین در این پژوهش، هدف اصلی ارائه‌ی راهکار و مدلی ساده و مناسب برای محاسبه‌ی تبخیر و تعرق است که بیشتر بومی کشور ایران باشد.

1. Thornth-Waite
2. Jensen-Haise
3. Hargrives-Samani
4. Dalton
5. Penman-Monteith
6. Penman-Monteith- FAO

مواد و روش‌ها

همان‌گونه که بیان شد، هدف این پژوهش اصلاح و بومی‌سازی مدل تبخیر و تعرق برای ایران است. برای این کار، نخست با استفاده از عناصر آب‌وهوایی ماهانه مانند: متغیرهای میانگین اختلاف دما، میانگین حداقل، حداکثر رطوبت نسبی، ساعت آفتابی، بارش ماهانه، روزهای بارش بالاتر از ۱۰ و ۵ میلی‌متر و فراوانی رخداد سرعت متوسط باد بالای ۵ نات^۱ بر ثانیه، در یک دوره‌ی ۲۶ ساله (۱۹۸۰-۲۰۰۵) برای ۶۴ ایستگاه کشور به‌دست آمد. هدف از انتخاب این مؤلفه‌ها، خوشه‌بندی^۲ ایستگاه‌های مورد مطالعه براساس عناصر تأثیرگذار بر تبخیر و تعرق بوده است؛ زیرا پس از این مرحله می‌توان برای هر خوشه، براساس تشابه ایستگاه‌ها از نظر فرایند تبخیر و تعرق، ضرایب اصلاحی یکسانی را اعمال کرد. همان‌گونه که در قسمت بالا اشاره شد، مقادیر مربوط به هر کدام از مؤلفه‌ها، برای تمام ماه‌های سال مورد بررسی قرار گرفت که در نهایت یک ماتریس ۹۶×۶۴ تهیه شد که در آن عدد ۶۴ نمایانگر تعداد ایستگاه‌ها و عدد ۹۶ نشانگر تعداد متغیر یاد شده در دوازده ماه سال است. گفتنی است که خوشه‌بندی کشور براساس تبخیر و تعرق، شامل مراحل زیر است:

(الف) تهیه‌ی ماتریس داده‌های خام؛

(ب) محاسبه‌ی ماتریس داده‌های خام؛

(ج) تشکیل گروه‌بندی‌های ممکن و محاسبه‌ی فاصله‌ی اقلیدسی هر متغیر با میانگین گروه خود؛

(د) ادغام گروه‌ها به‌روش کمترین واریانس (روش وارد) و تعیین گروه‌بندی نهایی؛

(ه) ترسیم دندوگرام^۳ که حاصل ادغام گروه‌ها در چندین مرحله است؛

(و) تعیین محل قطع کلاسترها و گروه‌های نهایی به‌دست‌آمده (صادقی، ۲۰۰۲: ۷۹؛ دگاپتانو و شولمان، ۱۹۹۰: ۳۴۵؛

فول، ۱۹۹۳: ۲۱۱۳؛ جانسون، ۱۹۹۸: ۵۶۷؛ گرونیوود، ۱۹۸۴: ۳۹۰).

تحلیل خوشه‌ای به سه گونه تقسیم می‌شود:

۱. تحلیل خوشه‌ای دو مرحله‌ای؛^۴

۲. تحلیل خوشه‌ای K - میانگین؛^۵

۳. تحلیل خوشه‌ای سلسله‌مراتبی.^۶

در پژوهش پیش رو از روش خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی استفاده شده است. در روش خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی، به خوشه‌های نهایی براساس میزان عمومیت آنها، ساختاری سلسله‌مراتبی - معمولاً به‌صورت درختی - نسبت داده می‌شود. این درخت سلسله‌مراتبی را دندوگرام گویند. روش‌های خوشه‌بندی براساس ساختار سلسله‌مراتبی تولیدی توسط آنها، به‌طور معمول به دو دسته‌ی زیر تقسیم می‌شوند:

1. Knot
2. Cluster Analysis
3. Dendogram
4. Two-Step Cluster Analysis (T-SCA)
5. K-Means Cluster Analysis (K-MCA)
6. Hierarchical Cluster Analysis (HCA)

۱- بالا به پایین^۱ یا تقسیم کننده^۲: در این روش ابتدا تمام داده‌ها به‌عنوان یک خوشه در نظر گرفته می‌شوند و سپس طی فرایندی تکراری، در هر مرحله داده‌هایی که شباهت کمتری به هم دارند، به خوشه‌های مجزایی شکسته می‌شوند و این روند تا رسیدن به خوشه‌هایی که دارای یک عضو هستند، ادامه پیدا می‌کند.

۲- پایین به بالا^۳ یا متراکم‌شونده^۴: در این روش ابتدا هر داده به‌عنوان خوشه‌ای مجزا در نظر گرفته می‌شود و طی فرایندی تکراری، در هر مرحله خوشه‌هایی که شباهت بیشتری به هم دارند با یکدیگر ترکیب می‌شوند تا در نهایت یک خوشه و یا تعداد مشخصی خوشه حاصل شود. از انواع الگوریتم‌های خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی متراکم‌شونده رایج می‌توان از الگوریتم‌های Single-Link، Average-Link و Complete-Link نام برد. تفاوت اصلی در بین تمام این روش‌ها به شیوه‌ی محاسبه‌ی شباهت بین خوشه‌ها مربوط می‌شود.

بنابراین در این پژوهش، روش سلسله‌مراتبی پایین به بالا به کار گرفته شده است. گفتنی است که برای خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی از نرم‌افزار SPSS و برای محاسبه و واکاوی معادله‌های تبخیر و تعرق و همچنین ترسیم نمودارها از نرم‌افزار اکسل استفاده شده است.

مقادیر تبخیر و تعرق با استفاده از چهار روش تورنت وایت، بلانی - کریدل، هارگریوز - سامانی و جنسن - هیز برای ایستگاه‌های مطالعاتی محاسبه شده و نتایج روش‌ها با هم مقایسه و مشخص شد که کدام یک از معادله‌ها، کمترین همبستگی را با معادله‌های دیگر و کدام یک بالاترین همبستگی را با معادله‌های دیگر داشته است. بر این اساس، خروجی هر یک از معادله‌ها نسبت به میانگین خروجی روش‌های دیگر مورد سنجش قرار گرفت. در این بخش از کار، تنها به مقایسه‌ی روش‌های تجربی با یکدیگر اکتفا نشد و برای انتخاب روش مناسب از مقایسه‌ی داده‌های محاسباتی با داده‌های مشاهداتی تحت تبخیر^۵ و لایسیمتر نیز استفاده شده است. بنابراین برای محاسبه‌ی مقادیر تبخیر از تحت، رابطه‌ی شماره‌ی ۱ به کار گرفته شد (فسقندیس و همکاران، ۱۳۸۶: ۷۲).

$$ETP = k_p \cdot E_{pan} \quad \text{رابطه‌ی (۱)}$$

ETP = تبخیر و تعرق بالقوه؛

E_{pan} = تبخیر از تحت؛

k_p = ضریب تحت: این ضریب تابعی از نوع تحت، محیط اطراف تحت و شرایط اقلیمی ناحیه است و برای

محاسبه‌ی آن رابطه‌های متعددی پیشنهاد شده است. از آنجاکه در کشور ایران از تحت کلاس A (استاندارد آمریکایی) استفاده می‌شود، ضرایب این تحت برای ماه‌های مختلف سال بین ۰/۵۸ تا ۰/۷۸ در نوسان است.

پس از ارزیابی و انتخاب بهترین رابطه، آن رابطه با داده‌های تجربی و مشاهداتی لایسیمتر، برای ماه‌ها و خوشه‌های

مختلف اصلاح و بومی‌سازی شد.

1. Top-Down
2. Divisive
3. Bottom-Up
4. Agglomerative
5. Pan Evaporation

در آخر لازم به توضیح است که به دلیل کمبود ایستگاه‌های مجهز به لیزیمتر، تنها تعداد محدودی از ایستگاه‌ها با دوره‌ی آماری ۱۱ تا ۱۶ سال، به‌عنوان شناسه برای هر خوشه‌ی تبخیر و تعرق مهیا شدند که در جدول شماره‌ی ۱ به آنها اشاره شده است.

جدول ۱. طول دوره‌ی آماری داده‌های لایسیمتر برای ایستگاه‌های مورد استفاده در هر خوشه‌ی تبخیر و تعرق

نام ایستگاه‌ها	شماره‌ی خوشه	طول دوره‌ی آماری
شیراز	شماره‌ی یک	۱۹۹۸-۲۰۰۵
یزد	شماره‌ی یک	۱۹۹۲-۲۰۰۵
یاسوج	شماره‌ی دوم	۱۹۹۲-۲۰۰۴
بندرعباس	خوشه‌ی سوم	۱۹۹۱-۲۰۰۳
بجنورد	خوشه‌ی چهارم	۱۹۹۵-۲۰۰۵
مشهد	خوشه‌ی چهارم	۱۹۹۰-۲۰۰۵
کرمانشاه	خوشه‌ی چهارم	۱۹۹۳-۲۰۰۴
سنندج	خوشه‌ی چهارم	۱۹۹۵-۲۰۰۵
قائم‌شهر	به‌طور مشترک خوشه‌ی پنج و شش	۱۹۹۰-۲۰۰۲
گرگان	به‌طور مشترک خوشه‌ی پنج و شش	۱۹۹۱-۲۰۰۴

یافته‌های تحقیق

الف) خوشه‌بندی^۱ کشور بر اساس داده‌های تبخیر و تعرق

در این قسمت از کار، خوشه‌بندی کشور به چهار صورت سه، چهار، پنج و شش خوشه انجام گرفت که نتایج آن را در جدول شماره‌ی ۲ می‌توان دید.

جدول ۲. مقایسه‌ی خوشه‌های مختلف (سه، چهار، پنج و شش) در گستره‌ی ایران، بر اساس فرایند تبخیر و تعرق

3 Clusters	ایستگاه‌ها	4 Clusters	ایستگاه‌ها	5 Clusters	ایستگاه‌ها	6 Clusters	ایستگاه‌ها
1	1: ABADAN	1	1: ABADAN	1	1: ABADAN	1	1: ABADAN
1	2: ABADAH	1	2: ABADAH	1	2: ABADAH	1	2: ABADAH
1	3: ABALI	1	3: ABALI	2	3: ABALI	2	3: ABALI
2	4: JAZIREH	2	4: JAZIREH	3	4: JAZIREH	3	4: JAZIREH
1	5: AHAR	1	5: AHAR	1	5: AHAR	4	5: AHAR
1	6: BAM	1	6: BAM	1	6: BAM	1	6: BAM

3 Clusters	ایستگاهها	4 Clusters	ایستگاهها	5 Clusters	ایستگاهها	6 Clusters	ایستگاهها
2	7: BANDAR A	2	7: BANDAR A	3	7: BANDAR A	3	7: BANDAR A
2	8: BANDAR L	2	8: BANDAR L	3	8: BANDAR L	3	8: BANDAR L
1	9: BIJAR	1	9: BIJAR	1	9: BIJAR	4	9: BIJAR
1	10: BIRJAND	1	10: BIRJAND	1	10: BIRJAND	1	10: BIRJAND
1	11: BOJNURD	1	11: BOJNURD	1	11: BOJNURD	4	11: BOJNURD
2	12: BUSHEHR	2	12: BUSHEHR	3	12: BUSHEHR	3	12: BUSHEHR
2	13: CHAHBAHA	2	13: CHAHBAHA	3	13: CHAHBAHA	3	13: CHAHBAHA
1	14: DEZFUL	1	14: DEZFUL	1	14: DEZFUL	1	14: DEZFUL
1	15: DOUSHAN	1	15: DOUSHAN	1	15: DOUSHAN	4	15: DOUSHAN
1	16: ESFAHAN	1	16: ESFAHAN	1	16: ESFAHAN	1	16: ESFAHAN
1	17: FASSA	1	17: FASSA	1	17: FASSA	1	17: FASSA
1	18: FERDOUS	1	18: FERDOUS	1	18: FERDOUS	1	18: FERDOUS
1	19: GARMSAR	1	19: GARMSAR	1	19: GARMSAR	1	19: GARMSAR
3	20: GHAEMSHR	3	20: GHAEMSHR	4	20: GHAEMSHR	5	20: GHAEMSHR
1	21: GHAZVIN	1	21: GHAZVIN	1	21: GHAZVIN	4	21: GHAZVIN
1	22: GHOM	1	22: GHOM	1	22: GHOM	1	22: GHOM
1	23: GHOOCHAN	1	23: GHOOCHAN	1	23: GHOOCHAN	4	23: GHOOCHAN
3	24: GORGAN	3	24: GORGAN	4	24: GORGAN	5	24: GORGAN
1	25: HAMEDAN	1	25: HAMEDAN	1	25: HAMEDAN	4	25: HAMEDAN
1	26: ILAM	1	26: ILAM	2	26: ILAM	2	26: ILAM
2	27: JASK	2	27: JASK	3	27: JASK	3	27: JASK
1	28: JOLFA	1	28: JOLFA	1	28: JOLFA	4	28: JOLFA
1	29: KARAJ	1	29: KARAJ	1	29: KARAJ	4	29: KARAJ
1	30: KASHAN	1	30: KASHAN	1	30: KASHAN	1	30: KASHAN
1	31: KERMAN	1	31: KERMAN	1	31: KERMAN	1	31: KERMAN
1	32: KERMANSH	1	32: KERMANSH	1	32: KERMANSH	4	32: KERMANSH
1	33: KHASH	1	33: KHASH	1	33: KHASH	1	33: KHASH
1	34: KHORRAMA	1	34: KHORRAMA	1	34: KHORRAMA	4	34: KHORRAMA
1	35: KHOY	1	35: KHOY	1	35: KHOY	4	35: KHOY

3 Clusters	ایستگاه‌ها	4 Clusters	ایستگاه‌ها	5 Clusters	ایستگاه‌ها	6 Clusters	ایستگاه‌ها
2	36: JAZIREH	2	36: JAZIREH	3	36: JAZIREH	3	36: JAZIREH
1	37: MAHABAD	1	37: MAHABAD	1	37: MAHABAD	4	37: MAHABAD
1	38: MAKOO	1	38: MAKOO	1	38: MAKOO	4	38: MAKOO
1	39: MASHHAD	1	39: MASHHAD	1	39: MASHHAD	4	39: MASHHAD
2	40: MINAB	2	40: MINAB	3	40: MINAB	3	40: MINAB
1	41: NEHBANDA	1	41: NEHBANDA	1	41: NEHBANDA	1	41: NEHBANDA
3	42: NOUSHAHR	3	42: NOUSHAHR	4	42: NOUSHAHR	5	42: NOUSHAHR
1	43: OROOMIEH	1	43: OROOMIEH	1	43: OROOMIEH	4	43: OROOMIEH
3	44: RAMSAR	4	44: RAMSAR	5	44: RAMSAR	6	44: RAMSAR
3	45: RASHT	3	45: RASHT	4	45: RASHT	5	45: RASHT
1	46: SABZEVAR	1	46: SABZEVAR	1	46: SABZEVAR	4	46: SABZEVAR
1	47: SAGHEZ	1	47: SAGHEZ	1	47: SAGHEZ	4	47: SAGHEZ
1	48: SANANDA	1	48: SANANDA	1	48: SANANDA	4	48: SANANDA
1	49: SAKAKHS	1	49: SAKAKHS	1	49: SAKAKHS	4	49: SAKAKHS
1	50: SARAVAN	1	50: SARAVAN	1	50: SARAVAN	1	50: SARAVAN
1	51: SEMNAN	1	51: SEMNAN	1	51: SEMNAN	1	51: SEMNAN
1	52: SHAHRE K	1	52: SHAHRE K	1	52: SHAHRE K	4	52: SHAHRE K
1	53: SHAHROUD	1	53: SHAHROUD	1	53: SHAHROUD	4	53: SHAHROUD
1	54: SHARGH E	1	54: SHARGH E	1	54: SHARGH E	1	54: SHARGH E
1	55: SHIRAZ	1	55: SHIRAZ	1	55: SHIRAZ	1	55: SHIRAZ
1	56: SIRJAN	1	56: SIRJAN	1	56: SIRJAN	1	56: SIRJAN
1	57: TABASS	1	57: TABASS	1	57: TABASS	1	57: TABASS
1	58: TABRIZ	1	58: TABRIZ	1	58: TABRIZ	4	58: TABRIZ
1	59: TEHRAN M	1	59: TEHRAN M	1	59: TEHRAN M	4	59: TEHRAN M
1	60: TORBATE	1	60: TORBATE	1	60: TORBATE	4	60: TORBATE
1	61: YASOUJ	1	61: YASOUJ	2	61: YASOUJ	2	61: YASOUJ
1	62: YAZD	1	62: YAZD	1	62: YAZD	1	62: YAZD
1	63: ZABOL	1	63: ZABOL	1	63: ZABOL	1	63: ZABOL
1	64: ZAHEDAN	1	64: ZAHEDAN	1	64: ZAHEDAN	1	64: ZAHEDAN

همان گونه که در جدول شماره ۲ دیده می‌شود، در خوشه‌بندی کشور بر اساس سه خوشه، ۵۱ ایستگاه از ۶۴ مورد در خوشه‌ی یک، ۸ ایستگاه در خوشه‌ی دو و در نهایت، ۵ ایستگاه باقی‌مانده در خوشه‌ی سه قرار گرفته‌اند. اگرچه در خوشه‌بندی ایستگاه‌ها بر اساس سه خوشه، ایستگاه‌های واقع در خوشه‌ی دو و سه این نوع خوشه‌بندی، آب‌وهوای مشابهی دارند؛ اما ایستگاه‌های واقع در خوشه‌ی یک، از تشابه آب‌وهوایی و تبخیر و تعرق برخوردار نبوده‌اند؛ به همین دلیل خوشه‌بندی کشور بر اساس سه خوشه، خروجی قابل قبولی را ارائه نمی‌کند.

هنگامی که ایستگاه‌های مورد مطالعه بر اساس چهار خوشه، خوشه‌بندی شدند، به جز ایستگاه رامسر که از خوشه‌ی سه به خوشه‌ی چهار جابه‌جا شد، باقی نسبت‌های خوشه‌های مختلف کمابیش ثابت ماند (جدول شماره ۲). در خوشه‌بندی کشور بر اساس پنج خوشه، ایستگاه رامسر از خوشه‌ی چهار جدا و به خوشه‌ی پنج وارد شده است که به جز این تغییر، خوشه‌ی یک به ۴۸ ایستگاه و خوشه‌ی دو به ۳ ایستگاه تقلیل یافته است. در این خوشه‌بندی جدید، خوشه‌ی سه به ۸، خوشه‌ی چهار به ۴ و خوشه‌ی پنج به ۱ ایستگاه محدود شده است.

ایراد این خوشه‌بندی نیز بیشتر مربوط به خوشه‌ی یک آن است؛ زیرا همان گونه که در جدول شماره ۲ مشاهده می‌شود، تعدادی از ایستگاه‌ها مانند جلفا، مهاباد، ماکو، مشهد و... از لحاظ تبخیر و تعرق با ایستگاه‌هایی همچون سمنان، طبس، یزد و... یکسان در نظر گرفته شده است.

حال آنکه این بار کشور به شش خوشه دسته‌بندی شد که دوباره این ایستگاه رامسر بود که از خوشه‌ی پنج به خوشه‌ی شش وارد و یاسوج، ایلام و آبدلی همانند خوشه‌بندی کشور بر اساس پنج خوشه، در خوشه‌ی دوم قرار گرفتند. در این خوشه‌بندی، همان گونه که در جدول شماره ۲ مشاهده می‌شود، ایستگاه‌ها به شیوه‌ی مناسب‌تری در خوشه‌ها دسته‌بندی شدند. به گونه‌ای که خوشه‌ی سه آن مربوط به ایستگاه‌های نواحی سواحل جنوبی است. حال اگر خوشه‌ی پنج و شش را از لحاظ شباهت آب‌وهوایی با هم تلفیق کنیم، این خوشه‌ها به‌طور مشترک مربوط به ایستگاه‌های سواحل شمالی کشور هستند. در این خوشه‌بندی، مشکل خوشه‌ی یک به بهترین شکل از میان رفته و بیشتر ایستگاه‌های آب‌وهوای خشک تا نیمه‌خشک، نواحی مرکزی و جنوب‌شرقی کشور را در خود جای داده است؛ اما خوشه‌ی چهار نیز به شیوه‌ی مناسبی متشکل از ایستگاه‌های شمال شرق و شمال غرب کشور است که بیشتر آنها با توجه به دماهای پایین در دوره‌ی سرد سال، به‌عنوان هسته‌های سرد معرفی می‌شوند. بنابراین، با توجه به موارد پیش گفته، بهترین طبقه‌بندی برای ایران بر اساس شش خوشه است که به‌عنوان خوشه‌بندی مناسب معرفی می‌شود. اینک با توجه به خوشه‌بندی کشور بر اساس شش خوشه، می‌توان هر یک از خوشه‌ها را بر اساس ویژگی‌های جغرافیایی و آب‌وهوایی بدین گونه نام‌گذاری کرد:

خوشه‌ی یک: نواحی خشک تا نیمه‌خشک مرکزی و جنوب‌شرقی - که شامل ایستگاه‌های آبادان، آباده، بم، بیرجند، اصفهان، فسا، فردوس، گرمسار، قم، کاشان، کرمان، خاش، نهبندان، سراوان، سمنان، شرق اصفهان، دزفول، شیراز، طبس، سیرجان، یزد، زابل، زاهدان است. حداقل تبخیر و تعرق ماهانه‌ی این خوشه ۵۱ میلی‌متر مربوط به ژانویه است و بالاترین مقدار به میزان ۳۲۲ میلی‌متر به ماه ژوئیه تعلق دارد. میانگین تبخیر و تعرق سالانه در این خوشه، ۲۱۱۹

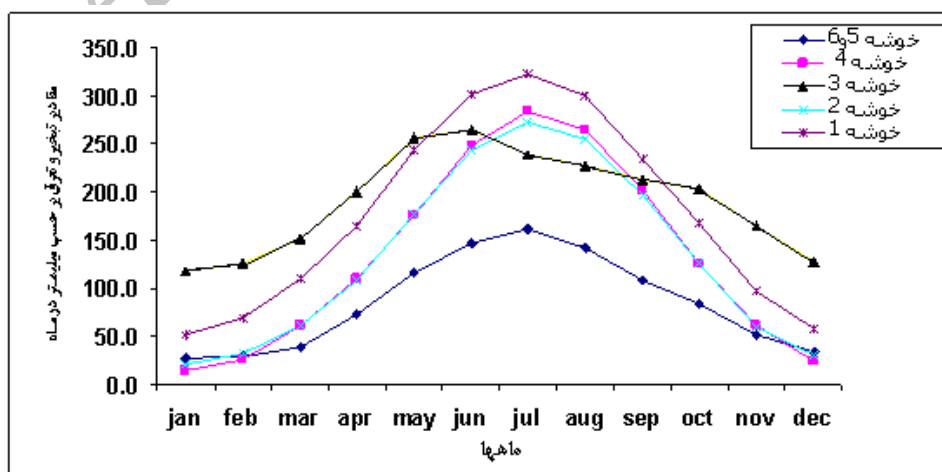
میلی‌متر است (شکل شماره ۱).

خوشه‌ی دو: نواحی مرطوب و کوهستانی (مرتفع) شمال و غرب کشور - که شامل ایستگاه‌های ایلام، آبعلی و یاسوج است. در این خوشه حداقل مقدار تبخیر و تعرق ۲۱ میلی‌متر در ماه ژانویه و حداکثر آن به میزان ۲۷۲ میلی‌متر در ژوئیه محاسبه شده؛ اما میانگین سالانه‌ی تبخیر و تعرق در این خوشه، ۱۵۸۴ میلی‌متر بوده است (شکل شماره ۱).

خوشه‌ی سه: نواحی گرم سواحل جنوبی - شامل ایستگاه‌های بوشهر، میناب، بندرعباس، جاسک، بندر لنگه، جزیره‌ی ابوموسی، کیش و چابهار است. در این خوشه همانند خوشه‌های پیشین حداقل تبخیر و تعرق در ماه ژانویه با مقدار ۱۱۸ میلی‌متر و حداکثر تبخیر و تعرق در ماه ژوئن به میزان ۲۶۵ میلی‌متر است. میانگین سالانه‌ی تبخیر و تعرق این خوشه ۲۲۹۱ میلی‌متر است که رتبه‌ی اول در میان دیگر خوشه‌هاست.

خوشه‌ی چهار: نواحی سرد و نیمه‌خشک شمال شرقی تا سرد و مرطوب شمال غربی - شامل ایستگاه‌هایی چون اهر، بیجار، بجنورد، قزوین، قوچان، همدان، جلفا، کرج، کرمانشاه، خرم‌آباد، خوی، مهاباد، ماکو، مشهد، ارومیه، سقز، سبزوار، سنندج، سرخس، شاهرود، شهرکرد، تهران، تبریز و تربت‌حیدریه است. در این خوشه حداقل تبخیر و تعرق در ماه ژانویه به میزان ۱۴ میلی‌متر است و کمترین مقدار تبخیر و تعرق ماه ژانویه متعلق به این خوشه است. حداکثر تبخیر و تعرق ۲۸۳ میلی‌متر مربوط به ماه ژوئیه است.

خوشه‌ی پنج و شش: نواحی مرطوب تا بسیار مرطوب سواحل شمالی - شامل مناطقی مانند قائم‌شهر، گرگان، رشت، رامسر، نوشهر است. در این خوشه نیز، حداقل و حداکثر مقدار تبخیر و تعرق به ترتیب در ژانویه ۲۸ میلی‌متر و در ژوئیه ۱۶۱ میلی‌متر است. این خوشه حداقل مقدار تبخیر و تعرق سالانه را نسبت به خوشه‌های دیگر داشته که به میزان ۱۰۱۲ میلی‌متر است.

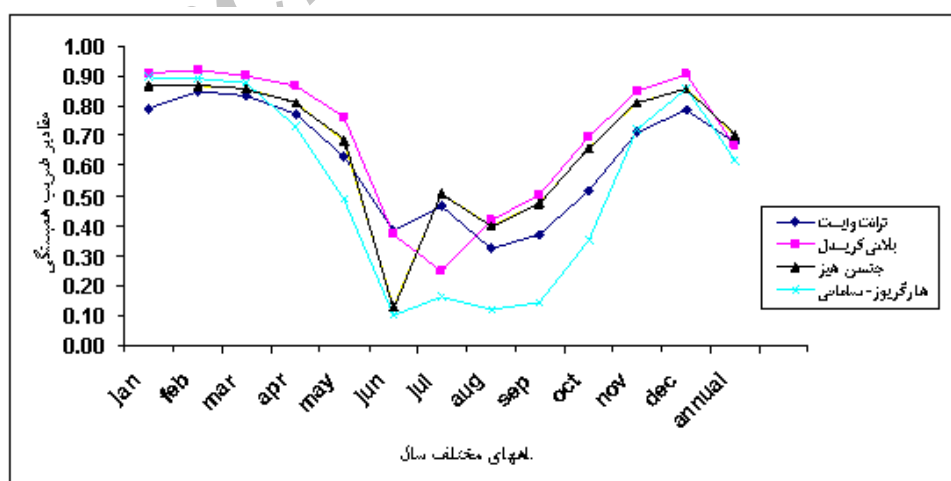


شکل ۱. میانگین ماهانه‌ی تبخیر و تعرق در خوشه‌های مختلف مطالعاتی

ب) آزمون نتایج استخراج شده تبخیر و تعرق با استفاده از رابطه‌های پیشنهادی

در این خصوص، با استفاده از رابطه‌های پیشنهادی، مقادیر تبخیر و تعرق برای ایستگاه‌های منتخب محاسبه شد و در ادامه، نتایج هر رابطه در ماه مورد نظر با نتایج دیگر معادله‌ها با آزمون همبستگی پیرسون مورد مقایسه قرار گرفت تا مشخص شود که کدام روش از همبستگی بالاتری نسبت به روش‌های دیگر برخوردار است. از سوی دیگر مقایسه‌ی مقادیر ماهانه‌ی روش‌های مختلف مشخص می‌کند که کدام روش‌ها نسبت به معادله‌های دیگر از مقادیر افراطی (یا تفریطی) برخوردارند. برای نمونه، مقادیر تبخیر و تعرق ماه ژانویه ایستگاه آبادان برای رابطه‌های ترنت وایت، بلانی کریدل، جنسن هیز و هارگریوز - سامانی به ترتیب ۲۲/۷، ۷۶/۴، ۱۹۶/۵ و ۳۹/۷ محاسبه شده است که نتایج گویای این است که خروجی‌های مربوط به رابطه‌ی جنسن - هیز در مقایسه با روش‌های دیگر از مقادیر افراطی‌تری برخوردارند، پس اگر این حالت در ماه‌ها و ایستگاه‌های مختلف به‌طور مکرر رخ دهد، نشان‌دهنده‌ی این است که خروجی روش جنسن - هیز نسبت به روش‌های دیگر قابل اعتماد نبوده و بهتر است کنار گذاشته شود.

با توجه به مطالب پیش‌گفته، برای نمونه، در ماه ژانویه روش بلانی کریدل با میانگین ضریب همبستگی بالا ($R = 0.91$) نسبت به روش‌های دیگر، مزیت بهتری دارد. در این ماه، روش تورنت وایت با میانگین همبستگی کمتر ($R = 0.79$) کمترین ارتباط را با روش‌های دیگر نشان می‌دهد (شکل شماره ۲). در ماه فوریه، ضرایب همبستگی میان روش‌های دیگر نزدیک به یکدیگر است؛ اما روش بلانی کریدل با ضریب همبستگی ($R = 0.92$) نسبت به میانگین همبستگی روش‌های دیگر مناسب‌تری را نشان می‌دهد. در ماه مارس روش بلانی کریدل بالاترین ضریب همبستگی را نسبت به روش‌های دیگر دارد؛ اما در میزان همبستگی محاسبه‌شده، کاهش دیده می‌شود (شکل شماره ۲).

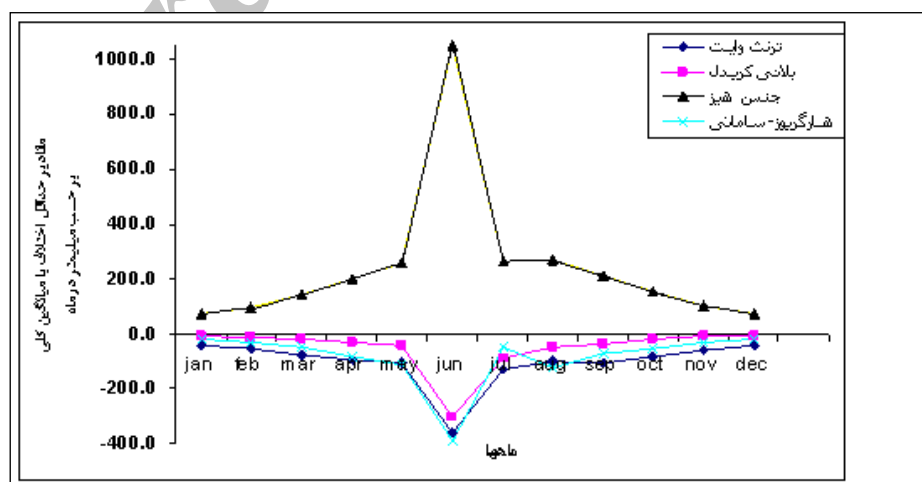


شکل ۲. میانگین کلی ضرایب همبستگی بین نتایج روش‌های محاسبه‌ی تبخیر و تعرق برای میانگین ماهانه و سالانه

در ماه ژوئیه، ضریب همبستگی بین روش بلانی کریدل نسبت به روش‌های دیگر کاهش یافته، در مقادیر دو

روش جنسن - هیز و تورنت وایت، روش جنسن - هیز با ضریب ($R = 0/51$) جایگاه بهتری را نشان می‌دهد (شکل شماره ۲). در بررسی انجام شده، میانگین ضریب همبستگی روش بلانی کریدل از اوت تا دسامبر بالاترین مقدار را نسبت به روش‌های دیگر به خود اختصاص داده است (شکل شماره ۲)؛ اما در مجموع، روش بلانی کریدل با میانگین ($R = 0/69$) درصد در جایگاه اول قرار گرفته و روش جنسن - هیز، ترنت وایت و هارگریوز در جایگاه بعدی قرار می‌گیرند (شکل شماره ۲).

پس از محاسبه‌ی ضرایب همبستگی با توجه به ارزیابی‌های انجام شده برای مقادیر تبخیر و تعرق ماهانه و سالانه، این نکته به دست می‌آید که دو روش بلانی کریدل و جنسن - هیز، در رتبه‌بندی ایستگاه‌ها از لحاظ تبخیر و تعرق شبیه هم عمل کرده‌اند، به گونه‌ای که حداقل مقادیر تبخیر و تعرق سالانه را برای نواحی شمالی کشور محاسبه کرده‌اند، اما دو روش هارگریوز - سامانی و تورنت وایت، این حداقل را برای نواحی غرب و شمال غرب به دست آورده‌اند. با وجود این، حداکثر مقادیر تبخیر و تعرق در چهار روش پیشنهادی کمابیش یکسان هستند. تشابه حداکثرها بیشتر در جنوب شرق و نواحی جنوب کشور دیده می‌شود و اختلاف کمی میان روش‌های پیشنهادی وجود دارد. با وجود این گفته‌ها، این روش بلانی - کریدل است که در بیشتر ماه‌ها، به دلیل حداقل اختلاف نسبت به میانگین کلی روش‌های دیگر، شرایط بهتری نسبت به سایر روش‌ها دارد (شکل شماره ۳). بنابراین با توجه به اینکه مقادیر خروجی روش بلانی کریدل اختلاف کمتری نسبت به میانگین مجموع روش‌های دیگر دارد و از سوی دیگر، به دلیل اینکه ضریب همبستگی بین این روش با روش‌های دیگر پیشنهادی برای تبخیر و تعرق بالاتر است، پس در کل، روش بلانی کریدل به عنوان روش مناسب برای محاسبه‌ی تبخیر و تعرق ایران پیشنهاد می‌شود. البته نیاز است که این روش به طور منطقه‌ای اصلاح و بومی شود تا بتواند نتایج پذیرفتنی را ارائه دهد.



شکل ۳. مقادیر حداقل اختلاف ماهانه‌ی روش‌های تبخیر و تعرق پیشنهادی با میانگین کلی روش‌های دیگر

در ادامه برای اینکه مشخص شود کدام یک از مؤلفه‌های آب‌وهوایی در روش بلانی کریدل، سهم بیشتری را در

میزان خروجی تبخیر و تعرق در خوشه‌های مختلف مطالعاتی دارد، همبستگی بین مقادیر خروجی روش بلانی کریدل با متغیرهای جوی موجود در این روش (متوسط دمای روزانه، حداقل رطوبت نسبی، متوسط سرعت باد، ساعت تابش آفتاب) محاسبه شد که نتایج آن در جدول شماره ۳ ارائه شده است.

جدول ۳. ضرایب همبستگی بین خروجی تبخیر و تعرق حاصل از روش بلانی کریدل با مؤلفه‌های جوی موجود در آن، برای خوشه‌های مختلف مطالعاتی

پارامترها خوشه‌ها	ساعت تابش	متوسط سرعت باد	حداقل رطوبت نسبی	دمای روزانه
خوشه‌ی سه	۰/۵۶	۰/۲۰	-۰/۷۴	۰/۴۴
خوشه‌ی پنج و شش	۰/۶۷	۰/۲۶	-۰/۷۴	۰/۷۳
خوشه‌ی یک	۰/۴۱	۰/۳۲	-۰/۶۲	۰/۶۷
خوشه‌ی دو	۰/۵۶	۰/۴۳	-۰/۶۷	۰/۷۵
خوشه‌ی چهار	۰/۵۳	۰/۲۷	-۰/۶۹	۰/۷۶

با توجه به مقادیر جدول شماره ۳، دیده می‌شود که در خوشه‌های سه، پنج و شش بالاترین ضریب همبستگی بین مقادیر تبخیر و تعرق بلانی کریدل با حداقل رطوبت نسبی است؛ اما در خوشه‌های یک، دو و چهار بالاترین ضریب همبستگی مربوط به دما است. ضریب همبستگی هرچند معیار معتبری است؛ اما در هر صورت نمی‌تواند به‌طور دقیق روابط فیزیکی را مورد واکاوی و پایش قرار دهد. البته با توجه به داده‌های جدول شماره ۳، اختلاف همبستگی حداقل رطوبت نسبی در مناطق ساحلی با مناطق دیگر کشور، تنها در حد ۱۰ درصد بوده که قابل قبول است، ولی به‌هرحال باید پذیرفت که رطوبت نسبی در خروجی تبخیر و تعرق سهم دارد.

ج) مقایسه بین خروجی داده‌های محاسباتی با مقادیر مشاهداتی تحت تبخیر و دستگاه لایسیمتر

لازم به گفتن است که برای ارزیابی و انتخاب روش محاسباتی مناسب، تنها به مقایسه بین روش‌های محاسباتی بسنده نشده و در ادامه، خروجی روش‌های محاسباتی با داده‌های تجربی تحت تبخیر و لایسیمتر نیز، مورد سنجش و آزمون قرار می‌گیرند.

اگرچه برای این آزمون، هم از داده‌های تجربی تحت و هم داده‌های لایسیمتر استفاده شده است، اما نباید فراموش شود که اهمیت داده‌های لایسیمتر به‌عنوان یک معیار کارآمد در سنجش تبخیر و تعرق، به‌مراتب بیشتر از داده‌های تحت است. منجمله اینکه داده‌های تحت، بدون اضافه کردن هر نوع ضریبی، فقط میزان تبخیر (آن هم تنها در محدوده‌ی خود تحت) را نشان می‌دهد که این ایراد بزرگی در مقایسه با داده‌های تبخیر و تعرق استخراج شده از دستگاه لایسیمتر است. آنچه سبب شد تا از داده‌های تحت تبخیر در این ارزیابی استفاده شود، وجود مناطق و ایستگاه‌های بیشتری است که مجهز به تحت تبخیر هستند. حال آنکه به‌دلیل کم بودن تعداد ایستگاه‌های دارای لایسیمتر و مشکل دسترسی و همچنین پراکندگی داده‌ها، امکان استفاده‌ی کامل از داده‌های لایسیمتر را برای تمام مناطق ایران فراهم نمی‌کند.

در ابتدا داده‌های تشت تبخیر با خروجی روش‌های پیش گفته مورد آزمون همبستگی قرار گرفت که نتایج آن در جدول شماره ۴ آورده شده است. آنچه از این آزمون نتیجه می‌شود، وجود حداقل مقادیر همبستگی در دوره‌ی گرم سال و تابستان برای همه‌ی روش‌های محاسباتی با تشت است و بالاترین مقادیر همبستگی در ماه‌های سرد و زمستان مشاهده می‌شود. شاید یکی از دلایل، مقدار زیاد تبخیر از تشت در دوره‌ی گرم سال است که داده‌های محاسبه شده از روش‌ها، نمی‌تواند نمایه‌ی خوبی از شرایط محیطی باشد. بنابراین بین خروجی داده‌های تشت و مقادیر محاسباتی از روش‌ها، فاصله زیادی دیده می‌شود که این حالت، سبب پایین آمدن همبستگی در دوره‌ی گرم سال شده است. به‌رحال با توجه به جدول شماره ۴، بالاترین میانگین ضریب همبستگی با $(R = 0/78)$ برای روش بلانی کریدل و پایین‌ترین آن $(R = 0/57)$ برای جنسن - هیز محاسبه شده است.

جدول ۴. مقادیر همبستگی بین داده‌های تشت تبخیر با خروجی روش‌های تجربی

روش‌ها ماه‌ها	ترنت وایت	بلانی کریدل	جنسن هیز	هارگریوز - سامانی
Jan	۰/۶۶	۰/۸۹	۰/۷۱	۰/۹۲
Feb	۰/۷	۰/۹۲	۰/۷۹	۰/۹۱
Mar	۰/۶۹	۰/۶۶	۰/۵۴	۰/۹
Apr	۰/۶۲	۰/۹۱	۰/۶	۰/۸۹
May	۰/۷۳	۰/۷۷	۰/۴۴	۰/۵۳
Jun	۰/۴۹	۰/۶۶	۰/۳۳	۰/۵۵
Jul	۰/۵۷	۰/۵۱	۰/۶۳	۰/۲۴
Aug	۰/۴۸	۰/۵۷	۰/۴۳	۰/۴۴
Sep	۰/۶۵	۰/۶۵	۰/۶	۰/۵۶
Oct	۰/۶۸	۰/۸۳	۰/۵۶	۰/۴۴
Nov	۰/۶	۰/۹۸	۰/۶۱	۰/۸۱
Dec	۰/۶۸	۰/۸۹	۰/۶۴	۰/۷۱
annual	۰/۷۲	۰/۸۸	۰/۵۵	۰/۵۹
میانگین کلی	۰/۶۴	۰/۷۸	۰/۵۷	۰/۶۵

در ادامه، مقایسه‌ای بین داده‌های مشاهداتی لایسیمتر با روش‌های تجربی انجام گرفت که نتایج در جدول شماره ۵ آورده شده‌اند. در مقایسه‌ی نتایج بین روش تشت و لایسیمتر با روش‌های محاسباتی، مشاهده می‌شود که مقادیر استخراج شده از لایسیمتر در مقایسه با داده‌های تشت از همبستگی بهتری برخوردار هستند، به‌گونه‌ای که میانگین این ضرایب برای ترنت وایت از $(r = 0/64)$ در تشت به $(r = 0/67)$ در لایسیمتر افزایش یافته و به‌همین شیوه برای بلانی کریدل از $(r = 0/78)$ به $(r = 0/82)$ برای جنسن از $(r = 0/57)$ به $(r = 0/65)$ و درنهایت، در مورد هارگریوز از

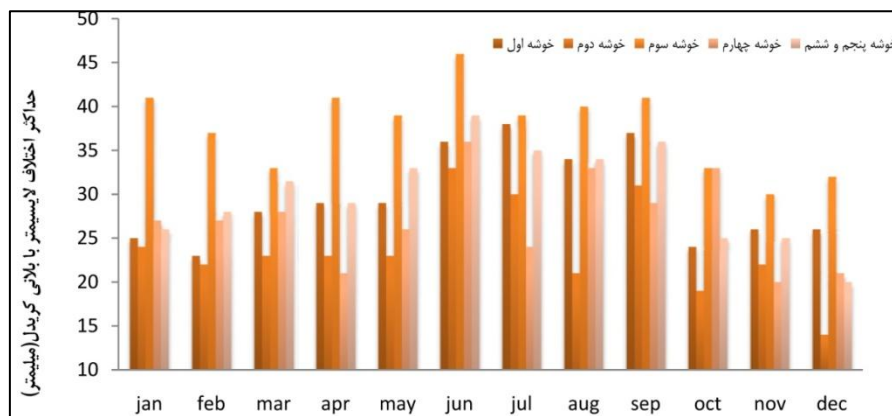
($r = 0/65$) در تشتت به ($r = 0/76$) در لایسیمتر افزایش یافته است.

جدول ۵. مقادیر همبستگی بین داده‌های لایسیمتر با خروجی روش‌های تجربی

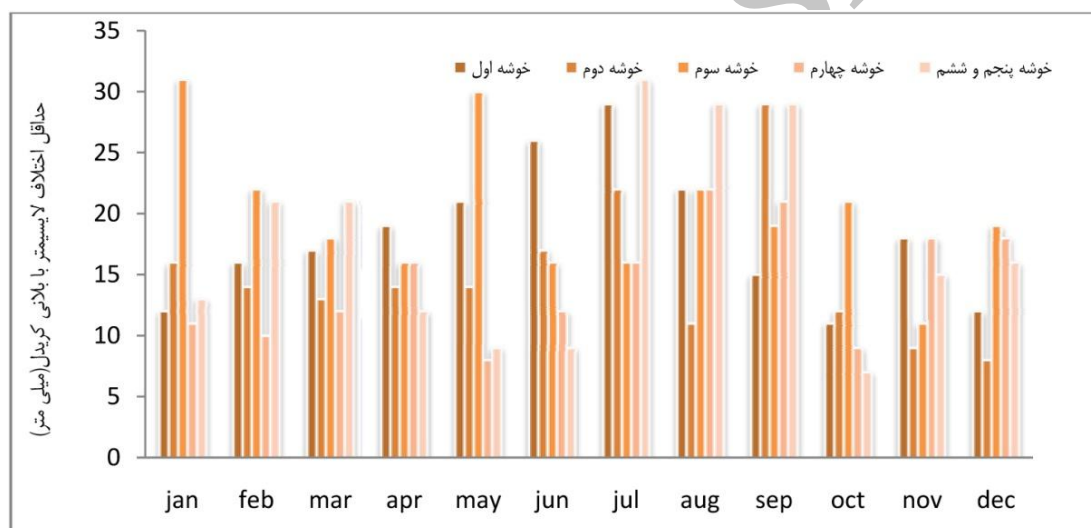
ماهها	روش‌ها	ترنت وایت	بلانی کریدل	جنسن هیز	هارگریوز - سامانی
Jan	۰/۶۹	۰/۷۶	۰/۸۸	۰/۹۵	
Feb	۰/۷۳	۰/۸۷	۰/۸۳	۰/۸۹	
Mar	۰/۶۵	۰/۸۲	۰/۶۶	۰/۹۲	
Apr	۰/۶۸	۰/۸۸	۰/۶	۰/۹۳	
May	۰/۷۹	۰/۹۳	۰/۵۳	۰/۶۶	
Jun	۰/۵۴	۰/۸۰	۰/۶۱	۰/۶۸	
Jul	۰/۶۶	۰/۸۱	۰/۶۳	۰/۵۵	
Aug	۰/۶۶	۰/۸۱	۰/۵	۰/۵۱	
Sep	۰/۷۷	۰/۷۲	۰/۶۶	۰/۶۶	
Oct	۰/۷۱	۰/۷۸	۰/۶۲	۰/۵۹	
Nov	۰/۴۴	۰/۸۵	۰/۷۴	۰/۹	
Dec	۰/۶	۰/۸۶	۰/۵۵	۰/۸۳	
annual	۰/۸۲	۰/۹۱	۰/۶۲	۰/۸۷	
میانگین کلی	۰/۶۷	۰/۸۲	۰/۶۵	۰/۷۶	

بنابراین در مقایسه بین روش‌های محاسباتی با داده‌های تجربی نیز، روش بلانی - کریدل بالاترین ضرایب همبستگی را نشان می‌دهد. البته نیاز است که این روش به‌طور منطقه‌ای اصلاح و بومی شود تا نتایج پذیرفتنی‌تری را ارائه دهد.

اما در ادامه، جالب توجه است تا مشخص شود که با استفاده از ایستگاه‌های شاهد، حداکثر و حداقل اختلاف مقادیر محاسبه شده از روش بلانی - کریدل با لایسیمتر برای خوشه‌های تبخیر و تعرق و فصول مختلف کشور چه میزان است (اشکال ۴ و ۵).



شکل ۴. حداکثر اختلاف مقادیر تبخیر و تعرق از داده‌های لایسیمتر در مقایسه با نتایج روش بلانی کریدل با توجه به خوشه‌های مختلف تبخیر و تعرق کشور، حداکثر اختلاف داده‌های لایسیمتر با بلانی کریدل از ۳۷/۶ در خوشه‌ی سوم تا کمترین آن به میزان ۲۳/۵ میلی‌متر در خوشه‌ی دوم نوسان دارد. اما نوسان در حداقل اختلاف بین داده‌های لایسیمتر با بلانی کریدل از بیشترین میزان آن با ۲۰/۱ میلی‌متر در خوشه‌ی سوم و کمترین آن ۱۴/۴ میلی‌متر در خوشه‌ی چهارم است. بنابراین با در نظر گرفتن خوشه‌ها، می‌توان نتیجه گرفت که حداکثر اختلاف بین داده‌های بلانی کریدل با لایسیمتر از حداکثر ۳۷/۶ میلی‌متر تا حداقل ۱۴۲/۴ میلی‌متر نوسان دارد. حال اگر میانگین مقادیر حداکثر و سپس میانگین حداقل اختلاف برای تمام خوشه‌ها جداگانه محاسبه شود، میانگین این دو عدد برابر با ۲۳/۵ میلی‌متر خواهد بود که نشان می‌دهد باید به‌طور متوسط بر خروجی روش بلانی - کریدل، ۲۳/۵ میلی‌متر اضافه کرد تا خروجی آن به مقادیر لایسیمتر، به‌عنوان مناسب‌ترین وسیله‌ی سنجش تبخیر و تعرق نزدیک شود.



شکل ۵. حداقل اختلاف مقادیر تبخیر و تعرق از داده‌های لایسیمتر در مقایسه با خروجی روش بلانی کریدل

د) اصلاح و بومی‌سازی معادله‌ی تبخیر و تعرق منتخب با استفاده از داده‌های مشاهداتی

در این قسمت پس از انتخاب مدل بلانی - کریدل به‌عنوان مدلی مناسب، می‌توان فرایند اصلاح آن را با داده‌های مشاهداتی لایسیمتر بدین‌گونه واسنجی کرد:

- روش واسنجی مدل بلانی کریدل

معادله‌ی خطی:

در این روش از معادله‌ی خطی (رابطه‌ی شماره‌ی ۲) به‌شکل زیر استفاده شده است (فسقندیس و همکاران، ۱۳۸۶:

(۷۲):

$$ETP = a.ETP_{(model)} + b$$

(رابطه‌ی ۲)

ETP = تبخیر و تعرق بالقوه اصلاح شده (واحد میلی متر در ماه)؛

$ETP_{(model)}$ = تبخیر و تعرق محاسبه شده با استفاده از مدل بلانی کریدل (واحد میلی متر در ماه)؛

a, b = ضرایب اصلاحی.

پس از این مرحله، در صورت قوی بودن ضرایب همبستگی بین داده‌های لایسیمتر و خروجی روش بلانی - کریدل برای ایستگاه‌های مطالعاتی، مقادیر ضرایب اصلاحی a و b برای ماه‌های مختلف هر خوشه استخراج شد که نتایج در جدول شماره ۶ آورده شده است.

جدول ۶. مقادیر ضرایب اصلاحی حاصل از همبستگی بین روش بلانی - کریدل و داده‌های مشاهداتی لایسیمتر برای هر خوشه در ماه‌های مختلف

ماه	خوشه‌ی اول		خوشه‌ی دوم		خوشه‌ی سوم		خوشه‌ی چهارم		خوشه‌ی پنجم و ششم	
	ضریب خطی a	ضریب خطی b	ضریب خطی a	ضریب خطی b	ضریب خطی a	ضریب خطی b	ضریب خطی a	ضریب خطی b	ضریب خطی a	ضریب خطی b
Jan	۰/۴۹۵	۱۹/۰۰۸۵	۰/۶۱۳۲	۱۲/۳۳	۰/۲۳۹۵	۷۷/۵۴۹	۰/۴۶۷۱	۳/۶۹۳۵	۰/۴۲۸۵	۱۷/۸۸۴
Feb	۰/۳۶۹	۳۶/۳۲۷۵	۰/۴۷۲۱	۱۶/۱۵۶	۰/۲۱۴۲	۷۷/۰۰۲	۰/۳۸۱۱	۱۱/۴۱۰۵	۰/۵۲۳۱	۱۷/۴۱۸۵
Mar	۰/۲۲۱۴	۷۲/۶۷	۰/۳۲۸	۴۶/۴۹۹	۰/۱۴۰۶	۹۴/۵۹۲	۰/۲۷۷۸	۳۶/۹۲۷۴	۰/۳۲۳۳	۳۵/۴۲۰۵
Apr	۰/۲۸۷۹	۹۸/۳۸۸۵	۰/۲۱۵۶	۹۶/۵۳	۰/۲۰۳۶	۱۱۱/۲۳۸۵	۰/۲۹۹۹	۷۵/۱۲۰۶	۰/۳۸۳۹	۵۳/۴۱۱۵
May	۰/۱۴۳۳	۱۹۰/۰۱۵	۰/۲۸۶۷	۱۴۵/۸۳	۰/۲۳۷۱	۱۱۶/۳۴۱	۰/۳۴۹۱	۱۱۷/۴۰۰۶	۰/۳۱۱۵	۹۱/۰۱۹۵
Jun	۰/۰۹۲۵	۲۵۷/۹۱	۰/۱۲۳۷	۲۴۳/۲۴	۰/۳۷۳۵	۱۰۵/۰۹۲۵	۰/۲۴۹۱	۱۹۶/۹۶۲	۰/۳۱۴۶	۱۰۶/۰۰۵
Jul	۰/۱۰۲	۲۷۹/۶۶	۰/۱۰۹۷	۲۸۱/۲۵	۰/۲۷۰۳	۹۴/۳۳۳۵	۰/۲۱۶۱	۲۴۲/۱۱۶	۰/۳۴۳۱	۱۱۱/۸۱
Aug	۰/۱۱۹۱	۲۵۸/۰۱	۰/۱۴۳۶	۲۶۳/۳۶	۰/۱۵۱۹	۱۱۴/۷۳۶	۰/۲۵۰۱	۲۱۳/۶۹۸	۰/۳۶۰۸	۹۱/۱۸۵
Sep	۰/۱۲۲۸	۲۰۱/۴۸۵	۰/۰۸۰۲	۲۰۵/۳۳	۰/۲۶۲۲	۸۶/۴۷۸	۰/۱۹۷۶	۱۶۶/۷۴۲	۰/۱۹۷۸	۸۷/۲۴۹۵
Oct	۰/۱۸۷۲	۱۳۰/۴۱	۰/۱۲۶۹	۱۲۱/۹۶	۰/۳۴۷۹	۷۸/۱۱۴۵	۰/۳۲۳۷	۸۶/۱۴۶۶	۰/۵۰۱۱	۴۲/۳۸۸۵
Nov	۰/۴۴۲۴	۴۸۰/۸۴۵	۰/۲۲۵۷	۵۱/۸۶۷	۰/۱۷۷۴	۹۸/۵۶۰۵	۰/۳۸۲۳	۳۴/۰۸۵۲	۰/۴۶۲۷	۲۷/۳۹۹۵
Dec	۰/۶۳۴۲	۱۹۰/۸۶۷۵	۰/۳۶۸۸	۲۵/۷۹۵	۰/۳۱۶۷	۷۷/۱۸۷۵	۰/۳۳۷۷	۸/۹۸۶۷	۰/۲۰۹۹	۱۳/۶۰۵۳

نتیجه گیری

ایران سرزمینی است خشک تا نیمه خشک با ریزش‌های جوئی بسیار کم، به گونه‌ای که بارش آن کمتر از یک سوم متوسط بارش دنیاست. شناخت صحیح نیاز آبی در مناطق مختلف جغرافیایی کشور در درجه‌ی اول به محاسبه‌ی درست

تبخیر و تعرق وابسته است. در این پژوهش، برای انتخاب و اصلاح روش مناسب محاسبه‌ی تبخیر و تعرق در کشور، براساس مؤلفه‌ها و متغیرهای جوّی و آب‌وهوایی تأثیرگذار بر میزان تبخیر و تعرق، از ۶۴ ایستگاه همدید و کلیماتولوژی استفاده شده است. براساس سنجش‌های انجام‌شده مشخص شد که طبقه‌بندی کشور بر اساس شش خوشه، شرایط مناسبی را در دسته‌بندی ایستگاه‌ها ارائه می‌دهد. در این خوشه‌بندی، حداکثر تبخیر و تعرق سالانه در خوشه‌ی سوم؛ یعنی نواحی گرم سواحل جنوبی دیده می‌شود. مسلم است که این حداکثر تبخیر و تعرق بالقوه، به دلیل عرض پایین ایستگاه‌ها و تابش نزدیک به قائم خورشید در این نواحی است. اما در خوشه پنج و شش به طور مشترک حداقل مقدار تبخیر و تعرق سالانه مشاهده می‌شود. این خوشه نواحی مرطوب تا بسیار مرطوب سواحل شمالی را در خود جای داده و به علت عرض بالاتر جغرافیایی، دمای کمتر و ابرناکی و بارش زیاد، تبخیر و تعرق بالقوه نسبت به دیگر خوشه‌ها بسیار کمتر است. اما آنچه از آزمون همبستگی بین خروجی روش بلانی - کریدل با مقادیر متغیرهای موجود در رابطه‌ی آن (متوسط دمای روزانه، حداقل رطوبت نسبی، متوسط سرعت باد و ساعت تابش آفتاب) به دست می‌آید، بیانگر تأثیر بیشتر حداقل رطوبت نسبی نسبت به مؤلفه‌های دیگر جوّی در میزان تبخیر و تعرق بالقوه در خوشه‌های سه، پنج و شش بوده است. ولی در خوشه‌های یک، دو و چهار، مؤلفه‌ی دما نسبت به مؤلفه‌های دیگر جوّی و آب‌وهوایی، همبستگی بالاتری با مقادیر تبخیر و تعرق بالقوه نشان می‌دهند. البته پیشنهاد می‌شود که برای یافتن درست‌تر میزان همبستگی داده‌های جوّی، از جمله رطوبت نسبی با مقادیر تبخیر و تعرق، بهتر است از داده‌های نرمال شده‌ی آنها استفاده شود.

در این پژوهش همچنین مشخص شد، گرچه تعدادی از ایستگاه‌های خوشه‌ی دو و چهار در عرض‌های بالاتر قرار گرفته که کاهش زاویه‌ی تابش خورشید را در پی دارد، اما به دلیل ارتفاع زیاد آنها و جو صاف و رقیق، تابش جذب‌شده‌ی خورشید بیشتر بوده که این عامل سبب افزایش مقدار دما و در نتیجه تبخیر و تعرق آنها نسبت به نواحی ساحلی شمال شده است. در مجموع ارزیابی‌های انجام شده، مشخص شد که ماه ژانویه با میانگین ۴۶ میلی‌متر، حداقل و ژوئیه با ۲۵۵ میلی‌متر، حداکثر مقدار تبخیر و تعرق را برای کشور دربردارند.

در ادامه‌ی پژوهش پیش رو با آزمون نتایج چهار معادله‌ی تبخیر و تعرق پیشنهادی آشکار شد که معادله‌ی بلانی کریدل نسبت به نتایج تبخیر و تعرق روش‌های دیگر مورد مطالعه، از اعتبار بیشتری برخوردار است. همچنین در مقایسه میان نتایج روش‌های محاسباتی با داده‌های مشاهداتی نیز مشخص شد که روش بلانی کریدل با بالاترین ضریب همبستگی به میزان $(r = 0.78)$ با تست تبخیر و مقدار $(r = 0.82)$ با لایسیمتر از بالاترین همبستگی در مقایسه با دیگر روش‌های محاسباتی برخوردار است. در نهایت، در قسمت سوم این پژوهش با استفاده از داده‌های مشاهداتی لایسیمتر، معادله‌ی بلانی کریدل برای ماه‌ها و خوشه‌های مختلف کشور و بر اساس شرایط منطقه‌ای و آب‌وهوایی هر خوشه، اصلاح شد که ضرایب اصلاحی a و b آن به صورت میانگین برای ماه‌های مختلف هر خوشه در جدول شماره‌ی ۶ ارائه شده است؛ اما نکته‌ی درخور توجه این است که خروجی مدل اصلاحی تبخیر و تعرق بلانی کریدل، بر اساس میلی‌متر بر ماه است که برای تبدیل به روز باید، تعداد روزهای هر ماه در نظر گرفته شود. بدیهی است از آنجا که در این پژوهش روش پنمن - ماتیس اصلاح شده به کار نرفته، امید است در پژوهش‌های آینده برای دستیابی به نتایج دقیق‌تر، روش مذکور در کنار روش‌های دیگر نیز، به کار برده شود.

منابع

- Amatya, D. M., Skaggs, R. W., Gregory, J. D., 1995, **Comparison of Methods for Estimating REF - ET**, Journal of Irrigation and Drainage Engineering, Vol. 121, No. 6, PP. 427-435.
- Appendini, K., Liverman, D., 1994, **Climate Change and Food Security in Mexico Food Policy**, Agricultural Policy, No.19, PP. 149-164.
- Awad, M.A., 2006, **Water spray as a Potential Thinning Agent for Date Palm Flowers (Phoenix Dactylifera L.)**. ژ.ب. 'مقدس', Scientia Horticulturae, Vol. 111, No. 1&4, PP. 44-48.
- Azizi, GH., 2000, **Estimation of Effective Precipitation in Relationship with Implant of Wheat: (Case Study: Plan Khoramabad)**, Journal of Research Geography, No. 39, PP.115-123.
- Blaney, H.P., Cridle, W.D., 1950, **Determining Water Requirement in Irrigated Areas Climatological and Irrigation Data**, U.S. Soil Conservation Service, Washington, D.C.
- Chavas, D.R., Izaurrealde, R.C., Thomson, M. A., Gao, X., 2009, **Long-term climate change Impacts on Agricultural Productivity in Eastern China**, Agricultural and Forest Meteorology, Vol. 149, PP. 1118-1128.
- DeGaetano, A.T., Shulman, M.D., 1990, **A Climatic Classification of Plant Hardiness in the United States and Canada**, Agricultural and Forest Meteorology, No. 51, PP. 333-351.
- Elsa, E., Moreira, N., Paulo, A., Pereira, L., Mexia, T., 2006, **Analysis of SPI Drought Class Transitions Using Loglinear Models**, Journal of Hydrology, No. 331, PP. 349- 359.
- Fasghandic, E., Sarafei, B., Jahanei, M., Molavei A., 2005, **Evaluating of Models Potential Evaporation Transpiration for Ahar Zone**, Journal of Space of Geography, No. 20, PP. 65-79.
- Fovell, R.G., Fovell, M.Y., 1993, **Climate Zones of the Conterminous United States Defined Using cluster Analysis**, Journal of Climate, No. 6, PP. 2103-2135.
- Hershfield, D. M., 1964, **Effective Rainfall and Irrigation Water Requirements**, J. Irrig. Drainage Engg; ASCE, Vol. 90, No. 2, PP. 33-47.
- Johnson, D.E., 1998, **Applied Multivariate Methods for Data Analysts**, Edit 2, Duxbury Press, New York.
- Mika, J., Horváth Sz., Makra, L., Dunkel, Z., 2005, **The Palmer Drought Severity Index (PDSI) as an Indicator of Soil Moisture**, Physics and Chemistry of the Earth, No. 30, PP. 223-230.
- Mirzaei, S., Shamchei, A., Jahanei M., 1999, **Evaluating and Analysis Models Potential Evaporation Transpiration in Basic Gharesu**, Journal of Space of Geography, No. 23, PP. 147-165.
- Nagy, Z., Pintér, K., Czóbel, Sz., Balogh, J., Horváth, L., Fóti, Sz., Barcza, Z., Weidinger, T., Csintalan, Zs., Dinh N.Q, Grosz, B., Tuba, Z., 2007, **The Carbon Budget of Semi-arid Grassland in a Wet and a Dry Year in Hungary Agriculture, Ecosystems and Environment**, No. 121, PP. 21-29.

- Nassiri, M., Koocheki, A., Kamali, G.A., Shahandeh, H., 2006, **Potential Impact of Climate Change on Rainfed Wheat Production in Iran**, Archives of Agronomy and Soil Science, No. 52, PP. 1-12.
- Ogrosky H.O., Mackus V., 1964, **Hydrology of Agricultural Lands**, Sec. 21 In Handbook Hydrology by V. T. Chow, McGraw Hill, NewYork.
- Sadeghi, R., 2002, **Regional Classification Agriculture in Southern Iran**, Journal of Arid Environments, No. 50, PP. 77-98.
- Saeed, M., 1986, **The Estimation of Evapotranspiration by some Equations under Hot and Arid Conditions**, Trans. ASAE. 29(2): 434-438.
- Shakoor, A., Roshan, Gh. R., Najafe kanei, A., 2010, **Evaluating Climatic Potential for Palm Cultivation in Iran with Emphasize on Degree-Day Index**, African Journal of Agricultural Research, No. 13, PP. 99-118.
- Shayan Nejad, M., 2005, **Comparison of Certitude Methods of Network Neurotic and Penman-Monteith in Calculation of Potential Evaporation Transpiration**, Conference of Management Networks of Irrigation, University of Shahid Chamran, Ahvaz, PP. 1-7.
- Smajstrla, A., Zazueta, S., 2001, **Estimating Crop Irrigation Requirements for Irrigation System Design and Consumptive Use Permitting**; www.fao.org/waicent/faoinfo/agricult/ogl/public.
- Szep, I., Mika, J., Dunkel, Z., 2005, **Palmer Drought Severity Index as Soil Moisture Indicator: Physical Interpretation, Statistical Behavior and Relation to Global Climate**, Physics and Chemistry of the Earth, No. 30, PP. 231-243.
- Tao, F., Yokozawa, M., Hayashi, Y., Lin, E., 2003, **Future Climate Change, the Agricultural Water Cycle, and Agricultural Production in China Agriculture**, Ecosystems and Environment, No. 95, PP. 203-215.
- Van Groenewoud, H., 1984, **The Climatic Regions of New Brunswick: A Multivariate Analysis of Meteorological Data**, Canadian Journal of Forest Research, No. 14, PP. 389-394.
- Vanoosterom, E.J., 1993, **Yield Response of Barely to Rainfall and Temperature in Mediterranean Environments**, Journal of Agricultural Science, No. 21, PP. 301-307.
- Warrington A., 1977, **Crop Phonological Stages**, Australian Journal of Agricultural Research, No. 28, PP. 11-27.
- Zhang Y., 1994, **Numerical Experiments for the Impacts of Temperature and Precipitation on the Growth and Development of Winter Wheat**, Journal of Environment Science, No. 5, PP. 194-200.

Assessing, Modifying and Synthesizing a Suitable Model for Estimation of Potential Evapotranspiration in Iran

Roshan GH.

Assistant Prof., Dep. of Geography, Golestan University, Gorgan

Khoshakhlagh F.*

Assistant Prof., Dep. of Geography, University of Tehran

Karampur M.

Ph.D. Candidate in Climatology, University of Tehran

Received: 03/10/2010

Accepted: 10/12/2011

Extended Abstract

Introduction

Iran is a dry land with very low precipitation. Annual rainfall is less than a third of the average rainfall worldwide. One of the ways of adjusting to drought in Iran, especially with agriculture is the optimal and sustainable use of water resources. Precipitation, surface water and ground water resources have to be used as efficiently as possible. This study would not be practical without first taking into consideration the exact requirements of water for agricultural fields in Iran. Knowledge on the evapotranspiration is very important in irrigation and drainage planning. Evapotranspiration is one of the key components of the hydrologic cycle and its calculation is important for a number of applications such as, the hydrologic balance of water, design and management of irrigation systems, simulation of the amount of products and design, and management of water resources.

Methodology

The key purpose of this research is to assess, modify and localise a potentially suitable evaporation and transpiration model which can be implemented for Iran. The research methodology focuses on three main parts:

- 1- Country clustering based on the climatological effect of evapotranspiration.
- 2- Testing the results of evapotranspiration using proposed relationships.
- 3- Modifying and localizing current evaporation and transpiration models with observed data.

This research takes into account eight components, namely; average temperature difference, minimum average maximum relative humidity, the frequency of occurrence of average wind speeds above 5 knots per sec, the amounts of monthly rainfall, days with rainfall above 10 mm and 5mm, a 25-year record (1980 to 2005) of 64 synoptical and climatological stations in Iran. The purpose of selecting these components has been clustering the studied stations based on effective parameters of evaporation and transpiration in order to after this stage exert for each cluster equal modifying coefficients based on similarity of the stations in evapotranspiration process.

Results and Discussion

* E-mail: fkhosh@ut.ac.ir

In this study, the findings suggest clustering the country into six main parts. Each cluster is based on its geographical and climatic characteristics. The first cluster is the arid to semi-arid regions of the central and south-east. In the first cluster the minimum evapotranspiration is 51 mm for January and the maximum 322 mm for July. The annual average evapotranspiration for the first cluster is 2119 mm. The second cluster is wet and mountainous regions of the north and west. In the second cluster, the minimum evapotranspiration is 21 mm for January and the maximum, 272 mm for July. The annual average evapotranspiration for the second cluster is 1584 mm. The hot region of the southern coasts is the third cluster and in this cluster the minimum evapotranspiration is 118 mm for January and the maximum evapotranspiration 265 mm for June. The annual average evapotranspiration (2291 mm) for the third cluster was found to be the highest. The fourth cluster is cold and dry regions of the north-east to cold and wet regions of the north-west. The minimum evapotranspiration for the fourth cluster is 14 mm for January with a maximum of 283 mm for July. The annual average evapotranspiration for the fourth cluster is 1596 mm ranking in third place amongst the other clusters. The fifth and sixth cluster is a combination of the wet to very wet regions of the north coasts. In the fifth and sixth cluster the minimum and maximum evapotranspiration is 28mm (for January) and 161 mm (for July) respectively. The fifth and sixth cluster has the lowest annual average evapotranspiration (1012 mm) of all the clusters. In future evapotranspiration amounts for base stations can be calculated using proposed relations and the result can then be compared with the results of other methods. The total average is calculated using Blaney Criddle's method which ranks first here with an average of 0.69. The methods of Jensen-Haise, Thornth-Waite, and Hargrives-Samani rank second to fourth respectively here. After selecting Blaney Criddle's model as the most suitable, this model was then calibrated using empirical evaporation data from lysimeter.

Conclusion

Results from clustering Iran based on the evapotranspiration component shows that the annual maximum of this component is allocated to the third cluster or hot regions of the southern coasts. This maximum potential evapotranspiration is likely due to the low latitudinal location of cluster 3 (hot regions of the southern coasts). Clusters 5 and 6 (wet to very wet regions of the north coasts) have jointly the lowest annual average evapotranspiration amount. This low evapotranspiration amount is likely due to the lower elevation (sea level) of cluster 5 and 6. In addition to the location of cluster 5 and 6 at higher latitudes may account for the cluster having the lowest potential evapotranspiration when compared with the other clusters. The result obtained from the correlation between the output of Cradles' model (temperature, minimum relative humidity, mean wind speed, sunshine hours) reveal that minimum relative humidity has the most effect in comparison with the other climatic factors in the amount of potential evapotranspiration for clusters 3, 5 and 6. In clusters 1, 2 and 4, this component was temperature showing more correlation with the values of potential evapotranspiration. It is recommended utilizing normalized data in future to obtain more appropriate correlations between climatic parameters with evapotranspiration.

Keywords: Potential Evapotranspiration, Empirical Data, Assessing and Synthesis, Clustering, Iran.