

مقایسه‌ی روش‌های مختلف تخمین تبخیر- تعرق بالقوه بر نتایج شاخص شناسایی خشکسالی (RDI) در استان تهران

فرهاد ترابی طباطبایی^۱، سید امیر شمس نیا^{۲*}

چکیده

خشکسالی یکی از مهمترین بلایای طبیعی است که زیان‌های فراوانی را بر بخش کشاورزی و منابع آبی وارد می‌سازد. به منظور پایش و سنجش خشکسالی در هر منطقه و تجزیه و تحلیل آماری این پدیده لازم است از شاخص‌هایی استفاده گردد. اخیراً، از یک شاخص خشکسالی قدرتمند به نام شاخص شناسایی خشکسالی^۳، استقبال وسیعی گردیده و به طور عمده در مناطق خشک و نیمه خشک آب و هوایی به کار گرفته شده است. از آنجا که شاخص RDI از دو فرانسج بارش و تبخیر-تعرق بالقوه (PET) تشکیل شده، ارزیابی روش محاسبه PET و تاثیر آن بر خصوصیات شدت خشکسالی به دست آمده به وسیله ی شاخص RDI ضروری است. در این تحقیق مقایسه نتایج حاصل از شاخص RDI برای دوره‌های مختلف زمانی براساس پنج روش محاسبه تبخیر-تعرق بالقوه با حداقل داده‌های لازم انجام شده است. این روش‌ها عبارتند از: هارگریوز-سامانی، ترنت-وایت، بلانی-کریدل، جنسن-هیز و فائو-پنمن-مانتیت. روش فائو-پنمن-مانتیت به عنوان روش مرجع و مبنای مقایسه استفاده شده است. از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی در استان تهران استفاده شده که نماینده آب و هوایی اقلیم‌های مختلف هستند. نتایج نشان دادند که روش‌های مختلف محاسبه PET تأثیر قابل توجهی بر نتایج RDI ندارند. در میان روش‌های مختلف تبخیر-تعرق بالقوه، در اکثر ایستگاه‌های هواشناسی مطالعه شده، روش بلانی-کریدل نزدیک‌ترین نتایج را با روش مرجع داشته و نسبتاً مناسب‌تر است. این امر نشان می‌دهد که RDI شاخصی قوی برای ارزیابی شدت خشکسالی بوده و شدت‌های خشکسالی محاسبه شده با کاربرد روش‌های مختلف محاسبه تبخیر-تعرق بستگی ندارد.

کلمات کلیدی: خشکسالی، شاخص شناسایی خشکسالی، تبخیر-تعرق بالقوه

^۱ دانش آموخته ی کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیراز، شیراز، ایران

^۲ باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران

تلفن: ۰۹۱۷۱۱۲۴۸۵۷ Email: ashamsnia_82@yahoo.com

مقدمه

خشکسالی به عنوان بلائی طبیعی و پدیده‌ای اجتناب‌ناپذیر، از دیرباز در پهنه‌ی وسیع سرزمین‌های مختلف، به خصوص کشورهای مستقر در مناطق گرم و خشک به وفور رخ داده است. خشکسالی یکی از پیچیده‌ترین بلاهای طبیعی بوده، و از آنجا که تعیین زمان شروع و پایان آن اغلب دشوار است خشکسالی را به عنوان یک "خزنده خطرناک طبیعی" توصیف می‌کنند (ویلهایت، ۱۹۹۳). بررسی خشکسالی به عنوان مشکلی که تنها مناطق نیمه خشک و خشک را در بر می‌گیرد صحیح نیست، زیرا خشکسالی از ویژگی‌های طبیعی هر اقلیم است و تقریباً در هر منطقه‌ی اقلیمی رخ می‌دهد، ولی ویژگی‌ها و مشخصه‌های آن از منطقه‌ای به منطقه دیگر به طور قابل ملاحظه‌ای تفاوت دارند. مطالعات انجام شده نشانگر آنند که ایران با توجه به وضعیت جغرافیایی و اقلیمی خود، همچون بسیاری از کشورها در وضعیت مناسبی از لحاظ تأمین آب قرار ندارد. زیان‌های ناشی از خشکسالی معمولاً غیرساختاری است و وسعت مناطق آسیب دیده و اثرات اجتماعی آن در مقایسه با سایر بلاهای طبیعی بیشتر بوده، و اثرات اجتماعی، اقتصادی و زیست محیطی آن مدت‌ها پس از پایان خشکسالی باقی خواهد ماند (بری ابر قویی و همکاران، ۱۳۸۲). در راستای ارزیابی خشکسالی، شاخص‌ها ابزار مهمی هستند و ارتباط دقیقی را بین بسیاری از فراسنجهای اقلیمی برقرار می‌کنند. اطلاعات بدست آمده از شاخص‌ها می‌تواند برای برنامه ریزان، طراحان و مدیران منابع آب مفید باشد. مطالعات مقایسه‌ای شاخص‌ها نیز این امر را نشان می‌دهد (ریچارد و هم، ۲۰۰۲؛ هیز، ۲۰۰۴؛ تساکریس و همکاران، ۲۰۰۷). شاخص‌هایی مانند شاخص شدت خشکسالی پالم (۱۹۶۵)، شاخص رطوبت گیاه (CMI)، شاخص ذخیره آب سطحی (SWSI)، شاخص درصد بهنجار (PN) و شاخص معیار شده بارش (SPI) مهمترین شاخص‌هایی هستند که به طور گسترده استفاده شده است. در میان شاخص‌های متعدد پایش خشکسالی، شاخص SPI به طور گسترده‌ای استفاده می‌شود (هیز و اسوبودا، ۱۹۹۹؛ تساکریس و ونجلیس، ۲۰۰۴؛ شمس نیا و همکاران، ۲۰۰۹). شاخص SPI برای اولین در کلرادو ارائه گردید (مکی و همکاران، ۱۹۹۳). این شاخص تنها از فراسنج بارش جهت پایش خشکسالی استفاده می‌کند، دوره‌های خشک و تر را نشان می‌دهد، و در مقیاس‌های

مختلف زمانی جهت پایش انواع خشکسالی‌ها کاربرد دارد (پیرمردیان و همکاران، ۱۳۸۷). اخیراً شاخصی به نام شاخص شناسایی خشکسالی ارائه گردیده (تساکریس و ونجلیس، ۲۰۰۴) که محاسبه آن براساس دو فراسنج بارش و تبخیر-تعرق بالقوه است. از آنجائی که بارش به تنهایی نمی‌تواند نشان دهنده‌ی شدت خشکسالی باشد، لذا تحقیقات مختلف نشان داده استفاده از دو فراسنج بارش و تبخیر-تعرق با هم باعث اعتبار بخشی به نتایج پایش خشکسالی می‌شود (تساکریس و همکاران، ۲۰۰۷). پایش و ارزیابی شدت خشکسالی در چهار منطقه در کشور یونان (تیگکاس، ۲۰۰۸)، قبرس (پاشی آردیس و میکائیلیدس، ۲۰۰۸) و ایران (خلیلی و همکاران، ۲۰۱۱) به وسیله‌ی این شاخص انجام گرفته است. نتایج تحقیق خلیلی و همکاران (۲۰۱۱) نشان داد که شاخص RDI می‌تواند نسبت به تغییرات اقلیمی حساستر باشد. این مسئله در باره‌ی بررسی خشکسالی‌های کشاورزی اهمیت زیادی داشته و به نظر می‌رسد برای این هدف بهتر باشد. در پژوهشی دیگری که در ایران انجام گرفته از دو شاخص SPI و RDI در مقیاس‌های زمانی ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه در ۴۰ ایستگاه سینوپتیک استفاده گردیده است. نتایج نشان دادند که همبستگی این دو شاخص در مقیاس‌های ۳، ۶ و ۹ ماهه بیشتر از مقیاس‌های بالاتر است. نتایج حاصل از پهنه‌بندی نشان دادند که در سال ۲۰۰۰-۱۹۹۹ بخش‌های مرکزی، شرقی و جنوب شرقی ایران با شرایط بسیار خشک روبرو بوده‌اند. بقیه‌ی قسمت‌های کشور نیز با شرایط خشکسالی شدید روبرو بوده‌اند. از آنجائی که شاخص RDI براساس بارش و تبخیر-تعرق است، و تبخیر-تعرق نقش مهمی را در تلفات آب دارد، می‌تواند در نظارت بر خشکسالی در ایران ارزشمند باشد (اسدی زارچ و همکاران، ۲۰۱۱). زندی لک و همکاران (۱۳۹۳) نیز دوره‌ی بازگشت خشکسالی گندم را در استان فارس بر مبنای شاخص RDI ارزیابی قرار کردند. پس از طبقه بندی شدت خشکسالی مشخص شد که خشکسالی کشاورزی گندم در دوره‌های بازگشت ۲ و ۵ سال در کل استان فارس بهنجار است، ولی در دوره‌های بازگشت ۱۰، ۲۵ و ۵۰ سال شرایط متفاوت است. بررسی روند خشکسالی به کمک شاخص RDI، و با استفاده از آزمونهای آماری فراسنجیک و نافرسانجیک در ۱۶ ایستگاه طی دوره آماری ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۰ نشان دادند براساس وایزری در مقیاس سالانه در

منطقه‌ی مطالعه شده

استان تهران در شمال ایران، در کوهپایه‌های جنوبی رشته‌کوه البرز در حدّ فاصل طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۲ دقیقه شرقی تا ۵۱ درجه و ۳۶ دقیقه شرقی، به طول تقریبی ۵۰ کیلومتر و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۳۴ دقیقه شمالی تا ۳۵ درجه و ۵۰ دقیقه شمالی به عرض تقریبی ۳۰ کیلومتر گسترده شده‌است. ارتفاع شهر در بلندترین نقاط شمال به حدود ۲۰۰۰ متر و در جنوبی‌ترین نقاط به کمتر از ۱۰۰۰ متر از سطح دریا می‌رسد. تهران از شمال به نواحی کوهستانی، و از جنوب به نواحی کویری منتهی شده، در نتیجه در جنوب و شمال دارای آب و هوایی متفاوتند. نواحی شمالی از آب و هوای سرد و خشک و نواحی جنوبی از آب و هوای گرم و خشک برخوردارند. موقعیت جغرافیایی استان تهران و ایستگاههای مطالعه گردیده در شکل (۱) نشان داده شده است.

روشهای محاسباتی:

محاسبه‌ی شاخص شناسایی خشکسالی (RDI):

این شاخص براساس دو فراسنج بارش و تبخیر-تعرق بالقوه عمل می‌کند. نحوه‌ی محاسبه شاخص به شرح زیر است

(تساکریس و ونجلیس، ۲۰۰۵). ابتدا با استفاده از رابطه

زیر برای هر سال (i) از دوره آماری مورد مطالعه مقداری با عنوان a_0 محاسبه می‌شود:

$$a_0^{(i)} = \frac{\sum_{j=1}^{12} P_j}{\sum_{j=1}^{12} PET_j}, i=1(1)N \quad \text{and } j=1(1)12 \quad (1)$$

P: بارندگی، ET: تبخیر-تعرق بالقوه در زمین ماه سال i. مقدار i از یک تا N (تعداد سال‌هایی است که آمار آن در دسترس است) تغییر خواهد کرد. چنانچه بارندگی و تبخیر-تعرق به صورت سالانه محاسبه شوند نیازی به جمع کردن مقادیر ماهانه در رابطه نیست. گام بعدی تعیین شاخصی با عنوان RDI بهنجار (RDI_n) هر سال است که از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$RDI_n^{(i)} = \frac{a_0^{(i)}}{\bar{a}} - 1 \quad (2)$$

در این رابطه \bar{a} میانگین حسابی اعداد a_0 هر سال است. جهت محاسبه شاخص معیار شده RDI (RDI_s) از

۳۷/۵ درصد ایستگاه‌ها خشکسالی رخ داده است. براساس آزمون من کندال و اسپیرمن نیز تقریباً در ۵۰ درصد ایستگاه‌ها روند کاهش شاخص RDI معنادار بوده است. همچنین نتایج نشان دادند که فراوانی روند کاهش شاخص RDI در مقیاس‌های کوتاه مدت بیشتر است (زارعی و همکاران، ۲۰۱۶). در محاسبه‌ی شاخص RDI این نکته حائز اهمیت است که بارش یک فراسنج ثابت است و به عنوان مقداری کمی در معادله وارد می‌شود. اما تبخیر-تعرق بالقوه فراسنجی است که نیاز به اندازه‌گیری داشته و عموماً به وسیله‌ی روشهای تجربی محاسبه می‌گردد، لذا مقادیر حاصل از روش‌های مختلف می‌تواند با ثابت در نظر گرفتن بارش در نتایج حاصل از پایش خشکسالی در مقیاس‌های مختلف زمانی مؤثر باشد. هیچ یک از معادلات ارائه شده در زمینه‌ی محاسبات تبخیر-تعرق به طور کامل برای مناطق مختلف پذیرفته نشده است و بعضاً نیاز به واسنجی دارند. در میان معادلات مختلف جهت محاسبه تبخیر-تعرق بالقوه، معادله فائو-پنمن-مانتیت(آلن و همکاران، ۱۹۹۸) به طور گسترده‌ای مورد پذیرش محققین قرار گرفته است (جابلون و سهلی، ۲۰۰۸؛ فولادمند، ۲۰۱۱). تخمین تبخیر-تعرق بالقوه به وسیله‌ی این معادله نیاز به فراسنجهای مختلف هواشناسی، شامل حداقل و حداکثر دما، حداقل و حداکثر رطوبت نسبی، سرعت باد و ساعات آفتابی دارد. این اطلاعات از طریق ایستگاه‌های سینوپتیک و خودکار قابل دسترسی است، اما در ایران و بسیاری از کشورهای در حال توسعه ایستگاه‌های خودکار به تعداد محدود و معمولاً فقط در مراکز شهرستان‌ها وجود دارند. در بسیاری از مناطق کشور ایستگاه‌های بارانسنجی و تبخیرسنجی وجود دارند که اطلاعات بارش و دما را به‌طور مرتب ثبت می‌کنند. به همین دلیل، می‌توان از معادلات تجربی به عنوان جایگزین معادله فائو-پنمن-مانتیت استفاده کرد و با داشتن داده‌های محدودتری تبخیر-تعرق بالقوه را محاسبه نمود. لذا در محاسبه شاخص RDI با ثابت در نظر گرفتن فراسنج بارش می‌توان تاثیر نتایج حاصل را از تخمین تبخیر-تعرق بالقوه با کاربرد روش‌های مختلف بر محاسبه شاخص RDI در مقیاس‌های مختلف زمانی بررسی نمود. لذا هدف از تحقیق حاضر ارزیابی تاثیر تعدادی از روش‌های متداول محاسبه تبخیر-تعرق بالقوه با داشتن حداقل داده‌ی لازم در تخمین شاخص RDI و ارزیابی مشخصات خشکسالی است.

آب، روشهای تحلیلی براساس متغیرهای آب و هوایی و روشهای تجربی (استرژیک و ویتتر، ۱۹۹۷). دسته‌ی اول، روشهای مبتنی بر اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی یا مزرعه-ای است. دسته‌ی دوم، تبخیر-تعرق براساس روابط ریاضی محاسبه می‌شود که تمرکز آن بر دو مولفه‌ی اصلی تعادل انرژی و انتقال جرم است. روش فائو-پنمن-مانتیت از دسته‌ی دوم روشهای محاسبه تبخیر-تعرق بالقوه است. دسته‌ی سوم عموماً روشهای محاسباتی مبتنی بر دما هستند که به دلیل محدود بودن داده‌های لازم بسیار ارزشمندند. روش‌های محاسباتی بلانی-کریدل، ترنت-وایت، هارگریوز-سامانی و جنسن-هیز از این دسته به شمار می‌روند. در مطالعه‌ی حاضر روشهای تجربی ذکر شده انتخاب گردیده، تبخیر-تعرق بالقوه محاسبه شده و نتایج آنها در محاسبه‌ی شاخص RDI با نتایج حاصل از روش فائو-پنمن-مانتیت به عنوان روش مبنا مقایسه گردیده است.

روش فائو-پنمن-مانتیت:

از روش فائو-پنمن-مانتیت به عنوان یکی از معتبرترین روش‌ها برای تخمین ET_0 استفاده می‌کنند. در روش مذکور گیاه مرجع یک پوشش چمن فرضی است که ارتفاع آن ۱۲ سانتی متر و ضریب بازتاب تابش در آن ۲۳ درصد (در گیاه چمن واقعی این مقدار ۲۵ درصد) است. در روش فائو-پنمن-مانتیت فرض می‌شود که کل سطح پوشش گیاهی، یک برگ بزرگ با روزنه‌های موجود در آن است. به همین دلیل روش فائو-پنمن-مانتیت را روش برگ بزرگ هم می‌گویند. مقاومت روزنه‌ها در برابر خروج آب در روش فائو-پنمن-مانتیت از ۳۰ ثانیه بر متر برای گیاهان مناطق خشک تا ۱۵۰ ثانیه بر متر در پوشش‌های متغیر است که در گیاه فرضی مرجع ۷۰ ثانیه بر متر فرض شده است با توجه به این فرضیات معادله‌ی فائو-پنمن-مانتیت به صورت زیر است:

$$PET = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + \gamma [900 / (T + 273)] U_2 (e_s - e_d)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 U_2)} \quad (4)$$

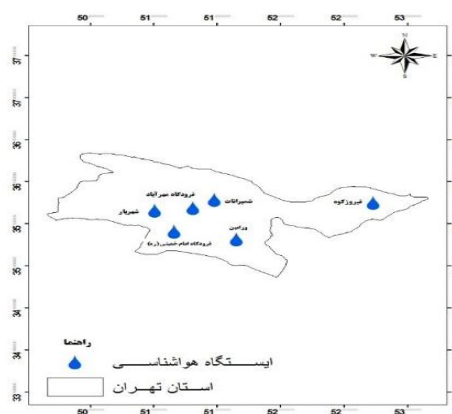
PET : تبخیر-تعرق بالقوه بر حسب میلی متر بر روز، Δ : شیب منحنی فشار بخار اشباع و دما بر حسب کیلوپاسکال بر درجه سانتی‌گراد، R_n : تشعشع خالص دریافتی در سطح گیاه بر حسب مگاژول بر مترمربع در روز، G : شار گرمایی خاک بر حسب مگاژول بر مترمربع در روز،

مقادیر سالانه‌ی a_0 لگاریتم گرفته که عددی با عنوان y_i به دست می‌آید.

سپس میانگین حسابی و انحراف معیار معیار این اعداد محاسبه و به ترتیب \bar{y}_k و $\hat{\sigma}_{yk}$ نامیده می‌شوند و نهایتاً شاخص معیار RDI به دست می‌آید.

$$RDI_{s(k)}^{(i)} = \frac{y_k^{(i)} - \bar{y}_k}{\hat{\sigma}_{yk}} \quad (3)$$

این شاخص می‌تواند با در نظر گرفتن مقیاس‌های مختلف زمانی و به صورت سالانه وضعیت خشکسالی را پایش کند.



شکل (۱)- موقعیت جغرافیایی استان تهران و ایستگاه های هواشناسی مطالعه شده

تخمین تبخیر-تعرق بالقوه

جهت محاسبه و تخمین تبخیر-تعرق بالقوه روشهای متعددی وجود دارند. براساس روش محاسبه به سه دسته تقسیم بندی می‌شوند: روشهای هیدرولوژیکی یا بیلان

$$U_{2m} = U_z \left(\frac{2}{z} \right)^{0.15} \quad (7)$$

روش ترنت وایت

در این روش می توان با استفاده از میانگین دمای کلیه ی ماه های سال تبخیر-تعرق بالقوه گیاه مرجع را برای هر ماه سال به صورت جداگانه محاسبه نمود. برای این منظور ابتدا شاخص حرارتی هر ماه سال محاسبه می شود (تورنتوایت، ۱۹۴۸).

$$i_m = \left(\frac{T_m}{5} \right)^{1.51} \quad (8)$$

در معادله ی فوق i_m شاخص حرارتی هر ماه سال و T_m میانگین دمای هر ماه سال بر حسب درجه سانتی گراد است. لازم به ذکر است چنانچه میانگین دمای ماه هایی از سال برابر صفر یا عددی منفی باشد، برای آن ماه ها i_m برابر با صفر در نظر گرفته می شود. پس از محاسبه ی شاخص حرارتی هر ماه سال، شاخص حرارتی سالانه از جمع شاخص حرارتی ۱۲ ماه سال محاسبه می گردد:

$$I_m = \sum i_m \quad (9)$$

I_m شاخص حرارتی سالانه است. پس از محاسبه ی شاخص حرارتی سالانه، ضریب a محاسبه می شود:

$$a = 6.75 \times 10^{-7} I^3 - 7.71 \times 10^{-5} I^2 + 1.792 \times 10^{-2} I + 0.492$$

در ادامه تبخیر-تعرق بالقوه گیاه مرجع برای هر ماه سال محاسبه خواهد شد:

$$PET = 16M \left(\frac{10T_m}{I} \right)^a \quad (10)$$

در معادله ی فوق PET مجموع تبخیر-تعرق بالقوه گیاه مرجع در ماه شاخص بر حسب میلی متر در ماه، و M ضریبی است که با توجه به عرض جغرافیایی منطقه تعیین می گردد. در روش ترنت وایت برای محاسبه-ی تبخیر-تعرق بالقوه گیاه مرجع برای یک ماه سال باید میانگین دمای سایر ماه های سال نیز موجود باشد. همچنین، در ماهی با میانگین دمای صفر یا منفی این روش قادر به محاسبه تبخیر-تعرق بالقوه گیاه مرجع نیست.

روش هارگریوز-سامانی-سامانی

روش هارگریوز-سامانی برای محاسبه تبخیر-تعرق در دوره های یک تا چند روز، هفتگی، ۱۰ روزه و یا ماهانه به

γ : ثابت سایکرومتری بر حسب کیلوپاسکال بر درجه ی سانتی گراد، T : میانگین روزانه ی دمای هوادر ارتفاع ۲ متری از سطح زمین بر حسب درجه سانتیگراد، U_2 : میانگین روزانه سرعت باددر ارتفاع ۲ متری از سطح زمین بر حسب متر بر ثانیه، e_s : فشار بخار اشباع بر حسب کیلوپاسکال، e_a : فشار واقعی بخار بر حسب کیلوپاسکال، $e_s - e_a$: کمبود فشار بخار اشباع بر حسب کیلوپاسکال هستند.

روش بلانی-کریدل

یکی از قدیمی ترین روشهای تخمین تبخیرتعرق پتانسیل است که برای تخمین تبخیر و تعرق گیاه مرجع چمن به صورت زیر ارائه شده است (دورنباس و پرویت، ۱۹۷۷).

$$PET = a + b[P(0.46T + 8.13)] \quad (5)$$

PET : تبخیر-تعرق بالقوه بر حسب میلی متر بر روز، P : ضریب مربوط به طول روز یا درصد سالانه ی تابش آفتاب در ماه که به صورت روزانه توصیف شده است T : m به وسیله ی ماهانه درجه حرارت، $^{\circ}C$ ، a ، b : ضرایب اقلیمی. ضرایب a و b بستگی به حداقل رطوبت نسبی هوا (RH_{min})، نسبت ساعات واقعی آفتاب (n) به حداکثر ممکن ساعت آفتابی (N) یعنی n/N و سرعت باد در روز (U_{day}) دارد. مقادیر a و b را می توان از معادله های زیر به دست آورد:

$$(6)$$

$$a = 0.0043 (RH_{min}) - \frac{n}{N} - 1.14$$

$$b = 0.82 - 0.0041 (RH_{min}) + 1.07 \left(\frac{n}{N} \right) + 0.066 (U_{day}) - (RH_{min}) \frac{n}{N} - 0.0006 (RH_{min}) (U_{day})$$

در این معادله؛ n تعداد ساعات واقعی آفتاب، N حداکثر ساعات ممکن آفتاب، RH_{min} حداقل رطوبت نسبی (درصد) و U_{day} سرعت باد در طول روز در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین (متر بر ثانیه) است. چنانچه آمار اندازه گیری سرعت باد در ارتفاع دیگری مثلاً Z در اختیار باشد برای استفاده در رابطه لازم است سرعت باد در ارتفاع Z به سرعت باد در ارتفاع ۲ متری تبدیل شود. برای این منظور از رابطه تجربی زیر استفاده می شود:

معادله‌های سه شاخص آماری استفاده شده به صورت زیر است:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_{est,i} - X_{obs,i})^2} \quad (15)$$

$$MBE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_{est,i} - X_{obs,i}) \quad (16)$$

$$R^2 = \frac{(\sum_{i=1}^n (x_{est,i} - \bar{x}_{est})(x_{obs,i} - \bar{x}_{obs}))^2}{\sum_{i=1}^n (x_{est,i} - \bar{x}_{est})^2 \sum_{i=1}^n (x_{obs,i} - \bar{x}_{obs})^2} \quad (17)$$

که در آنها n تعداد کل مشاهدات، X_{est} مقدار برآورد شده به وسیله ی هر یک از روش های تحت بررسی و X_{obs} ارزش محاسبه شده به وسیله ی روشی است که به عنوان مرجع انتخاب گردیده است. مقدار آرمانی برای MBE و RMSE صفر و برای R^2 برابر با یک است (گانهان و همکاران، ۲۰۰۵).

در تحقیق حاضر از آمارماهانه‌ی شش ایستگاه سازمان هواشناسی استان تهران با پراکنش در سطح استان تهران، و در نظر گرفتن تفاوت های اقلیمی از سال تأسیس هر ایستگاه تا پایان سال ۲۰۱۳ استفاده گردید. حداقل آمار ۴ سال و حداکثر برابر با ۲۱ سال است. به منظور بهره گیری از آمارهای اشاره شده، ابتدا داده های بارش ماهانه ی کلیه ایستگاه ها به لحاظ صحت و همگنی از طریق روش آماری آزمون رشته ای، بررسی شد. سپس محاسبه ی پنج روش تبخیر-تعرق بالقوه انجام گرفت و براساس نتایج حاصله شاخص RDI با استفاده از هریک از روش های تخمین تبخیر-تعرق بالقوه در بازه های زمانی ۳ ماهه، ۶ ماهه و یک ساله محاسبه گردیدند. با استفاده از شاخص های آماری نیز عملکرد هریک از روشها بررسی گردید و در نهایت نتایج مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

نتایج

به منظور بررسی تأثیر روش های مختلف تخمین تبخیر-تعرق بالقوه در محاسبه ی شاخص RDI، داده های شش ایستگاه هواشناسی با توجه به دوره آماری موجود استفاده شد. پس از محاسبه ی تبخیر-تعرق بالقوه مقدار RDI_{ist} برای هر یک از روش ها در دوره های مختلف زمانی (۳ ماهه، ۶ ماهه و ۱۲ ماهه) محاسبه و نمودار آن رسم شده است. با توجه به حجم زیاد نتایج، ایستگاه شمیران به عنوان ایستگاه منطقه ی کوهستانی و در شمال استان تهران با رقوم ارتفاعی ۱۵۴۹ متر از سطح دریا، و ایستگاه

کار برده می شود، اما بهترین نتیجه را برای دوره های هفتگی و ۱۰ روزه داده است. چنانچه میانگین دمای روزانه در دوره ی شاخص، T (بر حسب درجه سانتی گراد) و میانگین دامنه ی تغییرات دمای روزانه (اختلاف حداکثر حداقل دما) در دوره ی مذکور TR باشد، تبخیر-تعرق گیاه مرجع چمن (PET) بر اساس روش پیشنهادی هارگریوز-سامانی (هارگریوز و سامانی، ۱۹۸۵) محاسبه می شود:

$$PET = 0.0023 R_p (T + 17.8) \sqrt{TR} \quad (11)$$

در معادله فوق R_a تابش برون زمینی می باشد. هر واحدی که برای R_a انتخاب شود PET نیز بر حسب همان واحد خواهد بود. مقدار R_a برای عرض های جغرافیایی مختلف متفاوت است.

$$T = \frac{T_{max} + T_{min}}{2} \quad (12)$$

$$TR = T_{max} - T_{min} \quad (13)$$

روش جنسن - هیز

معادله ی کلی محاسبه تبخیر-تعرق بالقوه گیاه مرجع از این روش به صورت زیر می باشد (جنسن و هیز، ۱۹۶۳):

$$PET = 23.9 \times (0.025 \times T_m + 0.08) \times \frac{R_a}{59} \quad (14)$$

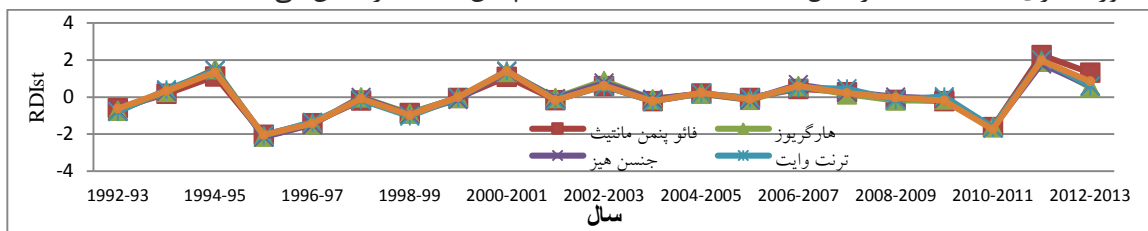
در معادله ی فوق PET تبخیر-تعرق بالقوه گیاه مرجع بر حسب میلی متر بر روز، T_m میانگین روزانه ی دمای هوا بر حسب درجه سانتی گراد، و R_a تابش برون زمینی بر حسب مگاژول بر متر مربع در روز است. برای محاسبه ی تبخیر-تعرق بالقوه گیاه مرجع، روش جنسن-هیز به عرض جغرافیایی منطقه و داده های هواشناسی حداقل و حداکثر دما و ساعات آفتابی واقعی نیازمند است.

چگونگی ارزیابی عملکرد روشهای تخمین تبخیر-تعرق بالقوه و محاسبه ی شاخص RDI با استفاده از شاخص های آماری

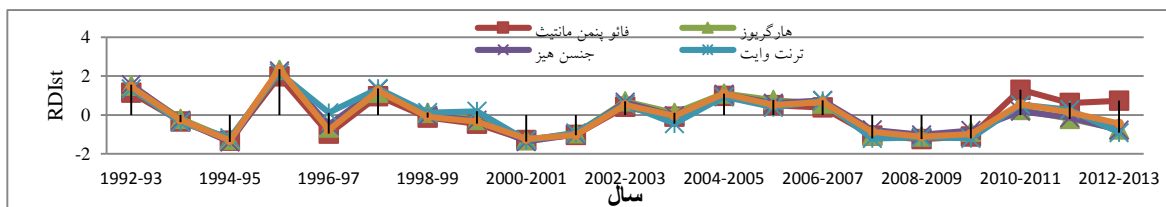
به منظور مقایسه ی تأثیر روش های مختلف PET بر ارزش RDI، سه شاخص آماری که به طور گسترده استفاده می-شوند، انتخاب گردیده اند: خطای جذر میانگین مربعات، میانگین خطای انحرافی و ضریب همبستگی.

انتخاب گردید. نتایج حاصل از مقایسه روشهای مختلف تبخیر-تعرق بالقوه در محاسبه‌ی شاخص RDI در شکل های ۹ تا ۱۵ نشان داده شده‌اند. در مقیاس زمانی ۳ ماهه در دوره‌ی سه ماه اکتبر تا دسامبر دوره‌ی سه ماهه‌ی ژانویه تا مارس روش ترنت وایت نتایج متفاوتی را نسبت به سایر روش ها در مقایسه با روش مرجع نشان داده‌اند. اما در دو دوره‌ی سه ماهه آوریل تا ژوئن و ژوئیه تا سپتامبر نتایج تمام روشها تقریباً مشابه یکدیگرند. در مقیاس شش ماهه اکتبر تا مارس نیز روش ترنت وایت در بیشتر سالها نتایج متفاوتی داشته‌اند. در مقیاس زمانی سه ماهه در سالهای ۲۰۰۴-۲۰۰۵، ۲۰۰۵-۲۰۰۶، ۲۰۱۰-۲۰۱۱ و ۲۰۱۱-۲۰۱۲ روش هارگریوز-سامانی نیز نتایج متفاوتی را نسبت به سایر روشها و در مقایسه با روش مرجع از خود نشان می دهد. به طور کلی، در هر سه دوره‌ی زمانی در اکثر سالها روش بلانی-کریدل نتایج مشابهی با روش فائو-پنمن-مانتیت را نشان می دهد.

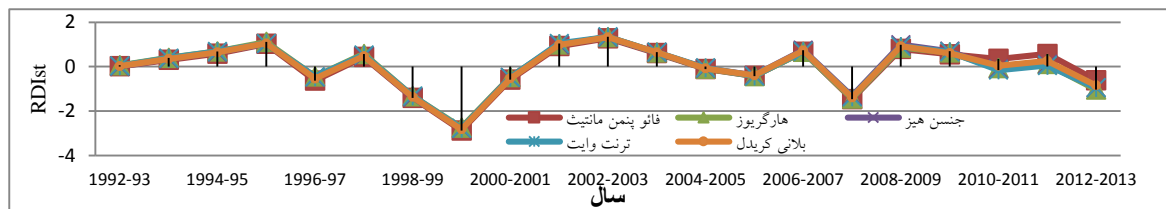
فرودگاه امام خمینی(ره) با تفاوت آب و هوایی در جنوب استان تهران با رقوم ارتفاعی ۹۹۰/۲ متر از سطح دریا انتخاب گردیده و نمودارها نشان داده شده‌اند. نتایج مقایسه‌ی آماری مربوط به کلیه ایستگاهها نیز نشان داده شده‌اند. شکل های ۲ تا ۸ نشان می دهند که در ایستگاه شمیران در هر سه دوره ۳ ماهه، ۶ ماهه و یک ساله نتایج RDIst برای تمام روش ها بسیار نزدیک به روش مرجع بوده‌اند. اگرچه در سالهای ۲۰۱۰-۲۰۱۱ و ۲۰۱۱-۲۰۱۲ و ۲۰۱۲-۲۰۱۳ در دو نمودار ۶ ماهه و یک ساله و سالهای ۲۰۱۱-۲۰۱۲ و ۲۰۱۱-۲۰۱۳ در نمودار ۳ ماهه نتایج مقداری فاصله دارد، اما به طور کلی می توان گفت در میان روش ها، روش بلانی- کریدل نتایج نسبتاً نزدیک تری را نشان می دهند. البته اظهار نظر دقیق بایستی به وسیله‌ی نتایج حاصل از شاخص های آماری صورت گیرد. با توجه به کمبود سالهای آماری در ایستگاه فرودگاه امام خمینی (ره) دوره آماری مطالعه شده از سال ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۳



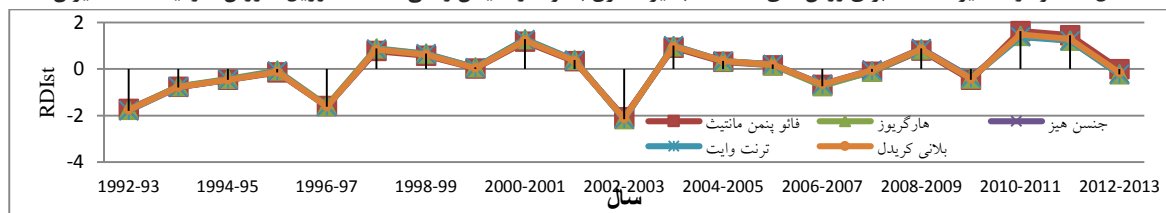
شکل ۱- نمودار مقادیر RDIst برای روش های مختلف تبخیر- تعرق بالقوه در مقیاس زمانی ۳ ماهه (اکتبر تا دسامبر) در ایستگاه شمیران



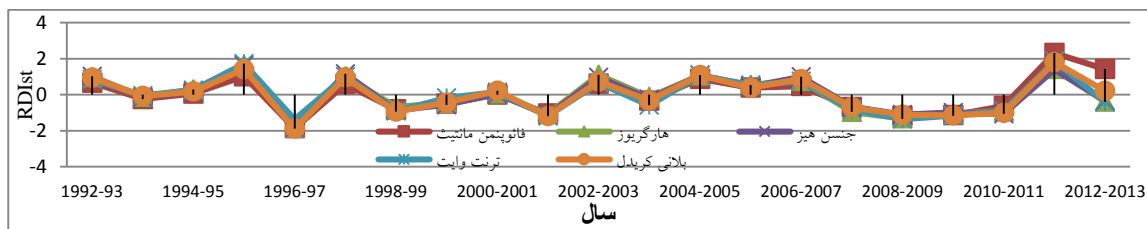
شکل ۲- نمودار مقادیر RDIst برای روش های مختلف تبخیر- تعرق بالقوه در مقیاس زمانی ۳ ماهه (ژانویه تا مارس) در ایستگاه شمیران



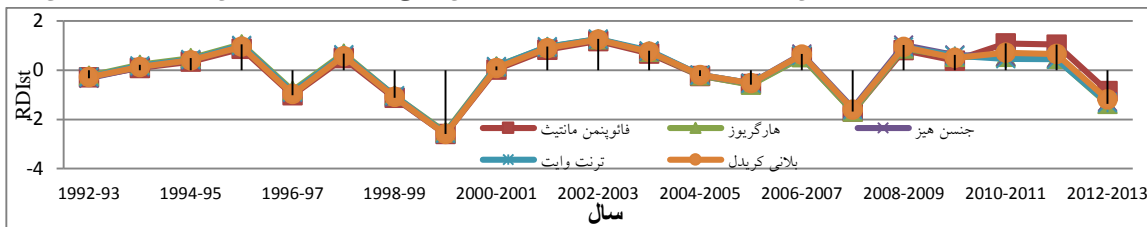
شکل ۳- نمودار مقادیر RDIst برای روش های مختلف تبخیر- تعرق بالقوه در مقیاس زمانی ۳ ماهه (آوریل تا ژوئن) در ایستگاه شمیران



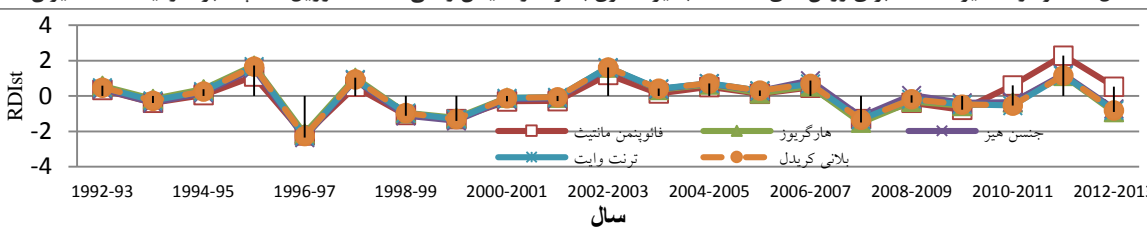
شکل ۴- نمودار مقادیر RDIst برای روش های مختلف تبخیر- تعرق بالقوه در مقیاس زمانی ۳ ماهه (ژوئیه تا سپتامبر) در ایستگاه شمیران



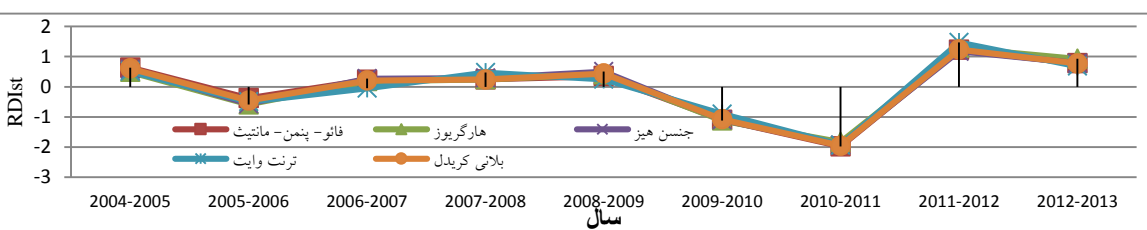
شکل ۶- نمودار مقادیر RDIST برای روش های مختلف تبخیر- تعرق بالقوه در مقیاس زمانی ۶ ماهه (اکتبر تا مارس) در ایستگاه شمیران



شکل ۷- نمودار مقادیر RDIST برای روش های مختلف تبخیر- تعرق بالقوه در مقیاس زمانی ۶ ماهه (آوریل تا سپتامبر) در ایستگاه شمیران

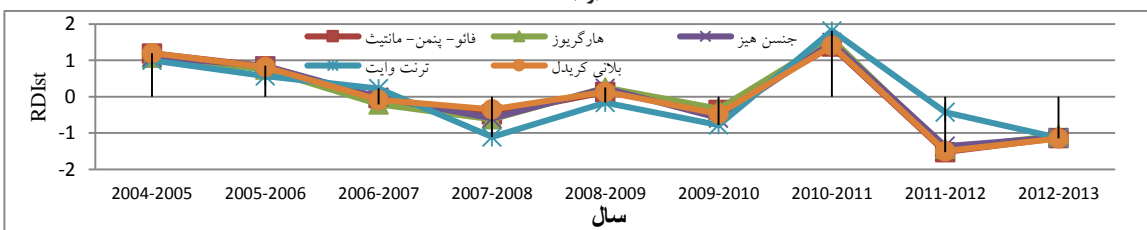


شکل ۸- نمودار مقادیر RDIST برای روش های مختلف تبخیر- تعرق بالقوه در مقیاس زمانی ۱۲ ماهه (اکتبر تا دسامبر) در ایستگاه شمیران



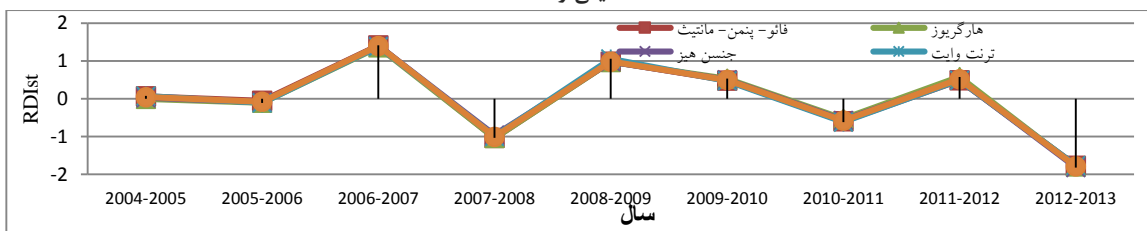
شکل ۹- نمودار مقادیر RDIST برای روش های مختلف تبخیر- تعرق بالقوه در مقیاس زمانی ۳ ماهه (اکتبر تا دسامبر) در ایستگاه فرودگاه امام خمینی

(ره)



شکل ۱۰- نمودار مقادیر RDIST برای روش های مختلف تبخیر- تعرق بالقوه در مقیاس زمانی ۳ ماهه (ژانویه تا مارس) در ایستگاه فرودگاه امام خمینی

خمینی(ره)



شکل ۱۱- نمودار مقادیر RDIST برای روش های مختلف تبخیر- تعرق بالقوه در مقیاس زمانی ۳ ماهه (آوریل تا ژوئن) در ایستگاه فرودگاه امام خمینی

(ره)

نتیجه را به دست آورده است و به این علت کاربرد این روش پیشنهاد می شود.

با استفاده از جدول (۴) می توان بهترین روش تخمین تبخیر-تعرق بالقوه را برای تعیین RDI_{st} در دوره‌ی سه ماهه ژوئیه تا سپتامبر ایستگاه به دست آورد. جدول (۴) نشان دهنده‌ی آن است که بهترین روش برای ایستگاه‌های شمیران، فرودگاه مهرآباد، فیروزکوه و فرودگاه امام خمینی روش بلانی-کریدل، ایستگاه ورامین، روش جنسن-هیز و ایستگاه شهریار، روش ترنت وایت است. مقدار خطای جذر میانگین مربعات برای روش‌های هارگریوز-سامانی، جنسن-هیز، ترنت وایت و بلانی-کریدل در ایستگاه فرودگاه امام خمینی به ترتیب 0.3301515 ، 0.2957101 ، 0.2861235 و 0.1358921 به دست آمده است، که در میان روش‌ها، روش بلانی-کریدل کمترین مقدار را دارا است؛ و مقدار میانگین خطای مطلق این روش‌ها به ترتیب 2.47×10^{-17} ، 3.08×10^{-18} ، 0.2222 و 0.0000 محاسبه شده است، که روش بلانی-کریدل کمترین مقدار را به دست آورده، و مقدار ضریب همبستگی این روش‌ها به ترتیب 0.9998 ، 0.9991 ، 0.9998 و 0.9991 بوده، و روش بلانی-کریدل بیشترین مقدار را به دست آورده است؛ بنابراین روش بلانی-کریدل برای ایستگاه فرودگاه امام خمینی پیشنهاد شده است. جدول (۵)، نشان دهنده‌ی بهترین روش تبخیر-تعرق بالقوه برای تعیین RDI_{st} در دوره شش ماهه اکتبر تا مارس در ایستگاه‌های مختلف است. این جدول بیانگر آن است که در ایستگاه‌های شمیران، فرودگاه مهرآباد، فیروزکوه و فرودگاه امام خمینی روش بلانی-کریدل، و در دو ایستگاه شهریار و ورامین روش هارگریوز-سامانی بهترین نتایج را ارائه داده‌اند. در ایستگاه شمیران به این علت روش بلانی-کریدل انتخاب شده است که مقادیر خطای جذر میانگین مربعات، میانگین خطای مطلق و ضریب همبستگی آن به ترتیب برابر با 0.35059073 ، 4.76×10^{-5} و 0.8751 است، در حالی که در روش هارگریوز-سامانی این مقادیر به ترتیب برابر با 0.50692894 ، 2.11×10^{-17} و 0.7484 است، در روش جنسن-هیز به ترتیب برابر با 0.5110212 ، 1.057×10^{-17} و 0.7446 و در روش ترنت وایت به ترتیب برابر با 0.48981323 ، 4.762×10^{-5} و 0.764 به دست آمده‌اند. همان طور که مشاهده می شود، مقدار میانگین خطای مطلق روش جنسن-هیز از دیگر

نزدیک تر به ۱ بوده است؛ در نتیجه بهترین روش، بلانی-کریدل خواهد بود. جدول (۲) نشان دهنده‌ی بهترین روش تبخیر-تعرق بالقوه برای تعیین RDI_{st} در دوره‌ی سه ماهه-ی ژانویه تا مارس برای تمامی ایستگاه‌ها است. در ایستگاه‌های شمیران، فرودگاه مهرآباد و فرودگاه امام خمینی روش بلانی-کریدل و در ایستگاه‌های فیروزکوه، شهریار و ورامین روش هارگریوز-سامانی بهترین روش انتخاب شده‌اند. به طور نمونه، مقدار خطای جذر میانگین مربعات برای روش‌های هارگریوز-سامانی، جنسن-هیز، ترنت وایت و بلانی-کریدل در ایستگاه ورامین به ترتیب 0.3466627 ، 0.4693296 ، 0.20432389 و 0.11593317 ، و مقدار میانگین خطای مطلق آنها به ترتیب 0.00025 ، 0.00025 ، 0.00025 و 0.00025 ، و ضریب همبستگی این روش‌ها به ترتیب 0.9984 ، 0.9451 ، 0.7278 و 0.9822 به دست آمده‌اند. مقدار روش هارگریوز-سامانی در هر شاخص آماری مناسب ترین بوده است؛ در نتیجه روش هارگریوز-سامانی برای این ایستگاه مناسب ترین روش محاسبه RDI_{st} نسبت به سایر روشها است.

جدول (۳) بهترین روش تبخیر-تعرق بالقوه را برای تعیین RDI_{st} در دوره‌ی سه ماهه آوریل تا ژوئن برای هر ایستگاه نشان می دهد. در ایستگاه‌های شمیران، فرودگاه مهرآباد، فیروزکوه و فرودگاه امام خمینی روش بلانی-کریدل، در ایستگاه ورامین روش جنسن-هیز و در ایستگاه شهریار روش ترنت وایت بهترین نتایج را نشان می دهند. در ایستگاه شهریار مقدار خطای جذر میانگین مربعات برای روش‌های هارگریوز-سامانی، جنسن-هیز، ترنت وایت و بلانی-کریدل به ترتیب 0.3762645 ، 0.1274755 ، 0.031225 و 0.1413329 ، و مقدار میانگین خطای مطلق آنها به ترتیب 0.00025 ، 4.857×10^{-17} ، 0.00025 و 0.00025 ، و مقدار ضریب همبستگی آنها به ترتیب 0.9998 ، 0.9999 ، 0.9998 و 0.9997 محاسبه شده‌اند. در شاخص آماری خطای جذر میانگین مربعات مقدار روش ترنت وایت از سه روش دیگر کمتر و نزدیک تر به صفر بوده است، و در شاخص آماری ضریب همبستگی نیز مقدار روش ترنت وایت برابر با 0.9999 بوده که بهترین نتیجه را به دست آورده است. اما در میانگین خطای مطلق روش جنسن-هیز بهترین نتیجه را کسب کرده است؛ با این حال روش ترنت وایت در دو شاخص آماری بهترین

روش ها کمتر بوده اما مقدار خطای جذر میانگین مربعات و ضریب همبستگی روش بلانی- کریدل از دیگر روش ها بهتر است. جدول (۶) نشان دهنده بهترین روش تخمین تبخیر-تعرق بالقوه برای تعیین RDI_{st} در دوره شش ماهه آوریل تا سپتامبر در تمامی ایستگاه ها است. این جدول نشان دهنده آن است که بهترین روش در ایستگاه های شمیران، فرودگاه مهرآباد، فیروزکوه و فرودگاه امام خمینی روش بلانی-کریدل و در ایستگاه ورامین روش جنسن-هیز و در ایستگاه شهریار روش هارگریوز-سامانی است. جدول (۷) بیانگر بهترین روش تبخیر-تعرق بالقوه برای تعیین RDI_{st} در دوره ی یک ساله در تمامی ایستگاه ها است. این جدول نشان می دهد که برای ایستگاه های شمیران، فرودگاه مهرآباد، فیروزکوه و فرودگاه امام خمینی، روش بلانی-کریدل، برای ایستگاه شهریار روش هارگریوز-سامانی، و برای ایستگاه ورامین روش جنسن-هیز مناسبترین است. در ایستگاه فرودگاه مهرآباد مقادیر خطای جذر میانگین مربعات، میانگین خطای مطلق و ضریب همبستگی روش بلانی-کریدل به ترتیب برابر با $0/155/9106$ ، $10^{-18} \times 2/64$ و $0/9747$ است. این مقادیر در روش هارگریوز-سامانی به ترتیب برابر با

روش جنسن-هیز به ترتیب برابر با $0/26841767$ ، $0/143$ و $0/00143$ است. در روش ترنت وایت به ترتیب برابر با $0/19258$ ، $0/24041967$ و $0/24041967$ است. روش بلانی-کریدل در تمامی شاخص های آماری بهترین نتیجه را به دست آورده است و در نتیجه این روش بهترین نتایج را در ایستگاه فرودگاه مهرآباد در دوره ی یک ساله دارد. همان گونه که در جداول ۳ ماهه، ۶ ماهه و یک ساله مشخص است، به طور کلی می توان نتیجه گرفت که تفاوت چندانی بین روشهای مختلف تخمین تبخیر-تعرق بالقوه در محاسبه ی شاخص RDI وجود ندارد. در اکثر ایستگاه های مطالعه شده در دوره های زمانی مختلف، روش بلانی-کریدل نزدیک ترین روش به روش مرجع است، اما در ایستگاه های شهریار و ورامین سایر روشها با تفاوت جزئی نتایج بهتری را داشته اند. با توجه به جداول، برای دو ایستگاه ذکر شده در دوره های سه ماهه، شش ماهه و یک ساله نمی توان روش خاصی را پیشنهاد کرد و مناسب تر آن است که طبق جداول روش مناسب انتخاب گردد تا نتایج بهتری در محاسبه شاخص شناسایی خشکسالی به دست آیند.

جدول ۱- شاخص های آماری RDI_{st} محاسبه شده از روش های مختلف PET در برابر روش مرجع در مقیاس زمانی ۳ ماهه از اکتبر تا دسامبر

نام ایستگاه	روش تبخیر-تعرق بالقوه	خطای جذر میانگین مربعات	میانگین خطای مطلق	ضریب همبستگی
شمیران	هارگریوز-سامانی	$0/2376819$	$-4/76 \times 10^{-9}$	$0/9416$
	جنسن-هیز	$0/2384204$	$1/057 \times 10^{-17}$	$0/9412$
	ترنت وایت	$0/21750698$	$4/762 \times 10^{-9}$	$0/9509$
	بلانی-کریدل	$0/16205011$	$4/762 \times 10^{-9}$	$0/9726$
فرودگاه مهرآباد	هارگریوز-سامانی	$0/15363392$	$-0/000143$	$0/9754$
	جنسن-هیز	$0/16932569$	$-4/76 \times 10^{-9}$	$0/9701$
	ترنت وایت	$0/14088901$	$-9/52 \times 10^{-9}$	$0/9793$
	بلانی-کریدل	$0/08680877$	$-0/000143$	$0/9921$
فیروزکوه	هارگریوز-سامانی	$0/14032481$	$0/0001053$	$0/9793$
	بلانی-کریدل	$0/11442741$	$-0/0001058$	$0/9862$
فرودگاه امام خمینی	هارگریوز-سامانی	$0/11398245$	$-0/000222$	$0/9854$
	جنسن-هیز	$0/08718244$	$-0/000111$	$0/9915$
	ترنت وایت	$0/17440789$	$-0/000111$	$0/9661$
	بلانی-کریدل	$0/04137632$	$-0/000222$	$0/9981$
شهریار	هارگریوز-سامانی	$0/0230163$	$0/00025$	$0/9993$
	جنسن-هیز	$0/05876649$	$4/163 \times 10^{-17}$	$0/9954$
	ترنت وایت	$0/07346768$	$4/163 \times 10^{-17}$	$0/9928$
	بلانی-کریدل	$0/3054914$	$0/00025$	$0/9988$
ورامین	هارگریوز-سامانی	$0/00981071$	$-0/00025$	$0/9999$
	جنسن-هیز	$0/01423025$	$-2/78 \times 10^{-17}$	$0/9997$
	ترنت وایت	$0/09231062$	$0/00025$	$0/9887$
	بلانی-کریدل	$0/01441354$	$0/00025$	$0/9997$

جدول ۲- شاخص های آماری RDIST محاسبه شده از روش های مختلف PET در برابر روش مرجع در مقیاس زمانی ۳ ماهه از ژانویه تا مارس

نام ایستگاه	روش تبخیر- تعرق بالقوه	خطای جذر میانگین مربعات	میانگین خطای مطلق	ضریب همبستگی
شمیران	هارگریوز-سامانی	۰/۴۷۵۰۳۶۱۴	$۹/۵۲ \times ۱۰^{-۵}$	۰/۷۷۷۱
	جنسن- هیز	۰/۴۹۵۲۶۵۰۶	$-۴/۷۶ \times ۱۰^{-۵}$	۰/۷۵۹
	ترنت وایت	۰/۵۱۷۸۲۰۹۴	-۰/۰۰۰۱۴۳	۰/۷۳۸۳
	بلانی- کریدل	۰/۳۵۹۹۷۸۷	$۴/۲۲۹ \times ۱۰^{-۱۷}$	۰/۸۶۸۵
فرودگاه مهرآباد	هارگریوز-سامانی	۰/۲۴۷۸۲۳۳۸	$۴/۷۶۲ \times ۱۰^{-۵}$	۰/۹۳۶۵
	جنسن- هیز	۰/۲۹۳۵۳۶۴	۰/۰۰۰۱۹۰۵	۰/۹۱۱۶
	ترنت وایت	۰/۳۵۴۵۶۹۸۹	$۱/۵۸۶ \times ۱۰^{-۱۷}$	۰/۸۷۲۳
	بلانی- کریدل	۰/۱۳۱۹۱۹۷۱	$۴/۷۶۲ \times ۱۰^{-۵}$	۰/۹۸۱۸
فیروزکوه	هارگریوز-سامانی	۰/۱۹۱۱۸۹۹	-۰/۰۰۰۱۰۵	۰/۹۶۱۸
	بلانی- کریدل	۰/۲۶۵۸۶۷۴	-۰/۰۰۰۱۰۵	۰/۹۲۶۸
فرودگاه امام خمینی	هارگریوز-سامانی	۰/۱۲۵۳۳۴۲۲	$۷/۱۶۸ \times ۱۰^{-۱۸}$	۰/۹۸۲۴
	جنسن- هیز	۰/۱۱۹۰۰۱۴	$۱/۲۳۴ \times ۱۰^{-۱۷}$	۰/۹۸۴۱
	ترنت وایت	۰/۴۹۶۴۶۹۷۶	.	۰/۷۴۱۹
	بلانی- کریدل	۰/۰۶۲۳۶۹۸۶	.	۰/۹۹۵۶
شهریار	هارگریوز-سامانی	۰/۰۴۲۵۱۱۷۶	۰/۰۰۰۲۵	۰/۹۹۷۶
	جنسن- هیز	۰/۳۱۴۶۴۱۸۶	$-۴/۱۶ \times ۱۰^{-۱۷}$	۰/۸۷۲۴
	ترنت وایت	۰/۵۲۳۳۶۷۳	$-۲/۷۸ \times ۱۰^{-۱۷}$	۰/۶۶۹۲
	بلانی- کریدل	۰/۱۶۲۴۸۳۰۸	-۰/۰۰۰۲۵	۰/۹۶۵۱
ورامین	هارگریوز-سامانی	۰/۰۳۶۶۶۶۲۷	۰/۰۰۰۲۵	۰/۹۹۸۴
	جنسن- هیز	۰/۲۰۴۳۲۳۸۹	۰/۰۰۰۲۵	۰/۹۴۵۱
	ترنت وایت	۰/۴۶۹۳۹۲۹۶	۰/۰۰۰۲۵	۰/۷۲۷۸
	بلانی- کریدل	۰/۱۱۵۹۳۳۱۷	$۳/۴۶۹ \times ۱۰^{-۱۸}$	۰/۹۸۲۲

جدول ۳- شاخص های آماری RDIST محاسبه شده از روش های مختلف PET در برابر روش مرجع در مقیاس زمانی ۳ ماهه از آوریل تا ژوئن

نام ایستگاه	روش تبخیر- تعرق بالقوه	خطای جذر میانگین مربعات (mm)	میانگین خطای مطلق (mm)	ضریب همبستگی
شمیران	هارگریوز-سامانی	۰/۱۸۱۵۶۵۴	$۵/۲۹ \times ۱۰^{-۱۸}$	۰/۹۶۵۷
	جنسن- هیز	۰/۱۷۵۷۳۸	$-۴/۷۶ \times ۱۰^{-۵}$	۰/۹۶۷۸
	ترنت وایت	۰/۱۹۲۶۵۶۴	$۲/۱۱ \times ۱۰^{-۱۷}$	۰/۹۶۱۴
	بلانی- کریدل	۰/۱۲۰۷۰۲۷	$-۵/۲۹ \times ۱۰^{-۱۸}$	۰/۹۸۴۸
فرودگاه مهرآباد	هارگریوز-سامانی	۰/۰۸۳۸۳۰۹	$۹/۵۲ \times ۱۰^{-۵}$	۰/۹۹۲۶
	جنسن- هیز	۰/۰۹۱۹۵۷۵	$۹/۵۲ \times ۱۰^{-۵}$	۰/۹۹۱۱
	ترنت وایت	۰/۱۰۰۶۰۷۹	۰/۰۰۰۱۴۳	۰/۹۸۹۴
	بلانی- کریدل	۰/۰۴۶۸۴۱۶۸	$۴/۷۶۲ \times ۱۰^{-۵}$	۰/۹۹۷۷
فیروزکوه	هارگریوز-سامانی	۰/۰۶۹۷۴۸۴	۰/۰۰۰۲۱۱	۰/۹۹۴۹
	بلانی- کریدل	۰/۰۲۴۳۲۵۶۴	۰/۰۰۰۱۵۸	۰/۹۹۹۴
فرودگاه امام خمینی	هارگریوز-سامانی	۰/۰۵۱۵۵۹	-۰/۰۰۰۱۱۱	۰/۹۹۷
	جنسن- هیز	۰/۰۳۶۷۱۶۶	۰/۰۰۰۱۱۱	۰/۹۹۸۵
	ترنت وایت	۰/۰۳۵۶۲۷۷	-۲×۱۰^{-۱۷}	۰/۹۹۸۶
	بلانی- کریدل	۰/۰۲۰۵۱۰۱۶	$-۷/۷۱ \times ۱۰^{-۱۸}$	۰/۹۹۹۵
شهریار	هارگریوز-سامانی	۰/۰۳۷۶۲۶۵	-۰/۰۰۰۲۵	۰/۹۹۸۱
	جنسن- هیز	۰/۰۱۲۷۷۴۷۵	$۴/۸۶ \times ۱۰^{-۱۷}$	۰/۹۹۹۸
	ترنت وایت	۰/۰۰۳۱۲۲۵	-۰/۰۰۰۲۵	۰/۹۹۹۹
	بلانی- کریدل	۰/۰۱۴۱۳۳۳	-۰/۰۰۰۲۵	۰/۹۹۹۷
ورامین	هارگریوز-سامانی	۰/۰۲۶۴۲۴۴	-۰/۰۰۰۲۵	۰/۹۹۹۱
	جنسن- هیز	۰/۰۰۶۳۶۴۹۸	-۰/۰۰۰۲۵	۰/۹۹۹۹
	ترنت وایت	۰/۰۵۳۴۹۰۷	۰/۰۰۰۲۵	۰/۹۹۶۲
	بلانی- کریدل	۰/۰۱۰۶۵۳۶	$۴/۱۶ \times ۱۰^{-۱۷}$	۰/۹۹۹۸

جدول ۴- شاخص های آماری RDist محاسبه شده از روش های مختلف PET در برابر روش مرجع در مقیاس زمانی ۳ ماهه از ژوئیه تا سپتامبر

نام ایستگاه	روش تبخیر- تعرق بالقوه	خطای جذر میانگین مربعات (mm)	میانگین خطای مطلق (mm)	ضریب همبستگی
شمیران	هارگریوز-سامانی	۰/۱۰۳۵۲۷۸	$9/52 \times 10^{-5}$	۰/۹۸۸۸
	جنسن- هیز	۰/۰۹۵۴۸۶۷	$2/38 \times 10^{-17}$	۰/۹۹۰۴
	ترنت وایت	۰/۱۰۶۱۸۷۶	$3/97 \times 10^{-18}$	۰/۹۸۸۲
	بلانی- کریدل	۰/۰۷۰۵۴۶۵۱	$-4/76 \times 10^{-5}$	۰/۹۹۴۸
فرودگاه مهرآباد	هارگریوز-سامانی	۰/۰۳۸۶۳۴۴	$4/76 \times 10^{-5}$	۰/۹۹۸۴
	جنسن- هیز	۰/۰۳۹۵۶۳۱	$-9/5 \times 10^{-5}$	۰/۹۹۸۴
	ترنت وایت	۰/۰۳۸۱۰۸۲	۰/۰۰۰۱۴۳	۰/۹۹۸۵
	بلانی- کریدل	۰/۰۲۷۸۰۲۸۸	$4/762 \times 10^{-5}$	۰/۹۹۹۲
فیروزکوه	هارگریوز-سامانی	۰/۰۴۳۶۶۷۴	$1/24 \times 10^{-17}$	۰/۹۹۸
	بلانی- کریدل	۰/۰۱۹۵۷۹۸	$-2/92 \times 10^{-18}$	۰/۹۹۹۶
فرودگاه امام خمینی	هارگریوز-سامانی	۰/۰۳۳۰۱۵۱	$-2/5 \times 10^{-17}$	۰/۹۹۸۸
	جنسن- هیز	۰/۰۲۹۵۷۱	$-3/1 \times 10^{-18}$	۰/۹۹۹
	ترنت وایت	۰/۰۲۸۶۱۲۴	۰/۰۰۰۲۲۲	۰/۹۹۹۱
	بلانی- کریدل	۰/۰۱۳۵۸۹۲۱	.	۰/۹۹۹۸
شهریار	هارگریوز-سامانی	۰/۰۰۹۷۷۲۴	.	۰/۹۹۸۸
	جنسن- هیز	۰/۰۰۳۷۷۴۹	$-0/00025$	۰/۹۹۹۸
	ترنت وایت	۰/۰۰۳۰۴۱۳۸	$-0/00025$	۰/۹۹۹۹
ورامین	بلانی- کریدل	۰/۰۰۳۰۸۲۲	$-0/0005$	۰/۹۹۹۷
	هارگریوز-سامانی	۰/۰۰۷۴۸۳۳	$-2/4 \times 10^{-17}$	۰/۹۹۹۷
	جنسن- هیز	۰/۰۰۱۵۳۲۰۵	$2/62 \times 10^{-17}$	۰/۹۹۹۹
	ترنت وایت	۰/۰۰۲۳۴۵۲	$-2/8 \times 10^{-17}$	۰/۹۹۸۹
بلانی- کریدل	۰/۰۰۱۷۸۱۱	$-2/8 \times 10^{-17}$	۰/۹۹۹۸	

جدول ۵- شاخص های آماری برای RDist محاسبه شده از روش های مختلف PET در برابر روش مرجع در مقیاس زمانی ۶ ماهه از اکتبر تا مارس

نام ایستگاه	روش تبخیر- تعرق بالقوه	خطای جذر میانگین مربعات (mm)	میانگین خطای مطلق (mm)	ضریب همبستگی
شمیران	هارگریوز-سامانی	۰/۵۰۶۹۲۸۹	$-2/11 \times 10^{-17}$	۰/۷۴۸۴
	جنسن- هیز	۰/۵۱۱۰۲۱۲	$1/06 \times 10^{-17}$	۰/۷۴۴۶
	ترنت وایت	۰/۴۸۹۸۱۳۲	$4/76 \times 10^{-5}$	۰/۷۶۴
	بلانی- کریدل	۰/۳۵۰۵۹۰۷۳	$-4/76 \times 10^{-5}$	۰/۸۷۵۱
فرودگاه مهرآباد	هارگریوز-سامانی	۰/۳۱۷۴۹۵	$-9/52 \times 10^{-5}$	۰/۷۳۴
	جنسن- هیز	۰/۳۵۲۵۸۳۵	$-4/76 \times 10^{-5}$	۰/۷۸۲۹
	ترنت وایت	۰/۲۸۹۱۴۲۹	$9/52 \times 10^{-5}$	۰/۸۱۳۵
	بلانی- کریدل	۰/۱۶۰۳۱۱۴۵	۰/۰۰۰۱۴۲۹	۰/۹۷۳۲
فیروزکوه	هارگریوز-سامانی	۰/۲۴۶۲۱۴۶	$5/26 \times 10^{-5}$	۰/۹۳۷
	بلانی- کریدل	۰/۲۱۹۸۵۷۰۱	$-5/26 \times 10^{-5}$	۰/۹۴۹۶
فرودگاه امام خمینی	هارگریوز-سامانی	۰/۲۷۰۶۳۵۵	$-7/17 \times 10^{-18}$	۰/۹۱۹۳
	جنسن- هیز	۰/۱۹۲۱۶۱۷	۰/۰۰۰۱۱۱	۰/۹۵۸۹
	ترنت وایت	۰/۴۷۳۶۰۶۵	$-2/47 \times 10^{-17}$	۰/۷۳۶
	بلانی- کریدل	۰/۱۱۰۶۳۶۰۴	$-0/000111$	۰/۹۸۶۳
شهریار	هارگریوز-سامانی	۰/۵۴۷۸۵۹۵	$-1/39 \times 10^{-17}$	۰/۹۹۶
	جنسن- هیز	۰/۱۵۱۹۰۹۵	$-2/78 \times 10^{-17}$	۰/۹۶۹۵
	ترنت وایت	۰/۰۸۵۰۱۱۸	$-2/78 \times 10^{-17}$	۰/۹۹۰۴
	بلانی- کریدل	۰/۰۸۰۰۲۵	$1/39 \times 10^{-17}$	۰/۹۹۱۵
ورامین	هارگریوز-سامانی	۰/۰۲۳۸۴۳۲۴	$7/439 \times 10^{-17}$	۰/۹۹۹۲
	جنسن- هیز	۰/۱۱۷۸۰۸۱	۰/۰۰۰۲۵	۰/۹۸۱۶
	ترنت وایت	۰/۱۹۷۶۶۲	۰/۰۰۰۲۵	۰/۹۴۸۶
	بلانی- کریدل	۰/۰۷۱۴۳۸۸	.	۰/۹۹۳۲

جدول ۶- شاخص های آماری RDIst محاسبه شده از روش های مختلف PET در برابر روش مرجع در مقیاس زمانی ۶ ماهه از آوریل تا سپتامبر

نام ایستگاه	روش تبخیر- تعرق بالقوه	خطای جذر میانگین مربعات	میانگین خطای مطلق	ضریب همبستگی
شمیران	هارگریوز-سامانی	۰/۲۲۹۶۷۹۱	۹/۵۲×۱۰ ^{-۵}	۰/۹۴۵۴
	جنسن- هیز	۰/۲۱۲۵۵۰۲	۴/۷۶×۱۰ ^{-۵}	۰/۹۵۳۱
	ترنت وایت	۰/۲۳۶۰۶۰۱	-۳/۱۷×۱۰ ^{-۱۷}	۰/۹۴۲۳
	بلانی- کریدل	۰/۱۵۲۲۲۷۷۴	۰/۰۰۰۱۴۳۹	۰/۹۷۵۸
فرودگاه مهرآباد	هارگریوز-سامانی	۰/۱۰۶۷۸۲۴	۷/۹۳×۱۰ ^{-۱۸}	۰/۹۸۸۱
	جنسن- هیز	۰/۱۱۲۳۵۹۵	۵/۲۹×۱۰ ^{-۱۸}	۰/۹۸۶۸
	ترنت وایت	۰/۱۱۲۱۴۶۶	۰/۰۰۰۱۴۴۳	۰/۹۸۶۸
	بلانی- کریدل	۰/۰۷۱۳۲۴۲۱	۹/۵۲×۱۰ ^{-۵}	۰/۹۹۴۷
فیروزکوه	هارگریوز-سامانی	۰/۱۰۴۳۴۹۶	-۰/۰۰۰۱۰۵	۰/۹۸۸۵
	بلانی- کریدل	۰/۰۳۴۶۰۳۰۱	-۱/۱۷×۱۰ ^{-۱۷}	۰/۹۹۸۷
فرودگاه امام خمینی	هارگریوز-سامانی	۰/۰۵۱۹۷۰۱	-۰/۰۰۰۲۲۲	۰/۹۹۷
	جنسن- هیز	۰/۰۴۸۰۴۱۶	۹/۲۵×۱۰ ^{-۱۸}	۰/۹۹۷۴
	ترنت وایت	۰/۰۲۷۱۹۰۷	۳/۷×۱۰ ^{-۱۷}	۰/۹۹۹۲
	بلانی- کریدل	۰/۰۲۳۹۰۷۲۳	-۲/۶۲×۱۰ ^{-۱۷}	۰/۹۹۹۴
شهریار	هارگریوز-سامانی	۰/۰۰۷۱۵۸۹۱	۰/۰۰۰۲۵	۰/۹۹۹۹
	جنسن- هیز	۰/۰۰۹۷۷۲۴	۰/۰۰۰۵	۰/۹۹۹۹
	ترنت وایت	۰/۰۰۹۷۰۸۲	۰/۰۰۰۲۵	۰/۹۹۹۹
	بلانی- کریدل	۰/۰۰۹۰۲۷۷	۶/۹۴×۱۰ ^{-۱۸}	۰/۹۹۹۹
	هارگریوز-سامانی	۰/۰۳۱۵۶۷۴	-۱/۳۹×۱۰ ^{-۱۷}	۰/۹۹۸۷
	جنسن- هیز	۰/۰۰۶۸۳۸۶	-۰/۰۰۰۲۵	۰/۹۹۹۹
ورامین	ترنت وایت	۰/۰۱۶۸۳۷۵	۵/۲×۱۰ ^{-۱۸}	۰/۹۹۹۶
	بلانی- کریدل	۰/۰۰۹۷۸۵۲	۰/۰۰۰۲۵	۰/۹۹۹۹

جدول ۷- شاخص های آماری RDIst محاسبه شده از روش های مختلف PET در برابر روش مرجع در مقیاس زمانی یک ساله

نام ایستگاه	روش تبخیر- تعرق بالقوه	خطای جذر میانگین مربعات (mm)	میانگین خطای مطلق (mm)	ضریب همبستگی
شمیران	هارگریوز-سامانی	۰/۵۱۴۹۸۶۲	-۲/۱۱×۱۰ ^{-۱۷}	۰/۷۴۱
	جنسن- هیز	۰/۴۷۷۰۶۶۳	۰	۰/۷۷۵۳
	ترنت وایت	۰/۵۱۲۶۱۸	۲/۱۱×۱۰ ^{-۱۷}	۰/۷۴۳۱
	بلانی- کریدل	۰/۳۲۹۵۴۶۵۱	۴/۷۶۲×۱۰ ^{-۵}	۰/۸۸۹۲
فرودگاه مهرآباد	هارگریوز-سامانی	۰/۲۴۳۰۸۵۷	-۹/۵۲×۱۰ ^{-۵}	۰/۹۳۸۹
	جنسن- هیز	۰/۲۶۸۴۱۷۷	-۰/۰۰۰۱۴۴۳	۰/۹۲۵۸
	ترنت وایت	۰/۲۴۰۴۱۹۷	-۹/۵۲×۱۰ ^{-۵}	۰/۹۴۰۲
	بلانی- کریدل	۰/۱۵۵۰۹۱۰۶	-۲/۶۴×۱۰ ^{-۱۸}	۰/۹۷۴۷
فیروزکوه	هارگریوز-سامانی	۰/۲۰۶۸۹۹۴	۰	۰/۹۵۵۳
	بلانی- کریدل	۰/۰۸۰۶۹۰۷۷	۰/۰۰۰۱۵۷۹	۰/۹۹۳۱
فرودگاه امام خمینی	هارگریوز-سامانی	۰/۱۹۹۴۶۴۳	-۴/۳۲×۱۰ ^{-۱۷}	۰/۹۵۵۷
	جنسن- هیز	۰/۱۵۰۳۴۰۴	۰/۰۰۰۲۲۲	۰/۹۷۴۷
	ترنت وایت	۰/۱۱۵۵۶۸۶	-۰/۰۰۰۱۱۱	۰/۹۸۵
	بلانی- کریدل	۰/۰۷۴۱۱۷۰۲	۰	۰/۹۹۳۸
شهریار	هارگریوز-سامانی	۰/۰۳۴۵۴۳۴۵	-۰/۰۰۰۲۵	۰/۹۹۸۴
	جنسن- هیز	۰/۰۵۶۳۹۸۱	-۰/۰۰۰۲۵	۰/۹۹۵۸
	ترنت وایت	۰/۰۵۷۳۸۹	-۰/۰۰۰۵	۰/۹۹۵۶
	بلانی- کریدل	۰/۰۴۳۲۸۳۹	-۱/۳۹×۱۰ ^{-۱۷}	۰/۹۹۷۵
ورامین	هارگریوز-سامانی	۰/۰۸۴۵۸۲۸	۰/۰۰۰۲۵	۰/۹۹۰۵
	جنسن- هیز	۰/۰۱۸۵	-۰/۰۰۰۲۵	۰/۹۹۹۵
	ترنت وایت	۰/۰۲۳۳۱۳۱	-۳/۴۷×۱۰ ^{-۱۷}	۰/۹۹۹۳
	بلانی- کریدل	۰/۰۲۱۹۲۶	۰/۰۰۰۲۵	۰/۹۹۹۴

بحث و نتیجه گیری:

مختلف ایران و تحقیق انجام گرفته به وسیله ی محمد و شولز (۲۰۱۶) نیز در ارزیابی سه روش تورنت ویت، هارگریوز-سامانی و بلانی-کریدل در ۲۴ ایستگاه از سالهای ۱۹۷۹ تا ۲۰۱۴ نشان داد که تفاوت معناداری بین نتایج سه روش ذکر شده با روش مبنا فائو-پنمن-مانتیت وجود ندارد. لذا شاخص RDI شاخص قوی برای ارزیابی شدت خشکسالی است، و حتی اگر حداقل اطلاعات در دسترس (بارش و دما) وجود داشته باشند، با محاسبه ی خشکسالی به کمک شاخص RDI می توان نتایج قابل اعتمادی را به دست آورد.

منابع

- ۱) بری ابرقویی، ح.، بذاق جمالی، ج.، و توکلی، م. ۱۳۸۲. کاربرد برخی از شاخص های آماری هواشناسی جهت ارزیابی شدت خشکسالی در مقیاس کشوری (بین استانها)، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ۶۹: ۸۶-۱۰۶.
 - ۲) پیرمردیان، ن.، شمس نیا، س.ا. و شاهرخ نیا، م.ع. ۱۳۸۷. پایش و تحلیل پراکندگی مکانی شدت خشکسالی سال زراعی ۸۰-۱۳۷۹ استان فارس با استفاده از شاخص معیار شده ی بارش در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)، مجله مهندسی آب، ۲: ۶۵-۷۴.
 - ۳) زندی لک، ح.، فولادمند، ح.ر. و بوستانی، ف. ۱۳۹۳. ارزیابی دوره ی بازگشت خشکسالی کشاورزی گندم در استان فارس با استفاده از شاخص RDI. مجله مهندسی منابع آب، ۷: ۱-۱۱.
 - ۴) کوهی، م.، ثنائی نژاد، س.ح. و امینی، م. ۱۳۹۵. اثر روش های مختلف برآورد تبخیر-تعرق مرجع بر محاسبه نمایه شناسایی خشکسالی در چند نمونه اقلیمی ایران. نشریه پژوهش های اقلیم شناسی، ۲۵: ۴۷-۶۵.
 - ۵) هاتفی، ع.، مساعدی، ا.، و جباری نوقابی، م. ۱۳۹۵. نقش تبخیر-تعرق در پایش خشکسالی هواشناسی در چند ناحیه اقلیمی کشور. نشریه پژوهش های حفاظت آب و خاک، ۲۳(۲): ۱-۲۱.
- 6) Asadi Zarch, M.A., Malekinezhad, H., Mobin, M.H., Taghi Dastorani, M. and Kousari, M.R. 2011. Drought monitoring by reconnaissance drought index (RDI) in Iran. *Water Resour Manag.* 25(13):3485-3504.

در تحقیق حاضر از شاخص جدیدی به نام شاخص شناسایی خشکسالی (RDI) استفاده شده است. این شاخص به دو فراسنج بارش و تبخیر-تعرق بالقوه وابسته است. از آنجائی که معمولا تخمین تبخیر-تعرق بالقوه براساس روشهای مختلف محاسباتی انجام می شود، لذا لازم است جهت بالابردن دقت نتایج مقایسه ای میان روشهای مختلف تخمین تبخیر-تعرق بالقوه انجام شود. بنابراین، روش فائو-پنمن-مانتیت به عنوان روش مرجع انتخاب، و چهار روش هارگریوز-سامانی، ترنت وایت، جنسن-هیز و بلانی-کریدل در مقیاس های زمانی سه ماهه، شش ماهه و یکساله مقایسه شدند. نتایج نشان دادند که در میان روش های مختلف تبخیر-تعرق بالقوه، و در اکثر ایستگاه های هواشناسی مطالعه شده، روش بلانی-کریدل نزدیک ترین نتایج را با روش مرجع داشته است. در دو ایستگاه شهریار و ورامین سایر روشها در مقیاس های مختلف زمانی با اختلاف جزئی نسبت به روش بلانی-کریدل نتایج بهتری را داشته اند. لذا با توجه به کمبود اطلاعات در بیشتر مناطق، روش بلانی-کریدل به عنوان یک روش تجربی که نیاز به داده های کمتری نسبت به روش فائو-پنمن-مانتیت دارد، می تواند در استان تهران جهت استفاده از شاخص RDI مناسب باشد. شاخص RDI به وسیله ی پنج روش PET در ایستگاه های هواشناسی با شرایط آب و هوایی متفاوت محاسبه و نشان داده شد که روشهای مختلف PET تأثیر قابل توجهی در نتایج RDI ندارند. نتایج این تحقیق مشابه با نتایج تحقیق انجام شده به وسیله ی ونجلیس و همکاران در سال ۲۰۱۳ با عنوان اثرات روش های مختلف تبخیر-تعرق بالقوه بر محاسبه خشکسالی با کاربرد RDI در یونان است. نتایج تحقیقات آنها نشان داند که انتخاب روش تبخیر-تعرق بالقوه تأثیر چشم گیری بر نتایج شاخص RDI ندارد، اما با این حال، روشهای هارگریوز-سامانی روش نسبتا بهتری برای محاسبه RDI است. تحقیق هاتفی و همکاران (۱۳۹۵) نشان داد که در مناطق مرطوب پدیده ی تبخیر-تعرق نقش چندانی را در وقوع خشکسالی ندارد و می توان، به منظور ساده سازی، خشکسالی را فقط بر پایه ی بارش محاسبه نمود. تحقیق کوهی (۱۳۹۵) در بررسی اثر روشهای برآورد تبخیر-تعرق بر محاسبه شاخص RDI در اقلیم های

- frequency and duration to time scales, Preprints, 8th Conference on Applied Climatology. 17-22 January, Anaheim, CA, pp.179-184.
- 17) Mohammed, R. and Scholz, M. 2016. Impact of evapotranspiration formulations at various elevations on the reconnaissance drought index, *Water Resources Management*. 31:531-548.
- 18) Palmer, W.C. 1965. Meteorological drought. U.S. Department of Commerce, Weather Bureau Research Paper 45, 58pp.
- 19) Pashiardis, S., and Michaelides, S. 2008. Implementation of the standardized precipitation index and the reconnaissance drought index for regional drought assessment: A case study for Cyprus. *European Water*. 23/24:57-65.
- 20) Shamsnia, S.A., Amiri, S.N., and Pirmoradian, N. 2009. Drought simulation in fars province using standardized precipitation index and time series analysis (ARIMA Model). *International Journal of Applied Mathematics (IJAM)*. 22(6):869-878.
- 21) Strzepek, K., Yates, D. 1997. Climate change impacts on the hydrologic resources of Europe: a simplified continental scale analysis. *Climatic Change*. 36(1): 79-92.
- 22) Thornthwaite C.W. 1948. An approach toward a rational classification of climate. *Geog Rev*. 38:55-94.
- 23) Richard, R., and Heim, J. 2002. A review of Twentieth-Century drought indices used in the United States. *American Meteorological Society*. 1149-1166.
- 24) Tigkas, D. 2008. Drought characterisation and monitoring in regions of Greece. *European Water*. 23/24:29-39.
- 25) Tsakiris, G., and H. Vangelis. 2004. Toward a drought watch system based on spatial SPI. *Journal of Water Resources Management*. 18(1): 1-12.
- 26) Tsakiris, G., and Vangelis, H. 2005. Establishing a drought index incorporating evapotranspiration. *European Water*. 9/10: 3-11.
- 27) Tsakiris, G., Pangalou, D., and Vangelis, H. 2007. Regional drought
- 7) Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., and Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration. *Irrigation and Drainage Paper*. No. 56. FAO, Rome: United Nations.
- 8) Doorenbos J., Pruitt, W.O. 1977. Guidelines for predicting crop water requirements. *Irrigation and drainage paper*. No. 24. FAO, Rome: United Nations.
- 9) Fooladmand, H.R. 2011. Evaluation of some equations for estimating evapotranspiration in the south of Iran. *Archives of Agronomy and Soil Science*. 57(7): 741-752.
- 10) Gunhan, T., Demir, V., Hancioglu, E., Hepbasli, A. 2005. Mathematical modelling of drying of bay leaves. *Energy Conversion and Management*. 46(11-12):1667-1679.
- 11) Hargreaves, G.L., Samani, Z.A. 1985. Reference crop evapotranspiration from temperature. *Appl Eng Agric*. 1(2):96-99.
- 12) Hayes, M., Svoboda, M.D., Wilhite, D.A. and Vanyarkho, O.V. 1999. Monitoring the 1996 drought using the standardized precipitation index. *Bulletin of the American Meteorological Society*. 80(3): 429-438.
- 13) Hayes, M. 2004. Drought indices, National Drought Mitigation Center, Available on website: [Http://www.drought.unl.edu/w/hatis/indices.htm](http://www.drought.unl.edu/w/hatis/indices.htm).
- 14) Jabloun, A., and Sahli, A. 2008. Evaluation of FAO-56 methodology for estimating reference evapotranspiration using limited climatic data. *Agricultural Water Management*. 95: 707-715.
- Jensen, M. E., and Haise, H. R. 1963. Estimating evapotranspiration from solar radiation. *J. Irrig. Drain. ASCE*. 89: 15-41.
- 15) Khalili, D., Farnoud, T., Jamshidi, H., Kamgar-Haghighi, A.A., and Zand-Parsa, S. 2011. Comparability analyses of the SPI and RDI meteorological drought indices in different climatic zones. *Water Resource Management*. 25(6): 1737-1757.
- 16) McKee, T. B., Doesken, N.J., and Kleist, J. 1993. The relationship of drought

assessment based on the reconnaissance drought index (RDI). *Water Resource Management*. 21:821-833.

28) Vangelis, H., Tigkas, D., and Tsakiris, G. 2013. The effect of PET method on reconnaissance drought index (RDI) calculation. *Journal of Arid Environments*. 88: 130-140.

29) Wilhite, D.A. 1993. The enigma of drought in drought assessment, management and planning: Theory and case studies, ed. D.A. Wilhite. pp: 3-15. *kluwer Academic Publishers, Bosten*.

30) Zarei, A. R., Moghimi, M.M., and Mahmoudi, M.R. 2016. Parametric and non-parametric trend of drought in arid and semi-arid regions using RDI index. *Water Resources Management*. 30(14): 5479-5500

