ارزیابی شاخص خشکسالی پالمر در حوزه‌ی قلعه شاهرخ (سراب زاینده‌رود)

سارا آزادی[۱،*]، سعید سلطانی کوپایی[۲]، منیره فرامرزی [۳]، علیرضا سلطانی تودشکی[۴]

[۱ *] دانشجوی کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان

s.azadi@na.iut.c.ir

[۲] دانشیار، دکترای آبخیزداری،دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان

[۳] استادیار ، دکترای مدیریت منابع آب، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی

[۴] استادیار، دکترای آبیاری، گروه آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

چکیده

خشکسالیبهعنوانیکیاز پیچیده‌ترینبلایایطبیعی،پدیده‌ایخزندهبهشمارمی‌رود. بنا به سوابق تحقیقی به منظور شناسائی شدت و گسترش خشکسالی عموماً شاخص‌هائی توسعه داده شده است که هر کدام ورودیها و شرایط استفاده خاص خود رادارا می‌باشند. هدف این تحقیق، استفاده از خروجی‌های واسنجی و صحت‌سنجی شده مدل هیدرولوژیکی SWATجهت محاسبه و ارزیابی شاخص شدت خشکسالی پالمر در حوزه‌ی قلعه شاهرخ در بالادست سد زاینده‌رود می‌باشد. شاخص بر اساس ۴ روش و با استفاده از خروجی‌های مدل ذکر شده، محاسبه گردید. استفاده از خروجی‌های مدل نسبت به فرضیات خود شاخص نتایج متفاوتی را نشان داده است و بنابراین علت آن به خطای برآورد در مراحل شاخص و یا مدل مربوط می‌شود و پیشنهاد می‌گردد که ضرایب و معادله شاخص برای شرایط ایران و خصوصا حوزه‌های آن اصلاحشود. همچنین این مدل برای مناطق مورد نظر بخوبی واسنجی و صحت‌سنجی گردد تا با استفاده از خروجی مناسب مدل و شاخص اصلاحی بتوان ارزیابی مناسبتری را از خشکسالی داشت. این تحقیق زمینه‌ای را برای مطالعه تأثیر تغییر اقلیم بر خشکسالی‌هایی با توالی مختلف و منابع آب آینده، فراهم می‌سازد.

واژگان کلیدی: ارزیابی، حوزه زاینده‌رود، خشکسالی، شاخص پالمر.

Assessing Palmer Drought Index in the Ghale Shahrokh watershed (upstream Zayandeh-rood)

Abstract

Drought as one of the most complex natural disasters is considered as a recurrent phenomenon. Different indicators, each with its own inputs and conditions of use, have been developed to identify the severity and spread of its occurrence. This study aimed to modify the Palmer Drought Severity Index (PDSI) using the outputs of an existing SWAT hydrological model of Ghale shahrokh chatchement in upstream Zayandeh rood river.some different outputs of SWAT model based on four way were used to modify the PDSI separately. These are monthly values of soil moisture, surface runoff, actual ET and ... The results showed disparities between monthly PSDI with that of modified values (m-PDSI). We concluded that an error propagation might occur when calculating PDSI with its original formula. The results can be improved if the hydrological components are systematically simulated for the study area and fed into the PDSI formula. We suggested also to calibrate

and validate the PDSI formula for the study area as an alternative option. The results of this study can be further used to account for the impacts of climate change on drought issues.

Keywords: Zayandeh rood watershed, Drought, Index Palmer.

۱)مقدمه

اگرچه خشکسالی یک مؤلفه‌ی طبیعی از اقلیم در مناطق خشک و نیمه‌خشک است اما احتمال وقوع آن در اقالیم دیگر نیز وجود دارد. خشکسالیبهعنوانیکیاز پیچیده‌ترینبلایایطبیعی،پدیده‌ایخزندهبهشمارمی‌رود. تداوم وقوع طولانی آن بودهواثراتناشیازآنحالتغیر ساختاریداشتهودرنتیجهخسارت‌هایناشیازاینپدیدهدربخش‌های مختلف،مانندکشاورزی،اجتماعیوغیره،بهصورتتدریجیظاهرمی‌شود. نکته‌یدارایاهمیتاینکه خسارتاواثراتناشیازخشکسالیبرابربابیشترازخساراتناشیازسایربلایاطبیعیمثلسیلوزلزله می‌باشد (آسیایی، ۱۳۸۵).

باتوجهبهمشخصاتومتغیرهایاقلیمیتعاریفمتعددیبرایخشکسالیارائهشدهاست اما عنصر اصلی تمام تعاریف، کمبود آب می‌باشد ونبودآببهمعنایناپودیحیات است(آسیایی، ۱۳۸۵). تعریف عمیق‌تر آن شامل چهار بخش است: خشکسالی هواشناسی، خشکسالی هیدرولوژیکی، خشکسالی کشاورزی، خشکسالی اقتصادی- اجتماعی (استرینگر و همکاران، ۲۰۰۹). دانشبشریهنوزبهاندازه‌ای توسعهنیافتهکهراهکارهایمناسبیجهترفع کمبودبارندگیبیابد و بهدلیلطبیعتوذاتپنهانپدیده خشکسالی،تعیینزمانآغاز،گسترشو پایانآنبسیاردشواراستاز این رو شناسائی و پیش‌بینی خشکسالی خود یافته‌ای ارزشمند برای مدیریت منابع آبی و کاهش خسارات ناشی از خشکسالی خواهد بود.

بنا به سوابق تحقیقی به منظور شناسائی شدت و گسترش خشکسالی عموماً شاخص‌هائی توسعه داده شده است که هر کدام ورودی‌ها و شرایط استفاده خاص خود را دارا می‌باشند.با توجه به در دسترس بودن اطلاعات اقلیمی، بسیاری از این شاخص‌ها متغیرهای هواشناختی را بعنوان ورودی در نظر می‌گیرند، مثل شاخص‌های هواشناسی (SPI)[۱] (شاخص استاندارد شده‌ی بارش)(بنسال و همکاران، ۲۰۱۱) که تنها بارش را در نظر می‌گیرد و شاخص‌های پیچیده‌ای که بارش، پتانسیل تبخیر-تعرق، رطوبت پیشین خاک و رواناب را در بیلان آب مورد استفاده قرار می‌دهند مثل شاخص شدت خشکسالی پالمر (PDSI)[۲] و شاخص Z پالمر (پالمر، ۱۹۶۵) .

مطالعات پیشین با محاسبه شاخص‌های مختلف به ارزیابی خشکسالی پرداخته‌اند در حالیکه باید به این نکته توجه داشت که این شاخص‌ها، تنها بر اساس یکسری فرضیات اولیه و داده‌های خود محاسبه شده‌اند که در یک منطقه خاص ممکن است نتایج متفاوتی را نشان دهند، اگر خصوصیات و شرایط فیزیکی یک منطقه وارد محاسبات شاخص شود می‌تواند باعث ارائه نقشه‌های با دقت بسیاربهتری شود، تاکنون تحقیقی در این زمینه صورت نگرفته است از این‌رو با استفاده ازمدل‌های هیدرولوژیکی و فیزیکی و مرتبط نمودن آنها با شاخص‌ها، حساسیت لازم در کار لحاظ می‌شود و این خلا علمی تا حدودی رفع می‌گردد، بایستی در نظر داشت که، در عمل خشکسالی را با شاخص طبقه بندی می‌گردد، اما همانطور که قبلا ذکر گردید این شاخص‌ها بر اساس یکسری اطلاعات و فرضیات منطقه تولید شاخص هستند که شرایط فیزیکی منطقه را با وضوح زمانی و مکانی بالا نشان نمی‌دهد و بنابراین تأثیر یک خشکسالی را به درستی نشان نمی‌دهند (بنسال و همکاران، ۲۰۱۱). با توجه به درک خشکسالی به عنوان نتیجه‌ای از تغییر پذیری بارش، دما و رطوبت خاک، PDSI می‌تواند با مرتبط شدن با مدل‌های

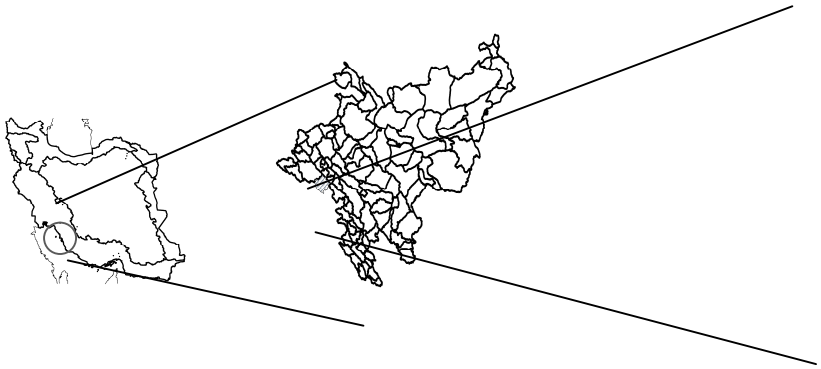
[۱] Standardized Precipitation Index.
[۲] Palmer Drought Severity Index.

هیدرولوژیکی برای ارزیابی خشکسالی استفاده گردد، شاخص بر اساس یک معادله‌ی بیلان آبی ساده می‌باشد. در نهایت با توجه به اهمیت بالای خشکسالی و تأثیر آن بر امنیت غذایی و آب، در این تحقیق سعی بر این است که از خروجی‌های واسنجی و صحت‌سنجی شده مدل هیدرولوژیکی SWAT[۳] (فرامرزی و همکاران، ۲۰۰۹) جهت محاسبه شاخص شدت خشکسالی پالمراستفاده و نهایتاً به ارزیابی آن در حوزه‌ی قلعه شاهرخ در بالادست سد زاینده‌رود پرداخته شود.

۲)مواد و روش‌ها

۲-۱ منطقه مورد مطالعه

حوزه‌ی آبخیز قلعه شاهرخ یا حوزه‌ی آبخیز رودخانه زاینده‌رود (شاخه اصلی) با مساحت ۱۵۰۹۸۰ هکتار می‌باشد که حدوداً دارای طول جغرافیایی ۵۰/۳۶ درجه‌ی شرقی و عرض جغرافیایی ۳۲/۴۶ شمالی می‌باشد. قسمت اعظم سطح حوزه را کوه‌ها و ارتفاعات تشکیل داده است. این حوزه از شمال، غرب و جنوب غرب به ترتیب به کوه‌های سفید، خوربه، گرپوش، ونک، گندابه، لیله، کلک و چوبین محدود شده است، بلندترین ارتفاع این حوزه ۳۹۷۴ متر و متعلق به کوه گرپوش است. حداقل ارتفاع حوزه ۲۱۸۹ متر مربوط به بستر رودخانه و ارتفاع متوسط آن ۲۶۵۰ متر می‌باشد. شیب متوسط حوزه ۱۵.۶۴ درصد است. شکل (۱) موقعیت زیرحوزه نسبت به کل زاینده‌رود را نشان می‌دهد.



شکل ۱) موقعیت زیر حوزه قلعه شاهرخ در حوزه آبخیز زاینده‌رود و جانمایی آن در ایران [۴].

[۳] Soil and Water Assessment Tool.

این منطقه از لحاظ اقلیمی تحت تأثیر هر سه سیستم بارش‌زا است یعنی جبهه‌ی رطوبتی غربی- شرقی که از سمت غرب و مدیترانه وارد کشور می‌شود، سیستم اقیانوس اطلس شمالی که از سمت شمال غرب و سیستم دریای سراغ که از سمت جنوب غرب وارد کشور می‌شوند. بارندگی در سراسر منطقه متفاوت بوده و از ۳۰۰ میلی‌متر تا ۱۴۰۰ میلی‌متر متغیر است. رژیم بارندگی نیز همانند اکثر نقاط ایران مدیترانه‌ای می‌باشد یعنی بخش اعظم بارش بین مهر تا اواخر اردیبهشت رخ می‌دهد (براتی قهفرخی، ۱۳۸۵).

از آنجایی که این منطقه‌ی برفگیر، در بالادست زاینده‌رود می‌باشد و به عنوان سرچشمه، نقش اصلی را در تأمین آب زاینده‌رود دارد، بنابراین ارزیابی خشکسالی در این منطقه ، کاهش اثرات آن در پایین‌دست، بهره‌وری مناسب از منابع آب و کاهش خسارات ناشی از خشکسالی را در پی خواهد داشت.

۲-۲)شاخص شدت خشکسالی پالمر

شاخص شدت خشکسالی پالمر توسط دبلیو. سی. پالمر[۴] (۱۹۶۵) برای سنجش میزان نوسانات ذخیره‌ی رطوبتی خاک در ایالات متحده‌ی آمریکا توسعه یافت. اساس آن، معادله بیلان آب خاک می‌باشد که علاوه بر ایالات متحده‌ی آمریکا در سایر کشورهای جهان جهت مطالعه خشکسالی مورد استفاده قرار گرفته است. بدلیل پیچیده و طولانی بودن روش، تنها به بخشی از آن اشاره می‌شود. بطور کلی روند محاسباتی این شاخص را می‌توان به صورت زیر بررسی نمود:

گام اول: مشابه بسیاری از شاخص‌ها، انحراف رطوبتی اقلیم مورد نظر (d)در هر دوره (i)، بدست می‌آید. به منظور برآورد d، نیاز به تعریف یک معیار مقایسه برای تعیین نوع و مقدار این انحراف است. پالمر از یک الگوریتم بیلان رطوبت آب در خاک استفاده نمود که در آن یکسری محاسبات آبشناختی برای اطلاعات درازمدت منطقه (خصوصیات خاک، بارش و تبخیر تعرق پتانسیل) صورت می‌پذیرد.

این گام شامل دو قسمت محاسباتی است: قسمت اول- شبیه‌سازی ریاضی بیلان آبی و برآورد عوامل واقعی و پتانسیل بیلان آبی شامل: مقادیر واقعی و پتانسیل تبخیر و تعرق[۵]، تغذیه رطوبت[۶]، اتلاف رطوبت[۷] و رواناب[۸] می‌باشند که پالمر از روش تورنت وایت برای محاسبه تبخیرتعرق پتانسیل و از یک مدل بیلان آبی برای بدست آوردن سایر فاکتورها استفاده کرده است (سلطانی تودشکی، ۱۳۸۶) با توجه به نقدهای زیادی که در مورد این بیلان مطرح می‌باشد، در این تحقیق از داده‌های خروجی مدل SWAT بصورت ماهانه (تبخیرتعرق واقعی و پتانسیل، رطوبت خاک در آغاز و پایان ماه، رواناب سطحی، ظرفیت نگهداری آب قابل دسترس خاک) استفاده می‌گردد. قسمت دوم- محاسبه‌ی بارش مقتضی شرایط عادی اقلیمی و تعیین میزان شاخص انحراف رطوبتی (Zi) که پالمر توسط یکسری فرآیندهای نسبتاً پیچیده آن را دنبال کرده است این شاخص، ویژگی‌های مناطق مختلف را برای مقایسه، یکدست می‌کند و از نسبت بین مقادیر واقعی و پتانسیل ۴ فاکتور ذکر شده در درازمدت محاسبه می‌شود. گام دوم: مقادیر Zi برای استخراج شاخص نهایی پالمر، وارد فرآیندهای دیگری می‌شوند (سلطانی تودشکی، ۱۳۸۶). معادله نهایی شاخص پالمر که در سال ۱۹۶۵ برای ۱۳ ایالت در آمریکا، بدست آمده، در زیر آورده شده است. مقادیر مختلف Xiمثبت و منفی به ترتیب شرایط ترسالی و خشکسالی را از درجات خفیف تا شدید، نشان می‌دهد.

$$X_i = 0.897 * X_{i-1} + Z_i / 3 \qquad (1)$$

---

[۴] W.C. Palmer.
[۵] Evapotranspiration.
[۶] Recharge.
[۷] Loss.
[۸] Run- off.

با وجود اینکه رابطه (۱) باید برای شرایط اقلیمی مناطق مختلف اصلاح گردد، در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته است. در اینجا از ۴ روش مختلف جهت محاسبه شاخص استفاده شده است، روش‌های۱: تماماً با فرضیات اولیه خود شاخص،۲: استفاده از تبخیر تعرق پتانسیل خروجی از مدل، ۳: استفاده از رطوبت موجود در خاک جهت محاسبه فاکتورهای اتلاف و تغذیه رطوبت، ۴: استفاده از تمامی داده‌های خروجی مدل که در بالا آمده است. محاسبات برای ماه‌های اکتبر ۱۹۹۰ تا دسامبر۲۰۰۲ (۱۳ سال) برای‌حوزه‌ی ذکر شده انجام شده است.

۲-۳) مدل هیدرولوژیکی SWAT:

SWAT مدلیمفهومیونیمهتوزیعی[۹] استکهبرایشبیهسازیهیدرولوژیکیحوزههاییبامقیاسبزرگمی-باشدواززمانایجادآندراوایل ۱۹۹۰،قابلیت‌هایآنبطورپیوستهدرحالتوسعهمی‌باشد. اینمدلبرایپیشبینیتأثیرمدیریتزمینبر کیفیتوکمیتآب،رسوبورشد گیاهدرسطححوزه‌هایپیچیدهوبزرگباخاک،کاربریاراضیوشرایطمختلفمدیریتیدردرازمدتطراحیشدهاست کهبهعنوانابزارمناسبیبرایشبیه-
سازیفرایندهایهیدرولوژیکی،کیفیتآب،فرسایشخاک،مدیریتمرتعواثراتتغییراقلیممورداستفادهقرارگرفتهاست (نیچ و همکاران، ۲۰۰۹).

نقشه‌هایپایهموردنیازشاملنقشهمدلارتفاعرقومیپا DEM،نقشهکاربریاراضیونقشهخاکمی‌باشندکه هرسهبایددرقالبرستریبهمدلارائهشوند.

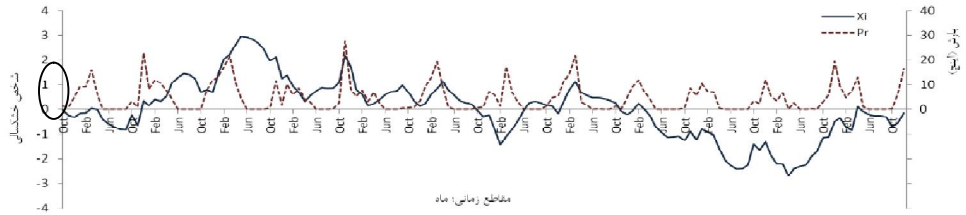
قابل ذکراست که این مدل با کمک داده‌های مدل‌های گردش جهانی، قابلیت شبیه‌سازی داده‌های مورد نیاز جهت محاسبه شاخص برای دوره‌های زمانی آینده را دارد.

۳)نتایج

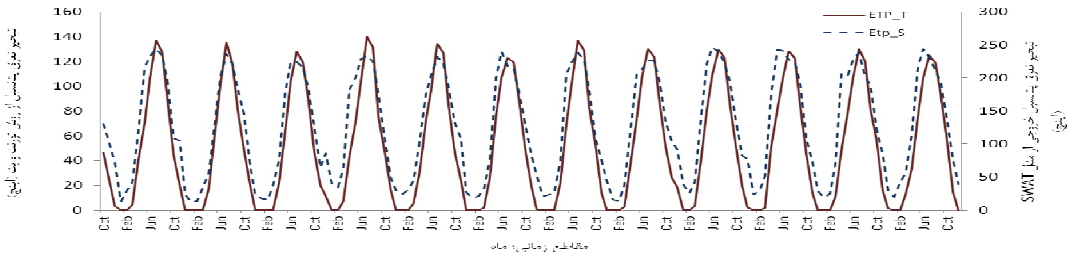
نتایج بدست آمده از این مطالعه شامل شکل های ۲، ۳، ۴ و ۵ می‌باشد. شکل-۲ تغییرات مقادیر شاخص و بارش را از اکتبر ۱۹۹۰ تا دسامبر ۲۰۰۲ نشان می‌دهند. محورهای افقی دوره‌ی زمانی را با فاصله-ی ۴ ماهه و محورهای عمودی در سمت راست و چپ به ترتیب مربوط به مقادیر بارش با واحد اینچ و شاخص محاسبه شده می‌باشد، دراین جا، شاخص بطور کامل بر اساس فرضیات اولیه‌ی آن محاسبه شده و این شکل نشان می‌دهد که انطباق مناسبی بینمقادیر بارش و مقادیر محاسبه شده‌ی شاخص پالمر وجود ندارد. در شکل-۳ مقایسه‌ی بین داده‌های تبخیرتعرق خروجی از مدل با تبخیرتعرق محاسبه شده به روش تورنت وایت(مورد استفاده در شاخص پالمر) نشان داده شده است. شکل-۴ مقایسه بین داده‌های رطوبت خاک خروجی مدل را با داده‌های بدست آمده از بیلان آبی مورد استفاده در روش پالمر را نشان می‌دهد. در نهایت شکل-۵ مقایسه بین مقادیر شاخص پالمر بدست آمده بر اساس ۴ روش که در قسمت‌های بالا آمده است را نشان می‌دهد.

---

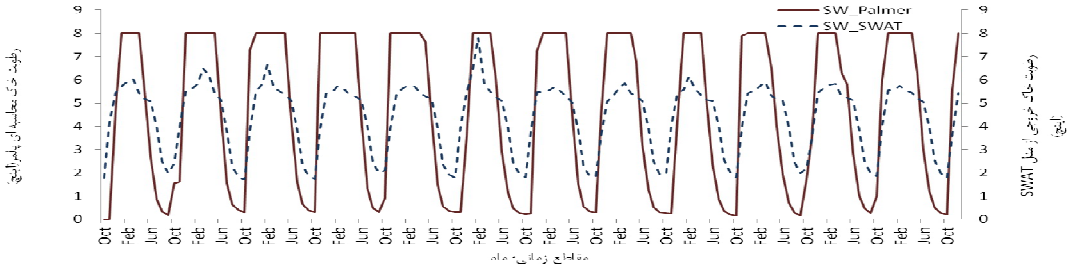
[۹] Semi distributed.



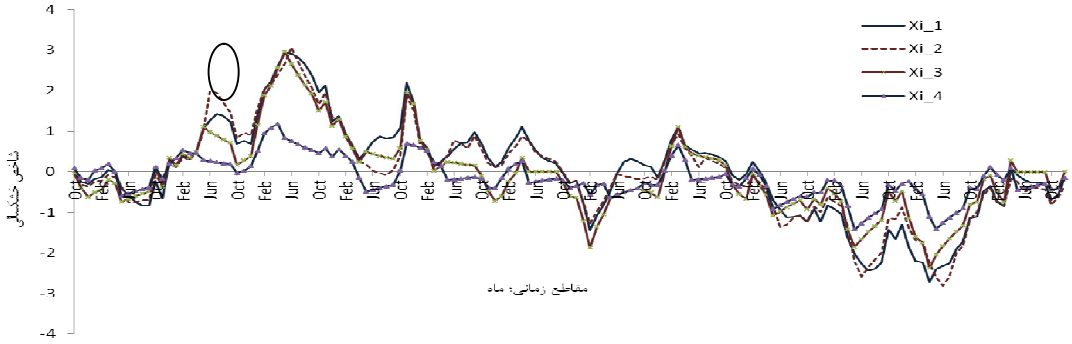
شکل۲) مقایسه بارش ماهانه و شاخص پالمر محاسبه شده بر اساس روش۱ (استفاده از تمامی فرضیات اولیه شاخص پالمر).



شکل۳)مقایسه تبخیرتعرق پتانسیل خروجی مدل با تبخیرتعرق محاسبه ای در شاخص پالمر (روش تورنت وایت).



شکل۴) مقایسه رطوبت خاک خروجی مدل با رطوبت محاسبه شده‌ی پالمر.



شکل۵) مقایسه شاخص پالمر محاسبه شده بر اساس ۴روش.

۴)نتیجه‌گیری و پیشنهادات

طبق مطالب ذکر شده در بخش نتایج، شکل ۲ نشان می‌دهد که الزاماً نقاط بیشینه‌ی بارش با شاخص محاسبه شده به روش ۱، هماهنگ نیست و این از ویژگی‌های خاص شاخص پالمر است که بر اساس یکسری فرآیندهای پیچیده بدست می‌آید و حافظه‌ی زمانی دوره‌های خشک را پویا در نظر می‌گیرد بطور مثال در شکل ۲، در فوریه سال دوم با اینکه مقدار بارش در حدود ۱۸ اینچ است و با بارش گام زمانی قبل بطور تقریبی ۹ اینچ اختلاف دارد مقدار عددی شاخص نزدیک به حالت نرمال شده و تفاوت چندانی با وضعیت قبل نداشته است. همچنین این وضعیت در ماه‌های دیگر و در سال‌های متمادی دیده می‌شود. بطور کلی وضعیت ماه جدید تحت تأثیر ماه‌های قبلی است و اگر در بین چند ماه خشک متوالی، مقدار بارش یک ماه خاص بطور قابل توجهی زیاد باشد، ممکن است شاخص تغییرات چشمگیری نداشته باشد و وضعیت را همچنان خشک نشان دهد.

آنچه که از شکل ۳ مشخص می‌شود این است که داده‌های تبخیرتعرق خروجی مدل (روش هارگریوز) با داده‌های بدست آمده از خود شاخص (روش تورنت وایت)، اختلاف چندانی ندارند و مقادیر نهایی شاخص پالمر (بر اساس روش ۲)نیز این‌چنین می‌باشد. از آنجایی‌که شاخص ،نتایجی با اختلاف ناچیز را داشته است، می‌توان نتیجه گرفت که در این حوزه، تبخیرتعرق شدیداً به دما وابسته است و حساسیت شاخص به داده‌های تبخیرتعرق زیاد نمی‌باشد البته پیشنهاد می‌گردد که حساسیت شاخص نسبت به سایر روش‌های برآورد تبخیرتعرق مورد سنجش قرار گیرد.

در شکل ۴، مقادیر رطوبت خاک خروجی از مدل در بیشتر ماه‌ها و در دامنه‌ای تقریباً ثابت، نوسان دارد و تفاوت زیادی را با داده‌های رطوبت خاک بدست آمده از مدل بیلان آبی مورد استفاده در شاخص پالمر نشان می‌دهد اما تفاوت بین نتایج نهایی شاخص (بر اساس روش ۳)، چشمگیر نمی‌باشد و در این‌جا هم می‌توان به این مطلب اشاره کرد که شاخص پالمر در این حوزه، به مقادیر رطوبت خاک حساسیت زیادی ندارد و بنابراین با هر نوع منبعی برای تولید داده‌های رطوبت خاک، تغییرات چندانی نخواهد داشت.

نتایج بدست آمده از محاسبه شاخص با ۴ روش ذکر شده در بخش‌های بالا، در شکل ۵ آورده شده است و نشان می‌دهد که روند مشابهی از نظر اینکه با گذشت زمان شرایط به سمت شرایط نرمال (مقادیر صفر شاخص) و خشکسالی (مقایر منفی)، پیش رفته، وجود دارد، همچنین نشان می‌دهد که در ماه‌های انتهایی، تأخیر زمانی بیشتر از ماه‌های ابتدایی می‌شود که این حالت، در روش ۴ نسبت به روش‌های دیگر بیشتر به چشم می‌خورد.

در روش‌های ۱، ۲ و۳ تقریباً روند مشابهی از نظر وضعیت خشکسالی و ترسالی دیده می‌شود در حالی‌که، در روش ۴ از نظر مقادیر عددی شاخص و نشان دادن درجه وضعیت خشکسالی، با سایر روش‌ها تفاوت دارد مثلاً در ژانویه سال سوم که بر روی شکل مشخص شده است، مقادیر شاخص بدست آمده از سه

روش اول تقریبا هماهنگ و منطبق بوده است در حالیکه در روش ۴ تفاوت زیادی با سایر روش ها دیده می‌شود .

از نتایج بدست آمده از تشریح شکل‌های بالا می‌توان نتیجه گرفت که در شکل ۵، روش ۴ که از کل داده‌های مدل استفاده شده است، وضعیت بیشتر نزدیک به نرمال و خشکسالی نشان داده می‌شود در حالیکه در روش‌های ۱، ۲ و ۳ شرایط ترسالی بیشتر دیده می‌شود، این تفاوت‌ها نشان از حساسیت شاخص به عوامل بیلان آبی است و نتیجه گرفته می‌شود که حتی الامکان به دنبال روش‌هایی برای برآورد دقیق عوامل باشیم و طبیعتاً نتایج به واقعیت نزدیک‌تر خواهند شد. پیشنهاد می‌شود در هر منطقه مطالعاتی، مدل‌های هیدرولوژیکی با اساس فیزیکی مانند مدلSWAT با کارهای جانبی و تکمیلی دیگر همراه شود تا بتوان اطمینان خوبی از داده‌های خروجی مدل داشت و اگر در منطقه‌ای به اطمینان خوبی از این داده‌ها رسیدیم توصیه می شود که این روش نیز برای آن منطقه در نظر گرفته شود. از طرف دیگر با توجه به اینکه شاخص پالمر بر اساس شرایط ایالات آمریکا بدست آمده است و در این مناطق تا حدودی کلیه‌ی فرضیات حاکم بوده و شاخص، ارزیابی نسبتاً خوبی از شرایط واقعی را نشان داده برای استفاده در مناطق دیگر به‌خصوص در ایران با اقالیم متفاوتی که وجود دارد، پیشنهاد می‌گردد معادله‌ی نهایی و ضرایب اقلیمی بکار رفته درآن،تصحیح گردد، با این‌کار، شرایط اقلیمی منطقه مورد مطالعه در محاسبات اولیه‌ی شاخص لحاظ و معادله‌ی نهایی استخراج می‌شود، حال با استفاده از معادله‌ی اصلاحی جدید و با استفاده از داده‌های مورد اطمینان خروجی از مدل، می‌توان به ارزیابی بهتر خشکسالی پرداخت. با توجه به مسائل بحران کمبود آب، وقوع خشکسالی‌های طولانی و شدید و تأثیر پدیده تغییر اقلیم بر این موارد در دهه‌ی های اخیر، توسعه‌ی چنین مدل‌هایی که توانایی نشان دادن شرایط فیزیکی و خاص یک منطقه را دارند و حساسیت‌های لازم را در محاسبات و ارزیابی‌ها لحاظ می‌نمایند، بیش از پیش اهمیت پیدا می‌کند.

همچنین با توجه به اینکه مدل ذکر شده قابلیت برآورد داده‌های مورد نیاز جهت محاسبه‌ی عوامل بیلان آبی را برای دوره‌های زمانی مختلف در آینده دارد، این مطالعه زمینه‌ای را برای مطالعه‌ی تأثیر تغییر اقلیم بر خشکسالی‌هایی با توالی مختلف و منابع آب در سال‌های آینده، فراهم می‌کند.

منابع و مراجع

(۱)آسیایی، م. (۱۳۸۵)" پایش خشکسالی در مشهد". جغرافیا و توسعه‌ی ناحیه‌ای (شماره هفتم)، ص ۱۸۶-۱۶۷.

(۲) براتی قهفرخی، س. (۱۳۸۵) "بررسی تغییرات کاربری اراضی و تاثیر آن در رفتار هیدرولوژیک زیرحوزه‌ی قلعه شاهرخ سد زاینده رود در طول دوره زمانی ۱۳۸۵-۱۳۸۱"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان.ص ۴۱-۳۹.

(۳) سلطانی تودشکی، ع. (۱۳۸۶) "کمی سازی خشکسالی با رویکرد هوا- آب‌شناختی؛ مبانی نظری و کاربرد"، پایان‌نامه دکتری. دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز.

(۴)بدون نام. (۱۳۹۰). نقشه دیجیتالی ازحوزه‌ی زاینده‌رود.

(5)Bonsal, B. R., Wheaton, E. E., Chipanshi, A. C., Lin, C., Sauchyn, D. J. and Wen, L.(2011.)Drought Research in Canada: A Review ,Atmos. Ocean. 49, 303-319.
(6)Faramarzi, M., Abbaspour, K. C., Schulin, R. and Yang, H.(2009.)Modelling blue and green water resources availability in Iran, Hydrol. Processes, 23, 486–501.
(7)Neitsch, S.L, Arnold, J.G., Kiniry, J.R. and Williams, J.R. (2009). Soil and water assessment tool documentation, (user's manual).
(8)Stringer, L. C., Dyer, J .C., Reed, M .S., Dougill, A .J., Twyman, C. and Mkwambisi, D. (2009.)Adaptations to climate change, drought and desertification:local insights to enhance policy in southern Africa. Environ. Sci. Policy., 12, 748-768.