

پایش دوره‌های خشک با شاخص شدت خشکی پالمر براساس داده‌های رطوبت خاک تخمین زده شده از مدل بیلان آبی: مطالعه موردی استان خراسان

حسین انصاری^{۱*}، سید حسین ثنائی نژاد و کامران داوری

عضو هیئت علمی گروه مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد؛ Ansari_hos@yahoo.com

عضو هیئت علمی گروه مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد؛ Sanaein@gmail.com

عضو هیئت علمی گروه مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد؛ K.davary@gmail.com

چکیده

دوره خشک^۲ یک دوره طولانی مدت از آب و هوای خشک است که تخلیه منابع آبی را باعث می‌شود و به دلیل وابستگی بشر و اکوسیستم به موجودیت آب، اثرات گسترده و شدیدی بر حیات بشری دارد. بررسی و پایش دوره‌های خشک با استفاده از شاخص شدت خشکی پالمر^۳ در یک دوره آماری ۳۱ ساله (۱۹۷۰-۲۰۰۱) در استان خراسان نشان داد که روند کلی تغییرات دوره‌های خشک در استان تقریباً یکسان بوده و دوره‌های خشک با شدت‌های متفاوت به کرات اتفاق افتاده است و به طور متوسط در هر ۲ سال دوره‌های خشک با شدت ملایم تا متوسط و هر ۶ الی ۷ سال دوره‌های خشک شدید تا خیلی شدید به وقوع پیوسته است، لذا وقوع این پدیده، یک مشخصه طبیعی و نرمال از اقلیم منطقه می‌باشد، هرچند که روند وقوع دوره‌های خشک در مناطق جنوبی، مرکزی و شمالی استان متفاوت بوده است. روند تغییرات طولانی مدت دوره‌های خشک نشان داد که در سال‌های اخیر تکرار، تداوم و شدت دوره‌های خشک در کلیه نقاط استان افزایش یافته است. این بررسی همچنین نشان داد که دوره‌های خشک به وقوع پیوسته در مناطق جنوبی استان تداوم و شدت بیشتری نسبت به مناطق مرکزی و شمالی استان دارد. شدیدترین دوره‌های خشک به وقوع پیوسته در طول دوره آماری در کل استان در دو دهه ۱۹۷۰ و ۱۹۹۰ میلادی اتفاق افتاده است. مقادیر شاخص در ماه‌های مختلف نشان داد که در اثر ترکیب دوره‌های خشک با شدت‌های متفاوت که دارای تداوم کم هستند، دوره‌های خشکی با تداوم بالا به وقوع می‌پیوندد. بررسی و تحلیل نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که اگرچه شاخص خشکی پالمر انتقادات بسیار زیادی را به همراه داشته است، اما می‌تواند به عنوان یک شاخص توانمند در تحلیل دوره‌های خشک مورد استفاده قرار گیرد.

واژه های کلیدی: دوره خشک، تداوم دوره خشک، تکرار دوره خشک، شاخص شدت دوره خشک پالمر، رطوبت خاک

۱- نویسنده مسئول، آدرس: مشهد، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی، گروه مهندسی آب، صندوق پستی ۹۱۷۷۵-۱۱۶۳

* دریافت: ۸۴/۳/۲۲ و پذیرش: ۸۶/۱۲/۲۲

۲- دوره‌های خشک یا خشکی معادل کلمه Drought است و متفاوت از کلمه خشکی (Dry) که نشان‌دهنده اقلیم خشک است، می‌باشد. زیرا برخلاف عرف معمول که از کلمه Drought به عنوان خشکسالی یاد می‌شود، در ادامه مشخص خواهد شد که این واژه، واژه مناسبی نیست و خشکسالی از تداوم خشکی در یک یا چند دوره خشک به وجود می‌آید. این محققین معتقدند که معادل کلمه Drought، دوره خشک یا خشک دوره بوده و لذا در مراجع فارسی باید از این دو واژه که همخوانی بیشتری با اصل کلمه Drought دارند، استفاده شود.

3- Palmer Drought Severity Index

مقدمه

دوره خشک یک دوره طولانی مدت از آب و هوای خشک است که تخلیه منابع آبی را باعث می‌شود و به دلیل وابستگی بشر و اکوسیستم به موجودیت آب، اثرات این پدیده گسترده و شدید است. دوره خشک به عنوان یک حادثه خیلی پیچیده که فهم آن نسبت به حوادث دیگر طبیعی مشکل‌تر بوده و مردم بیشتری را تحت تأثیر قرار می‌دهد، مد نظر قرار می‌گیرد.

نیاز به پایش و تعیین درجه، شدت، تداوم، زمان وقوع و خاتمه دوره‌های خشک از یک طرف و اظهار این عقیده که شاخص‌های تعیین دوره‌های خشک (Drought Indices) به عنوان یک ابزار مدیریتی و برنامه‌ریزی می‌باشند، از طرف دیگر محققین را بر آن داشته تا شاخص‌هایی جهت انجام مسائل فوق‌ارایه دهند. هدف یک شاخص خشکی تعیین ساده و کمی سه مشخصه یعنی شدت، تداوم و گستردگی مکانی آن است. یک شاخص خشکی همچنین می‌بایست سابقه تاریخی یک حادثه را به دست دهد تا امکان مقایسه شرایط موجود با گذشته وجود داشته باشد. بدین جهت شاخص محاسباتی پالمر که اساس آن بر عرضه و تقاضای آب می‌باشد به عنوان یک شاخص مناسب مطرح شد (Palmer, ۱۹۶۵). همانطور که بیان داشت:

«دوره خشک (Drought) یک دروه زمانی طولانی (ماهانه یا سالانه) است که در آن دوره ذخیره واقعی رطوبت در یک منطقه به طور پیوسته کمتر از ذخیره رطوبتی متناسب با اقلیم آن منطقه می‌باشد.

برای پایش دوره‌های خشک و شرایط محیطی پالمر در ۱۹۶۵ شاخص ساده‌ای را ارایه کرد که بعد از انجام اصلاحاتی بر روی آن، به نام شاخص شدت دوره خشک پالمر (PDSI) معروف شد. این شاخص یکی بهترین شاخص‌های شناخته شده برای پایش دوره‌های خشک است که علی‌رغم انتقادات وارده بر آن، به طور گسترده در سطح جهانی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Alley, ۱۹۸۴; Karl, Heddinghaus و Sabol, ۱۹۹۱; Guttman و همکاران, ۱۹۹۲; Guttman, ۱۹۹۱).

با اصلاحات انجام شده توسط محققین و سازمان‌هایی از جمله Karl, Sabol و Heddinghaus و Guttman, سازمان ملی امور جو و اقیانوسی آمریکا NOAA, سرویس ملی آب و هوای آمریکا NWS و ... بر روی این شاخص خشکی هواشناسی، این شاخص قابلیت پایش خشکی‌های کشاورزی و هیدرولوژیکی را نیز پیدا

کرد. از آنجایی که شاخص اولیه پالمر قابلیت استفاده برای پایش دوره خشک را نداشت، لذا PMDI^۱ جهت پایش همزمان دوره خشک ارایه شد (Hiddinghouse و Sabol, ۱۹۹۱). همچنین یک شاخص دیگر به نام شاخص Z از شاخص پالمر مشتق شد که برای پایش شرایط خشکی Dryness و تری Wetness ماهانه بصورت منفرد و همچنین پایش احتراق و آتش‌سوزی‌های ناشی از دوره‌های خشک طولانی مدت مورد استفاده قرار گرفت (Banks و Little, ۱۹۶۹; Haines و همکاران, ۱۹۷۶; Brotak و Reifsnnyder, ۱۹۷۷; Karl و Knight, ۱۹۸۵; Karl, ۱۹۸۶).

شاخص پالمر یک شاخصی است که علاوه بر موارد استفاده فوق‌العاده زیاد بیشترین انتقادات را نیز به همراه داشته است، محققین متعددی، انتقاداتی را به مدل و فرضیات پالمر وارد ساخته‌اند و محدودیت‌های آن را مورد بحث قرار داده‌اند. این منتقدین با توجه به ساختار شاخص پالمر به دو دسته قابل تقسیم‌اند یک دسته آنهایی که مدل پالمر را به طور خاص مدنظر قرار داده و دسته دیگر استفاده از مدل بیلان آبی را جهت پایش دوره‌های خشک به طور عام مورد بحث قرار داده‌اند (Bussay و همکاران, ۲۰۰۰; Attile و Szinell, ۱۹۹۶; Guttman, ۱۹۹۱; ۱۹۹۸; Guttman و همکاران, ۱۹۹۲; Eder و همکاران, ۱۹۹۶; Heddinghaus و Sabol, ۱۹۹۱; Szalai و همکاران, ۱۹۹۸; Karl, WMO, ۱۹۸۶; ۱۹۹۵).

اما همین محققین با توجه به ساختار خاص شاخص، و توانایی آن در تعیین شدت، تداوم، زمان شروع و خاتمه دوره‌های خشک از این شاخص به عنوان یک ابزار قدرتمندی برای پایش دوره‌های خشک، مدیریت و برنامه‌ریزی آن نام برده‌اند.

مواد و روشها**محدوده مطالعاتی**

استان کشور بوده که متوسط بارندگی آن ۲۰۹ میلیمتر (از نگارندگان مقاله) می‌باشد. میزان تغییرات بارندگی این استان به جهت پراکندگی آن در عرض جغرافیایی، تأثیر ارتفاعات بر شرایط آب و هوایی و تنوع اقلیمی و به علت وجود توده‌های هوای محلی بیش از ۳۰۰ میلیمتر بوده و تغییرات درجه حرارت در بعضی از مواقع سال به بیش از ۸۰ درجه سانتی‌گراد می‌رسد (از نگارندگان مقاله). بنا به دلایل فوق استان خراسان دارای شرایط

حجم رطوبت اولیه خاک، که خود نیز به تبخیر و تعرق پتانسیل (PE) و حجم رطوبت در دسترس لایه ترکیبی (AWC) وابسته است، مربوط می‌شود. در محاسبات حاضر با توجه به نبود مشخصات خاک در هر منطقه مقدار AWC، ۱۶۰ میلی‌متر فرض شد (رطوبت قابل ذخیره در دو لایه در یک خاک متوسط). همچنین فرض شده که رواناب تنها زمانی اتفاق می‌افتد که رطوبت در لایه ترکیبی خاک به ظرفیت رطوبتی اشباع برسد. در محاسبات انجام گرفته، علاوه بر تبخیر و تعرق پتانسیل (PE)، سه ترم دیگر پتانسیلی شامل: تغذیه پتانسیل (PR) که میزان رطوبت مورد نیاز برای رساندن رطوبت به حد ظرفیت زراعی است، هدررفت پتانسیل (PR) مقدار رطوبتی که می‌تواند بوسیله تبخیر و تعرق از خاک از دست برود زمانیکه بارندگی صفر است، و رواناب پتانسیل (PRO) که تفاوت بین بارندگی پتانسیل و تغذیه پتانسیل است، استفاده شد.

گام ۲) محاسبه ضرایب اقلیمی

این بخش با شبیه‌سازی بیلان آبی برای دوره‌ای که داده‌های هواشناسی موجود است، قابل انجام می‌باشد. ضرایب ماهانه از نسبت‌های بین متوسط‌های اقلیمی واقعی در مقابل مقادیر پتانسیلی تبخیر و تعرق، تغذیه، رواناب و هدررفت، به دست می‌آید.

گام ۳) محاسبه مقادیر $CAFEC^1$ (شرایط مناسب اقلیمی برای شرایط موجود)

در این بخش، ضرایب مربوط به تعیین مقدار بارندگی (P) مورد نیاز برای شرایط CAFEC محاسبه شدند.

گام ۴) محاسبه شاخص آنومالی^۲ رطوبت

در هر ماه تفاوت بین بارندگی واقعی مشاهده شده (P) و بارندگی در شرایط CAFEC (پارامتر P_C)، به عنوان یک شاخص از کمبود یا افزایش رطوبت برای برای ۱۲ ماه سال در منطقه مورد مطالعه، محاسبه شد ($D=P - P_C$). ضمناً برای استاندارد کردن و امکان انجام محاسبات تغییرپذیری مکانی انحرافات مذکور، با ضرب مقدار به دست آمده در پارامتر K (فاکتور وزنی ارایه شده توسط پالم) در هر ماه، شاخص محاسبه شده به آنومالی رطوبت تبدیل شد ($Z_j = K_j \cdot D_j$).

گام ۵) محاسبه شدت دوره خشک

در گام نهایی، سریهای زمانی شاخص Z برای ایجاد یک معیار برای تعیین شروع و خاتمه دوره‌های خشک و

مناسبی برای کشت انواع محصولات گرمسیری، نیمه گرمسیری و سردسیری می‌باشد.

جهت انجام مطالعات مورد نظر در سطح استان ابتدا کلیه ایستگاههای سینوپتیک، کلیماتولوژی سازمان هواشناسی و بارانسنجی شرکت سهامی آب منطقه‌ای خراسان واقع در سطح استان (مجموعاً ۲۴۲ ایستگاه) مورد شناسایی قرار گرفتند. از آنجایی که برای محاسبه شاخص پالم حداقل ۳۰ سال داده موردنیاز می‌باشد (Palmer, ۱۹۶۵)، لذا ۱۶ ایستگاه که دارای آمار مناسب و کافی بودند از بین ایستگاههای مورد مطالعه انتخاب شدند (شکل ۱). همانطور که در شکل مشخص شده این ایستگاه در کل سطح استان پراکنده شده‌اند. البته توزیع ایستگاه‌ها در سطح استان یکسان نمی‌باشد. پس از تعیین موقعیت و مشخصات ایستگاهها و جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز، مقادیر ماهانه شاخص پالم در هر یک از ایستگاه برای دوره آماری ۲۰۰۱-۱۹۷۰ محاسبه و با مقایسه مقادیر شاخص با مقادیر آستانه ارایه شده توسط پالم (جدول ۱)، دوره‌های خشک پایش و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

مدل پالم

همانطورکه بیان شد برای مدل تحلیل پایش دوره‌های خشک شاخص PDSI انتخاب گردید و در این خصوص از برنامه کامپیوتری استفاده شد. در محاسبات این شاخص به جهت نبود اطلاعات مربوط به داده‌های رطوبت خاک برای دوره آماری، با استفاده از مدل بیلان آبی ارایه شده در برنامه، داده‌های رطوبت خاک برای هر ایستگاه با توجه به مقادیر بارندگی، درجه حرارت (تبخیر و تعرق) و خصوصیات خاک منطقه برای هر ماه برآورد شدند (مکاتبات شخصی Szalai, ۲۰۰۲). شاخص خشکی پالم براساس معادلات بیلان آبی با نگاهی به گذشته بصورتی ارایه شده که بنیان آن برروابط بین عرضه و تقاضای رطوبت استوار بوده و یک اندازه کمی واحدی را از شدت دوره‌ها به دست می‌دهد. با توجه به گستردگی معادلات و محاسبات انجام شده، در این بخش تنها مفاهیم و گامهای اساسی برای محاسبه PDSI ارایه شده است.

گام ۱) محاسبات هیدرولوژیکی

محاسبه شاخص برمبنای بیلان آب اقلیمی با استفاده از داده‌های طولانی مدت درجه حرارت (برای محاسبه تبخیر و تعرق) و بارندگی به عنوان اطلاعات ورودی انجام شد. ضمناً از یک روش تجربی (با تقسیم خاک به دو لایه مشخص) هم برای محاسبه رطوبت خاک استفاده شد. بدین صورت که فرض شده رطوبت موجود در خاک در حالت ظرفیت زراعی در لایه سطحی ۲۵ میلی‌متر و در لایه ترکیبی AWC می‌باشد. هدررفت آب از لایه زیرین به

نتایج حاصل از شاخص برای ایستگاههای مورد اشاره نشان می‌دهد که:

مقادیر شاخص PDSI با تغییر مقادیر بارندگی ماهانه و آنومالی آن تغییر می‌کند. مقادیر شاخص ارایه شده در ماههای مختلف سال ۲۰۰۰ (شکل ۲) نشان می‌دهد در زمانی که مقادیر شاخص برای یک دوره چند ماهه کمتر از صفر بوده، افزایش نسبتاً زیاد مقدار بارندگی نسبت به نرمال در یک ماه، تغییرات زیادی را در مقدار شاخص باعث نشده است. این موضوع در ماههای آخر سال ۲۰۰۰ میلادی در ایستگاههای تربت حیدریه (خصوصاً ماه ۱۰)، مشهد و بشرویه به خوبی به تصویر کشیده شده است. اما در ایستگاه بجنورد که مقادیر شاخص نزدیک نرمال بوده و عملاً در ماههای مختلف از دوره خشک به دوره تر و بالعکس تغییر حالت داده، این مشکل کمتر به چشم می‌خورد.

تغییرات آنومالی تبخیر و تعرق ماهانه، به خوبی مقادیر شاخص PDSI را تحت تأثیر قرار داده است. این موضوع تقریباً در تمام ایستگاهها مورد اشاره و دیگر ایستگاه مشاهده شد.

نتایج ارایه شده در شکل ۲ به خوبی نشان می‌دهد که مقادیر شاخص در هر ماه به شدت تحت تأثیر مقادیر شاخص در ماههای قبل بوده، لذا در تحلیل مقادیر آن باید مقادیر شاخص و بارندگی و نحو تغییرات آنها در ماههای قبل را هم مدنظر قرارداد. این موضوع در ماههای ۸ تا ۱۰ در ایستگاه بشرویه، ماه ۱۰ تا ۱۲ ایستگاه تربت حیدریه و ماه ۶ و ۱۱ ایستگاه مشهد قابل مشاهده است.

روند تغییرات شاخص در ایستگاههایی مانند ایستگاههای بشرویه، تربت حیدریه و مشهد که در بعضی از فصول مثلاً فصل تابستان دارای بارندگی نسبتاً پایین و تبخیر و تعرق بالایی هستند، یک روند نسبتاً سینوسی می‌باشد. این روند باعث شده که افزایش میزان بارندگی در ماههای تابستان و پاییز و همچنین کاهش میزان تبخیر و تعرق در این ماهها (ماه ۹، ۱۰ و ۱۱ در ایستگاه مشهد و ماه ۱۱ در ایستگاه تربت حیدریه و ...) نتواند تغییر چندانی در مقادیر شاخص بدهد. این موضوع به جهت تغییرات سینوسی رطوبت خاک در طول سال می‌باشد که به شدت مقادیر شاخص را تحت تأثیر خود قرار داده است، البته این روند در ایستگاههای مشابه بجنورد که دارای توزیع مناسبتر بارندگی در طول سال می‌باشد و معمولاً تخلیه رطوبت به طور کامل اتفاق نمی‌افتد، نمود کمتری دارد.

در پایش دوره‌های خشک با استفاده از این شاخص از آنجایی که تغییرات مقادیر شاخص در یک دوره یک ماهه خلاصه نمی‌شود (مشروح در بند ۱، ۳ و ۴)، لذا

ارایه یک فرمول مشخص برای تعیین شدت دوره خشک مورد بررسی قرار گرفت. در این گام برای تعیین شدت دوره‌های خشک از عبارت تجربی ارایه شده توسط پالم به صورت زیر استفاده شده است:

$$X_j = 0.897X_{j-1} + \frac{Z_j}{3}$$

مقادیر X_j همان مقادیر PDSI برای ماه j ام است، که پالم با تعیین مقادیر آستانه این شاخص، طبقه‌بندی اقلیمی مربوط به شدت دوره‌های خشک را به شرح جدول ۱ ارایه داد.

گام ۶) محاسبه تداوم دوره خشک

تداوم دوره‌های خشک با استفاده از شاخص تجمعی تداوم، بصورت زیر محاسبه شد:

$$DM = \left[\sum_{j=1}^m DI_j \right] \quad PDSI-05 \quad DI = -1$$

که j با اولین ماه شروع دوره خشک شروع و تا زمانیکه این دوره در ماه m خاتمه پیدا کند، ادامه می‌یابد. DM واحد ماه را دارد و از نظر عددی برابر با تداوم دوره خشک است (در هر ماه خشک DI برابر ۱- است). تداوم دوره خشک شامل تداوم وضعیت موجود از زمان شروع تا اتمام آن می‌باشد.

یافته‌ها

برای تجزیه و تحلیل نتایج حاصل از پایش دوره‌های خشک با استفاده از شاخص پالم، مقادیر این شاخص در ۱۶ ایستگاه مورد نظر در سطح استان، برای ۱۲ ماه سال محاسبه و روند تغییرات آن در دوره آماری ۲۰۰۱-۱۹۷۰ مورد بررسی قرار گرفت. در ابتدا تغییرات مقادیر شاخص با تغییرات مقادیر متوسط پارامترهای بارندگی و درجه حرارت (و به تبع آن تبخیر و تعرق) و نیز آنومالی بارندگی و آنومالی تبخیر و تعرق ماهانه مقایسه شدند، بنحویکه به عنوان نمونه مقادیر مذکور برای سال ۲۰۰۰ میلادی در چهار ایستگاه سینوپتیک واقع در اقلیم‌های مختلف استان خراسان، ایستگاه بشرویه در جنوب استان، ایستگاه تربت حیدریه در مرکز استان، ایستگاه مشهد در شرق استان و ایستگاه بجنورد در شمال استان در شکل ۲ ارایه شده است. در مرحله دوم نیز برای نشان دادن نتایج حاصل از تغییرات شدت و مدت دوره‌های خشک در یک دوره آماری طولانی مدت (۲۰۰۱-۱۹۷۰)، روند تغییرات مقادیر شاخص در ایستگاه‌های مورد نظر مورد بررسی قرار گرفت که به عنوان نمونه نتایج مربوط به ایستگاههای بشرویه، تربت حیدریه، مشهد و بجنورد در شکل ۳ به تصویر کشیده شده است.

استفاده از این شاخص برای پایش دوره‌های خشک کشاورزی و هواشناسی که عملاً دوره‌های ماهانه و حتی کمتر از آن را شامل می‌شود، مناسب به نظر می‌رسد.

بررسی روند تغییرات دوره‌های خشک در دوره آماری ۲۰۰۱-۱۹۷۰ (شکل ۳) با استفاده از شاخص پالمیر، نشان می‌دهد که عموماً در هر سال در طول دوره آماری، در ماههایی از سال دوره خشک به وقوع پیوسته و به عبارتی کمبود رطوبت نسبت به نرمال در این ماهها مشهود بوده است. این پدیده در کلیه ایستگاهها قابل رویت است، به جز در سالهای مشخصی مانند سال ۱۹۹۱ و ۱۹۹۲ در همه ایستگاهها، سالهای ۱۹۸۱ و ۱۹۸۲ در ایستگاه مشهد، سالهای ۱۹۷۷ تا ۱۹۸۰ در بجنورد و.....

تحلیل و بررسی روند تغییرات دوره‌های خشک در طول دوره آماری همچنین نشان داد که در بعضی از مواقع دوره‌های خشک با تداوم بیشتر از چند سال به وقوع پیوسته است، در صورتی که بارندگی‌های مناسبی در بعضی از ماههای این سالها اتفاق افتاده است. من جمله می‌توان به دوره خشک سالهای ۱۹۹۸ و ۱۹۹۹ بجنورد، ۱۹۸۸ تا ۱۹۹۰ تربت حیدریه و ۱۹۹۳ تا ۱۹۹۷ مشهد اشاره کرد. به نظر می‌رسد یکی از عواملی که از تغییر شاخص از مقادیر منفی به مقادیر مثبت در ماههای با بارندگی مناسب جلوگیری می‌کند، تخلیه بیش از حد رطوبت از خاک در ماههای قبل این دوره‌های خشک می‌باشد.

مجموع عوامل مورد بحث و معایب و مشکلات برشمرده شده، نهایتاً دقت بیشتری را در مقایسه و تحلیل شدت دوره‌های خشک در ماههای مختلف سال با این شاخص طلب می‌کند.

علاوه بر موارد فوق، نتایج حاصل از شاخص پالمیر را می‌توان برای پایش دقیقتر دوره‌های خشک در هریک از ایستگاههایی که امکان محاسبه شاخص وجود دارد، مورد استفاده قرار داد. به عنوان نمونه نتایج مربوط به شاخص پالمیر و پایش دوره‌های خشک در ایستگاه سینوپتیک مشهد برای دوره آماری ۲۰۰۱-۱۹۷۰ در بخش زیر آمده است:

نتایج به دست آمده در این ایستگاه نشان داد که در ۳۱ سال گذشته ۱۶ دوره خشک کلی که مجموعاً ۲۰۶ ماه به درازا کشیده است، بوقوع پیوسته است. در بین این دوره‌های خشک، طولانی‌ترین دوره، دوره خشکی بوده که در تاریخ ۱۹۹۳/۱۲ شروع شده و در تاریخ ۱۹۹۷/۹ با ۴۶ ماه تداوم به پایان رسیده است. این ۱۶ دوره خشک از ترکیب ۲۲ دوره خشک ملایم با ۸۱ ماه خشک، ۱۷ دوره

خشک متوسط با ۶۵ ماه خشک، ۱۳ دوره خشک شدید با ۳۴ ماه خشک، و ۵ دوره خشک خیلی شدید با ۲۶ ماه خشک به وجود آمده است. بررسی دوره‌های خشک نشان داد که در بین دوره‌های خشک ملایم، دوره خشک مورخه ۱۹۸۰/۴ تا ۱۹۸۰/۱۱ با ۸ ماه تداوم طولانی‌ترین دوره خشک ملایم، در بین دوره‌های خشک متوسط، دوره‌های خشک ۱۹۷۰/۵ تا ۱۹۷۰/۱۱ و ۱۹۹۹/۱۱ تا ۱۹۹۹/۷ با ۷ ماه تداوم طولانی‌ترین دوره خشک متوسط، در بین دوره‌های خشک شدید، دوره خشک مورخه ۱۹۹۰/۶ تا ۱۹۹۰/۱۱ با ۶ ماه تداوم طولانی‌ترین دوره خشک شدید بوده است. نتایج همچنین نشان داد که در طول دوره آماری، شدیدترین دوره‌های خشک که ۹ ماه هم تداوم داشته‌اند در تاریخ ۲۰۰۰/۲ تا ۲۰۰۰/۱۰ و ۲۰۰۱/۲ تا ۲۰۰۱/۱۰ به وقوع پیوسته‌اند.

با بررسی تعداد دوره‌های خشک در شدت‌های متفاوت، مشخص شد که در اکثر موارد دوره‌های خشک با شدت‌های متفاوت با هم ترکیب شده و یک دوره خشک کلی را شامل شده است.

بررسی دوره‌های خشک با استفاده از شاخص پالمیر نشان داد که در سال‌های اخیر تداوم و شدت دوره‌های خشک افزایش یافته است.

با بررسی خروجی مدل مشخص شد که در طول دوره آماری، سال‌های ۱۹۷۲، ۱۹۷۶، ۱۹۷۹، ۱۹۸۲، ۱۹۸۳، ۱۹۹۱ و ۱۹۹۲، سال‌های کاملاً مرطوبی بوده‌اند.

توصیه و پیشنهاد

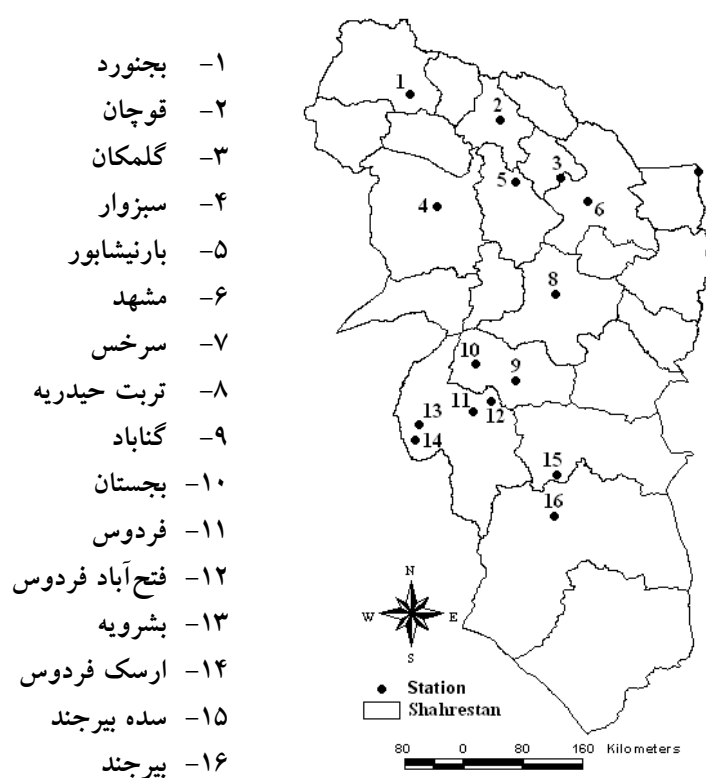
پیشنهاد می‌شود که مقادیر این شاخص بصورت هفتگی برای کل ایستگاههای که دارای آمار و اطلاعات مناسبی هستند تولید و از مقادیر به دست آمده برای پایش دوره‌های خشک استفاده شود.

پیشنهاد می‌شود نتایج حاصل از این شاخص با دیگر شاخص‌های دوره‌های خشک مقایسه شود. برای مثال پیشنهاد می‌شود که نتایج این شاخص با شاخص بارندگی استاندارد شده مقایسه و نتایج با تصاویر ماهواره‌ای چک گردد.

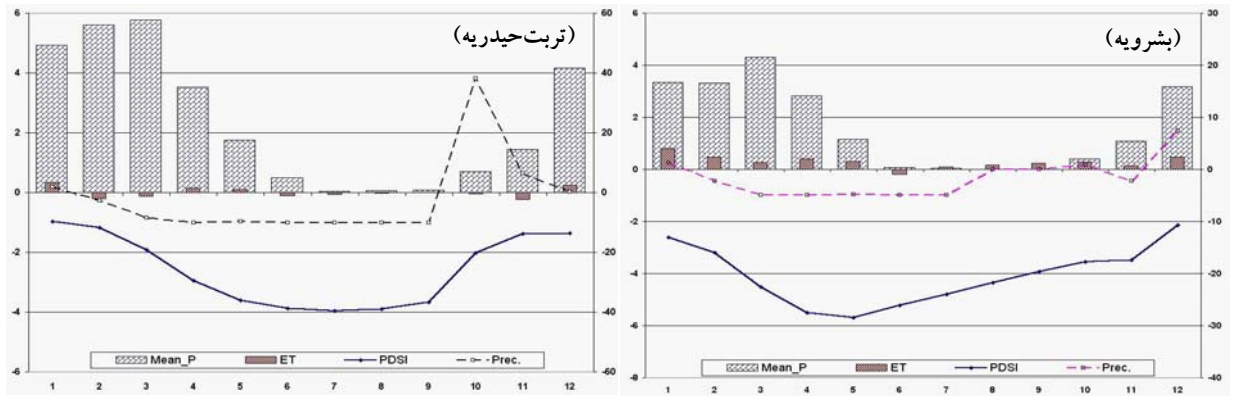
پیشنهاد می‌شود مدل مکانی مناسبی برای پهنه‌بندی این شاخص ارائه شود تا بتوان نهایتاً از آن برای مدیریت بهتر دوره‌های خشک، تبدیل مدیریت بحران به مدیریت ریسک، بیمه محصولات کشاورزی و ... استفاده کرد.

جدول ۱- طبقه‌بندی اقلیمی مربوط به دوره‌های خشک براساس شاخص پالمیر

طبقه دوره خشک	PDSI
مرطوب خیلی شدید	≥ 4.00
مرطوب شدید	3.00 to 3.99
مرطوب متوسط	2.00 to 2.99
کمی مرطوب	1.00 to 1.99
شروع جبهه مرطوب	0.5 to 0.99
نزدیک نرمال	0.49 to -0.49
شروع دوره خشک	-0.5 to -0.99
دوره خشک ملایم	-1.00 to -1.99
دوره خشک متوسط	-2.00 to -2.99
دوره خشک شدید	-3.00 to -3.99
دوره خشک خیلی شدید	≤ -4.00

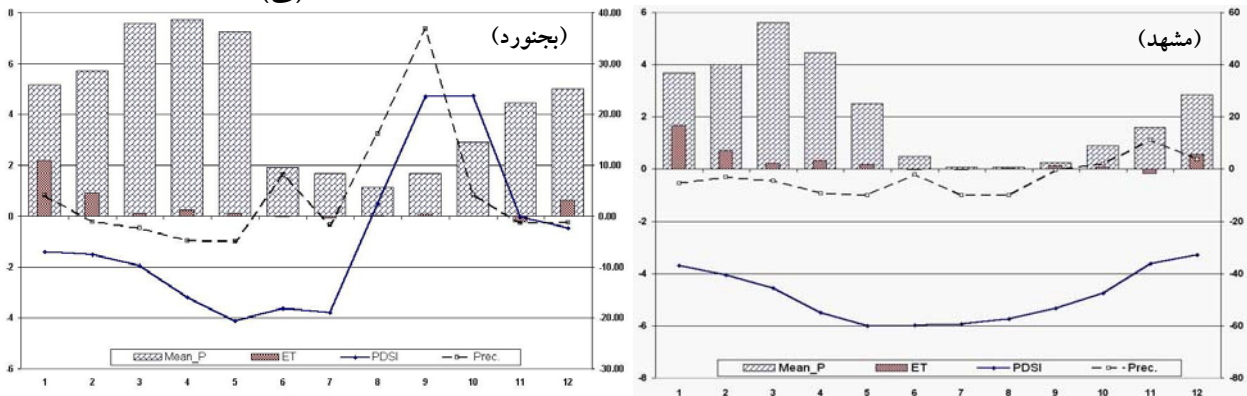


شکل ۱- موقعیت ایستگاه‌های مورد استفاده برای پایش دوره‌های خشک با استفاده از PDSI



(ب)

(الف)

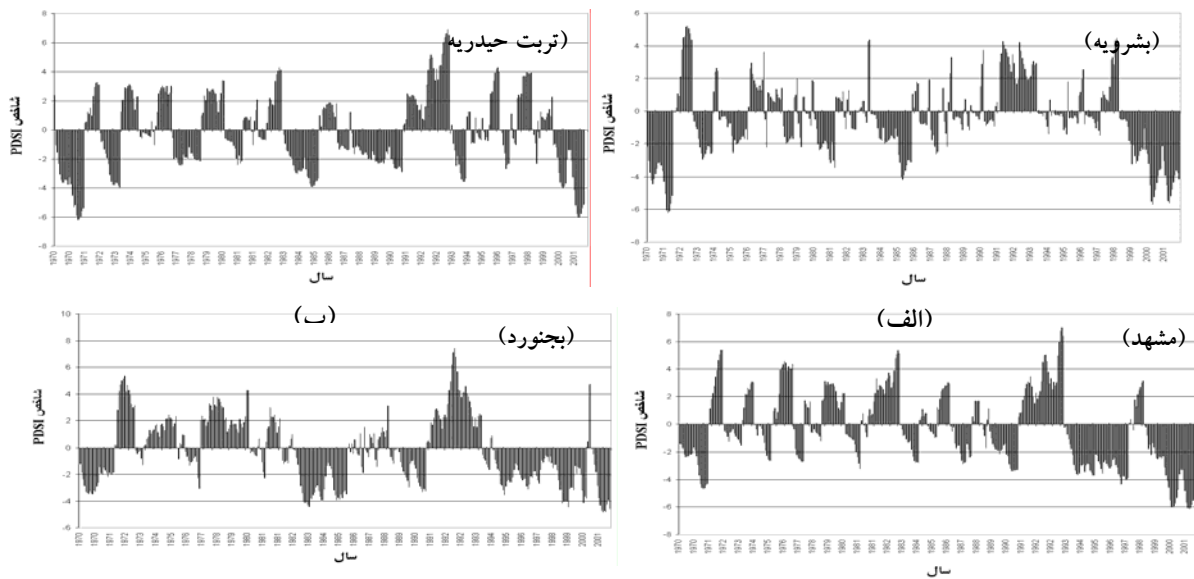


(د)

(ج)

ET: آنومالی تبخیر و تعرق، Prec: آنومالی بارندگی، Mean_P: میانگین ماهانه بارندگی و PDSI: شاخص پالمر ماهانه

شکل ۲- روند تغییرات شاخص PDSI با پارامترهای بارندگی و تبخیر و تعرق ماهانه در سال ۲۰۰۰ میلادی
روند تغییرات مقادیر شاخص PDSI در دوره آماری ۱۹۷۰-۲۰۰۱



(د)

(ج)

شکل ۳- روند تغییرات مقادیر شاخص PDSI در دوره آماری ۱۹۷۰-۲۰۰۱

زمان وقوع دوره خشک با بیشترین تداوم		بیشترین تداوم (ماه)	تعداد کل دوره‌های خشک	دوره‌های خشک		تعداد ماه‌های با PDSI کمتر از صفر	شدت دوره خشک
زمان خاتمه	زمان شروع			تعداد	تداوم (ماه)		
				۲	۱		
				۳	۲		
				۲	۵		
				۲	۷		
۱۹۹۷/۹	۱۹۹۳/۱۲	۴۶	۱۶	۲	۱۲	۲۰۶	در همه شدتها
				۱	۱۳		
				۱	۲۱		
				۱	۳۴		
				۱	۳۶		
				۱	۴۶		
				۳	۱		
				۶	۲		
				۲	۳		
۱۹۸۰/۱۱	۱۹۸۰/۴	۸	۲۲	۴	۴	۸۱	ملايم (-1<PDSI≤-0.5)
				۲	۵		
				۲	۶		
				۲	۷		
				۱	۸		
				۱	۱		
۱۹۷۰/۱۱	۱۹۷۰/۵			۳	۲		
				۴	۳		
		۷	۱۷	۴	۴	۶۵	متوسط (-3<PDSI≤-2)
۱۹۹۹/۱۱	۱۹۹۹/۵			۲	۵		
				۱	۶		
				۲	۷		
				۴	۱		
				۲	۲		
۱۹۹۰/۱۱	۱۹۹۰/۶	۶	۱۳	۴	۳	۳۴	شدید (-4<PDSI≤-3)
				۲	۴		
				۱	۶		
				۲	۱		
۲۰۰۰/۱۰	۲۰۰۰/۲	۹	۵	۱	۶	۶	خیلی شدید (PDSI≤-4)
۲۰۰۱/۱۰	۲۰۰۱/۲			۲	۹		

فهرست منابع:

1. Alley, W.M. 1984. The Palmer Drought Severity Index Limitations and Assumptions. Journal of Climate and Applied Meteorology, 23:1100 - 1109.
2. Attila, B. and C. Szinell. 1996. Drought Continues in Hungary in 1995. Issue of Drought Network News [*On-line*], 3. Available on the WWW: <http://enso.unl.edu/ndmc>.
3. Banks, W.G. and S. Little. 1964. The Forest of April 1963 in New Jersey Point the way to Better Protection and Management. Five Control Notes, 25:3-6.

4. Brotak, E.A. and W.E. Refssnyder. 1977. An Investigation of the Synoptic Situation Associated with Major Wildland Fires. *Journal of Applied Meteorology*, 16:867-870.
5. Bussay, A., M. Hayes, Cs. Szinell and M. Svoboda. 2000. Monitoring Drought in Hungary with the Standardized Precipitation Index. *Journal of Water International*, 15:339-345.
6. Haines, D.A., V.J. Johanson and W.A. Main. 1976. An Assessment of three Measures of Long Term Moisture Deficiency before Critical Fire Periods. USDA Forest Service Reserch Paper. NC-131, 13pp.
7. Heddinghause, T.R. and P. Sabol. 1991. A Review of the Palmer Drought Severity Index and Where Do We Go from Here?, *Journal of Climatology*, 2:313-329.
8. Eder, B.K., M.J. Davis and J.F. Monahan. 1986. Spatial and Temporal Analysis of the Palmer Drought Severity Index Over the Southeastern United States:1895-1981. *Journal of Climatology*, 7:31-56.
9. Guttman, N.B. 1991. A Sensitivity Analysis of the Palmer Hydrologic Drought Index. *Water Resources Bulletin*, 27:797-807.
10. Guttman, N.B. 1998. Comparing the Palmer Drought Index and Standardized Precipitation Index. *Journal of American Water Resource Association*, 34:113-121.
11. Guttman, N.B., J.R. Wallis and J.R.M. Hosking. 1992. Spatial Comparability of the Palmer Drought Severity Index. *Water Resources Bulletin*, 28:111-119.
12. Karl, T.R. 1986. The Sensitivity of the Palmer Drought Severity Index and Palmer's Z_Index to their Calibration Coefficients including Potential Evapotranspiration. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 25:77-86.
13. Karl, T.R. and R.W. Knight. 1985. Atlas of Monthly Palmer Hydrological Drought Indices 1931-1983 for the Contiguous United State. Historical Climatology Series 3-7, National Climate Data Center, Asheville, Nc.
14. Palmer, W.C. 1965. Meteorological Drought. Research. Paper No. 45, U.S. Department of Commerce Weather Bureau, Washington, D.C.
15. Szalai, S., Cs. Szinell, A. Bussay and T. Szentimrey. 1998. Drought Tendencies in Hungary. *Journal of Climatology*, 18:1479-1491.
16. WMO (World Meteorological Organization). 1995. Drought and Agriculture. WMO Technical Note, No. 138, Report of the CAgM Working Group on the Assessment of Drought, Geneva, Switzerland, WMO.