



دانشگاه گوارش و منابع طبیعی

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک

جلد بیست و دوم، شماره پنجم، ۱۳۹۴

<http://jwsc.gau.ac.ir>

واسنجی شاخص شدت خشکسالی پالمز تحت شرایط اقلیمی خشک و نیمه‌خشک مناطق غرب و جنوب‌غرب ایران

سمیرا شهبازی^۱،* جواد بذرافشان^۲، پرویز ایران‌نژاد^۳ و تیمور سهرابی^۴

^۱دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشگاه تهران، دانشیار گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشگاه تهران،

^۲دانشیار مؤسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران، ^۳استاد گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشگاه تهران

تاریخ دریافت: ۹۳/۲/۱۶؛ تاریخ پذیرش: ۹۳/۹/۹

چکیده

سابقه و هدف: امروزه شاخص‌های خشکسالی به‌عنوان ابزار مناسب برای اقدامات مدیریتی و مقابله با پدیده خشکسالی، به‌طور وسیعی در دنیا مورد استفاده قرار می‌گیرند. کاربرد برخی شاخص‌ها، به‌ویژه شاخص‌های فیزیکی خشکسالی نظیر شاخص شدت خشکسالی پالمز (PDSI)، در یک منطقه جدید ممکن است در ابتدا به واسنجی نیاز داشته باشد. این شاخص بر اساس ویژگی‌های اقلیمی دما و بارش و خصوصیات خاک، استاندارد شده و مقایسه آن در اقلیم‌های مختلف کره زمین امکان‌پذیر است. هدف از این مطالعه، واسنجی شاخص شدت خشکسالی پالمز (PDSI) تحت شرایط اقلیمی خشک و نیمه‌خشک نواحی غرب و جنوب‌غرب ایران و مقایسه شاخص واسنجی شده با نسخه اولیه شاخص پالمز است.

مواد و روش‌ها: داده‌های ورودی مورد نیاز شاخص عبارتند از مقادیر میانگین ماهانه دمای هوا و مجموع ماهانه بارندگی که از نه ایستگاه سینوپتیک مستقر در غرب و جنوب‌غرب ایران گردآوری شد. داده‌های قابل دسترس ایستگاه‌ها فاصله سال‌های ۱۹۶۶ تا ۲۰۰۵ را پوشش می‌دهند. ایستگاه‌های منتخب محدوده ارتفاعی ۶/۶ متر از سطح دریا (آبادان) تا ۲۰۴۸/۹ متر از سطح دریا (شهرکرد) را شامل می‌شوند. کم‌ترین و بیش‌ترین مقدار میانگین سالانه دما به‌ترتیب مربوط به ایستگاه شهرکرد (۱۱/۸ درجه سلسیوس) و آبادان و اهواز (۲۵/۴ درجه درجه سلسیوس) می‌باشد. از نظر میانگین سالانه بارندگی، ایستگاه‌های کرمانشاه و آبادان به‌ترتیب با مقادیری معادل ۵۵۵/۳ و ۱۶۴/۶ میلی‌متر، حدود بالا و پایین بارندگی در مجموعه ایستگاه‌های منتخب را تشکیل می‌دهند. کنترل کیفیت داده‌ها با استفاده از روش‌های مختلف به انجام رسید و ضرایب شاخص پالمز بر مبنای داده‌های بارندگی و دما در غرب و جنوب‌غرب کشور به‌صورت منطقه‌ای واسنجی گردید.

یافته‌ها: با استفاده از آزمون‌های همگنی مشخص شد که داده‌های بارندگی ایستگاه‌های منتخب همگن‌اند ولی همگنی داده‌های دمای هوا در بعضی ایستگاه‌ها تأیید نشد. آزمون کفایت داده‌ها نشان داد که یک دوره ۴۰ ساله برای پایش خشکسالی در منطقه کافی می‌باشد. روند کلی تغییرات شاخص پالمز در حالت واسنجی با حالت عدم واسنجی تقریباً

* مسئول مکاتبه: jbazr@ut.ac.ir

یکسان است. با این حال، نوسانات شاخص در حالت واسنجی بسیار شدیدتر از عدم واسنجی است به طوری که هم در دوره‌های تر و هم در دوره‌های خشک، عمق خشکسالی‌ها و اوج ترسالی‌ها در حالت واسنجی بزرگ‌تر از حالت عدم واسنجی است. تفاوت شاخص در دو حالت واسنجی و عدم واسنجی، بیش‌تر تحت شرایط ترسالی نمود پیدا کرده است تا در شرایط خشکسالی. در همه ایستگاه‌های مورد بررسی، فراوانی طبقات خشکسالی‌ها و ترسالی‌های بسیار شدید بر مبنای نسخه واسنجی شده پالمر بزرگ‌تر از نسخه اولیه پالمر است.

نتیجه‌گیری: نتایج نشان داد اگرچه اختلاف چندانی بین ضرایب اصلی شاخص پالمر واسنجی شده و نسخه اولیه آن وجود ندارد ولی به‌علت تفاوت زیاد آن دو در فاکتورهای وزنی ماهانه، بین سری‌های حاصل از نسخه واسنجی شده و اولیه اختلاف معنی‌داری وجود دارد. علاوه بر این، مشخص شد که از نظر معادلات شدت-تداوم پدیده‌های خشکسالی و فراوانی وقوع طبقات مختلف خشکسالی و غیرخشکسالی تفاوت بارزی بین نسخه‌های واسنجی شده و اولیه در ایستگاه‌های منتخب وجود دارد.

واژه‌های کلیدی: شاخص شدت خشکسالی پالمر (PDSI)، واسنجی، اقلیم خشک و نیمه‌خشک، مشخصه‌های خشکسالی

مقدمه

خاک، حمله آفت‌ها و بیماری‌های گیاهی، آسیب به حیات وحش و افزایش هزینه‌های آبیاری از جمله خسارت‌های خشکسالی در بخش کشاورزی هستند. خشکسالی بین سال‌های ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۱ از یک فصل راتر رفته و می‌توان گفت که آسیب آن به اوج خود رسیده است. به‌عنوان مثال خسارت خشکسالی بین این سال‌ها در استان بوشهر حدود ۴۰۲ میلیارد ریال و در استان خوزستان حدود ۵۹۴ میلیارد ریال تخمین زده شده است. همچنین در استان کرمانشاه محصول ۱۵۰۰۰ هکتار از زمین‌های کشاورزی خسارت زیادی را متحمل شده‌اند (۱).

بررسی‌های ویلهایت و گلاتنز (۱۹۸۵) نشان می‌دهد که تا اوایل دهه ۱۹۸۰ بیش از ۱۵۰ گونه تعریف از خشکسالی در جهان وجود دارد (۲۸). لینسلی و فرانزی (۱۹۷۹) خشکسالی را به‌عنوان میزان بارندگی کم‌تر از حد معمول یک منطقه در یک دوره زمانی معین تعریف کرده‌اند (۱۶). ویلهایت و گلاتنز (۱۹۸۵) انواع خشکسالی‌ها را به چهار طبقه تقسیم کرده‌اند: خشکسالی هواشناسی، خشکسالی

خشکسالی یک دوره کوتاه‌مدت یا طولانی‌مدت خشک است که بر اثر کمبود منابع آبی نسبت به شرایط نرمال در یک منطقه اتفاق می‌افتد. این پدیده به‌طور مکرر در مناطق مختلف کره زمین از جمله ایران اتفاق می‌افتد. بررسی خشکسالی‌های گذشته ایران نشان می‌دهد که هیچ‌یک از مناطق کشور از خشکسالی در امان نبوده و هر منطقه نسبت به شرایط طبیعی خود، خسارت‌هایی را تجربه کرده است. غیور و مسعودیان (۱۹۹۹) گزارش داده‌اند که خشکسالی در طی چند سال می‌تواند کل کشور را فرا بگیرد. طبق مطالعات ایشان در سال ۱۹۵۷ تقریباً تمام کشور دارای شرایط مرطوب بوده است اما در سال ۱۹۷۳ خشکسالی سراسری کل کشور را فرا گرفته است (۸). به‌طور کلی، شدیدترین خشکسالی‌های ایران در ۵۰ سال اخیر در سال‌های ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۰ به ثبت رسیده است.

آسیب به تولیدات کشاورزی و کاهش بهره‌وری محصول، فرسایش بادی، تجزیه طولانی‌مدت مواد آلی

(۵) توصیفی بودن مقادیر شاخص و نداشتن مفهوم آماری یا فیزیکی با وجود تمامی این محدودیت‌ها، PDSI دارای جنبه‌های مثبت بسیاری نیز می‌باشد. از جمله آن که این شاخص از دیرزمان تاکنون استفاده و در مناطق زیادی آزمون شده و مورد تأیید قرار گرفته است. این شاخص بر اساس ویژگی‌های اقلیمی دما و بارش و خصوصیات خاک، استاندارد شده و مقایسه آن در اقلیم‌های مختلف کره زمین امکان‌پذیر است.

بررسی منابع موجود نشان می‌دهد که PDSI از جنبه‌های مختلفی از قبیل تأثیر طول دوره واسنجی بر مقادیر شاخص (14)، بازنگری در روش محاسبه تبخیر-تعرق پتانسیل (21، 10)، مقایسه سری زمانی شاخص پالمر با روند تغییرات رطوبت خاک (25، 18)، مقایسه شاخص پالمر با دیگر شاخص‌های خشکسالی (22، 26) مورد توجه قرار گرفته است. در ادامه، نتایج برخی مطالعات انجام شده که ارتباط مستقیم با مقاله حاضر دارند ارائه می‌شود.

پالمر (1965) به بررسی خشکسالی در نه بخش از ایالات متحده پرداخت و PDSI را به‌عنوان یک شاخص کارآمد در توصیف خشکسالی‌ها معرفی کرد (20). وی معادلاتی را برای محاسبات شاخص در نظر گرفت که با استفاده از آن‌ها به شرط انجام واسنجی در مناطق مختلف می‌توان به نتایج خوبی دست یافت. سپس کارل (1986) به بررسی حساسیت PDSI و شاخص Z پالمر نسبت به تغییر دوره آماری پرداخت. نتایج نشان داد که مقدار و علامت PDSI با تغییر دوره آماری برای واسنجی ضرایب، در بسیاری از مناطق ایالات متحده به‌طور معنی‌داری تغییر کرد. این در حالی است که شاخص Z نسبت به تغییر طول دوره واسنجی حساسیت کم‌تری نشان داد (13). پس از آن لاوسن و همکاران (1971) با استفاده از PDSI به مطالعه مشخصه‌های مکانی و زمانی خشکسالی‌ها

هیدرولوژیک، خشکسالی کشاورزی و خشکسالی اقتصادی-اجتماعی (28). در این مطالعه، خشکسالی کشاورزی مورد بررسی قرار می‌گیرد و تعریف ما از خشکسالی همان تعریفی است که پالمر (1965) ارائه کرد. وی معتقد است که خشکسالی عبارت است از کمبود رطوبت مستمر و غیرطبیعی. در تعریف وی، واژه مستمر، بیانگر زمان آغاز تا پایان خشکسالی یا زمان تداوم، و واژه غیرطبیعی به انحراف یا نوسان منفی نسبت به شرایط میانگین طبیعی دلالت دارد (20).

در بیان مختصر، پالمر (1965) با استفاده از داده‌های دما و بارندگی ماهانه و به کمک یک معادله ساده بیلان آب خاک دو لایه و تعریف معیاری به‌نام بارندگی مناسب برای اقلیم منطقه، شاخصی را ارائه کرد که اکنون نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد (20). توسعه اولیه شاخص برای اهداف هواشناسی بوده است اما بعدها پژوهشگران با در نظر گرفتن تعدیل‌هایی در چارچوب روش، نسخه کشاورزی و هیدرولوژیک آن را نیز ارائه کردند.

علی‌رغم شهرت و کاربرد وسیع شاخص شدت خشکسالی پالمر (PDSI) در نواحی مختلف جهان، این شاخص دارای محدودیت‌ها و فرضیاتی است که در مطالعات مختلف به آن‌ها اشاره شده است (9، 14، 17، 3) که از جمله آن‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: ۱) مناسب نبودن مقیاس زمانی اولیه PDSI برای خشکسالی هیدرولوژیک نسبت به خشکسالی کشاورزی، ۲) سؤال‌برانگیز بودن مقادیر شاخص در فصل زمستان و مناطق مرتفع به‌دلیل در نظر گرفتن بارش تنها به‌صورت باران، ۳) فرو برآورد رواناب به‌دلیل فرض وقوع رواناب تنها در صورت اشباع بودن تمام لایه‌های خاک از آب، ۴) واکنش کند شاخص نسبت به تشدید یا تضعیف خشکسالی،

عیب مهم هستند: ۱) محاسبه نقطه‌ای PDSI (بدون در نظر گرفتن ایستگاه‌های مجاور) و ۲) عدم واسنجی ضرایب منطقه‌ای به کار رفته در شاخص پالمر. هدف از این مطالعه واسنجی همه ضرایب مورد استفاده در محاسبه شاخص شدت خشکسالی پالمر تحت شرایط اقلیمی نواحی غرب و جنوب‌غرب ایران و مقایسه نتایج به‌دست آمده از شاخص واسنجی شده در این مطالعه با شاخص اولیه پالمر (20) است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه و داده‌های مورد نیاز: در این مطالعه از داده‌های ماهانه بارندگی و دمای هوا مربوط به نه ایستگاه سینوپتیک مستقر در غرب و جنوب‌غرب کشور استفاده شد که دوره آماری ۱۹۶۶ تا ۲۰۰۵ را پوشش می‌دهند. این ایستگاه‌ها که در جدول ۱ ارائه شده‌اند، در طیف اقلیمی خشک تا مرطوب قرار می‌گیرند. مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه (شامل طول جغرافیایی، عرض جغرافیایی و ارتفاع) در جدول ۱ و موقعیت ایستگاه‌ها در پهنه کشور در شکل ۱ نشان داده شده است. همان‌طور که در جدول ۱ نشان داده شده است، ایستگاه‌های منتخب محدوده ارتفاعی ۶/۶ متر از سطح دریا (آبادان) تا ۲۰۴۸/۹ متر از سطح دریا (شهرکرد) را شامل می‌شوند. کم‌ترین و بیش‌ترین مقدار میانگین سالانه دما به ترتیب مربوط به ایستگاه شهرکرد (۱۱/۸ درجه سلسیوس) و آبادان و اهواز (۲۵/۴ درجه درجه سلسیوس) می‌باشد. از نظر میانگین سالانه بارندگی، ایستگاه‌های کرمانشاه و آبادان به ترتیب با مقادیری معادل ۵۵۵/۳ و ۱۶۴/۶ میلی‌متر، حدود بالا و پایین بارندگی در مجموعه ایستگاه‌های منتخب را تشکیل می‌دهند.

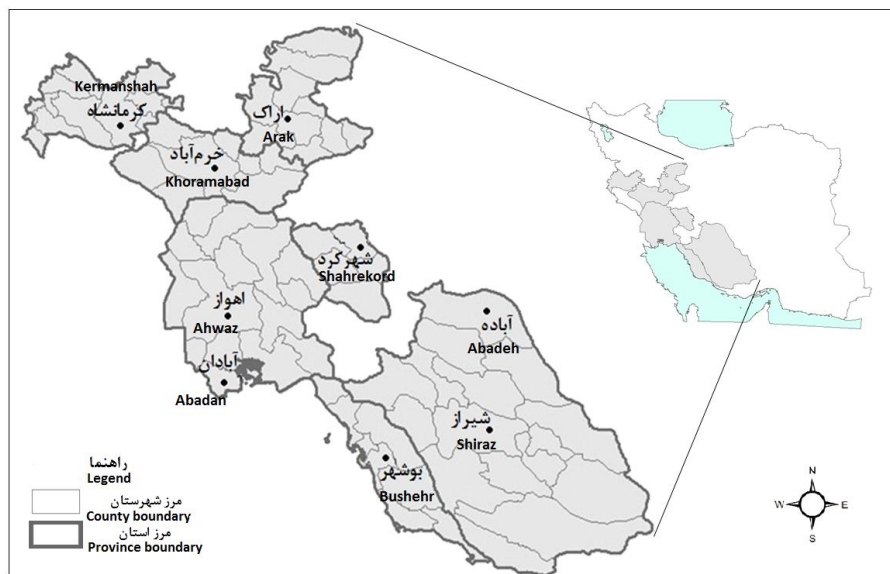
در نبراسکا پرداختند. طبق بررسی‌های انجام شده مشخص شد که فراوانی خشکسالی‌های متوالی در بخش مرکزی حداقل است اما شدت خشکسالی در این منطقه بیش‌تر می‌باشد (15). دایز (1983) برای مطالعه مشخصه‌های مکانی و زمانی وقایع خشک و تر در سراسر ایالات متحده طی سال‌های ۱۸۹۵ تا ۱۹۸۱ از PDSI استفاده نمود (6). پس از او فچ و روزنبرگ (1978)، PDSI را به‌عنوان یک ابزار ارزیابی کمی حوادث خشکسالی معرفی کرد. وی از PDSI برای مقایسه خشکسالی‌های ۱۹۳۰ تا ۱۹۵۰ و اواسط ۱۹۷۰ در سراسر قاره آمریکا استفاده نمود (7). از جمله مطالعات خشکسالی انجام شده با استفاده از شاخص پالمر در ایران می‌توان به کارآموز و همکاران (2004) اشاره کرد که اقدام به بررسی روش‌های مختلف ارزیابی نقطه‌ای و منطقه‌ای خشکسالی‌های اقلیمی، آبشناسی و زراعی در منطقه اصفهان نمودند. ایشان ضمن واسنجی و محاسبه شاخص پالمر و Z پالمر در واحدهای همگن هیدرولوژیک، شاخص‌های مذکور را برای ارزیابی خشکسالی کشاورزی در حوضه زاینده‌رود پیشنهاد کردند (12).

بررسی اسناد و مدارک موجود نشان می‌دهد که شمار زیادی از مطالعات (برای مثال 23, 18, 25) از فرم اولیه معادله شاخص پالمر (20) استفاده کرده‌اند. از آن‌جا که شرایط اقلیمی اولیه برای واسنجی شاخص پالمر به‌طور قابل‌توجهی با شرایط اقلیمی دیگر نواحی جهان فرق می‌کند، بنابراین، لازم است قبل از استفاده از شاخص پالمر ضرایب شاخص بر حسب داده‌های اقلیمی منطقه مورد بررسی واسنجی شوند. به هر حال، مطالعات انجام شده با استفاده از شاخص پالمر در سطوح مختلفی از واسنجی انجام می‌شوند و دارای دو

جدول ۱- مشخصات جغرافیایی و اقلیمی ایستگاه‌های مورد مطالعه.

Table 1. Geographical and climatic specifications of the stations of interest.

ایستگاه Station	عرض جغرافیایی (دقیقه-درجه) Latitude (Degree-Minute)	طول جغرافیایی (دقیقه-درجه) Longitude (Degree-Minute)	ارتفاع (متر) Altitude (m)	متوسط دمای سالانه Average Temperature (°C)	متوسط بارش سالانه Average Rainfall (mm)	طبقه اقلیمی Climatic Class
اراک (Arak)	34-06	49-46	1708	13.8	318.6	مرطوب (Humid)
آبادان (Abadan)	30-22	48-15	6.6	25.4	167.9	خشک (Arid)
آباده (Abadeh)	31-11	52-40	2030	15.7	164.6	خشک (Arid)
اهواز (Ahwaz)	31-20	48-40	22.5	25.4	225.3	خشک (Arid)
بوشهر (Bushehr)	28-59	50-50	19.6	24.6	253.8	خشک (Arid)
خرم‌آباد (Khoramabad)	33-26	48-17	1147.8	17	483.2	نیمه‌خشک (Semiarid)
شهرکرد (Shahrekord)	32-17	50-51	2048.9	11.8	310.8	نیمه‌خشک (Semiarid)
شیراز (Shiraz)	29-32	52-36	1484	17.9	309.4	نیمه‌خشک (Semiarid)
کرمانشاه (Kermanshah)	34-21	47-09	1318.6	14.4	555.3	مدیترانه‌ای (Mediterranean)



شکل ۱- محدوده و موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه در ایران.
Figure 1. Geographic situation of the selected synoptic stations in Iran.

مطالعه حاضر بدون توجه به ناهمگنی داده‌های دما انجام گرفته است. همچنین، اجرای آزمون هارست در ایستگاه‌های تحت مطالعه نشان داد که طول آماری ۴۰ ساله برای انجام این مطالعه کافی می‌باشد.

شاخص شدت خشکسالی پالم (PDSI): شاخص شدت خشکسالی پالم (PDSI) مبتنی بر معادله ترازمندی آب خاک است و داده‌های ورودی مورد نیاز آن را بارندگی و دمای هوا در مقیاس زمانی ماهانه تشکیل می‌دهند. ذخیره رطوبت با تقسیم خاک به دو لایه بررسی می‌گردد و فرض می‌شود که ۲۵ میلی‌متر از آب می‌تواند در لایه سطحی (SS) ذخیره شود. لایه زیرین (Su) دارای ظرفیت آبی است که به ویژگی‌های خاک وابسته است. مادامی که همه رطوبت قابل دسترس لایه سطحی خارج نگردد، رطوبت نمی‌تواند از لایه زیرین خاک خارج شود. تبخیر-تعرق پتانسیل (PE) عموماً با روش تورنت وایت (1948) محاسبه می‌شود (24). اطلاعات اولیه مورد نیاز برای مدل مذکور شامل بارندگی ماهانه به میلی‌متر، دمای متوسط ماهانه به درجه سلسیوس و ظرفیت رطوبتی خاک به میلی‌متر که بنا به تعریف عبارت است از حداکثر ارتفاع بارشی که اگر روی خاکی با ویژگی‌های مشخص ببارد، بارش مازاد بر آن تبدیل به رواناب یا نفوذ (آب مازاد) خواهد شد. نتایج خروجی پس از محاسبه مدل بیلان آب، میزان رطوبت واقعی موجود در خاک به میلی‌متر، میزان آب مازاد که به صورت تغذیه به سفره‌های آب زیرزمینی درمی‌آید یا به شکل رواناب وارد جویبارها و رودخانه‌ها می‌شود و همچنین تبخیر-تعرق پتانسیل و واقعی می‌باشد (27, 3, 20). محاسبه شاخص پالم با برآورد مقادیر واقعی و پتانسیلی اجزای معادله بیلان آغاز می‌شود که عبارتند از تغذیه واقعی (R) و پتانسیل (PR)، تلفات واقعی (L) و پتانسیل (PL)، رواناب واقعی (RO) و پتانسیل (PRO) و تبخیر-تعرق

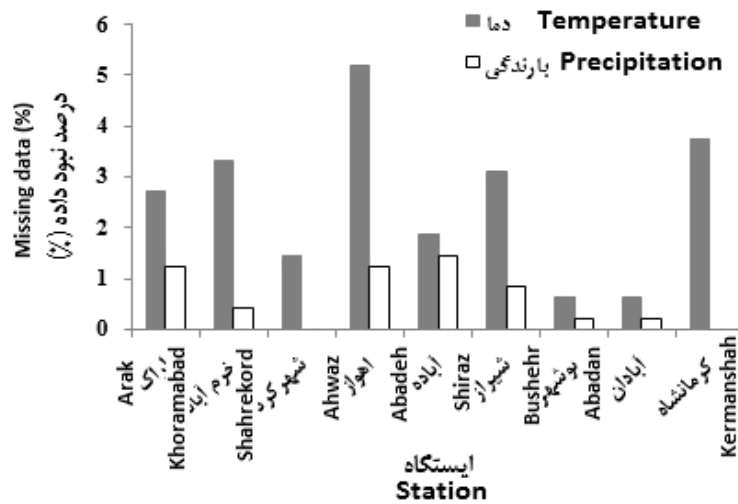
کنترل کیفی داده‌ها: اگرچه در این مطالعه نیاز به داده‌های ماهانه بارندگی و دما می‌باشد، ولی کنترل کیفی داده‌ها بر مبنای آمار روزانه قابل دسترس در ایستگاه‌های منتخب انجام شد. بررسی عینی آمار میانگین روزانه دمای هوا و مجموع روزانه بارندگی در ایستگاه‌های مورد بررسی نشان داد که خلاً آماری داده‌های دما از ۵/۲ درصد (در ایستگاه اهواز) و داده‌های بارندگی از ۱/۴۵ درصد (در ایستگاه آباده) تجاوز نمی‌کند. شکل ۲ درصد خلاً آماری در ایستگاه‌های تحت بررسی را نشان می‌دهد. برای تکمیل خلاًهای آماری بارندگی و دمای هوا در مقیاس روزانه از رابطه رگرسیونی بین ایستگاه پایه (واجد خلاً آماری) و یک ایستگاه مجاور (فاقد خلاً آماری) که واجد بالاترین همبستگی با ایستگاه مبنا بود، استفاده شد. به منظور بررسی همگنی و کفایت طول دوره آماری در این مطالعه به ترتیب از آزمون‌های انحرافات تجمعی (5) و هارست (11) استفاده شد. نتایج آزمون انحرافات تجمعی نشان داد که بارندگی متوسط سالانه ایستگاه‌های منتخب در سطح ۵ درصد همگن‌اند، در مقابل، همگنی داده‌های دمای متوسط سالانه در اکثر ایستگاه‌های منتخب (به جز اراک) در سطح ۵ درصد تأیید نشد. شکل ۳ نوسانات مقادیر میانگین سالانه دمای هوا در ایستگاه‌های منتخب را نشان می‌دهد. با توجه به شکل مذکور، ملاحظه می‌شود که سری‌های زمانی دما سالانه در ایستگاه‌های آباده، خرم‌آباد و شهرکرد روند نزولی و در ایستگاه‌های آبادان، اهواز، بوشهر، کرمانشاه و شیراز روند صعودی دارد تنها در ایستگاه اراک سری زمانی دمای سالانه از روند مشخصی پیروی نکرد. ذکر این نکته لازم است که در روش پالم، مسأله نایستایی یا ناهمگنی در داده‌های بارندگی و دما در مطالعات قبلی انجام شده مورد توجه قرار نگرفته است که شاید اساساً به دلیل آماری نبودن روش پالم باشد (یعنی روش پالم یک روش فیزیکی است)، از این‌رو

$$\beta_i = \frac{\sum_{j=1}^n R_{ij}}{\sum_{j=1}^n PR_{ij}} \quad (2)$$

واقعی (ET) و پتانسیل (PE). سپس، ضرایب مربوط به این عوامل به صورت زیر برای هر یک از ماه‌های سال تعیین می‌شوند:

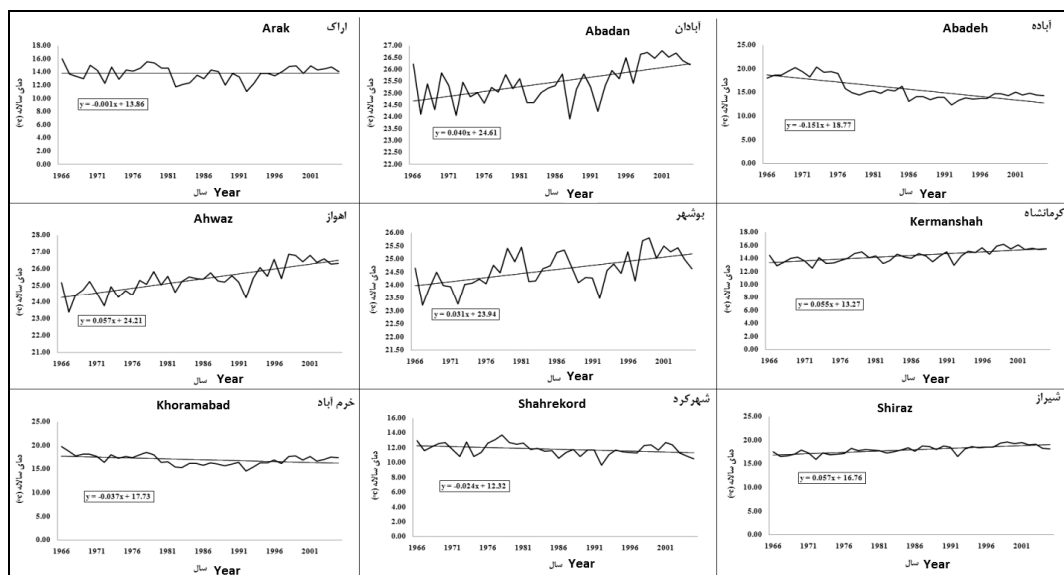
$$\gamma_i = \frac{\sum_{j=1}^n RO_{ij}}{\sum_{j=1}^n PRO_{ij}} \quad (3)$$

$$\alpha_i = \frac{\sum_{j=1}^n ET_{ij}}{\sum_{j=1}^n PE_{ij}} \quad (1)$$



شکل ۲- درصد نبود داده‌های بارندگی و دمای هوا در مقیاس روزانه در ایستگاه‌های مورد بررسی طی دوره آماری ۱۹۶۶ تا ۲۰۰۵.

Figure 2. Percentage of rainfall and air temperature missing data at daily scale in the selected stations for the period 1966-2005.



شکل ۳- نوسانات میانگین سالانه دمای هوا به همراه خط روند در ایستگاه‌های تحت بررسی طی دوره آماری ۱۹۶۶-۲۰۰۵.

Figure 3. Variations of average annual air temperature and trend line fitted to data in the stations of interest during 1966-2005.

که در این رابطه، صورت کسر بیان‌کننده متوسط نیاز رطوبت و مخرج کسر بیان‌کننده متوسط تأمین رطوبت می‌باشد. مقادیر k به‌دست‌آمده به‌عنوان فاکتورهای وزن برای هر کدام از انحراف‌های رطوبت ماهانه در خلال دوره‌های خشک مورد استفاده قرار می‌گیرند. این کار باعث می‌شود تا بتوان انحرافات غیرنرمال اقلیمی را به‌طور نسبی با یکدیگر مقایسه کرد. بنابراین شاخص رطوبتی ماهانه Z به‌صورت زیر تعریف می‌شود (3, 20):

$$z = kd \quad (12)$$

در مرحله بعد با استفاده از حداکثر مجموع مقادیر Z به‌ازای تداوم‌های مختلف معادله اولیه شدت خشکسالی استخراج می‌شود. سپس مقادیر Z تجمعی به‌صورت طبقه‌بندی شده به‌منظور بررسی شدت و زمان آغاز و خاتمه وقایع تبدیل می‌شوند (20, 3, 27). در نهایت بر مبنای استنادهای طبقه‌بندی معادله نهایی شاخص پالمر استخراج می‌شود (شکل ۵):

$$X_i = \frac{Z_i}{3} + 0.897 X_{i-1} \quad (13)$$

به‌منظور مقایسه نتایج حاصل از شاخص پالمر بین مناطق مختلف لازم است فاکتور وزنی k تعدیل شود. این تعدیل با استفاده از مقادیر تجمعی Z و همچنین نسبت‌های مربوط به عوامل اقلیمی که در محاسبه اولیه k مورد استفاده قرار گرفته بودند، حاصل می‌گردد. پالمر (1965) رابطه منطقه‌ای به‌دست آمده بر اساس نتایج حاصل از همه مناطق تحت مطالعه به‌دست آمده است را به‌شرح زیر بیان نموده است (20):

$$K' = 1.5 \log \left\{ \frac{\overline{PE} + \overline{R} + \overline{RO}}{\overline{P} + \overline{L}} \right\} + 0.5 \quad (14)$$

سپس رابطه ۱۴ برای تمام مناطق به‌کار گرفته می‌شود و ۱۲ فاکتور وزن ماهانه برای هر یک از مناطق محاسبه می‌گردد. اگر مقادیر K' در رابطه ۱۴ صحیح

$$\delta_i = \frac{\sum_{j=1}^n L_{ij}}{\sum_{j=1}^n PL_{ij}} \quad (4)$$

در این روابط، α ، β ، γ و δ به‌ترتیب ضریب تبخیر-تعرق، ضریب تغذیه، ضریب رواناب و ضریب تلفات، n تعداد سال‌های آماری، I و J به‌ترتیب شاخص ماه و سال هستند. سپس با استفاده از این ضرایب، پارامتری به‌نام مقدار بارش مناسب اقلیمی (CAFEC) یا \hat{P} محاسبه می‌شود:

$$\hat{P} = \hat{ET} + \hat{R} + \hat{RO} - \hat{L} \quad (5)$$

که در آن، \hat{ET} ، \hat{R} ، \hat{RO} و \hat{L} به‌ترتیب مقادیر CAFEC تبخیر-تعرق، تغذیه، رواناب و تلفات هستند و از معادلات زیر محاسبه می‌شوند:

$$\hat{ET} = \alpha \times PE \quad (6)$$

$$\hat{R} = \beta \times PR \quad (7)$$

$$\hat{RO} = \gamma \times PRO \quad (8)$$

$$\hat{L} = \delta \times PL \quad (9)$$

حاصل اختلاف مقدار بارش واقعی از بارش مناسب اقلیمی را کمبود رطوبت ماهانه می‌نامیم.

$$d = P - \hat{P} \quad (10)$$

به‌منظور استفاده از نمایه d جهت مقایسه ناهنجاری‌های رطوبتی بین ماه‌های مختلف سال و نواحی مختلف، از یک فاکتور وزنی یا مشخصه اقلیمی (k) استفاده می‌شود که برای هر ماه مجزا برآورد می‌شود.

$$k = \frac{\overline{PE} + \overline{R} + \overline{RO}}{\overline{P} + \overline{L}} \quad (11)$$

بر اساس تعریف پالمر، دوره‌های خشک و تر به وسیله این شاخص به صورت جدول ۲ طبقه‌بندی می‌شوند. به منظور تشخیص دقیق دوره‌های خشک و تر، پالمر پارامترهایی نظیر تری مؤثر، خشکی مؤثر را تعریف نمود. وی برای محاسبه تری و خشکی مؤثر فرض نمود که کاهش شدت خشکسالی تا مقدار معین ۰/۵- (آستانه شروع خشکسالی) نیازمند مقدار معینی رطوبت می‌باشد. با قرار دادن این آستانه در رابطه ۱۳ می‌توان رطوبت مورد نیاز یعنی مقداری از Z که به یک خشکسالی در یک ماه پایان می‌دهد را به دست آورد:

$$Z_e = -2.691X_{i-1} - 1.5 \quad (16)$$

همین موضوع در مورد خاتمه تر سالی با آستانه ۰/۵+ به کاهش رطوبتی معادل Z_e نیاز دارد که به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$Z_e = 2.691X_{i-1} + 1.5 \quad (17)$$

باشند، باید متوسط مجموع سالانه انحرافات وزندار شده برای همه مکان‌ها تقریباً یکسان باشد. اما در ابتدا این‌گونه نیست و این اختلاف در مجموع سالانه‌ها بیانگر این است که انحرافات در برخی از مکان‌ها دارای وزن بیش‌تری نسبت به سایر مناطق هستند. بنابراین، لازم است که وزن‌های ماهانه دوباره اصلاح شوند. در محاسبات پالمر (1965) مجموع‌های سالانه \bar{DK}' از ۱۲/۴۶ تا ۲۰/۹۷ تغییر می‌کند (20). متوسط این مجموع‌ها برای ۹ منطقه تحت مطالعه پالمر برابر ۱۷/۶۷ می‌باشد. اگر همه فاکتورهای وزن به‌گونه‌ای تغییر نمایند که مقادیر مجموع سالانه در همه مناطق مساوی ۱۷/۶۷ شوند، آن‌گاه نتایج تحلیل بیش‌تر با هم قابل مقایسه خواهد بود. فرم نهایی معادله K تعدیل شده ثانویه به صورت زیر است (20):

$$K'' = \frac{17.67}{\sum_1^{12} \bar{DK}'} K' \quad (15)$$

جدول ۲- طبقه‌بندی شدت خشکسالی بر اساس شاخص پالمر.

Table 2. Classification of drought severity based on PDSI.

محدوده PDSI (PDSI's Limit)	درجه‌بندی خشکسالی (Drought Classification)	کد (Code)
$PDSI < -4$	خشکسالی بسیار شدید (Most severe Drought)	D_4
$-4 < PDSI \leq -3$	خشکسالی شدید (Severe Drought)	D_3
$-3 < PDSI \leq -2$	خشکسالی متوسط (Moderate Drought)	D_2
$-2 < PDSI \leq -1$	خشکسالی خفیف (Mild Drought)	D_1
$-1 < PDSI < +1$	نزدیک به نرمال (Near Normal)	N
$+1 \leq PDSI < +2$	ترسالی خفیف (Mild Wet)	W_1
$+2 \leq PDSI < +3$	ترسالی متوسط (Moderate Wet)	W_2
$+3 \leq PDSI < +4$	ترسالی شدید (Severe Wet)	W_3
$+4 \leq PDSI$	ترسالی بسیار شدید (Most severe Wet)	W_4

۰/۵- و ۰/۵+ نزدیک شود و در این حالت X_3 مساوی صفر در نظر گرفته می‌شود.

شاخص خشکسالی پالمر، برای یک ماه خاص مساوی X_1 یا X_2 و یا X_3 قرار داده می‌شود. اغلب تنها یکی از این سه شاخص غیرصفرند و PDSI برابر شاخص غیرصفر در نظر گرفته می‌شود. اگرچه ممکن است تناقضاتی رخ دهد که تعیین یک شاخص مناسب برای PDSI به راحتی مشخص نباشد. به‌طور مثال بسیار متداول است که شرایط برای دوره‌های تر و خشک هم‌زمان به وقوع بپیوندند. برای انتخاب مناسب PDSI هنگامی که انتخاب شاخص مشهود نیست، پالمر مجموعه‌ای از قوانین را توصیه می‌کند که شامل محاسبات زیادی برای مقادیر X_1 ، X_2 و X_3 می‌باشد که در اینجا بخشی از محاسبات پالمر بیان می‌شود.

در شرایطی که تعیین شاخص شدت خشکسالی پالمر به راحتی میسر نباشد، پالمر (1965) فاکتور جدید P_e را معرفی می‌کند که به صورت «درصد احتمال این که یک خشکسالی یا ترسالی پایان پذیرد» تعریف می‌شود (۲۰).

$$P_e = \frac{\sum_{j=0}^{j=j^*} U_{i-j}}{Z_e + \sum_{j=0}^{j=j^*} U_{i-j} - U_i} \times 100 = \frac{100V}{Q} \quad (20)$$

در حالتی که معلوم شده باشد که منطقه در یک خشکسالی یا ترسالی قرار دارد و $100 < P_e < 0$ باشد، تا زمانی که P_e به صفر یا صد نرسد، نمی‌توان مقداری را برای PDSI در نظر گرفت. در این حالت، هر گاه $0 < P_e < 50$ باشد آن‌گاه $PDSI = X_3$ و در صورتی که $50 < P_e < 100$ آن‌گاه $PDSI = X_1$ یا $PDSI = X_2$ خواهد بود. بر اساس این که کدامیک از آن‌ها دارای علامتی مخالف با X_3 باشد، در نظر گرفته می‌شود.

با قرار دادن آستانه ۰/۵- و ۰/۵+ در رابطه‌های ۱۶ و ۱۷ (به جای X_{i-1}) می‌توان تری مؤثر (U_w) و خشکی مؤثر (U_d) را محاسبه کرد:

$$U_w = Z + 0.15 \quad (18)$$

$$U_d = Z - 0.15 \quad (19)$$

از مقادیر تری و خشکی مؤثر برای محاسبه احتمال پایان یک خشکسالی یا ترسالی استفاده می‌شود. پالمر برای تعیین دوره‌های خشک و تر، سه شاخص خشکسالی مجزا تعریف کرد:

X_1 : شاخص شدت برای یک دوره تر (هنگامی که قرارگیری در یک دوره تر مشخص شده باشد)؛
 X_2 : شاخص شدت برای یک دوره خشک (هنگامی که قرارگیری در یک دوره خشک مشخص شده باشد)؛
 X_3 : شاخص شدت برای هر دوره تر یا خشک که مشخص شده باشند.

متغیر X_1 محدود به مقادیر غیرمنفی و X_2 محدود به مقادیر غیرمثبت می‌باشد. هنگامی که نتایج محاسبات رابطه ۱۳ محدودیت‌های فوق را نقض نماید، مقادیر X_1 و X_2 صفر در نظر گرفته می‌شوند.

برای تعیین شرایط خشکسالی بر اساس مقادیر محاسباتی این‌گونه تصمیم‌گیری می‌شود که اگر مشخص گردد که منطقه مورد بررسی یک دوره خشکسالی یا ترسالی را پشت سر گذاشته است و در اولین زمان پس از خاتمه آن $-1 \leq X_2$ به دست آید، آن‌گاه گفته می‌شود که بر منطقه، خشکسالی حاکم است. در حالی که شرایط ترسالی زمانی بر منطقه حاکم می‌شود که $+1 \leq X_1$ باشد. در این شرایط در صورت تشخیص بروز یک خشکسالی $X_3 = X_2$ و در وضعیت ترسالی $X_3 = X_1$ در نظر گرفته می‌شود. هنگامی دوره خشک یا تر تشخیص داده شده پایان می‌یابد که شاخص محاسباتی به دسته نرمال یعنی

نتایج و بحث

واسنجی پارامترهای شاخص پالم: به منظور واسنجی شاخص پالم ابتدا شاخص Z پالم در ایستگاه‌های منتخب محاسبه شد. سپس، خشک‌ترین دوره‌های ۱ تا ۳ ماه در سرجمع ایستگاه‌ها تعیین و شدت تجمعی معادل آن‌ها محاسبه شد. با قرار دادن شدت تجمعی (یعنی $\sum Z$) در مقابل تعداد ماه‌ها در خشک‌ترین دوره‌ها، شکل ۴ به دست آمد. در شکل مذکور، معادله خط برازش یافته بر شدیدترین دوره‌های خشک نیز نشان داده شده است (خط پیوسته). ضرایب این معادله برای به دست آوردن معادله اصلی پالم (رابطه ۱۳) مورد استفاده قرار می‌گیرد. خط چین‌های مستقیم نیز بخش بالای خط پیوسته را به چهار بخش مساوی تقسیم می‌کند. هر بخش معرف طبقه معینی از شدت خشکسالی است که در جدول ۲ تشریح شده‌اند. محور قائم سمت راست، مقادیر تخصیص یافته به هر یک از خطوط را که در واقع همان شاخص پالم است نشان می‌دهد.

با استفاده از معادله خط برازش یافته بر کم‌ترین مقدار Z تجمعی به ازای تداوم‌های مختلف فرم واسنجی شده رابطه ۹ در منطقه مطالعاتی به صورت زیر به دست آمد:

$$X_i = \frac{Z_i}{3.9} + 0.852X_{i-1} \quad (21)$$

مقایسه ضرایب معادله به دست آمده در این مطالعه برای معادله ۲۱ (به ترتیب ۰/۸۵۲ و ۰/۲۵۶) به عنوان ضرایب X_{i-1} و Z_i در ۹ ایستگاه واقع در غرب و جنوب غرب کشور) با ارقام به دست آمده در دیگر مطالعات مانند ارقام ۰/۸۹۷ و ۰/۳۳۳ در (۲۰) برای

ایالت‌های کانزاس و آیوای آمریکا، ۰/۵ و ۰/۲۱ در (۴) برای هند، ۰/۷۳۲ و ۰/۰۱ در (۲) برای کانادا و مقادیر ۰/۶۸ و ۰/۰۶ (۱۲) برای ایران- اصفهان بیانگر لزوم تعدیل منطقه‌ای ضرایب پالم می‌باشد.

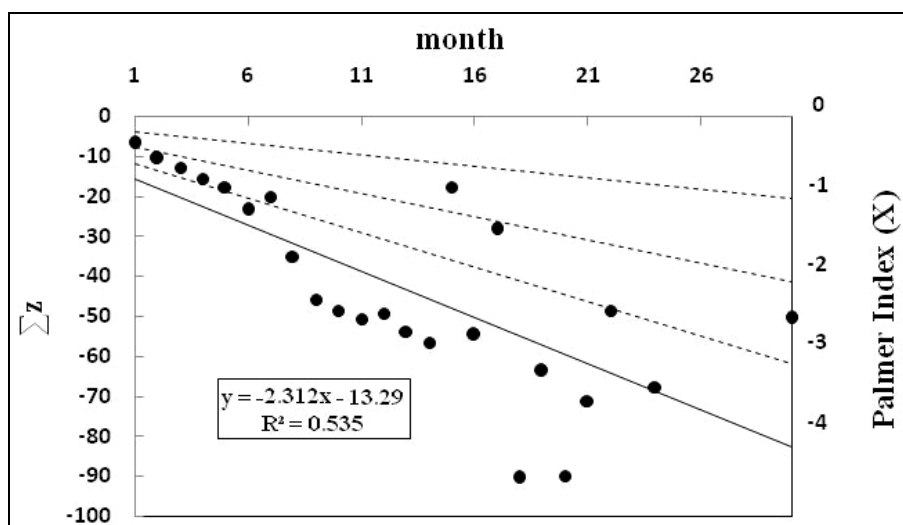
پس از این مرحله، به دلیل تفاوت‌های اقلیمی ایستگاه‌های منتخب لازم است فاکتورهای وزنی ماهانه (k) (در رابطه ۱۱) طی دو مرحله تعدیل شوند تا شدت خشکسالی ماه‌های مختلف در ایستگاه‌های مورد بررسی قابل قیاس باشد. به عبارت دیگر، لازم است رابطه‌های ۱۴ و ۱۵ واسنجی شوند. رابطه ۱۴ با استفاده از مقادیر تجمعی Z و همچنین نسبت‌های مربوط به عوامل اقلیمی که در محاسبه اولیه k مورد استفاده قرار گرفته بودند، حاصل گردید. رابطه منطقه‌ای که بر اساس نتایج حاصل از همه ایستگاه‌ها به دست آمد به شرح زیر است (شکل ۵):

$$K' = 6.112 \frac{K}{D} + 2.609 \quad (22)$$

به دلیل یکسان نبودن مقدار K' در ایستگاه‌های مختلف تعدیل ثانویه بر روی k انجام شد که معادله مربوطه در زیر آورده شده است.

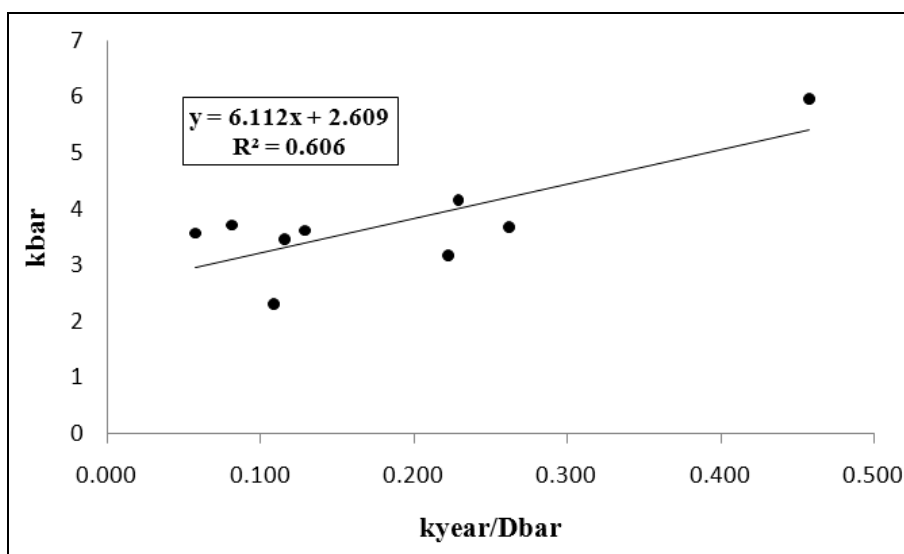
$$K'' = \frac{35.46}{\sum_1^{12} DK'} K' \quad (23)$$

عدد به دست آمده در صورت کسر معادله بالا تقریباً دو برابر عدد محاسبه شده توسط پالم است. که ممکن است دلیل آن تفاوت‌های اقلیمی بسیار زیاد مناطق تحت مطالعه باشد.



شکل ۴- طبقه بندی مقادیر PDSI در ایستگاه‌های مورد مطالعه.

Figure 4. Classification of PDSI in the stations of study.



شکل ۵- رابطه k برای کل منطقه مورد بررسی با توجه به مقادیر k مربوط به هر ایستگاه.

Figure 5. The k relationship for the study area with respect to the k values of each station.

واسنجی بزرگ‌تر از حالت عدم واسنجی است. تفاوت شاخص در دو حالت واسنجی و عدم واسنجی، بیشتر تحت شرایط ترسالی نمود پیدا کرده است تا در شرایط خشکسالی. در حالی که حد انتهایی مقدار شاخص در ایستگاه‌ها در شرایط ترسالی تا ۷۰ نیز می‌رسد، حد انتهایی در شرایط خشکسالی به زحمت تا ۱۵- نزول می‌کند. البته، حد ۷۰ برای شرایط ترسالی یک مورد استثنایی، آن هم برای ایستگاه کرمانشاه است که در ماه سپتامبر ۱۹۶۶ اتفاق افتاده است. در بررسی اولیه داده‌های دما و بارندگی در ماه مذکور و مقایسه آن‌ها با مقادیر متناظرشان در سال‌های مختلف دلیل خاصی برای این افزایش ناگهانی مشخص نشد زیرا در سال ۲۰۰۱ مقدار بارندگی ماه سپتامبر در حدود شش برابر سال ۱۹۶۶ بوده است ولی شدت ترسالی محاسبه شده توسط شاخص در ماه مذکور، برای سال ۱۹۶۶ حدود شش برابر سال ۲۰۰۱ است. یک افزایش ناگهانی و بسیار شدید دیگر نیز طی ماه سپتامبر ۱۹۸۴ در ایستگاه اهواز با مقدار تقریبی ۵۰ توسط شاخص پالمر گزارش شده است. بررسی آمار بارندگی ایستگاه مذکور نشان داد که طی دوره ۴۰ ساله (یعنی ۱۹۶۶-۲۰۰۵) فقط در ماه سپتامبر ۱۹۸۴ به مقدار ۷ میلی‌متر بارندگی اتفاق افتاده است و بارندگی این ماه در سایر سال‌ها صفر ثبت شده است و احتمالاً دلیل افزایش بیش از حد شاخص نیز وقوع بارندگی در ماهی که اساساً خشک است، باشد. نکته قابل توجه در شکل ۶ وقوع یک خشکسالی تقریباً ده ساله طی سال‌های ۱۹۸۲-۱۹۹۱ در ایستگاه آباده است. ایستگاه شیراز که در جنوب آباده قرار گرفته است چنین دوره خشکی را نشان داده است اما شدت خشکسالی در وسط این دوره ده ساله شکسته

علاوه بر فاکتور وزنی k ، معادلات مقدار رطوبت مورد نیاز که به یک خشکسالی پایان می‌دهد یا کاهش رطوبتی که به یک ترسالی پایان می‌دهد واسنجی شد:

$$Z_e = -3.32X_{i-1} - 1.95 \quad (24)$$

$$Z_e = 3.32X_{i-1} + 1.95 \quad (25)$$

و به کمک آن‌ها معادلات تری مؤثر (U_w) و خشکی مؤثر (U_d) به صورت زیر به دست آمد:

$$U_w = Z + 0.288 \quad (26)$$

$$U_d = Z - 0.288 \quad (27)$$

مقایسه شاخص خشکسالی پالمر اولیه و واسنجی شده در این مطالعه: در این مطالعه، شاخص خشکسالی پالمر واسنجی شده با نسخه اولیه آن از سه دیدگاه مورد مقایسه قرار گرفته است: الف) شناسایی دوره‌های خشک و تر، ب) رابطه سختی-تداوم خشکسالی، ج) فراوانی وقوع طبقات شدت خشکسالی و ترسالی. در ادامه نتایج هر بخش ارائه خواهد شد.

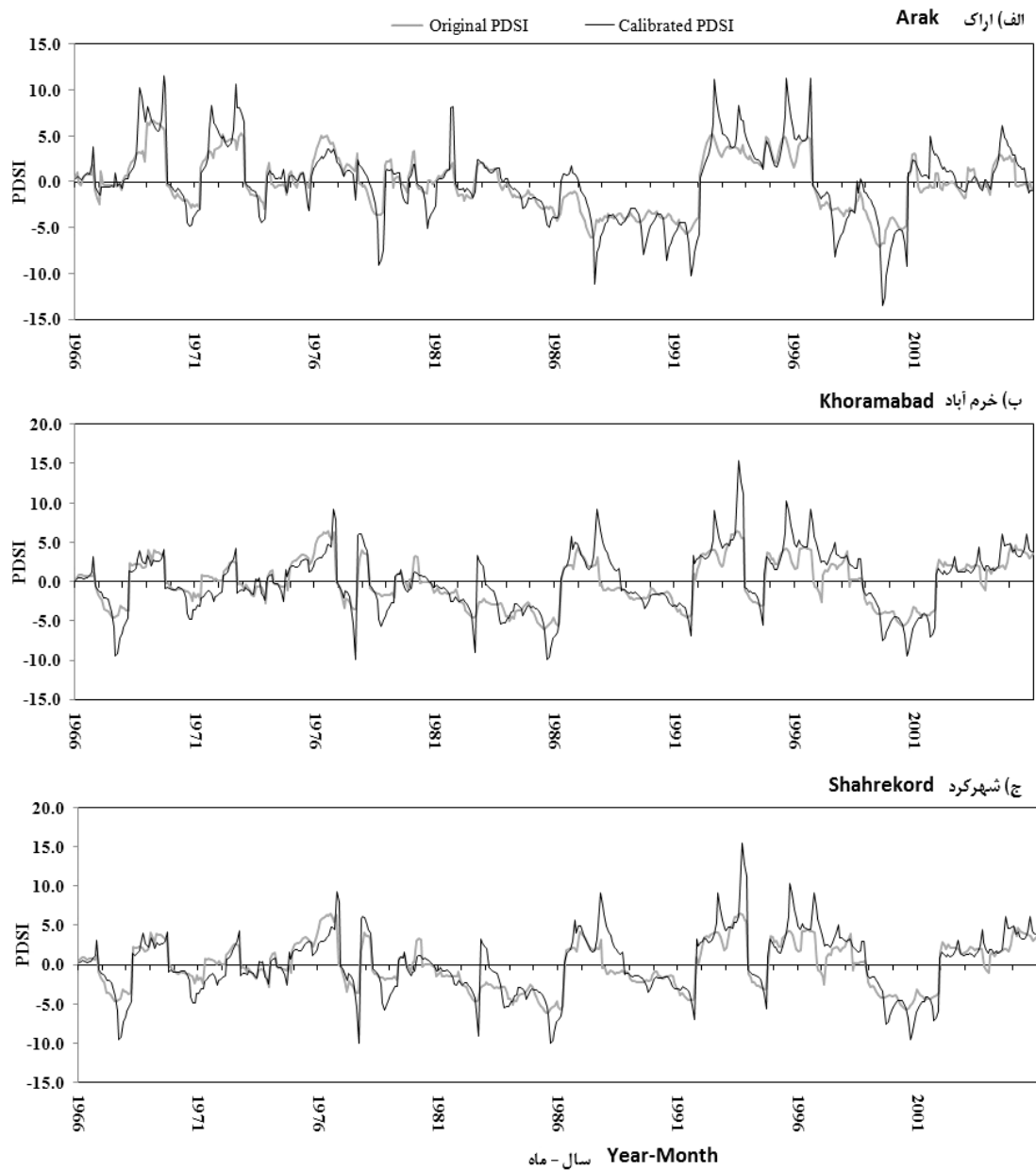
سری‌های زمانی شاخص پالمر در دو حالت واسنجی و عدم واسنجی برای هر یک از ایستگاه‌های منتخب در شکل ۶ نشان داده شده است. بررسی عینی نمودارها نشان می‌دهد که روند کلی تغییرات شاخص پالمر در حالت واسنجی با حالت عدم واسنجی تقریباً یکسان است. با این حال، نوسانات شاخص در حالت واسنجی بسیار شدیدتر از عدم واسنجی است به طوری که هم در دوره‌های تر و هم در دوره‌های خشک، عمق خشکسالی‌ها و اوج ترسالی‌ها در حالت

خشکسالی در دو حالت واسنجی و عدم واسنجی شاخص پالم (به گونه‌ای در شکل ۷ نشان داده شده است) به طور قابل توجهی با یکدیگر تفاوت دارند. در نتیجه، نتایج ارزیابی ریسک در صورت استفاده از نسخه اولیه پالم در منطقه مطالعاتی معتبر نخواهد بود.

شکل ۸ فراوانی وقوع طبقات مختلف شدت خشکسالی در ایستگاه‌های منتخب را در دو حالت واسنجی و عدم واسنجی شاخص پالم مقایسه کرده است. نکته قابل توجه در شکل مذکور این است که در همه ایستگاه‌های مورد بررسی فراوانی طبقات خشکسالی‌ها و ترسالی‌های بسیار شدید بر مبنای نسخه واسنجی شده پالم بزرگ‌تر از نسخه اولیه پالم است. این مسأله به دلیل حساسیت بیش‌تر نسخه واسنجی شده به بارندگی‌های غیرمنتظره در ماه‌های خشک است که در پاراگراف‌های قبلی به آن اشاره شد. به هر حال، این افزایش در طبقه بسیار شدید سبب کاهش فراوانی در طبقات دیگر خواهد شد که در طبقات شدید و متوسط خشکسالی و ترسالی تأثیر گذاشته است. بیش‌ترین تفاوت دو حالت واسنجی شده و واسنجی نشده در ایستگاه‌های اراک، اهواز، بوشهر و آبادان در طبقه خشکسالی بسیار شدید، در ایستگاه‌های شهرکرد، آباد و کرمانشاه در طبقه ترسالی بسیار شدید و در ایستگاه خرم‌آباد در طبقه خشکسالی خفیف دیده می‌شود.

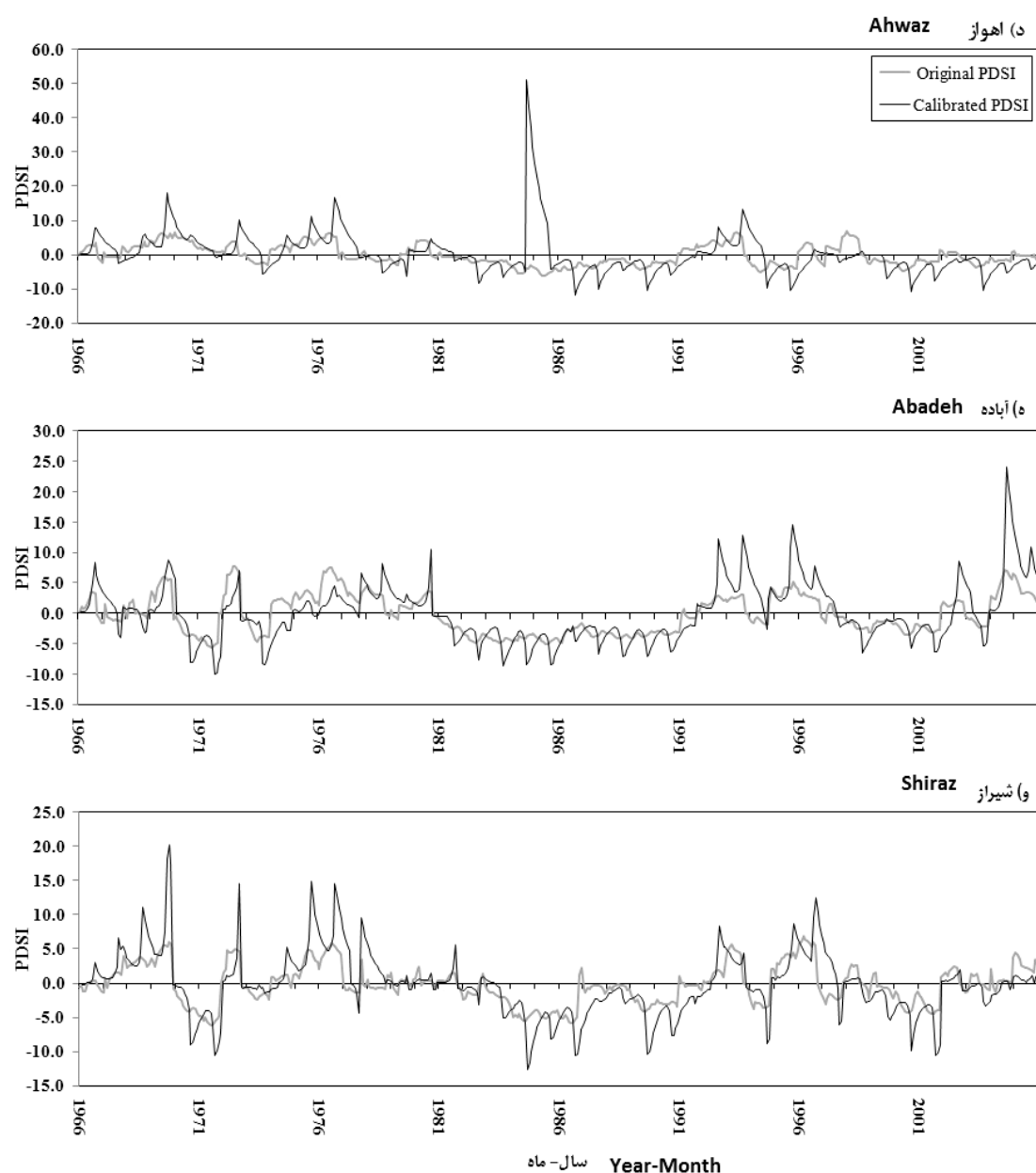
شده است. با توجه به شکل ۶ شدیدترین دوره‌های خشک ثبت شده در سایر ایستگاه‌های منتخب عبارتست از: اراک (۱۹۸۷ تا ۱۹۹۲)، خرم‌آباد (۱۹۸۳ تا ۱۹۸۶ و ۱۹۹۹ تا ۲۰۰۲)، شهرکرد (۱۹۸۳ تا ۱۹۸۶ و ۱۹۹۹ تا ۲۰۰۲)، اهواز (۱۹۸۶ تا ۱۹۹۲ و ۱۹۹۹ تا ۲۰۰۵)، بوشهر (۱۹۸۸ تا ۱۹۹۳)، آبادان (۱۹۸۲ تا ۱۹۸۶ و ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۴)، کرمانشاه (۱۹۹۸ تا ۲۰۰۲).

در مرحله بعد، طول دوره‌های خشک و شدت تجمعی معادل آن‌ها در دو حالت واسنجی و عدم واسنجی در ایستگاه‌های مختلف استخراج و دیاگرام پراکنش آن‌ها ترسیم گردید (شکل ۷). سپس معادله رگرسیون خطی بر داده‌های هر دو سری برازش یافت. همان‌طور که در شکل ۷ دیده می‌شود در تمام ایستگاه‌ها شیب خط برازش داده شده به نقاط در حالت واسنجی شده بیش‌تر از حالت واسنجی نشده می‌باشد، که بیانگر گزارش وقوع خشکسالی‌های شدیدتر به‌ازای تداوم معین توسط شاخص واسنجی شده در مقایسه با نسخه اولیه پالم است. این تفاوت در معادلات سبب می‌شود که ارزیابی ریسک خشکسالی که بر مبنای مشخصه‌های تداوم و شدت خشکسالی انجام می‌شود، به نتایج بسیار متفاوتی برای تداوم یا شدت معین خشکسالی در دو حالت واسنجی و عدم واسنجی گردد. این مسأله در مورد ارزیابی ریسک بر مبنای تحلیل دو مشخصه خشکسالی‌ها بسیار حادث‌تر است، زیرا وابستگی مشخصه‌های



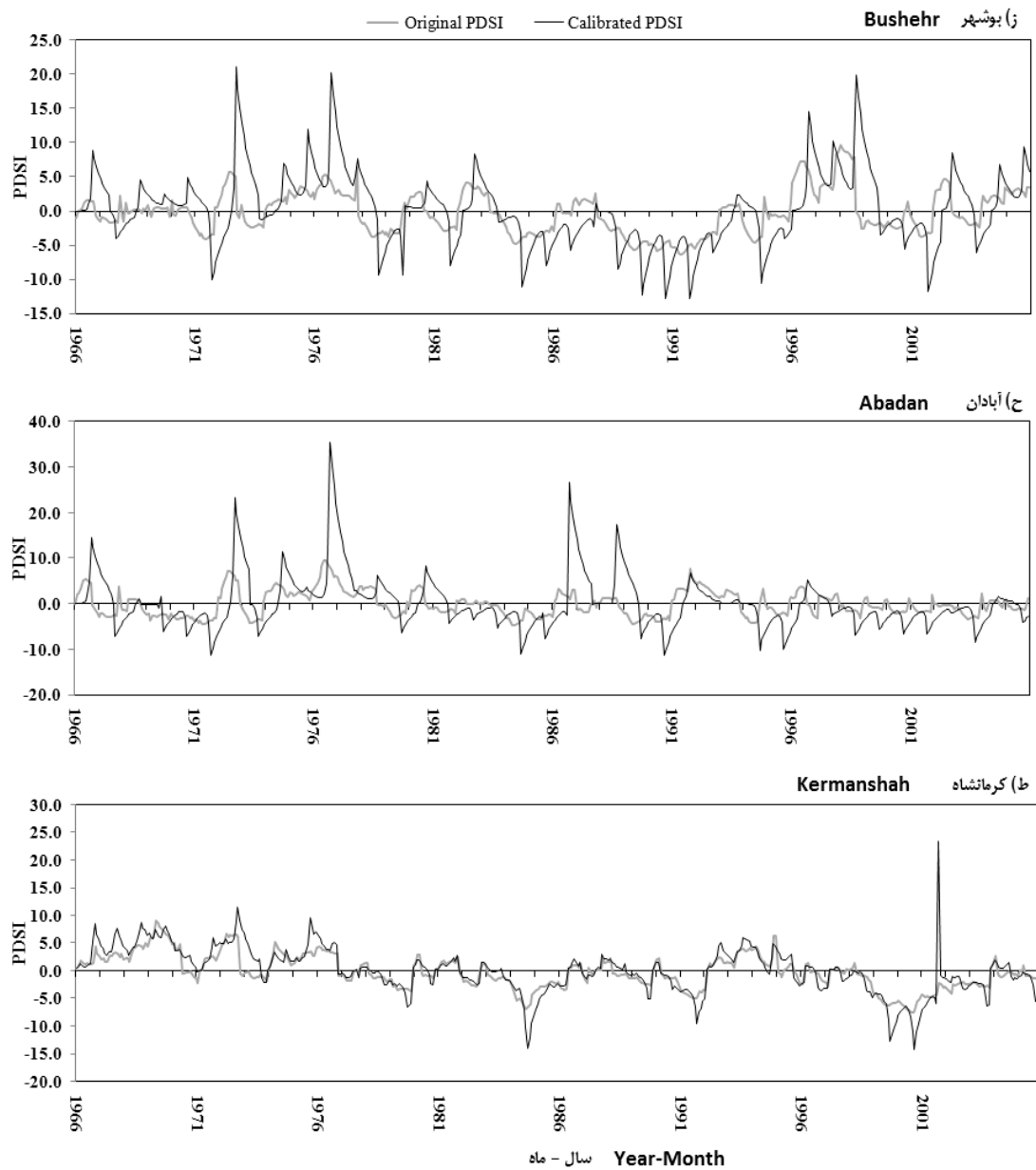
شکل ۶- مقایسه سری زمانی شاخص شدت خشکسالی پالمر در دو حالت واسنجی شده و واسنجی نشده در ایستگاه‌های مورد مطالعه.

Figure 6. Comparison of the original and calibrated PDSI series in the stations of study.



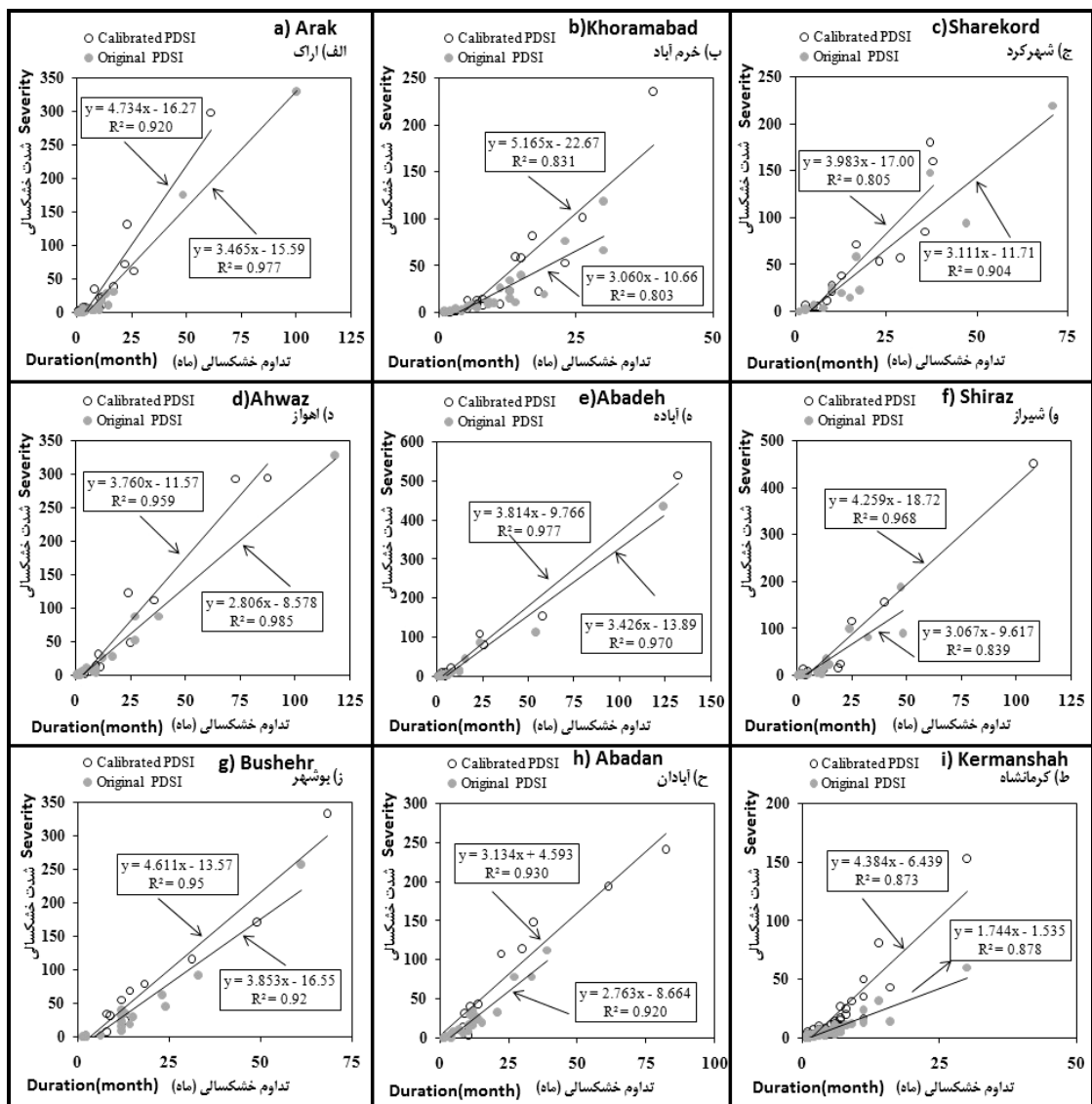
ادامه شکل ۶- مقایسه سری زمانی شاخص شدت خشکسالی پالمر در دو حالت واسنجی شده و واسنجی نشده در ایستگاه‌های مورد مطالعه.

Figure 6 (Continued). Comparison of the original and calibrated PDSI series in the stations of study.



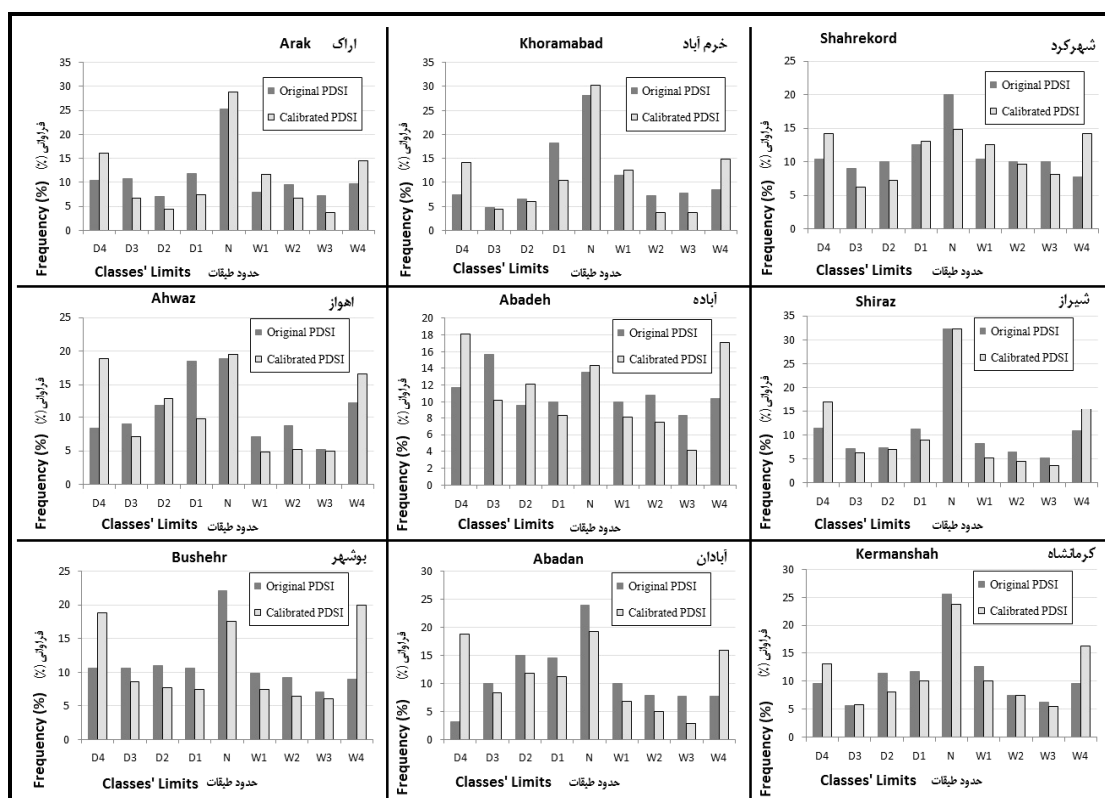
ادامه شکل ۶- مقایسه سری زمانی شاخص شدت خشکسالی پالمر در دو حالت واسنجی شده و واسنجی نشده در ایستگاه‌های مورد مطالعه.

Figure 6 (Continued). Comparison of the original and calibrated PDSI series in the stations of study.



شکل ۷- رابطه بین تداوم و شدت خشکسالی پالمردر ایستگاه‌های مورد بررسی.

Figure 7. Relationship between duration and severity of PDSI in the stations of interest.



شکل ۸- فراوانی طبقات شاخص شدت خشکسالی پالم در دو حالت واسنجی شده و واسنجی نشده.

Figure 8. Frequency of the original and calibrated PDSI classes.

نتیجه گیری کلی

در این مطالعه با استفاده از داده‌های ماهانه بارندگی و دمای هوا مربوط به نه ایستگاه سینوپتیک مستقر در غرب و جنوب غرب کشور در دوره آماری ۱۹۶۶ تا ۲۰۰۵، پارامترهای مدل شاخص شدت خشکسالی پالم (PDSI) مورد واسنجی قرار گرفت. محاسبات نشان داد که ضرایب شاخص پالم واسنجی و اولیه با یکدیگر متفاوتند. علاوه بر ضرایب اصلی پالم، فاکتورهای وزنی ماهانه نیز واسنجی شدند و مشخص شد که معادله فاکتور وزنی ماهانه اختلاف زیادی با نسخه اولیه پالم دارد. پایش خشکسالی‌ها در ایستگاه‌های منتخب نشان داد که سری‌های زمانی شاخص پالم واسنجی شده در ایستگاه‌ها اختلاف زیادی با نسخه اولیه پالم دارند و پالم واسنجی شده در این مطالعه حساسیت زیادی به بارش‌های غیرمنتظره در مقایسه با پالم اولیه دارد. با این وجود،

روند تغییرات زمانی شاخص پالم واسنجی شده و واسنجی نشده در همه ایستگاه‌ها یکسان بود. از جمله نتایج مهم این مطالعه، شناسایی یک دوره ۱۰ ساله خشکسالی در ایستگاه آباد و با شدت کم‌تر در ایستگاه شیراز بود که هر دو شاخص آن را نشان دادند. همچنین، مشخص شد که شیب معادلات شدت-تداوم خشکسالی در همه ایستگاه‌ها در مورد فرم واسنجی شده بزرگ‌تر از فرم واسنجی نشده است، که این وضعیت به‌ویژه در مسأله تحلیل ریسک خشکسالی دارای اهمیت است. به‌علاوه مشخص شد که فراوانی وقوع طبقه خشکسالی بسیار شدید در نسخه واسنجی شده بسیار بزرگ‌تر از نسخه واسنجی نشده است. با توجه به نتایج به‌دست آمده، این مقاله به پژوهشگران کشور توصیه می‌کند که برای نواحی غرب و جنوب غرب کشور به‌جای ضرایب اولیه پالم از ضرایب واسنجی شده آن استفاده نمایند.

منابع

1. Abbaspour, M., and Sabetraftar, A. 2006. Review of cycles and indices of drought and their effect on water resources ecological, biological, agricultural, social and economical issues in Iran. *Inter. J. Environ. Stud.* 62: 6. 709-724.
2. Akinremi, O.O., and Mcginn, S.M. 1996. Evaluation of the Palmer Drought Severity Index on the Canadian Prairies. *J. Clim.* 9: 897-905.
3. Alley, W.M. 1984. The Palmer Drought Severity Index: limitation and assumptions. *J. Clim. Appl. Meteorol.* 23: 1100-1109.
4. Bahlme, H.N., and Mooley, D.A. 1980. Large-scale droughts/floods and monsoon circulation. *Mon. Weather Rev.* 108: 1197-1211.
5. Buishand, T.A. 1982. Some methods for testing the homogeneity of rainfall records. *J. Hydrol.* 58: 11-27.
6. Diaz, H.F. 1983. Some aspects of major dry and wet periods in the contiguous United States, 1895-1981, *J. Clim. Appl. Meteor.* 22: 3-16.
7. Felch, R.E., and Rosenberg, N.J. 1978. Drought: Characteristics and assessment. Chapter 2 IN North American droughts --AAAS Selected Symposia. Editor Norman J. Rosenberg. 15: 25-42. American Association for the Advancement of Sciences.
8. Ghayoor, H., and Masoudian, S.A. 1999. A study on the temporal and regional variability of drought in Isfahan Province. The Second Regional Conference on Climate Change. Iranian Meteorological Organization. Pp: 207-215.
9. Guttman, N.B. 1998. Comparing the Palmer drought index and the Standardized Precipitation Index, *J. Amer. Water Resour. Assoc.* 34: 1. 113-121.
10. Horváth, S., Szép, I.J., Makra, L., Mika, J., Pajtók-Tari, I., and Utasi, Z. 2010. Effect of evapotranspiration parameterisation on the Palmer Drought Severity Index. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C.* 35: 1-2. 11-18.
11. Hurst, H. 1951. Long Term Storage Capacity of Reservoirs, *Transactions of the American Society of Civil Engineers.* 116: 770-799.
12. Karamouz, M., Torabi, S., and Araghinejad, Sh. 2004. Analysis of hydrologic and agriculture droughts in central part of Iran. *J. Hydrol. Engin.* 9: 5. 402-414.
13. Karl, T.R. 1986. The sensitivity of the Palmer Drought Severity Index and Palmer's Z-Index to their calibration coefficients including potential evapotranspiration. *J. Clim. Appl. Meteorol.* 25: 77-86.
14. Karl, T., Quinlan, F., and Ezell, D.S. 1987. Drought termination and amelioration: Its climatological probability. *J. Clim. Appl. Meteorol.* 26: 1198-1209.
15. Lawson, M., Reiss, A., Phillips, R., and Livingston, K. 1971. Nebraska droughts: A study of their past chronological and spatial extent with implications for the future, 1: 147.
16. Linsley, R.K., and Franzini, J.B. 1979. *Water-resources engineering*: New York, McGraw-Hill.
17. McKee, T.B., Doesken, N.J., and Kleist, J. 1995. Drought monitoring with multiple time scales. *Proceedings of the Ninth conference on Applied Climatology.* Pp: 233-236.
18. Mika, J., Horváth, Sz., Makra, L., and Dunkel, Z. 2005. The Palmer Drought Severity Index (PDSI) as an indicator of soil moisture. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C,* 30: 1-3. 223-230.
19. Mishra, A.K., and Singh, V.P. 2010. A review of drought concepts. *J. Hydrol.* 391: 202-216.
20. Palmer, W.C. 1965. *Meteorological drought.* Research Paper No. 45, U.S. Dept. of Commerce, Weather Bureau, Washington, 58p.
21. Pereira, L.S., Rosa, R.D., and Paulo, A.A. 2007. Testing a modification of the Palmer Drought Severity Index for Mediterranean environments. *Water Science and Technology Library, Methods and Tools for Drought Analysis and Management, Part II.* 62: 149-167.
22. Quiring, S.M., and Papakryiakou, T.N. 2003. An evaluation of agricultural drought indices for the Canadian prairies. *Agricultural and Forest Meteorology.* 118: 49-62.

23. Szep, I.J., Mika, J., and 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, Parts A/B/C. 30: 1-3. 231-243.
24. Thornthwaite, C.W. 1948. An approach to a rational classification of climate. Geographical review. 38: 85-94.
25. Vasiliades, L., and Loukas, A. 2009. Hydrological response to meteorological drought using the Palmer drought indices in Thessaly, Greece. Desalination. 237: 1-3. 3-21.
26. Weber, L., and Nkemdirim, L. 1998. Palmer's drought indices revisited. Physical Geography. 80: 2. 153-172.
27. Wells, N., Goddard, S., and Hayes, M.J. 2004. A self-calibrating Palmer Drought Severity Index. J. Clim. 17: 2335-2351.
28. Wilhite, D.A., and Glantz, M.H. 1985. Understanding the drought phenomenon: the role of definitions, Water International. 10: 3. 111-120.



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 22(5), 2016
<http://jwsc.gau.ac.ir>

Palmer drought severity index's calibration under the climatic conditions of arid and semiarid regions of the West and South West of Iran

S. Shahbazi¹, *J. Bazrafshan², P. Irannejad³ and T. Sohrabi⁴

¹M.Sc. Student, Dept. of Irrigation and Reclamation Engineering, University of Tehran, ²Associate Prof., Dept. of Irrigation and Reclamation Engineering, University of Tehran, ³Associate Prof., Geophysics Institute, University of Tehran, ⁴Professor, Dept. of Irrigation and Reclamation Engineering, University of Tehran

Received: 05/06/2014; Accepted: 11/30/2014

Abstract

Background and Objectives: Today, drought indices as the appropriate tools for management actions and exposure to drought, has been widely used around the world. Application of some indicators, particularly the physical-based indicators such as Palmer drought severity index (PDSI) in a new area may need to be calibrated first. The aim of this study is to calibrate Palmer Drought Severity Index (PDSI) under the climatic conditions of arid and semiarid regions of West and South West of Iran and to compare that with the original version of the Palmer Index.

Materials and Methods: Required input data are values of the monthly mean temperature and monthly total precipitation from nine synoptic stations in West and South-West of Iran were collected for the period 1966-2005. The selected stations cover the elevation range 6.6 m (Abadan) and 2048.9 m (Shahrekord). The annual average air temperature ranges between 11.8 degree Celcius (Shahrekord) and 25.4 degree Celcius (Abadan and Ahwaz). The annual average precipitation ranges between 555.3 mm (Kermanshah) and 164.6 mm (Abadeh). Quality of data was controlled with different methods and the Plamer index's coefficients were regionally calibrated based on data gathered for the west and southwest of the country.

Results: While precipitation data of all selected stations were homogeneous, the air temperature data were nonhomogeneous at some stations. Based on statistical tests, it was identified that the 40-year period is enough for drought monitoring and analysis. Variations of the original Palmer's series were similar to the calibrated one. However, the calibrated Palmer index had the fluctuations heavier than the original one, so that the first computed the depth of drought/nondrought periods severe than later one. Difference between the original and calibrated Palmer's indices appeared for the nondrought periods rather than drought periods. At all stations of interest, the calibrated Palmer's index predicted more frequency for extreme drought/nondrought classes in comparison to the original one.

Conclusion: The results showed although there was not have much difference between the main coefficients of calibrated Palmer index and the original version of that, but due to the large difference between the monthly weighting factors and the calibrated version of the main series of calibrated version and initial, there are significant differences. In addition, it was found that the equations of severity - duration of drought phenomena and frequency of different classes of drought and non-drought, there are significant differences between the initial version and calibrated versions in the selected stations.

Keywords: Palmer drought severity index (PDSI), Calibration, Arid and semi-arid climate, Drought characteristics

* Corresponding Author; Email: jbazr@ut.ac.ir