الگوی توزیعی جهت و شدت روند تغییرات خشکسالی ایران به کمک نمایه توزیعی شدت خشکسالی پالمر

دریافت مقاله: ۹۰/۱۰/۱۰ پذیرش نهایی: ۹۱/۲/۱۰

صفحات: ۱۱۰-۹۷

محمدرضا کشاورز: دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی گروه آبیاری و آبادانی دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران
Email:mohammadreza.4231@gmail.com

مجید وظیفه دوست: استادیار گروه مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه گیلان
Email:majid.vazifedoust@yahoo.com

ابراهیم فتاحی: دانشیار اقلیم شناسی هیات علمی پژوهشکده هواشناسی[1]
Email:ebfat2002@yahoo.com

محمد باقر بهیار: استادیار هواشناسی کشاورزی هیات علمی پژوهشکده هواشناسی
Email:mobagher@yahoo.com

چکیده

خشکسالی در طول تاریخ یکی از تهدیدهای اصلی ساکنان و تمدن‌های کشور ایران بوده است. نمایه های زیادی بر مبنای داده های هوانشناسی، ماهواره ای و مدل های شبیه سازی به منظور تعیین شدت خشکسالی توسعه داده شده است. در این تحقیق توزیع مکانی نمایه شدت خشکسالی پالمر برای یک دوره ۳۶ ساله (۱۹۷۵ تا ۲۰۱۰) با استفاده از داده‌های شبکه‌ای شده خاک و هواشناسی (متشکل از ۲۹۶ ایستگاه سینوپتیک و بیش از ۱۵۰۰ ایستگاه بارانسنجی) با تفکیک مکانی ۴ کیلومتر و تفکیک زمانی ماهانه، توسط کد نویسی در نرم افزار مطلب در مقیاس کشوری محاسبه و استخراج شد. برای مشاهده الگوی شدت و روند خشکسالی از روندیابی با روش رگرسیون خطی با گام زمانی یک ماهه و بصورت توزیع مکانی استفاده شد. نتیجه محاسبات نشان می دهد که بیش از ۶۰ درصد از سطح مورد مطالعه دارای روند منفی (افزایش خشکسالی) بوده و کمتر از ۴ درصد از آن روندی مثبت (بهبود ترسالی) دارد (در سطح ۵ درصد معنی دار). شیب روند نیز بین ۰/۱۲ تا ۰/۲۲- متغیر است.

کلید واژگان: پهنه بندی خشکسالی، روندیابی، نمایه پالمر، داده های شبکه ای، نمایه توزیعی پالمر

---

[1]. نویسنده مسئول: بزرگراه تهران- کرج- خروجی ۱۷- بلوار پژوهش- پژوهشکده هواشناسی

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

مقدمه

خشکسالی پدیده ای اقلیمی بوده و هر سال بدون هیچ علائم هشدار دهنده و در محدوده‌ای با مرزهای غیر قابل تشخیص اتفاق می‌افتد. طی سال‌های اخیر در ایران، خشکسالی‌های مستمر و شدیدی رخ داده که منجر به خشک یا کم شدن منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی شده است (محمدی و شمسی پور، ۱۳۸۲). برای پایش خشکسالی تا کنون بیش از ۲۵۰ نمایه معرفی و استفاده شده است. نمایه شدت خشکسالی پالمر (PDSI) یکی از شناخته شده ترین، پیچیده‌ترین و بهترین سیستم‌های هشداردهنده و پیش‌آگاهی خشکسالی بوده و اولین نمایه جامع خشکسالی و یکی از روش‌های بسیار مؤثر در تعیین خشکسالی بلند مدت (چندماهه) است (Palmer, 1965)؛ این نمایه در واقع یک مدل بیلان آبی را برای مقدار رطوبت خاک منظور می‌کند. اولین بار از آن به منظور توضیح علت گسترش سطحی و شدت خشکی در امریکای شمالی در ۱۹۶۰ استفاده شده است (Palmer, 1967). Weber and Nkemdirim(۱۹۹۸) به محاسبه نمایه‌های خشکسالی معرفی شده توسط پالمر پرداخته و نشان دادند رابطه خوبی بین مقادیر نمایه و بارندگی تجمعی سالانه در منطقه مورد مطالعه آنان وجود دارد. همچنین نشان دادند که نمایه خشکسالی هواشناسی پالمر یک ماه سریعتر از نمایه هیدرولوژیک پالمر به تغییرات رطوبتی واکنش نشان می‌دهد. Quiring and Papakryakou (۲۰۰۳) نمایه‌های خشکسالی کشاورزی را در کانادا ارزیابی کردند و بهترین عملکرد را ابتدا در Z-Index و سپس در PDSI یافتند. بررسی توان PDSI در نمایش رطوبت خاک در یکی از کشورهای اروپایی پرداخته شد و آن را در این زمینه موفق دانستند(Mika et al., 2005). همچنین بررسی پاسخ PDSI به خشکی از نظر هیدرولوژیکی و هواشناسی در یونان پرداخته شد. قدرت نمایه در تشخیص شدت خشکسالی در رخ دادهای سال‌های دور را مناسب گزارش کردند (Vasiliades and Loukas, 2009). در ایران نیز نمایه پالمر در استان خراسان برای یک دوره ۳۰ ساله محاسبه و نتایج آن منتشر شد(جوانمرد و همکاران، ۱۳۸۰). امین و سلطانی (۱۳۸۶) معادلات مرحله رده‌بندی نمایه خشکسالی پالمر را تحلیل نموده و تعمیم دادند و آسیایی (۱۳۸۵) و انصاری و همکاران (۱۳۸۷)، اقدام به محاسبه دقیق‌تر این نمایه به ترتیب در مشهد و در استان خراسان در دوره زمانی ۱۹۷۰ تا ۲۰۰۳ نمودند. پژوهشکده هواشناسی و علوم جو در سال ۱۳۹۰ نرم افزاری را جهت محاسبه خودکار نمایه در سراسر کشور با دقت مکانی ۴ کیلومتر توسعه و به سازمان ملی خشکسالی ارائه نمود (فتاحی و همکاران،۱۳۹۰).

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

یکی از مسائل مهم در مطالعات خشکسالی، مطالعه نحوه تغییر شرایط به سمت خشکسالی یا ترسالی است. تاکنون تحقیقی جامع با تفکیک مکانی مناسب در مورد اینکه آیا در هر نقطه از کشور، شرایط به طور معنی داری به سمت خشکسالی یا ترسالی در حرکت است انجام نشده است. از این رو، هدف این تحقیق روندیابی تغییرات شرایط خشکسالی با استفاده از نمایه خشکسالی پالمر در سطح کشور با تفکیک مکانی بالا است. اگرچه تفکیک زمانی نمایه پالمر ماهانه است، اما روند یابی متوسط سالانه نمایه خشکسالی پالمر بر روندیابی ماهانه مرجح است (Soul and yin, 1995). از این رو در این تحقیق از روند یابی مقادیر متوسط سالانه بدست آمده از نمایه پالمر و همچنین از مقادیر متوسط سه سالانه استفاده شده است.

مواد و روش ها

الف) محدوده مطالعاتی

منطقه مورد مطالعه به مختصات عرض جغرافیایی ۲۵ تا ۴۰ درجه شمالی و طول جغرافیایی ۴۴ تا ۶۴ درجه شرقی محدود شده است و کشور ایران را در بر می‌گیرد. این کشور ۱۶۴۸۱۹۵ کیلومتر مربع وسعت دارد. دوره بارندگی در اغلب نواحی ایران بین ماه نوامبر تا می است که با یک دوره خشک و کم باران از می تا اکتبر ادامه میابد. بارندگی سالانه کشور به طور میانگین ۲۴۰ میلیمتر و حداکثر بارش در دامنه‌های البرز و زاگرس به ترتیب بیش از ۱۶۰۰ و ۴۸۰ میلیمتر است. در دشت‌های مرکزی و شرقی، دامنه بارندگی بسته به موقعیت به کمتر از ۱۰۰ میلیمتر نیز می‌رسد.

ب) مدل رطوبتی پالمر

نمایه شدت خشکسالی پالمر مبتنی بر یک مدل عرضه و تقاضای رطوبت خاک در یک مکان عمل می‌کند. عرضه، مقدار رطوبت خاک به علاوه مقدار رطوبت حاصل از بارندگی است که جذب خاک می‌شود. اساس مدلسازی رطوبت خاک در نمایه پالمر، محاسبه تبخیر تعرق پتانسیل[1] است که میزان تقاضا از روی آن تخمین زده می‌شود. PET با استفاده از روش تورنث وایت محاسبه می‌شود که به متوسط درجه حرارت ماهانه، مقدار نرمال درجه حرارت ماهانه، و عرض جغرافیایی نقطه مورد مطالعه بستگی دارد؛ اگرچه می‌توان از روش دیگری نیز استفاده کرد. علاوه بر PET، تغذیه پتانسیل[2] ، رواناب پتانسیل[3] و تلفات پتانسیل[1] نیز وجود دارند که بر

[1] .PET: Potential Evapo-Transpiration
[2] .PR: Potential Recharge
[3] .PRO: Potential Run-off

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

اساس معادلاتی محاسبه می‌شوند. همراه با این چهار مقدار پتانسیل، مقادیر واقعی آنها (ET، R، RO و L)، نیز محاسبه می‌شود. قوانین تعیین ارزش این مقادیر واقعی، بسیار پیچیده بوده و به رابطه بارندگی[۲]، PET و مدل رطوبت خاک بستگی دارند. در PDSI از یک رهیافت دو لایه‌ای در مورد نگهداری رطوبت خاک استفاده می‌شود. ظرفیت نگهداری آب قابل دسترس[۳] ، مقدار آبی است که خاک قادر به نگهداری آن می‌باشد.

ج) انحراف رطوبتی (Moisture departure)

حرکت رطوبت اساساً در اثر کمبود یا مازاد رطوبت برای یک ماه معین بوده و با استفاده از معادله زیر محاسبه می‌شود:

$$d = P - \hat{P} \qquad (۱)$$

که در آن، P بارندگی و $\hat{P}$ بارندگی موسوم به CAFEC (بارندگی مناسب برای شرائط موجود از لحاظ اقلیمی) می‌باشد. $\hat{P}$ بصورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\hat{P} = \alpha_i . PE + \beta_i . PR + \gamma_i . PRO - \delta_i . PL \qquad (۲)$$

اندیس i اشاره به ماه سال دارد. این ضرایب، متوسط نسبت مقادیر واقعی (ET، R، RO و L) به مقادیر پتانسیل (PET، PR، PRO و PL) می‌باشند و ضرایب بیلان آبی نامیده می‌شوند. تأثیر این ضرایب، تعدیل مقادیر پتانسیل برای تغییر فصل می‌باشد.

د) انحراف رطوبتی(moisture anomaly)

نمایه d، مجدداً تعدیل شده و انحراف رطوبتی (Z) نام گرفته است که بیانگر میزان ترسالی یا خشکسالی با توجه به فصل جاری و اقلیم محلی می‌باشد. این معیار به سادگی با ضرب d در مشخصه اقلیمی (K)، بدست می‌آید:

$$Z = d . K \qquad (۳)$$

همانطور که در معادلات زیر مشخص است، مقدار K بسته به مکان و زمان تغییر می‌کند:

$$K_i = \frac{r}{\sum_{j=1}^{12} \overline{D_j} . K_i'} . K_i' \qquad (۴)$$

که در آن:

$$K_i' = 1.5 * \log_{10} \left[\frac{\frac{\overline{PET_i} + \overline{R_i} + \overline{RO_i}}{\overline{P_i} + \overline{L_i}} + 2.8}{\overline{D_i}} \right] + 0.5 \qquad (۵)$$

[1]. PL: Potential Loss
[2] .P: Precipitation
[3] .AWC: Available Water Capacity

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

مجدداً اندیس i اشاره به ماه سال دارد. مقدار r یک مقدار تجربی است که در مرحله خود خود تنظیمی برای هر منطقه (پیکسل) مجدداً استخراج می‌شود (Wells et al., 2004).

ه) استخراج نمایه شدت خشکسالی خود تنظیم پالمر (SC-PDSI)

بعد از محاسبه ناهنجاری رطوبت، می‌توان PDSI را محاسبه نمود. در مسیر محاسبه نمایه، سه نمایه میانی وجود دارند که عبارتند از: X1 شدت دوره تر، X2 شدت دوره خشک، و X3 شدت دوره "مستقر" کنونی. مقدار واقعی PDSI با انتخاب یکی از این سه نمایه بر طبق یک سری قوانین، تعیین می‌شود. هر یک از سه نمایه به طریقی مشابه و بسته به مقدار قبلی خود محاسبه می‌شوند. برای مثال، X3 بصورت زیر محاسبه می‌شود:

$$X3_i = p.X3_{i-1} + q.Z_i \qquad (۶)$$

مقادیر p و q نیز ثابت‌های تجربی هستند که در مرحله خود کالیبراسیون برای هر منطقه (پیکسل) مجدداً بدست می آید (Wells et al., 2004). بعد از در کنار هم قرار دادن مقادیر X1 تا X3، یکی از این مقادیر بر اساس الگوریتمی نسبتاً ساده به عنوان مقدار نمایه شدت خشکسالی پالمر (PDSI) انتخاب می‌شود. از آنجا که ضرایب p، q و r، برای هر پیکسل بر اساس تاریخچه عرضه و تقاضای آن پیکسل به صورت جداگانه بدست آمده است، مقدار نهایی نمایه خشکسالی پالمر را می‌توان مقدار واسنجی شده نمایه مورد نظر (Self Calibrated PDSI) در منطقه مورد مطالعه دانست.

در این تحقیق ابتدا داده‌های بارندگی از ۲۹۶ ایستگاه همدیدی و بیش از ۱۵۰۰ ایستگاه بارانسنجی کشور و دما از ۲۹۶ ایستگاه همدیدی در دوره زمانی ابتدای ۱۹۷۵ تا انتهای ۲۰۱۰ جمع آوری و سپس داده های دما با استفاده از روش همبستگی چند متغیره (طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع رقومی) و داده های بارندگی از میانیابی به روش IDW برای هر ماه از هر سال در این دوره ۳۶ ساله با پیکسل های ۴ کیلومتری در مقیاس کشوری پهنه‌بندی گردید (فتاحی و همکاران،۱۳۹۰). همچنین ظرفیت آب در دسترس از نقشه خاکی توسط موسسه خاک و آب در مقیاس کشوری تهیه شده و بافت خاک ایران را به ۵ طبقه کلی تقسیم بندی می‌کند استفاده شد(فتاحی و همکاران،۱۳۹۰). سپس با استفاده از نرم افزار MATLAB، و کد نویسی معادلات نمایه پالمر، نرم افزاری تهیه و مقادیر نمایه شدت خشکسالی پالمر واسنجی شده (SC_PDSI) که توسط(Wells et al., 2004) توسعه داده شده است، در ۴۳۳ لایه که هر یک حاوی نقشه پراکندگی مکانی نمایه مورد نظر در هر ماه از تاریخ ژانویه ۱۹۷۵ تا انتهای ۲۰۱۰ میباشد استخراج شد.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

ی) تجزیه و تحلیل روند

به منظور بررسی وجود روند در یک سری زمانی از روش‌های متعدد آماری می‌توان استفاده کرد. با این وجود باید توجه نمود که این روش‌ها طبقه‌بندی نشده‌اند و برای استفاده از آنها پیش شرط‌هایی در مراجع بیان نشده است. در این تحقیق به طور عمده بر روش آزمون رگرسیون یا روند خطی تکیه شده است. یکی از شروط استفاده از آزمون رگرسیون نرمال بودن داده‌ها می‌باشد و برای نرمال بودن، داده‌ها را بر آزمون کلموگروف-اسمرینوف برازش داده و هر گام زمانی که از این آزمون تبعیت نکند را از دوره آماری حذف کرده و به بررسی گام‌های دیگر می‌پردازند(Pajand, 2000). به طور کلی در روش خطی استخراج روند، عرض از مبدأ و شیب خط رگرسیون را به وسیله حداقل نمودن خطا بین دو متغیر مستقل (زمان، X) و وابسته (مقدار پارامتر، Y) به دست می‌آورند و سپس آماره $t=b/S_b$ که در آن b عرض از مبدأ خط برازش داده شده و S_b انحراف معیار داده‌ها (رابطه۷) است، تعریف می‌شود.

$$S_b^2 = \frac{S^2}{\sum(X-\bar{X}_i)^2} \qquad (۷)$$

که در آن S^2 از رابطه (۸) به دست می آید:

$$S^2 = \frac{\sum(Y-Y_i)^2}{n-2} \qquad (۸)$$

فرضیه‌های صفر و مقابل به صورت زیر تعریف می‌شوند:

$$H_0: b = 0, H_1: b \neq 0$$

اگر قدر مطلق $t=b/S_b$ از $t_{1-\alpha/2,n-2}$ از جدول t-student بزرگتر باشد، فرض H_0 رد خواهد شد. در این صورت شیب خط اختلاف معنی‌داری با صفر خواهد داشت و از آن به عنوان روند در سری زمانی یاد می‌شود.

نتایج و بحث

شکل ۱ توزیع مکانی میانگین بلند مدت نمایه پالمر را در دوره ۱۹۷۵ تا انتهای ۲۰۱۰ در مقیاس کشوری نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می شود، متوسط مقادیر نمایه در ۳۶ سال اخیر همواره از ۰/۵ کوچکتر بوده (جز در چند پیکسل محدود) و دامنه آن تا ۲- و گاهی تا ۶- نیز کشیده شده است. به عبارت دیگر، منطقه مورد مطالعه در ۳۶ سال گذشته به طور میانگین در تمام مناطق خشکسالی را تجربه کرده است. برای درک بهتر از وضعیت خشکسالی، توزیع مقادیر نمایه بر اساس طبقه بندی پالمر در شکل ۲ ارائه شده است. این نمودار با استفاده از مقادیر نمایه پالمر در ۹۶۵۶۳ پیکسل در دوره زمانی ۳۶ ساله که مجموعاً حدود ۴۲ میلیون

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

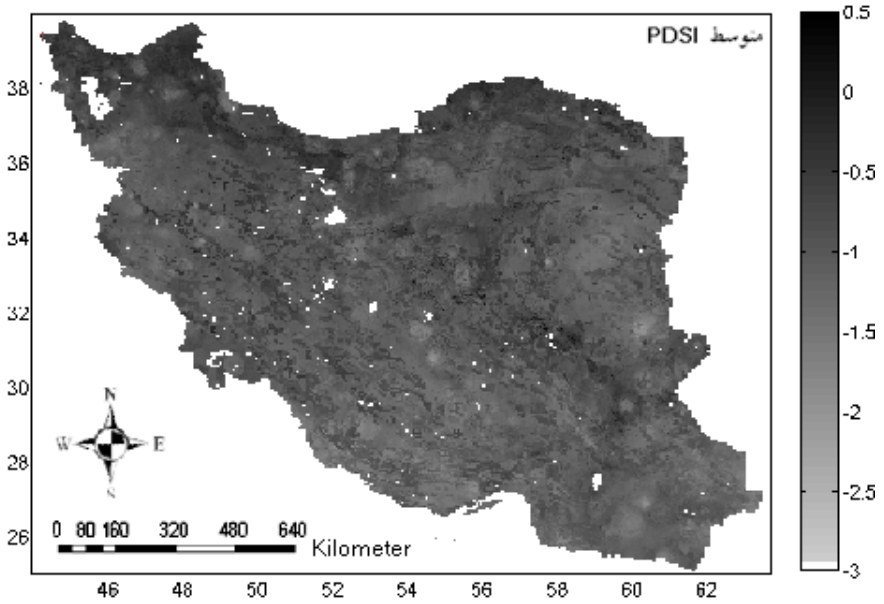
داده می‌باشد، بدست آمده است. همانطور که مشاهده می‌شود، اکثر مناطق با خشکسالی کم تا شدید همراه بوده است. بطوریکه پدیده خشکسالی، با شدت و ضعف، بیش از ۷۰ درصد موارد را به خود اختصاص داده است که از این مقدار خشکسالی ملایم با ۴۲ درصد سابقه وقوع پیشتاز است و عملاً کمتر از ۱۰ درصد مواقع شرایط ترسالی یا نرمال رخ داده است.

در این تحقیق، روند تغییرات خشکسالی به دو صورت سالانه، یعنی تغییرات متوسط سالانه نمایه پالمر، و سه سالانه، یعنی تغییرات متوسط سه سالانه نمایه پالمر، محاسبه و معناداری آن در سطح ۵ درصد (سطح احتمال ۹۵ درصد) تحلیل شده است. در شکل ۳و۴، پراکنش نتایج محاسبه روند به روش خطی به دو صورت سالانه (الف) و سه سالانه (ب) به تصویر کشیده شده است. شکل ۳ جهت روند و شکل ۴ شیب آنرا نمایش میدهد. مطالعه روند تغییرات خشکسالی به صورت سالانه (شکل ۳ الف و ۴ الف) نشان میدهد که حدود ۶۱/۱ ٪ از مناطق کشور دارای روندی منفی (افزایش شدت خشکسالی)، ۱/۳ ٪ از مناطق روندی مثبت (بهبود شرایط خشکسالی) و ۳۷/۶ ٪ از مناطق فاقد روند معنی دار در سطح احتمال ۹۵ درصد میباشند. شیب روند سالانه برای روند مثبت بین صفر تا ۰/۱۲۰۵ و برای روند منفی بین ۰/۲۰۵- تا صفر متغیر است (شکل ۴ الف).

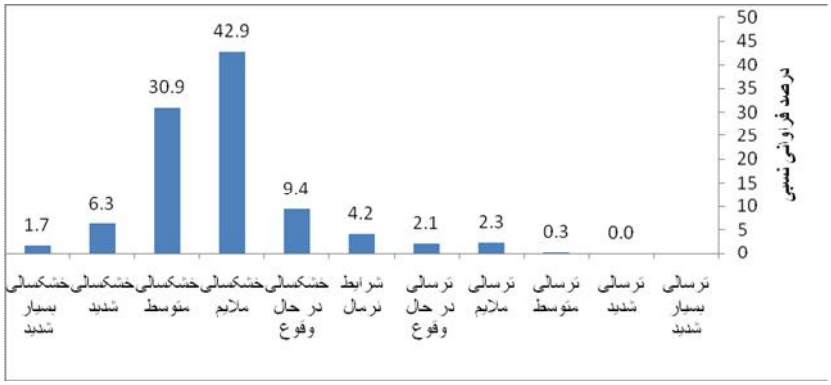
مطالعه روند تغییرات خشکسالی به صورت سه سالانه (شکل ۳ ب و ۴ ب) نیز نتایج مشابهی را نمایش میدهد. با این تفاوت که از سهم مناطق فاقد روند کاسته شده و مناطق با شیب مثبت یا منفی گسترش بیشتری یافته اند. در این حالت حدود ۶۷/۱ ٪ از مناطق کشور دارای روندی منفی (افزایش شدت خشکسالی)، ۳/۶ ٪ از مناطق روندی مثبت (بهبود شرایط خشکسالی) و ۲۹/۳ ٪ باقی مانده فاقد روند معنی دار در سطح احتمال ۹۵ درصد میباشند. شیب روند سه سالانه نیز تفاوت زیادی با روند سالانه نداشته و برای روند مثبت بین صفر تا ۰/۱۲۲۵ و برای روند منفی بین ۰/۲۲۳- تا صفر متغیر است (شکل ۴ ب).

اگر مبنا را روند سه سالانه قرار دهیم، با توجه به نقشه پراکندگی جهت روند (شکل ۳ ب)، روند مثبت تنها به مناطق کم وسعتی از شمال غربی و بخش هایی از استانهای مرکزی و نقاط پراکنده ای در شرق و جنوب کشور محدود شده است که با مناطق فاقد روند احاطه شده اند و باقی مناطق عمدتاً تحت تاثیر روند منفی و افزایش شدت خشکسالی قرار دارند.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

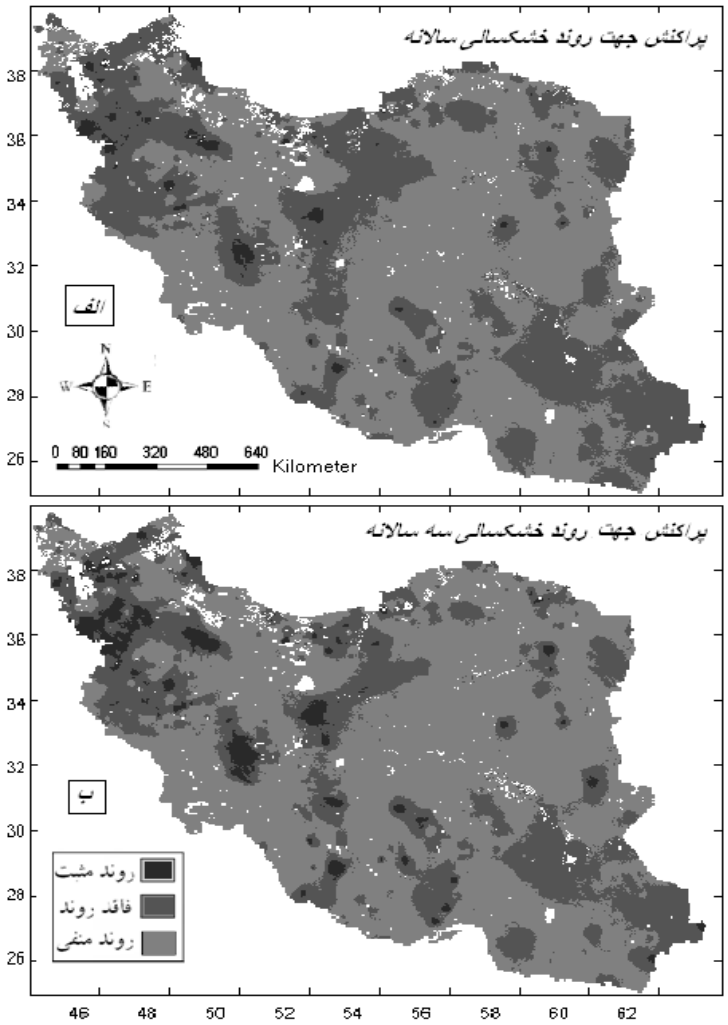


شکل (۱) توزیع مکانی متوسط مقادیر نمایه شدت خشکسالی پالمر در دوره آماری ۱۹۷۵ تا ۲۰۱۱ در ایران با استفاده از مدل توزیعی خشکسالی پالمر (مناطق سفید رنگ فاقد داده خاک می باشند)



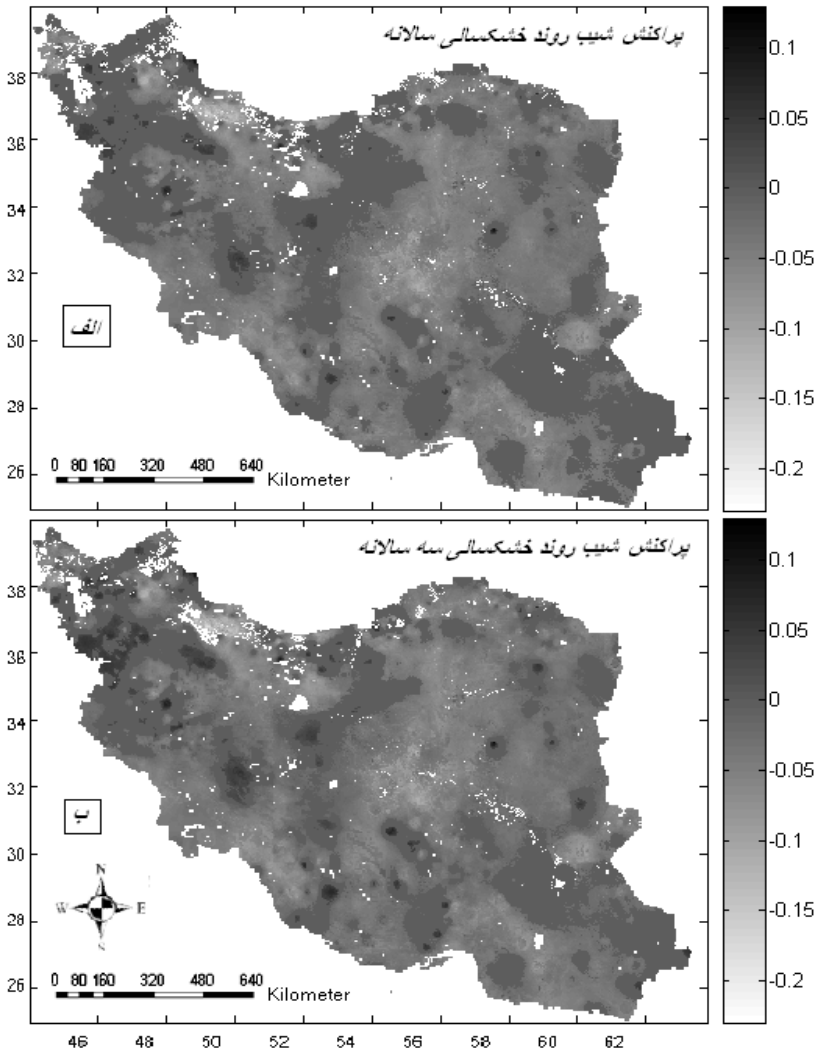
شکل (۲) درصد فراوانی نسبی وقایع رخ داده در منطقه و بازه زمانی مورد مطالعه بر اساس طبقه بندی پالمر : ترسالی بسیار شدید (PDSI≥4)، ترسالی شدید (3≤PDSI<4)، ترسالی متوسط (2≤PDSI<3)، ترسالی محسوس (1≤PDSI<2)، ترسالی در حال وقوع (0.5≤PDSI<1)، شرایط نرمال (-0.5<PDSI<0.5)، خشکسالی در حال وقوع (-1<PDSI≤-0.5)، خشکسالی محسوس (-2<PDSI≤-1)، خشکسالی متوسط (-3<PDSI≤-2)، خشکسالی شدید (-4<PDSI≤-3) و خشکسالی بسیار شدید (PDSI≤-4).

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]



شکل (۳) پراکنش جغرافیایی جهت روند خشکسالی در مقیاس سالانه و سه سالانه در ایران در دوره آماری ۱۹۷۵ تا ۲۰۱۰ (مناطق سفید رنگ فاقد داده خاک می باشند)

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]



شکل (۴) پراکنش جغرافیایی شیب روند در دو مقیاس سالانه و سه سالانه در ایران در دوره آماری ۱۹۷۵ تا ۲۰۱۰ (مناطق سفید رنگ فاقد داده خاک می باشند)

نتیجه گیری و پیشنهادات

در این تحقیق با استفاده از نرم افزار MATLAB، و کد نویسی معادلات نمایه پالمر، نرم افزاری تهیه و مقادیر نمایه شدت خشکسالی پالمر واسنجی شده (SC_PDSI) در ۴۳۳ لایه که

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

هر یک حاوی نقشه پراکندگی مکانی نمایه مورد نظر در هر ماه از تاریخ ژانویه ۱۹۷۵ تا انتهای ۲۰۱۰ میباشد استخراج و سپس توسط روش رگرسیون خطی روند یابی شد. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که ایران کشوری است که در ۳۶ سال گذشته همواره با خشکی‌های متوسط تا شدید و متوالی همراه بوده است. این خشکسالی ها در عمده مناطق کشور دارای روند افزایشی (شدید تر شدن خشکسالی) بوده است که بالتبع موجب افزایش فشار در بهره برداری بیش از حد منابع آب زیر زمینی به منظور جبران اثرات ناشی از خشکسالی در بخش کشاورزی شده است. این کشور در بیش از ۷۰ درصد از دوره مورد مطالعه، به طور متوسط در وضعیت خشکسالی های ملایم تا شدید قرار داشته است. روند های سالانه و سه سالانه تغییرات شدت خشکسالی نتایج مشابهی را در توضیح چگونگی این تغییرات در مناطق مختلف کشور ارائه می کنند و می توان گفت بیش از ۶۰ درصد از وسعت منطقه مورد مطالعه در معرض شدیدتر شدن این پدیده و کمتر از ۴ درصد از آن در معرض بهبود شرایط قرار دارند. البته این موضوع مادامی بر قرار است که تغییرات اساسی در متوسط بارندگی و دمای و توزیع مکانی آنها در کشور صورت نگیرد. برای بررسی دقیقتر این موضوع استفاده از سایر روش های پایش خشکسالی و نیز سایر روش های روندیابی توصیه می شود. همچنین پیش بینی تغییرات دما و بارش به کمک مدل های تغییر اقلیم و قرار دادن داده های پیش بینی شده در نمایه پالمر به منظور تخمین شرایط خشکسالی در آینده نیز می تواند قدمی موثر در فهم بهتر چگونگی تغییرات این پدیده اقلیمی در کشور به حساب آید.

سپاسگزاری

بدین وسیله از دکتر ادوارد کوک و دکتر دیوید مکو، محقق موسسه تحقیقات سه حلقه‌ای آریزونا به دلیل راهنمایی‌های ارزشمندشان و تمام عزیزانی که در این پروژه ملی همکاری داشته‌اند قدردانی می‌شود.

نمادها

جدول ۱- علائم

توضیحات	نمایه
محتوای آب در دسترس	AWC
انحراف رطوبتی	d
تبخیر و تعرق	ET
مشخصه اقلیمی	K

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

تلفات	L
بارش	P
ضرایب تجربی حاکم بر معادلات پالمر	p, q, r
مقادیر پتانیسل تبخیرتعرق، ذخیره، تلفات و رواناب	PET, PR, PL, PRO
ذخیره	R
رواناب	RO
انحراف معیار	S_b
نمایه پالمر به ترتیب در شرایط خشک، تر و شرایط جاری	X1,X2,X3
نا هنجاری رطوبتی	Z
ضرایب بیلان آبی	α, β, γ, δ

منابع و ماخذ

۱. آسیایی، مهدی (۱۳۸۵) **پایش خشکسالی در مشهد با استفاده از شاخص خشکسالی پالمر**، جغرافیا و توسعه ناحیه ای، ۷ : ۱۶۷-۱۸۶.

۲. امین، سیف الله و سلطانی، علیرضا (۱۳۸۶) **تحلیل و تعمیم معادله‌های مرحله رده بندی نمایه خشکسالی پالمر الف. ملاحظات نظری**. مجله دانش کشاورزی،۱۷(۴)، ۱- ۱۶

۳. انصاری، حسین، ثنایی نژاد، حسین و داوری، کامران (۱۳۸۷) **پایش دوره‌های خشک با نمایه شدت خشکی پالمر بر اساس داده‌های رطوبت خاک تخمین زده شده از مدل بیلان آبی: مطالعه موردی استان خراسان**، مجله پژوهش‌های خاک (علوم آب و خاک)، ۲۲(۲)، ۲۲۵ - ۲۳۳

۴. جوانمرد، سهیلا.، بداق‌جمالی، جواد.، احمدیان، جواد.، قهرمان، نوذر.، و موقرمقدم، حسین (۱۳۸۰) **محاسبه نمایه شدت خشکسالی پالمر در استان خراسان**، اولین کنفرانس ملی بررسی راهکارهای مقابله با بحران آب، دانشگاه زابل

۵. فتاحی، ابراهیم.، وظیفه دوست، مجید.، کشاورز، محمدرضا و نوری، امیرحمزه (۱۳۹۰) **توسعه و اصلاح نمایه خشکسالی پالمر و صحت سنجی آن به کمک داده‌های ماهواره‌ای رطوبت خاک در ایران**، گزارش پروژه، پژوهشکده هواشناسی و علوم جو (**ASMERC**)

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

۶. محمدی، حسین مراد و شمسی پور، علی اکبر (۱۳۸۲) **تاثیر خشکسالی‌های اخیر در افت منابع آب زیرزمینی در دشت‌های شمال همدان**. پژوهش‌های جغرافیایی، ۴۵،۱۱۵-۱۳۰

Alley, W.M. (1984) ***The Palmer Drought Severity Index: limitation and assumptions***. J. Climate Appl. Meteor. 23. 1100–1109.

Heddinghaus, T.R., Sabol, P. (1991) ***A review of the Palmer Drought Severity Index and where do we go from here. In: Proceeding 7th Conference on Applied Climatology. American Meteorological Society, Boston,*** pp. 242–246.

Karl, T. (1986) *the* ***sensitivity of the Palmer Drought Severity Index and Palmer's Z-Index to their calibration coefficients including potential evapotranspiration.*** J. Climate Appl. Meteor. 25. 77–86.

Mika, J. Horva´th, Sz. Makra, L. Dunkel, Z. (2005) ***The Palmer Drought Severity Index (PDSI) as an indicator of soil moisture. Physics and Chemistry of the Earth.*** 30. 223–230.

Pajand, H. (2000) ***Application of Probability and Statistics in Water Resources. Mashhad****:* Sokhan Gostar. In Farsi.

Palmer, W.C. (1965) ***Meteorological Drought***. Research Paper No. 45, US Weather Bureau: Washington, DC.

Palmer, W.C. (1967) ***The abnormally dry weather of 1961-1966 in the northeastern United States***. Proc. Conf. Drought in the northeastern United States, Jerome Spar, Ed., New York University of Geophys. Res. Lab. Rep. TR-68-3: 32-56.

Quiring, S. M. Papakryiakou, T. N. (2003) ***an evaluation of agricultural drought indices for the Canadian prairies***. Agricultural and Forest Meteorology. 118. 49–62.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

Soule, P. T., and Yin, Z. Y. (1995) ***Short- to long-term trends in hydrologic drought conditions in the contiguous United States.*** Clim res. 5. 149-157.

Vasiliades, L., Loukas, A. (2009). ***Hydrological response to meteorological drought using the Palmer drought indices in Thessaly, Greece. Desalination.*** 237, 3–21.

Van der schrier,G., Efthymiadis, D., Briffa, K. R., and Jones, P. D. (2007) ***European Alpine moisture variability for 1800–2003. J. Climatol***. 27. 415–427.

Weber, L., and Nkemdirim, L. (1998) ***Palmer's droughtindices revisited. Geogr. Ann***., 80 A (2). 153–172.

Wells, N., S., Goddard, and Hayes, M. J. (2004) ***A Self-Calibrating Palmer Drought Severity Index, American Meteorological Society*** 17. 2335-2351

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]