



## بررسی روند تغییرات مکانی-زمانی شاخص دومتغیره خشکسالی هواشناسی SPEI در ایران

خلیل قربانی<sup>1\*</sup>، اسماعیل ولیزاده<sup>2</sup>، صدیقه بارخان پور<sup>3</sup>

1. دانشیار هواشناسی کشاورزی گروه مهندسی آب دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.
  2. دانش آموخته کارشناسی ارشد هواشناسی کشاورزی و کارمند سازمان هواشناسی گلستان، گلستان، ایران.
  3. دانش آموخته کارشناسی مهندسی آب دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.
- \* نویسنده مسئول: [ghorbani.khalil@yahoo.com](mailto:ghorbani.khalil@yahoo.com)

تاریخ دریافت: 1396/10/18 تاریخ پذیرش: 1397/02/09

### چکیده

تغییر بارش و دمای ناشی از تغییر اقلیم موجب شده است تا شاخص‌های تک متغیره خشکسالی نتوانند وضعیت کاهش منابع آبی را نشان دهند. بر این پایه از شاخص‌های چندمتغیره خشکسالی مانند بارش- تبخیر و تعرق استاندارد شده (SPEI) استفاده می‌شود. به منظور بررسی وضعیت روند تغییرات شدت خشکسالی هواشناسی در پهنه جغرافیایی ایران، داده‌های شبکه جهانی SPEI طی دوره آماری 30 ساله استفاده و آزمون‌های تشخیص روند و شیب خط سن بر روی سری‌های فصلی آنها اجراء و نتایج آنها در محیط GIS پهنه‌بندی شد. نتایج نشان داد در بین فصل‌ها، بیشترین روند رو به خشکی در فصل زمستان می‌باشد و بیش از 94 درصد مساحت کشور، شیب کاهشی را در سری زمانی شاخص خشکسالی نشان می‌دهند. روند تغییرات این شیب در غرب و شمال شرق کشور از لحاظ آماری معنی‌دار است. در فصل تابستان نیز نیمه شرقی کشور روند رو به خشکی را نشان می‌دهد ولی در فصل‌های بهار و پاییز وضعیت بهتری بر ایران حاکم است و درصد کمی از مساحت کشور روند معنی‌دار رو به خشکی را نشان می‌دهند. به طوری که به ترتیب در فصل بهار و پاییز، 85 و 91 درصد کشور، از شیب خط روند کمتر و مساوی 2 درصد برخوردارند. نتیجه پایانی بررسی شاخص خشکسالی بارش- تبخیر و تعرق استاندارد شده نشان داد که در مجموع تغییرات اقلیمی در ایران رخ داده است و ایران در سالهای اخیر به سمت دوره‌های خشک‌تر متمایل بوده است.

**واژگان کلیدی:** تغییر اقلیم؛ شاخص چند متغیره خشکسالی؛ شاخص بارش- تبخیر و تعرق استاندارد شده؛ مکانی-زمانی؛ روند

### n مقدمه

زیاد باشد. تبخیر-تعرق، نیاز آبی را افزایش می‌دهد و با توجه به اینکه بیشتر منابع آبی در بخش کشاورزی مصرف می‌شود، این افزایش نیاز آبی، کاهش منابع آبی را به همراه خواهد داشت. از طرفی دیگر منابع آب سطحی نیز در اثر تبخیر کاهش می‌یابند. بر این پایه بهره‌گیری از شاخص‌های تک متغیره خشکسالی که عموماً مبتنی بر

خشکسالی پدیده‌ای اقلیمی است که با کمبود بارش نسبت به متوسط مورد انتظار در منطقه شکل می‌گیرد. اما خشکسالی زمانی خود را نشان می‌دهد که کمبود منابع آبی احساس شود. این کمبود می‌تواند ناشی از کاهش بارش یا هدررفت منابع آبی در اثر تبخیر-تعرق

تابستان بیشتر و در فصل زمستان کمتر از بقیه فصل‌ها می‌باشد و این تغییرات شیب در مناطق غرب و شمال‌غرب بیشتر از دیگر مناطق مشاهده می‌شود (9).

در بررسی خشکسالی‌ها نیز پژوهش‌های زیادی در زمینه تحلیل روند انجام شده است. روند خشکسالی هواشناسی و کشاورزی را در مناطق نیمه خشک، خشک و فراخشک جهان حاکی از فراوانی مناطق بدون روند می‌باشد (17). ولی روندهای منفی SPI<sup>1</sup> که نشان دهنده افزایش خشکسالی‌هاست در منطقه خاورمیانه، مرکز استرالیا و غرب آمریکا بیستر دیده می‌شود. روند خشکسالی و الگوهای آن را در سطح جهانی نشان دهنده عدم افزایش معنادار مساحت مناطق تحت تأثیر خشکسالی در نیمکره شمالی است، این در حالی است که در نیمکره جنوبی، روند معنادار افزایشی مشاهده شده است (8). در حالیکه نتایج تغییرات مکانی خشکسالی‌ها در مناطق جنوب غربی آمریکا، تگزاس و بخش‌هایی از آمازون، شاخ آفریقا و بخش‌هایی از منطقه مدیترانه، دارای روند افزایش خشکسالی بوده‌اند؛ مناطق مرکزی قاره آفریقا، مناطقی از جنوب شرقی آسیا، آمریکای مرکزی، شمال استرالیا و بخش‌هایی از اروپای شرقی، روند افزایشی شرایط ترسالی را تجربه کرده‌اند (8). Kousari و همکاران (2014) با بررسی روند شاخص احیایی بارش<sup>2</sup> در مناطق خشک و نیمه خشک ایران نشان دادند که سری‌های خشکسالی دارای روند معنادار و عمدتاً افزایشی هستند، البته این موضوع بیشتر در سری‌های بلند مدت خشکسالی (مقیاس‌های زمانی 9، 12، 18، و 24 ماهه) قابل توجه است (16). مطالعه Modarres و همکاران (2016) حاکی از وجود روندهای افزایشی و کاهش‌ی در سری‌های زمانی خشکسالی و سیلاب در ایران بوده است. این مطالعه نشان می‌دهد که افزایش خشکسالی‌ها و همچنین سیلاب‌ها در ایران ناشی از تغییرات کاربری اراضی، روند منفی بارش‌های دریافتی سالانه، روند افزایشی بارش‌های حداکثر و همچنین سیاست‌های نادرست مدیریت منابع آب در کشور است (22).

تک پارامتر بارش می‌باشند، نمی‌تواند کمبود آب ناشی از کاهش بارش و افزایش دما را نشان دهد. بسیاری از مطالعات اقلیمی، کاهش بارش و افزایش دما را طی سال‌های اخیر برای مناطق مختلف نشان داده‌اند و برای آینده نیز پیش‌بینی کرده‌اند. در این بررسی‌ها برای نشان دادن تغییرات در سری زمانی داده‌ها، به‌طور عادی از آزمون ناپارامتری من-کندال و برای نشان دادن مقدار تغییرات از آزمون ناپارامتری شیب خط سن استفاده می‌شود. بررسی‌های زیادی در داخل و خارج از کشور انجام شده و گزارش‌های مختلفی از وضعیت روند تغییرات متغیرهای هواشناسی دما، بارش و تبخیر-تعرق ارائه شده است. گزارش افزایش روند بارش در آرژانتین (31)، استرالیا (27)، نیوزلند (23) و کاهش روند بارش در روسیه (10)، ترکیه (28)، آفریقا (19، 12) و چین (33)، کاهش بارش در حوضه زاینده رود (21) و کاهش بارش در فصول زمستان و بهار و افزایش آن در فصول تابستان، پاییز و نیز مقطع سالانه در شهر تبریز (15) مطالعاتی است که در زمینه روند تغییرات بارش و تشخیص پدیده تغییر اقلیم انجام شده است. همچنین افزایش میانگین دمای فصلی در شهرهای بزرگ ایران طی دوره آماری 1961-2005 (25)، افزایش دمای حدی در چند نمونه اقلیمی ایران (29) و افزایش دما در استان خراسان رضوی (1) و تبریز در کلیه مقاطع ماهانه، فصلی و سالانه (15) نیز بررسی‌هایی است که در زمینه روند تغییرات دمای هوا در اثر تغییر اقلیم انجام شده است. با توجه به بررسی‌های زیادی که در زمینه تشخیص روند صورت گرفته است، مشخص می‌شود که بیشتر این مطالعات به‌صورت ایستگاهی انجام شده است اما Ghorbani (2015) روند مکانی تغییرات دمای هوای ناشی از تغییر اقلیم را در پهنه جغرافیایی ایران بررسی کرد و نتیجه گرفت در دوره زمانی 1368-1339 (معادل سال میلادی 1961-1990) فقط در برخی از مناطق و در فصل‌های تابستان و زمستان ولی در دوره زمانی 1428-1369 (معادل سال میلادی 1991-2050) در تمام کشور و فصل‌ها روند مشاهده می‌شود. همچنین شیب خط روند در فصل

<sup>2</sup> RDI: Reclamation Drought Index

<sup>1</sup> SPI: Standardized Precipitation Index

است که در مطالعات خشکسالی به آنها پرداخته می‌شود. از طرفی مطالعات منطقه‌ای در زمینه خشکسالی آن هم در سطح کشور و ترسیم نقشه‌های روند و شیب خط روند انجام نشده است. بر این اساس هدف از انجام بررسی حاضر، تحلیل تغییرات مکانی روند شاخص دو متغیره خشکسالی SPEI، در پهنه جغرافیایی ایران در مقیاس فصلی می‌باشد.

## n مواد و روش‌ها

### منطقه مطالعاتی و داده

منطقه مطالعاتی در پژوهش حاضر پهنه جغرافیایی ایران می‌باشد. ایران کشوری است که به دلیل قرار گیری در عرض‌های میانی 30 درجه، بیشتر مساحت آن را اقلیم‌های خشک و نیمه خشک فراگرفته است. متوسط بارندگی آن حدود 256 میلی‌متر در سال می‌باشد که تنها 25/1 درصد ایران و عمدتاً در نواحی غربی و خزری جزء نواحی پربارش به شمار می‌آیند و حدود 75 درصد از گستره ایران، بارشی کمتر از 300 میلی‌متر در سال دارد (20) که موجب می‌شود نسبت به وقوع خشکسالی‌ها بسیار آسیب‌پذیر باشد. رژیم بارش در ایران رژیم مدیترانه‌ای است، یعنی بارش آن مطابق با فصل‌های سرد سال است. در شمال کشور، استان‌های حاشیه دریای خزر، فصل‌های گرم سال نیز مقداری بارش دارند و به‌طور کامل خشک نمی‌باشد. این نوع رژیم بارش، رژیم شبه مدیترانه‌ای است. با این حال بیشتر حجم بارش در کشور در فصل‌های سرد سال اتفاق می‌افتد.

داده‌های مربوط به پژوهش حاضر از سایت <http://spei.csic.es/database.html> در فرمت NetCDF<sup>5</sup> تهیه شد (6). پایگاه داده‌های جهانی SPEI، داده‌های بلند مدت با بنیادهای از شرایط خشکسالی را در مقیاس جهانی با اندازه تفکیک 0/5 درجه و در مقیاس زمانی ماهانه عرضه می‌کند. این داده‌ها در پنجره‌های زمانی یک تا 48 ماه، دوره زمانی ژانویه 1901 تا دسامبر 2014 را دربر می‌گیرد. در این پایگاه، اساس محاسبه SPEI بر اساس داده‌های ماهانه بارش و تبخیر-تعرق

بیشتر بررسی‌های انجام شده در زمینه روند خشکسالی، معطوف به شاخص‌های تک متغیره خشکسالی است و در خشکسالی هواشناسی، بیشتر شاخص‌های تعریف شده مبتنی بر بارش می‌باشند. اما این سوال مطرح می‌شود که در صورت عدم وجود روند در داده‌های بارش، آیا با کمبود آب و خشکسالی مواجه نخواهیم شد. در صورتی که طبق گزارش هیأت بین‌المللی تغییر اقلیم (IPCC<sup>3</sup>)، افزایش 2 الی 6 درجه‌ی سلسیوس دمای کره زمین تا سال 2090 میلادی پیش‌بینی می‌شود که آسیب‌های بسیار جدی بر محیط زیست و منابع آب تحمیل شود (13). در این صورت می‌توان پاسخ داد که شاخص دو متغیره بارش-تبخیر و تعرق استاندارد شده می‌تواند شاخص مناسبی برای ارزیابی خشکسالی باشد که هم نقش بارش و هم نقش دما را در کاهش منابع آبی لحاظ می‌کند. Binquan و همکاران (2015) با استفاده از شاخص SPEI<sup>4</sup> به ارزیابی تغییرات اقلیمی در حوضه رودخانه یارلانگ زانگبو در چین پرداختند. نتایج آنها نشان داد که بارش در این منطقه با نرخ 6/3 میلی‌متر در ده سال به‌طور معنی‌داری افزایش می‌یابد در حالی که در شاخص SPEI روند معنی‌داری مشاهده نمی‌شود و این به دلیل افزایش دمای هوا با نرخ 0/32 درجه سانتی‌گراد در ده سال می‌باشد (7). Rezaei Ghaleh (2016) به مطالعه تطبیقی شاخص‌های خشکسالی SPI و SPEI در استان گلستان پرداخت و نتیجه گرفت وجود روند در بارش و شاخص SPI لزوماً تاییدی بر وجود روند در شاخص SPEI نمی‌باشد، دما و تبخیر و تعرق حاصل از آن نیز در روند تغییرات این شاخص اثرگذار هستند (24). این دو شاخص در فصل تابستان کم‌ترین مقدار همبستگی و در فصل زمستان بیشترین همبستگی را برقرار می‌کنند. به علاوه، با بزرگتر شدن پنجره زمانی خشکسالی، از مقدار همبستگی دو شاخص کاسته می‌شود و در ضمن در اقلیم‌های مرطوب‌تر، مقدار همبستگی دو شاخص افزایش می‌یابد.

بر اساس مطالب ذکر شده می‌توان نتیجه گرفت استفاده از شاخص دو متغیره خشکسالی رویکرد جدیدی

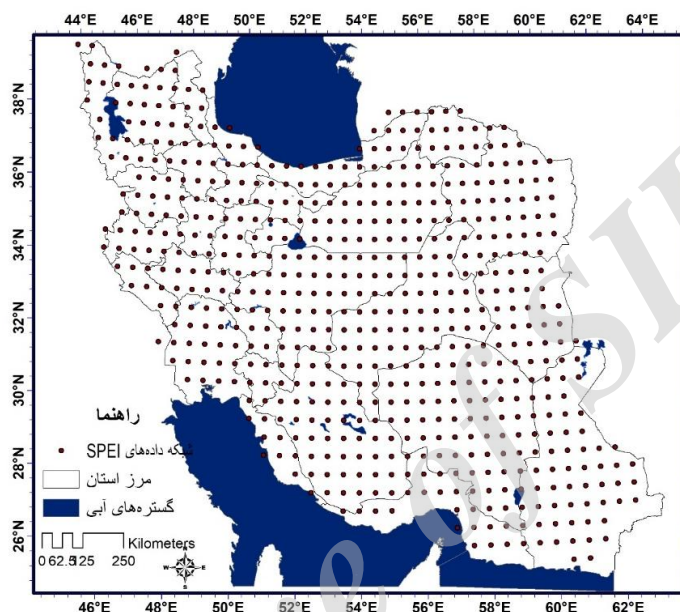
<sup>5</sup> NetCDF: Network Common Data Form

<sup>3</sup> IPCC: Intergovernmental Panel Climate Change

<sup>4</sup> SPEI: Standardized Precipitation Evapotranspiration Index

سپس سری زمانی داده‌ها از پنجره زمانی سه ماهه، برای فصل‌های مختلف سال تشکیل شد و آزمون‌های تشخیص روند من-کندال (14,18) و آزمون شیب خط سن (26) بر روی آنها اجراء شد. براساس داده‌های موجود دوره آماری 30 ساله بین سال‌ها 1364-1393 (1985-2014) برای پژوهش در نظر گرفته شد.

ماهانه تهیه شده از واحد مطالعات اقلیمی دانشگاه آنجلیا شرقی می‌باشد. تبخیر-تعرق پتانسیل پایگاه SPEI براساس روش پنمن-مانتیت فائو-56 می‌باشد (24). پس از دریافت داده‌ها، بخش‌هایی از داده‌ها که ایران را دربرمی‌گیرد و شامل 614 نقطه از شبکه 0/5 درجه جغرافیایی می‌باشد (شکل 1)، از کل داده‌ها جدا شد.



شکل 1. شبکه جهانی پایگاه داده‌های SPEI در منطقه مطالعاتی

D اختلاف بین مقادیر بارندگی و تبخیر-تعرق پتانسیل، h دوره‌ی زمانی مورد بررسی و n ماه مورد محاسبه،  $P_i$  و  $PET_i$  به ترتیب بارش و تبخیر و تعرق پتانسیل در دوره i می‌باشند. تابع چگالی احتمال لوگ لوجستیک سه پارامتره (رابطه 3) به مقادیر  $D^h$  برازش داده می‌شود که قادر به در نظر گرفتن مقادیر منفی می‌باشد:

$$f(x) = \frac{b}{a} \left( \frac{x-y}{a} \right)^{b-1} \left[ 1 + \left( \frac{x-y}{a} \right)^b \right]^{-2} \quad (3)$$

در آن که  $\alpha$ ،  $\beta$  و  $\gamma$  به ترتیب پارامترهای مقیاس شکل و تمایل مرکزی برای مقادیر D می‌باشند ( $\gamma < Dh < \infty$ ) می‌باشند (5). پارامترهای توزیع لوگ لوجستیک می‌تواند از راه‌های مختلفی بدست آید که در این پژوهش از روش گشتاورهای L استفاده شد (4). وقتی گشتاورهای L

شاخص بارش - تبخیر و تعرق استاندارد شده SPEI

شاخص خشکسالی SPEI توسط Vicente-Serrano (2011)، ارائه شد و بر اساس آن خشکسالی با استفاده از تبخیر و تعرق پتانسیل ( $PET^6$ ) و بارندگی پایش می‌شود (30). پس از محاسبه مقادیر تبخیر و تعرق ماهانه، اختلاف آن از بارش ماهانه به دست آمد و سپس این مقادیر در دوره مورد نظر با هم جمع شدند (رابطه‌های 1 و 2).

$$D = P_i - PET_i \quad (1)$$

$$D_n^h = \sum_{i=0}^{h-1} P_{n-i} - PET_{n-i} \quad (2)$$

<sup>6</sup> PET: Potential Evapotranspiration

که در اینجا  $W_k$  گشتاور وزنی احتمال  $K$  ام بوده و طبق رابطه 8 محاسبه شد.  $i$  رتبه داده در سری داده‌های مرتب شده به صورت صعودی و  $n$  تعداد کل داده‌ها می باشد.

$$W_k = \frac{1}{n} \sum x_i \left(1 - \frac{i - 0.35}{n}\right)^k, k = 0, 1, 2, \dots \quad (8)$$

سپس مقادیر  $F(x)$  با استفاده از روش تقریبی کلاسیک آمبراموتز- استگان (2) به مقادیر نرمال استاندارد  $Z$  تبدیل و شاخص SPEI محاسبه شد. طبقات شاخص خشکسالی SPEI بر اساس جدول 1 می باشد.

محاسبه شد پارامترهای توزیع پیرسون 3 طبق فرمول‌های 4 تا 7 تخمین زده شد:

$$b = \frac{2w_1 - w_0}{6w_1 - w_0 - 6w_2} \quad (4)$$

$$a = \frac{(w_0 - 2w_1)b}{\Gamma\left(1 + \frac{1}{b}\right) \cdot \Gamma\left(1 - \frac{1}{b}\right)} \quad (5)$$

$$g = w_0 - a\Gamma\left(1 + \frac{1}{b}\right)\Gamma\left(1 - \frac{1}{b}\right) \quad (6)$$

$$F(x) = \left[1 + \frac{a}{x - y}\right]^{-b} \quad (7)$$

جدول 1. طبقات شاخص خشکسالی SPEI (Vicente-Serrano, 2011)

حالت	محدوده	وضعیت خشکسالی
1	$SPEI \geq 1/5$	ترسالی شدید
2	$1/5 \leq SPEI \leq 1$	ترسالی ملایم
3	$-1 \leq SPEI \leq 1$	نرمال
4	$-1/5 \leq SPEI \leq -1$	خشکسالی متوسط
5	$SPEI \leq -1/5$	خشکسالی شدید

$$sgn(x) = \begin{cases} +1 & \text{if } (x_j - x_k) > 0 \\ 0 & \text{if } (x_j - x_k) = 0 \\ -1 & \text{if } (x_j - x_k) < 0 \end{cases} \quad (10)$$

در واقع در این آزمون هر داده با تمامی داده‌های پس از خود مقایسه می‌شود. در این مرحله می‌توان بجای استفاده از مقادیر اصلی داده‌ها، از مرتبه داده‌ها در مجموعه مورد نظر (سری زمانی) استفاده کرده و مرتبه‌ها را به همین روش مقایسه نمود. به این دلیل، این آزمون یک آزمون برپایه مرتبه داده‌ها می‌باشد. با فرض اینکه داده‌ها مستقل باشد و توزیع یکنواخت

#### آزمون تشخیص روند من-کندال

آزمون ناپارامتری من-کندال (14، 18) بر پایه مرتبه داده‌ها در یک سری زمانی استوار است. این آزمون برای بررسی تصادفی بودن داده‌ها (عدم وجود روند) در مقابل وجود روند در سری‌های زمانی هیدرولوژیکی و هواشناسی مورد استفاده قرار گرفت (32). فرض مورد بررسی در این آزمون به صورت زیر می‌باشد:

$H_0$ : داده‌ها به صورت تصادفی توزیع شده‌اند (روند ندارند).  $H_1$ : داده‌ها دارای روند هستند. در این آزمون، اگر  $x_1, x_2, \dots, x_n$  مشاهدات مورد نظر باشند، آنگاه داریم:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n sgn(x_j - x_k) \quad (9)$$

$$\frac{1-1.645\sqrt{n-k-1}}{n-k} \leq r_k \leq \frac{1+1.645\sqrt{n-k-1}}{n-k}$$

باشد آنگاه داده‌ها در سطح 10 درصد مستقل فرض می‌شود و روند از همان روش من-کندال تشخیص داده می‌شود اما اگر ضریب خود همبستگی مرتبه  $k$ م غیر مستقل و معنی دار فرض شود ابتدا واریانس اصلاح شده  $(V(S))^*$  از رابطه 14 محاسبه می‌شود:

$$Var(s)^* = Var(s) \frac{n}{n^*} \quad (14)$$

$$\frac{n}{n^*} = 1 + \frac{2}{n(n-1)(n-2)} \sum_{i=1}^{n-1} (n-i)(n-i-1)(n-i-2)r_i \quad (15)$$

که در آن  $r_i$  ضرایب همبستگی با تأخیر  $i$  می‌باشد که از رابطه 13 محاسبه شد.

تخمین شیب خط روند با روش تخمین گر سن تخمین شیب خط روند توسط Sen (1968) برای تشخیص روند در یک سری زمانی داده‌ها ارائه شد. این روش، یک روش ناپارامتری است که با استفاده از تحلیل تفاوت بین مشاهدات یک سری زمانی، یک شیب میانه را برای سری زمانی داده‌ها از رابطه 16 محاسبه می‌کند. با روش سن برای هر دو جفت داده متوالی یک شیب محاسبه شد. شیب‌های محاسبه شده تشکیل یک سری زمانی می‌دهند که میانه آنها شیب خط روند را نشان می‌دهد.

$$b = \text{Median}\left(\frac{x_j - x_l}{j - l}\right) \quad \forall j \neq l \quad (16)$$

که در آن  $\beta$  برآوردگر شیب خط روند و  $X$  مقدار مشاهده زام و  $X_L$  مقدار مشاهده  $L$ م می‌باشد.  $Z$  یک واحد زمانی بعد از  $L$  می‌باشد. مقادیر مثبت  $\beta$  نشان دهنده روند افزایشی و مقادیر منفی  $\beta$  نشان دهنده روند کاهشی در سری داده‌هاست (26).

داشته باشند، میانگین و واریانس  $S$  از روابط زیر به دست می‌آید:

$$E(S) = 0 \quad (11)$$

$$Var(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^m t_i(t_i-1)(2t_i+5)}{18}$$

در رابطه بالا:  $n$ : تعداد داده‌ها،  $m$ : تعداد گره‌ها و  $t$ : تعداد داده در هر گره می‌باشد.

منظور از گره این است که اگر از یک مقدار داده، بیشتر از یکی وجود داشته باشد، این مقادیر مساوی، تشکیل یک گره را می‌دهند و تعداد این مقادیر مساوی در گره  $m$  ام برابر  $t$  می‌باشد. آماره این آزمون  $(Z)$  دارای توزیع نرمال بوده و از رابطه زیر بدست آمد:

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{Var(S)}} & \text{if } S > 0 \\ 0 & \text{if } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{Var(S)}} & \text{if } S < 0 \end{cases} \quad (12)$$

این آزمون، یک آزمون دو طرفه است. بنابراین در صورتی که  $|Z| \leq Z_{\alpha/2}$  باشد، در سطح اطمینان  $\alpha$  فرض صفر پذیرفته می‌شود و در غیر این صورت، فرض صفر رد خواهد شد. در حالت رد فرض صفر (وجود روند)، در صورتی که  $S > 0$  باشد، سری زمانی دارای روند مثبت (صعودی) و در صورتی که  $S < 0$  باشد، سری زمانی دارای روند منفی (نزولی) خواهد بود.

به منظور حذف اثرات ضرایب خود همبستگی معنی دار از سری زمانی، آزمون من-کندال اصلاح شده توسط Hamed و Rao (1998) ارائه شده است (11). برای این کار ابتدا آزمون ضریب خود همبستگی مرتبه  $k$ م  $(r_k)$  بر اساس رابطه زیر انجام شد:

$$r_k = \frac{\frac{1}{n-k} \sum_{i=1}^{n-k} (x_i - \bar{x})(x_{i+k} - \bar{x})}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (13)$$

که در آن  $k=1,2,\dots,n/4$  می‌باشد. اگر

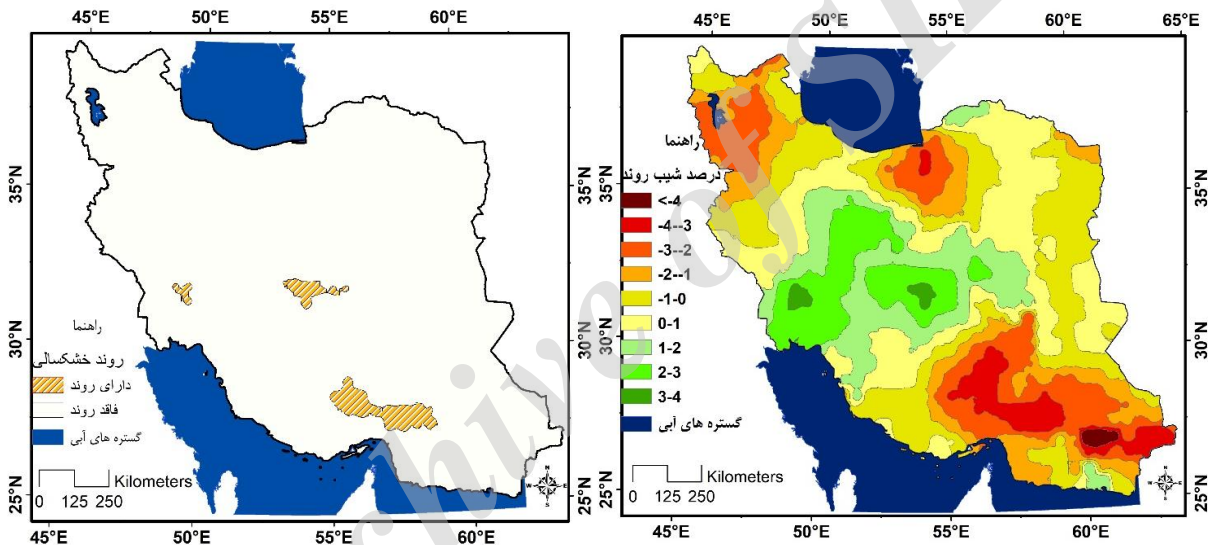
آن‌ها نیز در محیط GIS پهنه‌بندی شدند و نتایج زیر حاصل شد.

### n نتایج

#### روند خشکسالی در فصل بهار

در فصل بهار روند معنی دار کاهشی در شاخص خشکسالی SPEI به‌جز منطقه کوچکی در مرکز و جنوب کشور مشاهده نمی‌شود. شیب خط روند نیز در بخش‌های مرکزی و جنوب غرب کشور مثبت و نشان دهنده افزایش مقدار شاخص خشکسالی یعنی روند رو به تری در این مناطق است (شکل 2 و جدول 2).

برای بررسی روند تغییرات دمای هوا در پهنه جغرافیایی ایران که از روش من-کندال اصلاح شده استفاده شد برای نشان دادن معنی‌داری روند از معیار P-Value استفاده شد. سپس مقادیر P-Value برای فصل‌های مختلف و کل سال در محیط GIS ترسیم و منطقه مطالعاتی به مناطق با P-Value کمتر از 0/05 یا مناطق دارای روند؛ و مناطق با P-Value بیشتر از 0/05 یا مناطق دارای روند طبقه‌بندی شدند. هم‌چنین پس از محاسبه شیب خط روند در فصل‌های مختلف سال با استفاده از آزمون شیب خط روند سن، مقادیر



شکل 2. وضعیت روند (شکل سمت چپ) و شیب خط روند (شکل سمت راست) خشکسالی در فصل بهار

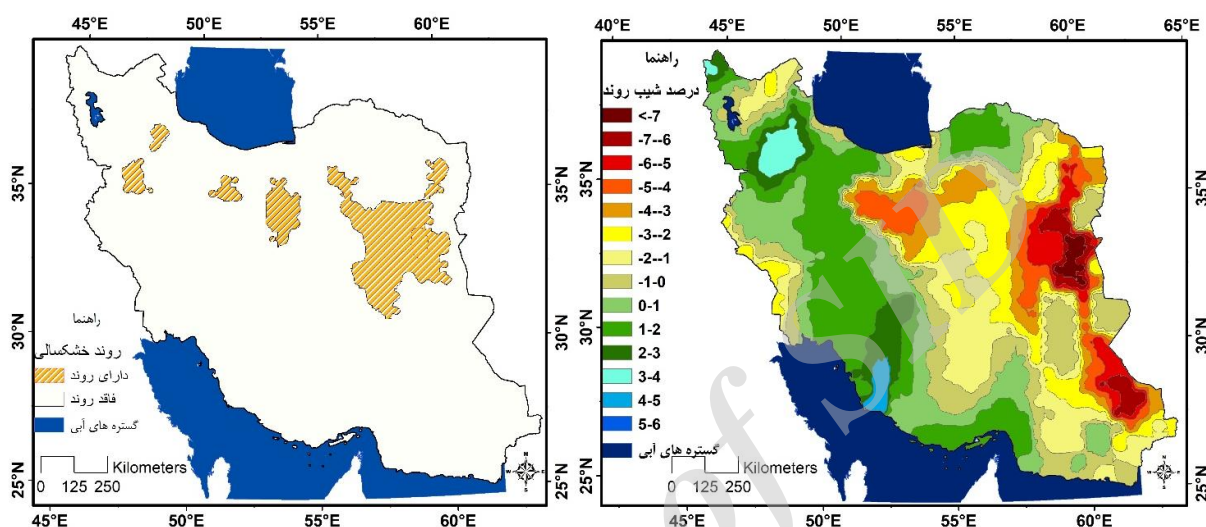
جدول 2. درصد مساحت مناطق با شیب‌های مختلف خط روند خشکسالی در فصل بهار

شیب (درصد)	مساحت (کیلومتر مربع)	درصد مساحت	مجموع درصد مساحت
-4	6962	0/4	
-3	77655/3	4/8	30/6
-2	206390/5	12/7	
-1	204824/1	12/6	
0	379575/3	23/4	23/4
1	363794/04	22/5	
2	211206/9	13	46
3	157755/1	9/7	
4	12132/4	0/7	

### روند خشکسالی در فصل تابستان

در فصل تابستان در نیمه شرقی کشور روند رو به خشکی دیده می‌شود به طوری که شیب خط روند آن در استان‌های خراسان جنوبی و بخش‌هایی از سیستان و بلوچستان تا منفی 7 درصد هم می‌رسد (شکل 3 و جدول

3). اما در نواری شمالی- جنوبی از سمت آذربایجان تا بوشهر، شیب خط سن مثبت و شیب آن نیز تا 7 درصد هم می‌رسد. بر این اساس، در تابستان نیمه شرقی کشور شرایط بدتری را نسبت به نیمه غربی دارا می‌باشد.



شکل 3. وضعیت روند (شکل سمت چپ) و شیب خط روند (شکل سمت راست) خشکسالی در فصل تابستان

جدول 3. درصد مساحت مناطق با شیب‌های مختلف خط روند خشکسالی در فصل تابستان

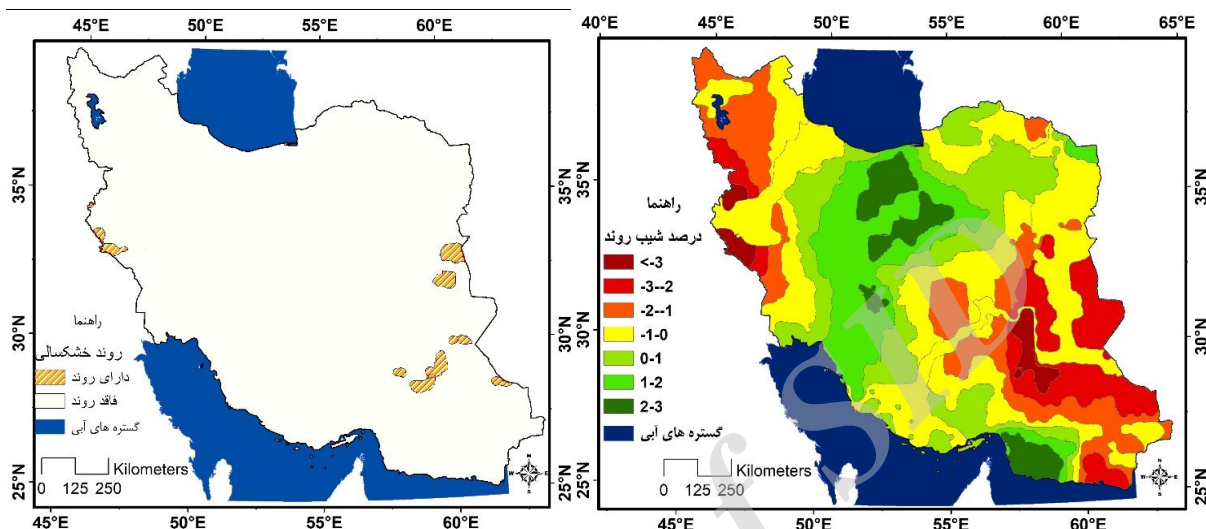
شیب (درصد)	مساحت (کیلومتر مربع)	درصد مساحت	مجموع درصد مساحت
-7	11330	0/7	
-6	32130/1	2	
-5	53094/4	3/3	
-4	83193/4	5/1	44/6
-3	113855/9	7	
-2	190129/2	11/7	
-1	238793	14/7	
0	234515/1	14/5	
1	244974/9	15/1	
2	314381/1	19/4	40/9
3	65963/8	4/1	
4	38049/08	2/3	



روند خشکسالی در فصل پاییز

در فصل پاییز نیز آزمون من-کندال تقریباً روند معنی دار افزایشی یا کاهششی را در کشور نشان نمی‌دهد. اما آزمون شیب خط روند برای مناطق جنوب شرقی و غرب

کشور با شیب ملایمی، روند رو به خشکی را نشان می‌دهد و لی در دیگر مناطق کشور شرایط بهتری حاکم است و شیب خط روند در این مناطق تا 3 درصد نیز می‌رسد (شکل 4 و جدول 4).



شکل 4. وضعیت روند (شکل سمت چپ) و شیب خط روند (شکل سمت راست) خشکسالی در فصل پاییز

جدول 4. درصد مساحت مناطق با شیب‌های مختلف خط روند خشکسالی در فصل پاییز

شیب (درصد)	مساحت (کیلومتر مربع)	درصد مساحت	مجموع درصد مساحت
-3	55907/6	3/5	
-2	243485/8	15	34/6
-1	260583/3	16/1	
0	346548/4	21/4	21/4
1	387557/8	23/9	
2	236103/8	14/6	44
3	90011/8	5/6	

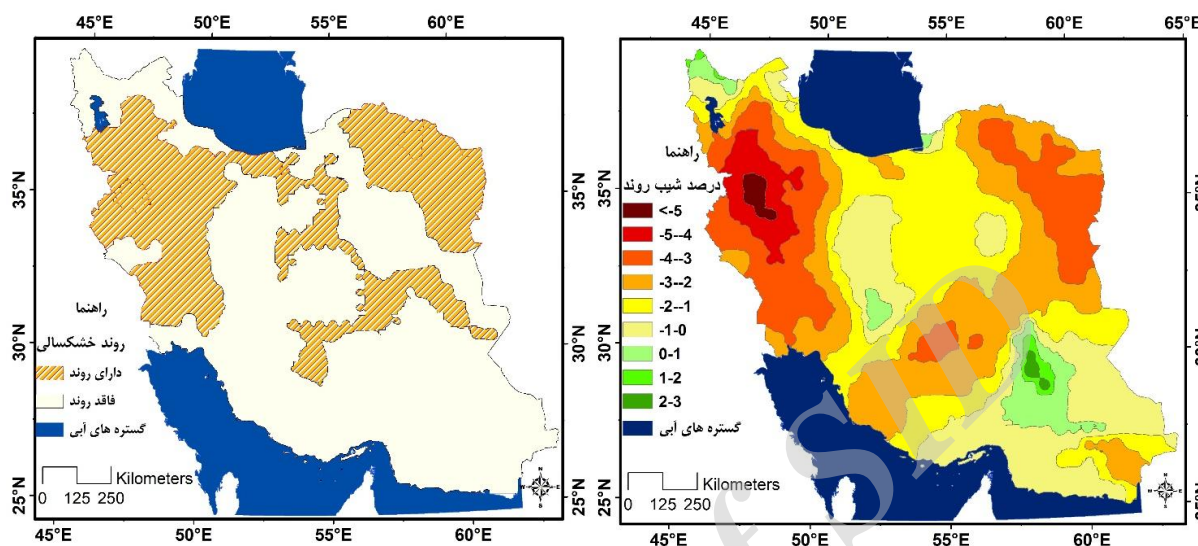
روند خشکسالی در فصل زمستان

نتایج آزمون روند در فصل زمستان (شکل 5 و جدول 5) برای غرب و شمال شرق کشور روند

معنی‌داری را نشان می‌دهد. شیب خط روند (شکل و جدول 5) در بیشتر مناطق منفی است که نشان دهنده روند کاهششی، یعنی روند روبه خشکی می‌باشد.

افزایشی معنی داری در وضعیت شاخص خشکسالی مشاهده نمی‌شود.

این شیب در مناطق غربی بیشتر از دیگر مناطق است بطوری که به بیش از 6 درصد نیز می‌رسد. در مجموع در فصل زمستان، در هیچ یک از نقاط کشور روند



شکل 5. وضعیت روند (شکل سمت چپ) و شیب خط روند (شکل سمت راست) خشکسالی در فصل زمستان

جدول 5. درصد مساحت مناطق با شیب‌های مختلف خط روند خشکسالی در فصل زمستان

شیب (درصد)	مساحت (کیلومتر مربع)	درصد مساحت	مجموع درصد مساحت
-6	11910	0/7	
-5	67004/8	4/1	
-4	280304/02	17/3	
-3	418384/3	25/8	94/3
-2	418578/6	25/8	
-1	331539/7	20/5	
0	74785/3	4/6	4/6
1	12567/4	0/8	
2	5207	0/3	1/1

سال‌های 1364 تا 1393 (1985-2014) بدست آمد عبارتند از :

در فصل بهار سه هسته رو به خشکی در استان‌های سمنان، آذربایجان و استان‌های سیتان و بلوچستان و

## n بحث و نتیجه‌گیری

مهمترین نتایجی که در تحلیل روند مکانی تغییرات شاخص خشکسالی SPEI در فصل‌های مختلف سال و در پهنه جغرافیایی ایران طی یک دوره 30 ساله آماری بین

هستند. به طوری که در فصل بهار حدود 85 درصد و در فصل پاییز 91 درصد کشور شیب خط روند کمتر و مساوی 2 درصد را دارند. در فصل زمستان از لحاظ روند رو به خشکی مناطق غربی کشور وضعیت بدتری را نسبت به دیگر نقاط کشور دارا می‌باشند. پس از آن استان‌های خراسان شمالی و رضوی نیز روند رو به خشک معنی‌داری را نشان می‌دهند. در استان‌های همجوار با سواحل شمالی و جنوبی کشور، بجز بخش‌هایی از استان مازندران خوشبختانه در هیچ یک از فصل‌های سال روند معنی‌دار کاهشی یا افزایشی در شدت خشکسالی دیده نمی‌شود. در فصل بهار، نیمه جنوب غربی کشور شامل بخش‌هایی از استان‌های سیستان و بلوچستان، کرمان و یزد برخلاف استان‌های واقع در مرکز و جنوب غربی کشور وضعیت بدتری را از لحاظ روند رو به خشکی نشان می‌دهند. در فصل تابستان نیز نیمه شرقی کشور وضعیت وخیم‌تری را نسبت به نیمه غربی کشور از لحاظ وضعیت خشکسالی دارد. در مجموع بررسی روند خشکسالی‌ها در کشور، شاخص دو متغیره SPEI، بیشتر وضعیت کاهش منابع آبی را نشان می‌دهد. مصرف بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی و استخراج بیش از توان جایگزینی آن، کاهش سطح سفره‌ها را نیز به همراه خواهد داشت که لازم است تا در این زمینه تدابیر بیشتری اندیشیده شود.

کرمان مشاهده می‌شود که بیشتر قسمت‌های آنها شیب ملایم کمتر از 3 درصد را دارند. بدترین وضعیت برای شهرهای جنوب استان سیستان و بلوچستان مشاهده می‌شود که خط روند آن از شیب 5 درصد نیز تجاوز می‌کند. بهرحال با توجه به اینکه در این فصل، بیشتر محصولات زراعی و باغی در مرحله گلدهی می‌باشند و در شرایط حساسی قرار دارند هر گونه روند رو به خشکی می‌تواند زنگ خطری را در کاهش عملکرد محصول و همچنین تقاضا برای افزایش بی‌رویه از منابع آبی (سطحی و زیرزمینی) را به دنبال داشته باشد. در فصل زمستان بیش از 94 درصد کشور از شیب کاهشی خط روند برخوردار هستند. با توجه به اینکه بیشتر حجم بارش کشور در فصل زمستان می‌باشد. وجود روند کاهشی در این فصل می‌تواند قابل توجه باشد و منابع آبی را در دیگر فصل‌ها نیز تحت تأثیر قرار دهد. وضعیت روند رو به خشکی در این فصل می‌تواند ناشی از افزایش دمایی باشد که در ایران گزارش شده است (9). همچنین وجود شیب‌های کاهشی و افزایشی در سری‌های زمانی شدت خشکسالی در فصل‌های مختلف سال، نشان دهنده دگرگونی اقلیمی و جابجایی فصلی در بیشتر مناطق کشور می‌باشد. در فصل‌های پاییز و بهار، درصد کمی از مناطق کشور از روند معنی‌دار کاهشی یا افزایشی برخوردار

## References

1. Abassi, F., Malbusi, S., Babaeian, I., Asmari, M., & Borhani, R. (2010). Climate Change Prediction of South Khorasan Province During 2010-2039 by using statistical downscaling of ECHO-G data, *Journal of water and soil*, 24(2), 218-233, (In Farsi).
2. Abramowitz, M., & Stegun, I. A. (1965). Handbook of mathematical functions: with formulas, graphs, and mathematical tables, Courier Corporation.
3. Ahmad, M., Sinclair, C., & Werritty, A. (1988). Log-logistic flood frequency analysis, *Journal of Hydrology*, 98(3-4), 205-224.
4. Ahmadi, M., Nosrati, K., & Solki, H. (2013). Drought and relationship with soil moisture, *Journal of Geography*, 11(38), 77-9, (In Farsi).
5. Banimahd, S.A., & Khalili, D. (2012). Analysis and comparison of the behavior of meteorological drought indicators SPI and SPEI using parametric and nonparametric correlation tests at selected stations in Iran, *The First National Conference on Sustainable Development Strategies*.
6. Beguerre, S., & Vicente-Serrano, S.M. (2017). Title of webpage: SPEIbase v.2.5. Retrieved January 01, 2017, from <http://digital.csic.es/handle/10261/153475>.

7. Binquan, L., Wei, Z., Yaoyang, Z., Qin, J., Zhongbo, Y., Zhongmin, L., & Kumud. A. (2015). Using the SPEI to Assess Recent Climate Change in the Yarlung Zangbo River Basin, South Tiet, *Journal of Water*, 7(10), 5474-5486.
8. Damberg, L., & Aghakouchak. A. (2014). Global trends and Patterns of drought from space, *Theoretical and Applied Climatology*, 117, 441-448.
9. Ghorbani, K.h. (2015). Spatial and seasonal pattern in climate change, temperatures across Iran, *Journal of Water and Soil Conservation*, 21(5), 257-270, (In Farsi).
10. Gruza, G., Rankova, E., Razuvaev, V., & Bulygina. O. (1999). Indicators of climate change for the Russian Federation, *Climatic Change*, 42, 219-242.
11. Hamed, K.H., & Rao. A.R. (1998). A modified Mann-Kendall trend test for autocorrelated data, *Journal of Hydrology*, 204, 182-196.
12. Hess, T.M., Stephens, W., & Maryah. U.M. (1995). Rainfall trends in the north east arid zone of Nigeria 1961-1990, *Agriculture and Forest Meteorology*, 74, 87-97.
13. IPCC. (2007). Climate Change: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. *Cambridge University Press*, Cambridge 1-18.
14. Kendall, M.G. (1975). Rank Correlation Methods. *Oxford: Oxford University Press*.
15. Khorshiddoust, M.A., & Ghavidel rahimi. Y. (2006). The Simulation of Atmospheric Carbon Dioxide Doubling Impacts on Climatic Changes in Tabriz Using Geophysical Fluid Dynamics Laboratory(GFDL) General Circulation Model, *Journal of Environmental Studies*, 32(39), 1-10, (In Farsi).
16. Kousari, M.R., Dastorani, M.T., Niazi, Y., Soheyli, E., Hayatzadeh, M., & Chezgi. J. (2014). Trend Detection of Drought in Arid and Semi-Arid Regions of Iran Based on Implementation of Reconnaissance Drought Index (RDI) and Application of Non-Parametrical Statistical Method, *Water Resources Management*, 28, 1857-1872, (In Farsi).
17. Kousari, M.R., Ekhtesasi, M.R., & Maleikenzhad. H. (2017). Investigation of meteorological and agricultural drought trends in hyper-arid, arid and semi-arid regions of the world, *Journal of Desert Ecosystem Engineering*, 6(14), 91-105, (In Farsi).
18. Mann, H.B. (1945). Nonparametric Tests against Trend. *Econometrica*, 13(3), 245-259.
19. Mason, S.J., Waylen, P.R., Mimmack, G.M., Rajaratnam, B., & Harrison. J.M. (1999). Changes in extreme rainfall events in South Africa, *Climatic Change*, 41, 249-257.
20. Masoodian, S. A. (2008). On Precipitation Mapping in Iran, *Journal of Humanities the University of Isfahan*, 30(2), 69-80.
21. Massah Bavani, A.R., & Morid. S. (2006). Impact of Climate Change on the Water Resources of Zayandeh Rud Basin, JWSS - Isfahan University of Technology, *Journal of Water and Soil Science*, 9 (4), 17-28, (In Farsi).
22. Modarres, R., Sarhadi, A., & Burn. D.H. (2016). Changes of extrem drought and flood events in Iran, *Global and Planetary Change*, 144, 67-81, (In Farsi).
23. Plummer, N., Salinger, M.J., Nicholls, N., Suppiah, R., Hennessy, K.J., Leighton, R.M., Trewin, B., Page, C.M., & Lough. J.M. (1999). Changes in climate extremes over the Australian region and New Zealand during the twentieth century, *Climatic Change*, 42, 183-202.

24. Rezaei Ghaleh, L. (2016). *Evaluation of Drought Using Multi Scalar Standardized Precipitation-Evapotranspiration Index in Golestan Province*. Msc Thesis, Gorgan University of Agricultural Sciences and Naturel Resources, Gorgan, (in Farsi).
25. Sabohi, R., & Soltani. S. (2009). Trend Analysis of Climatic Factors in Great Cities of Iran, *Journal of Water and Soil Science – Isfahan University of Technology*, 12(46), 303-321, (In Farsi).
26. Sen, P.K. (1968). Estimates of the regression coefficients based on Kendall's tau, *Journal of the American Statistical Association*, 63, 1379–1389.
27. Suppiah, R., & Hennessy. K. (1998). Trends in total rainfall, heavy rain events and number of dry days in Australia, 1910–1990, *Journal Climatology*, 10, 1141–1164.
28. Turke, S.M. (1996). Spatial and temporal analysis of annual rainfall variations in Turkey, *Journal Climatology*, 16(9), 1057–1076.
29. Varshavian, V., Khalili, A., Ghahreman, N., & Hajjam. S. (2011). Trend analysis of minimum, maximum, and mean daily temperature extremes in several climatic regions of Iran, *Journal of the Earth & Space Physics*, 37(1), 169-179, (In Farsi).
30. Vicente-Serrano, S.M., Beguerua, S., & Lypez-Moreno. J.I. (2011). Comment on “Characteristics and trends in various forms of the Palmer Drought Severity Index (PDSI) during 1900–2008” by Aiguo Dai, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 116(D19), 1-9.
31. Viglizzo, E.F., Oberto, Z.E., Filippin, M.C., & Pordomingo. A.J. (1995). Climate variability and agroecological change in the central Pampas of Argentina, *Agriculture. Ecosystem and Environment*, 55(1), 7–16.
32. Zhang, X., Vincent, L.A., Hogg, W.D., and Niitsoo. A. (2000). Temperature and rainfall trends in Canada during the 20th century, *Atmospheric Ocean*, 38, 395-429.
33. Zhai, P., Sun, A., Ren, F., Liu, X., Gao, B., & Zhang. Q. (1999). Changes of climate extremes in China, *Climatic Change*, 42, 203–218.

## **Investigation of spatiotemporal trend of the bivariate meteorological drought index, SPEI, in Iran**

Kh. Ghorbani<sup>1\*</sup>, E. Valizadeh<sup>2</sup>, S. Bararkhanpoor<sup>3</sup>

1. Associate Professor, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran.
  2. MSc. Graduate, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran.
  3. MSc. Graduate, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran.
- \* Corresponding Author: ghorbani.khalil@yahoo.com

Received date: 08/01/2018

Accepted date: 29/04/2018

### **Abstract**

Declining condition of water resources cannot be shown by single-variable drought indices because of changes in precipitation and temperature due to climate change. Accordingly, multivariate drought indices are considered such as the Standardized Precipitation-Evapotranspiration Index (SPEI). In order to study the trend of changes in the severity of meteorological drought in the geographical zone of Iran, the SPEI global network data was used over a 30-year statistical period, and trend detection test and Sen's slope estimator were performed on their seasonal series. Then, their results were mapped in the GIS and the results showed that the highest drought trend is in the winter between seasons, and more than 94 percent of the country's area shows a declining slope in the drought index time series. The trend of this slope in the west and north-east of the country is statistically significant. Also, the eastern half of the country shows a drought trend in the summer, but a better situation prevailing in Iran in spring and autumn, and a small percentage of the country's area indicates a significant drought trend. So that in the spring and autumn, the slope of the trend line in 85 and 91 percent of the country is less than and equal to 2 percent, respectively. Generally speaking, the result of the Standardized Precipitation-Evapotranspiration Index showed that climatic changes are occurred in Iran and the country is going towards more dry periods in future years.

**Keywords:** Climate change; Multivariate drought index; Standardizes Precipitation-Evapotranspiration Index; Spatio-temporal; Trend