



دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر فصلنامه علمی فضای جغرافیایی

دوره بیست و پنجم، شماره ۹۱  
پاییز ۱۴۰۴، صفحات ۹۴-۷۱

لیلا حق پرست مزدهی<sup>۱</sup>

بهمن رمضانی گورابی<sup>۲</sup>\*

آتوسا بیگدلی<sup>۳</sup>

یوسف زین العابدین<sup>۴</sup>

## الگوی فضایی تغییر روند شاخص‌های خشکسالی در استان گیلان

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۸/۲۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۴/۳۰

### چکیده

یکی از پیامدهای تغییر دما و بارش، خشکسالی است که تداوم در تکرار آنها با اثرات مخرب زیست محیطی همراه است. در این پژوهش مهم‌ترین پیامد تغییر دما و بارش یعنی خشکسالی مورد بررسی قرار می‌گیرد. ابتدا داده‌های مورد نیاز از مرکز اروپایی پیش‌بینی میان‌مدت جو (ECMWF) با تفکیک مکانی  $0.25^\circ \times 0.25^\circ$  بمدت ۴۴ سال (۱۹۸۰ تا ۲۰۲۳) دریافت گردید. سپس وجود روند در شاخص‌های RDI و SPI با استفاده از آزمون من کندال تعیین و از آماره I موران محلی (ALMI) برای شناسایی نوع الگوی مکانی آنها استفاده شد. نتایج نشان داد که شاخص RDI در ماه‌های مارس، می، ژوئن و اوت دارای روند منفی کاهشی بوده است. علاوه بر وجود روند منفی در میانگین شاخص RDI ماه‌های مارس، می، ژوئن و اوت، روند منفی در شاخص RDI تک‌تک یاخته‌های این ماه‌ها تایید گردید. در این راستا، تحلیل فضایی آزمون روند شاخص خشکسالی RDI و SPI نشان داد که الگوی خوشه بالا-بالا (HH) و پایین-پایین (LL) در ماه‌های مارس، می، ژوئن و اوت در بخش‌های مختلف استان اعم از جلگه تا کوهستان و از شرق تا غرب بصورت هسته‌های جدا از هم شکل گرفته است. در نتیجه رفتار غیرتصادفی بر الگوی توزیع مکانی شاخص RDI و SPI حاکم است.

واژگانه کلیدی: روند، I موران محلی، SPI، RDI، استان گیلان

<sup>۱</sup> گروه جغرافیا، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران.

<sup>۲</sup> گروه جغرافیا، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران. (نویسنده مسئول) Email: [Bahman.ramzani@iau.ac.ir](mailto:Bahman.ramzani@iau.ac.ir)

<sup>۳</sup> گروه جغرافیا، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران.

<sup>۴</sup> گروه جغرافیا، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران.

از انقلاب صنعتی، دمای سالانه کره زمین بیش از ۱ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است. دما بین سال‌های ۱۸۸۰ تا ۱۹۸۰، یعنی از زمانی که داده‌ها اندازه‌گیری شدند هر ۱۰ سال به طور متوسط ۰/۰۷ درجه سانتی‌گراد (۰/۱۳ درجه فارنهایت) افزایش داشته است. با این حال، از سال ۱۹۸۱، میزان افزایش بیش از دو برابر شده است. بعبارتی در ۴۰ سال گذشته، شاهد افزایش سالانه دمای جهانی ۰/۱۸ درجه سانتی‌گراد در هر دهه بوده‌ایم. نتیجه اینکه سیاره هرگز گرمتر از این نبوده است. ۹ سال از ۱۰ سال گرم، بین سال‌های ۱۸۸۰ تا ۲۰۰۵ رخ داده است و ۵ سال گرم ثبت شده، همگی از سال ۲۰۱۵ به بعد رخ داده‌اند. اکنون دانشمندان آب‌وهوا به این نتیجه رسیده‌اند که اگر بخواهیم از آینده‌ای که در آن زندگی روزمره در سراسر جهان با بدترین و مخرب‌ترین اثرات تغییر اقلیم مانند خشکسالی‌های شدید، آتش‌سوزی‌های جنگلی، سیل‌ها، طوفان‌های استوایی و سایر بلاهای طبیعی روبرو خواهد شد جلوگیری کنیم، باید گرمایش جهانی تا سال ۲۰۴۰ به ۱/۵ درجه سانتی‌گراد محدود گردد (IPCC, 2023; Surampalli et al., 2013; Chigwin, 2012).

در بیست‌ویکمین کنفرانس اعضای کنوانسیون چارچوب سازمان ملل متحد در مورد تغییرات آب‌وهوا (UNFCCC) در اواخر سال ۲۰۱۵ تصمیم گرفته شد تا افزایش میانگین دمای سطح جهانی را به کمتر از ۲ درجه سانتی‌گراد بالاتر از سطوح پیش از صنعتی شدن محدود کنند. با این حال باید گفت که اگر مسیر فعلی انتشار گازهای گلخانه‌ای ادامه یابد، دستیابی به یک هدف دمایی ۲ درجه سانتی‌گراد دشوار خواهد بود، و این نیازمند تغییرات اساسی در تمام حوزه‌های جامعه مدرن است (Schellnhuber et al., 2016; Sanford et al., 2014). مطالعات اخیر نشان داده است که دامنه احتمالی افزایش دمای جهانی ۲ تا ۴/۹ درجه سانتی‌گراد خواهد بود و بنابراین، سطوح گرمایش ۱/۵، ۲، ۳ و ۴ درجه سانتی‌گراد نقاط عطف مهمی نه تنها برای کاهش، بلکه برای درک اثرات مورد انتظار تغییر آب‌وهوا هستند (Raftery, 2017).

مطالعات انجام شده حاکی از تغییرات متغیرهای اقلیمی از جمله دما و بارش در گستره ایران و جهان است. اما مهم‌ترین پیامد تغییر دما و بارش، خشکسالی است، بطوریکه تشدید خشکسالی و افزایش تداوم آن باعث صدمات عمیق بر محیط‌زیست جانوری، گیاهی، منابع آب و غیره... می‌شود. بعنوان مثال تغییرات دما و بارندگی در سواحل جنوبی دریای خزر و مقایسه آن با تغییرات در مقیاس جهانی و نیمکره شمالی بیانگر آن است که با کاهش دما، کاهش بارندگی و با افزایش دما، افزایش بارندگی اتفاق می‌افتد (Piernia et al., 2015). ارزیابی نمایه‌های فرین گرم روزهای تابستان، روزهای گرم، شب‌های گرم و شب‌های حاره‌ای در ایران رو به افزایش است، در حالیکه روند نمایه فرین سرد از جمله روزهای یخبندان، روزهای یخی شب‌های سرد و روزهای سرد منفی بوده و رو به کاهش است. امواج گرمایی طولانی‌تر و برعکس امواج سرد کوتاه‌تر و در کل بسامد رخداد بارش‌های فرین رو به افزایش است (دارند، ۱۳۹۴). علاوه بر این، مطالعات انجام شده توسط سلیمانی ساردو و مصباح‌زاده، (۱۳۹۹)، زرین و داداشی رودباری (۱۴۰۰)، میرشکاران و همکاران (۱۴۰۰)، زرین و داداشی رودباری (۱۴۰۲)، درخشی و همکاران (۱۴۰۳) و دولابیان و همکاران (۲۰۲۱) وجود تغییرات معنی‌دار در دما و بارش و بی‌نظمی در رخداد مکانی و زمانی

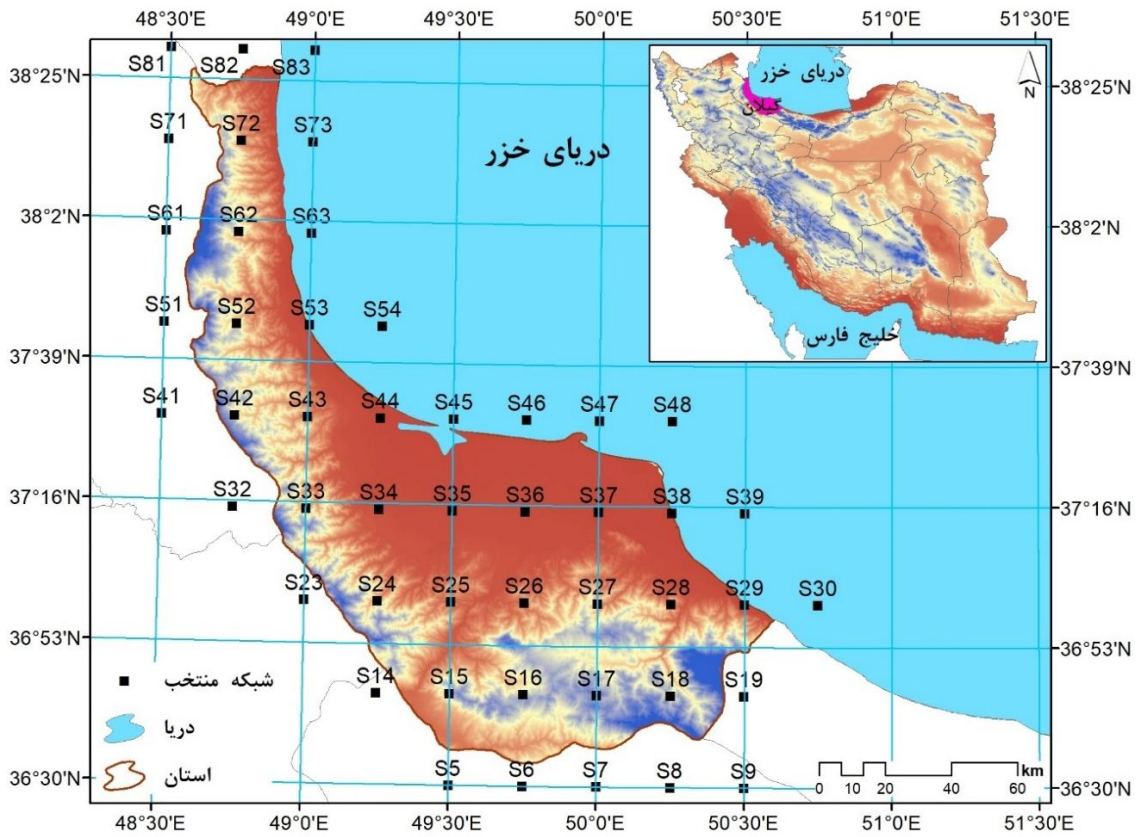
این دو متغیر را در آینده اقلیمی ایران تایید کردند. علاوه بر این مطالعات انجام شده توسط زاهد و رسول<sup>۱</sup> (۲۰۱۰) در پاکستان، آلینا و ایرینا<sup>۲</sup> (۲۰۱۳) در جلگه اولتینا، نیکولسون<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۱۸) در قاره آفریقا، گومز<sup>۴</sup> و همکاران (۲۰۲۲) در ناحیه مدیترانه و متبوت<sup>۵</sup> و همکاران (۲۰۲۳) در سوریه، تغییرات شدید دما و بارش را در آینده این مناطق امری محتمل می‌دانند. با توجه به تاثیرپذیری مستقیم خشکسالی از تغییرات بارش و دما، این پدیده جامعه بشری را در آینده بیشتر تهدید می‌کند.

براساس پیش‌بینی‌های انجام شده منطقه غرب آسیا و ایران تغییرات شگرفی را در برخی از پدیده‌های جوی در سال‌های آینده تجربه خواهند کرد، که این پدیده‌ها به اشکال مختلف در مکان و زمان بروز و ظهور پیدا می‌کنند. براساس گزارش‌های اول تا ششم IPCC (FAS تا AR6) روند افزایش دما در ازای افزایش گازهای گلخانه‌ای کاملاً محرز بوده و واکنش مکان‌های مختلف زمین نسبت به افزایش دما و بارش متفاوت خواهد بود (IPCC, 2023). از اینرو با ایجاد سناریوهای آینده‌نگری اقلیم سعی در شبیه‌سازی اقلیم آینده کره زمین تا سال ۲۱۰۰ کرده‌اند. تصویرسازهای آینده نشان می‌دهد که پدیده‌های جوی همچون خشکسالی‌ها در ازای افزایش ۱/۵ درجه‌ای دمای کره زمین، شدیدتر و فراوان‌تر خواهند شد. در نتیجه آسیب‌پذیری جوامع طبیعی و انسانی در اثر تغییرپذیری اقلیم در آینده بیشتر می‌شود. با توجه به اکوسیستم حساس منطقه جنوبی دریای خزر و حساسیت آن به تغییرات شدید اقلیمی در آینده، اهمیت و ضرورت بررسی شرایط خشکسالی را در استان گیلان دو چندان می‌کند. از اینرو در این پژوهش سعی شده است با بررسی وضعیت موجود، پدیده خشکسالی در این ناحیه در طی زمان بررسی شود. علاوه بر این، تحلیل فضایی خشکسالی می‌تواند به مدیران و سیاستگذاران بخش مختلف اجرایی در راستای پیش آگاهی از وضعیت آینده اقلیمی استان گیلان کمک کند.

### مواد و روش‌ها

به منظور تحلیل فضایی روند تغییرات دو شاخص SPI و RDI در استان گیلان، از دما، بارش و تبخیر و تعرق ماهانه بمدت ۴۴ سال (۱۹۸۰ تا ۲۰۲۳) استفاده شده است. تبخیر و تعرق براساس روش تورنت وایت محاسبه شده است. برای دریافت داده‌های مورد نیاز، از سایت مرکز اروپایی میان‌مدت جو<sup>۶</sup> (ECMWF) استفاده شد. آخرین مجموعه از داده‌های بازتحلیل سایت ECMWF نیز تحت عنوان ERA5 است که مجموعه داده‌های جوی را از سال ۱۹۷۹ تاکنون با دقت بالا تولید کرده است. داده‌های این سایت از نوع یاخته‌ای بوده و در این پژوهش محدوده جغرافیایی استان گیلان بین ۳۶° و ۳۳' تا ۳۸° و ۲۷' عرض شمالی و ۴۸° و ۳۲' تا ۵۰° و ۳۶' طول شرقی برای دانلود داده‌ها انتخاب گردید. اندازه هر یاخته نیز ۰.۲۵° × ۰.۲۵° درجه قوسی بوده و ماتریسی به ابعاد ۱۰ × ۹ سطر و ستون تشکیل شد که ۹۰ یاخته را در هر بار اندازه‌گیری پوشش می‌دهد. در شکل (۱) یاخته‌ها در انطباق با محدوده استان گیلان نشان داده شده است. بعبارت دیگر، از ۹۰ یاخته فقط ۴۸ یاخته برای بررسی انتخاب گردید.

1. Zahid & Rasul
2. Alina & Irina
3. Nicholson
4. Gomez
5. Mathbout
6. European Center for Medium-Range Weather



شکل ۱: شبکه‌بندی منطبق بر محدوده استان گیلان ( $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ )

Figure 1: Grid overlay corresponding to the boundaries of Gilan Province ( $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ )

### آزمون روند من کندال

آزمون من کندال یک آزمون ناپارامتریک برای شناسایی روندها در سری زمانی داده‌ها است. در این روش مقادیر داده‌ها به صورت یک سری زمانی مرتب شده ارزیابی می‌شوند. هر مقدار داده با تمام مقادیر داده‌های بعدی مقایسه می‌گردد. مقدار اولیه آمار من-کندال (S) صفر در نظر گرفته شده است. اگر مقدار داده مربوط به دوره زمانی بعدی بالاتر از مقدار داده مربوط به دوره زمانی قبلی باشد، S به میزان ۱ افزایش می‌یابد. از طرف دیگر، اگر مقدار داده مربوط به دوره زمانی بعدی کمتر از مقدار داده قبلی باشد، S به میزان ۱ کاهش می‌یابد. نتیجه تمام افزایش‌ها و کاهش‌ها، مقدار نهایی S را به دست می‌دهد. فرض کنید مجموعه‌ای از  $n$  نقطه داده است که در آن  $x_j$  بیانگر نقطه داده در زمان  $j$  است. آنگاه آماره من کندال بصورت زیر بیان می‌شود:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sign}(x_j - x_k) \quad \text{رابطه (۱)}$$

در اینجا

$$\begin{aligned} \text{sign}(x_j - x_k) &= 1 \quad \text{if } x_j - x_k > 0 \\ &= 0 \quad \text{if } x_j - x_k = 0 \\ &= -1 \quad \text{if } x_j - x_k < 0 \end{aligned} \quad \text{رابطه (۲)}$$

مقدار مثبت بسیار بالای  $S$  نشان‌دهنده روند افزایشی و مقدار منفی بسیار پایین نشان‌دهنده روند کاهشی است. با این حال، محاسبه احتمال مرتبط با  $S$  و حجم نمونه  $n$  ضروری است تا از نظر آماری معنی‌داری روند محاسبه شود. کندال (۱۹۷۵) یک آزمون تقریب نرمال را توصیف می‌کند که برای مجموعه داده‌هایی با بیش از ۱۰ مقدار قابل استفاده است، مشروط بر اینکه مقادیر تکراری زیادی در مجموعه داده وجود نداشته باشد. در این روش مقدار  $S$  براساس توضیحات قبلی محاسبه می‌شود. واریانس  $S$  از طریق رابطه ۳ بدست می‌آید.

$$VAR(S) = \frac{1}{18} \left[ n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^g (t_p - 1)(2t_p - 5) \right] \quad \text{رابطه ۳}$$

که در آن  $n$  تعداد نقاط داده،  $g$  تعداد گروه‌های تکراری است، و  $t_p$  تعداد نقاط داده در گروه  $p$ ام است. در توالی ۲، ۳، ۳، ۳، ۳،  $n = 6$ ،  $g = 2$ ،  $t_1 = 2$  و  $t_2 = 3$  برای مقدار تکراری ۳ است. آماره آزمون نرمال شده  $Z$  بصورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\begin{aligned} Z &= \frac{S-1}{[VAR(S)]^{1/2}} & \text{if } S > 0 \\ Z &= 0 & \text{if } S = 0 \\ Z &= \frac{S+1}{[VAR(S)]^{1/2}} & \text{if } S < 0 \end{aligned} \quad \text{رابطه ۴}$$

همچنین احتمال مربوط به آماره آزمون نرمال شده باید محاسبه گردد. تابع تراکم احتمال برای توزیع نرمال با میانگین صفر و انحراف معیار ۱ از طریق معادله ۵ قابل محاسبه است.

$$f(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{z^2}{2}} \quad \text{رابطه ۵}$$

در اینجا سطح احتمال معنی‌داری ۹۵ درصد است. اگر  $Z$  منفی باشد و احتمال محاسبه شده بزرگتر از سطح معنی‌داری باشد، روند کاهشی است. اگر  $Z$  مثبت باشد و احتمال محاسبه شده بزرگتر از سطح معنی‌داری باشد، روند افزایشی خواهد بود. اگر احتمال محاسبه شده کمتر از سطح معنی‌داری باشد، روندی در سری داده‌ها وجود ندارد (Gilbert, 1987).

### آماره I موران محلی

برای تحلیل خوشه و ناخوشه، مقدار شاخص  $I$  موران محلی، نمره  $Z$  و  $P$  value که بیانگر معنی‌داری شاخص است، محاسبه می‌شود. این آماره براساس رابطه ۶ محاسبه می‌شود.

$$I_i = \frac{x_i - \bar{x}}{S_i^2} \sum_{j=1, j \neq i}^n w_{ij} w_{ij} (x_i - \bar{x}) \quad \text{رابطه ۶}$$

در این رابطه،  $x_i$  ویژگی سلول  $i$  و  $\bar{x}$  میانگین ویژگی مربوطه و  $w_{ij}$  وزن فضایی بین سلول  $i$  و  $j$  می‌باشد. مقدار  $S_i^2$  از رابطه ۷ بدست می‌آید.

$$S_i^2 = \frac{\sum_{j=1, j \neq i}^n w_{ij}}{n-1} - \bar{x}^2 \quad \text{رابطه ۷}$$

در این رابطه  $n$  برابر با تعداد کل عوارض است. در این آماره امتیاز استاندارد  $Z$  محاسبه شده و در یک سطح اطمینان مورد آزمون قرار می‌گیرد. امتیاز استاندارد  $ZI_i$  به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$ZI_i = \frac{I_i - E[I_i]}{\sqrt{V[I_i]}} \quad \text{رابطه ۸}$$

در این رابطه امید ریاضی  $E[I_i]$  برابر با

$$E[I_i] = -\frac{\sum_{j=1, j \neq 1}^n W_{ij}}{n-1} \quad \text{رابطه ۹}$$

و واریانس  $V[I_i]$  برابر با

$$V[I_i] = E[I^2] - E[I_i]^2 \quad \text{رابطه ۱۰}$$

در این تحلیل اگر مقدار  $I_i$  مثبت و معنی دار باشد بیانگر این است که سلول‌های موجود توسط سلول‌های مشابه خود محاصره شده‌اند. مقادیر مثبت  $I_i$  نشان‌دهنده این است که سلول مورد نظر با مقادیر مشخص توسط سلول‌هایی با مقادیر مشابه احاطه شده است (بالا-بالا یا پایین-پایین)، به اینگونه سلول‌ها خوشه گفته می‌شود. از طرف دیگر مقادیر منفی و معنی دار  $I_i$  بیانگر آن است که سلول مورد نظر توسط سلول‌هایی که از لحاظ ارزشی اصلاً مشابهتی با یکدیگر ندارند احاطه شده است (بالا-پایین یا پایین-بالا)، که به اینگونه سلول‌ها، ناخوشه گفته می‌شود و وجود چنین سلول‌هایی حاکی از همبستگی فضایی منفی است (روشنی و همکاران، ۱۴۰۰).

### شاخص خشکسالی RDI

جهت تعیین خشکسالی با استفاده از RDI می‌بایست از آمار ماهانه و یا مجموع سالانه بارش و تبخیر و تعرق پتانسیل استفاده نمود. در ابتدا با فرمول ۱۱ برای هر سال ( $i$ ) از دوره آماری مورد مطالعه، مقداری با عنوان  $a_0$  محاسبه می‌شود:

$$a_0^{(i)} = \frac{\sum_{j=1}^{12} P_{ij}}{\sum_{j=1}^{12} ET_{ij}} \quad \text{رابطه ۱۱}$$

در این فرمول  $P$  بارندگی و  $ET$  تبخیر و تعرق پتانسیل در ژامین ماه سال  $i$  هستند. مقدار  $i$  از ۱ تا  $N$  (تعداد سال‌های آمار موجود) متغیر است. چنانچه بارندگی و تبخیر و تعرق بصورت سالانه محاسبه شوند نیازی به جمع کردن مقادیر ماهانه در این فرمول نخواهد بود. در مرحله بعد از طریق رابطه ۱۲ شاخصی تعیین می‌گردد که به عنوان شاخص RDI نرمال یا  $RDI(n)$  شناخته می‌شود (Tsakiris and Vangelis, 2004).

$$RDI_n^{(i)} = \frac{a_0^{(i)}}{\bar{a}_0} - 1 \quad \text{رابطه ۱۲}$$

در این رابطه  $\bar{a}_0$  میانگین حسابی اعداد  $a_0$  هر سال می‌باشد. همچنین شاخص استاندارد شده RDI یا (RDIs) نیز بدین گونه محاسبه می‌گردد که ابتدا از مقادیر  $a_0$  لگاریتم گرفته، سپس انحراف معیار استاندارد و میانگین آنها محاسبه می‌گردد.

$$y_i = \ln a_0^{(i)} \quad \text{رابطه ۱۳}$$

انحراف معیار استاندارد و میانگین این اعداد را به ترتیب با  $\bar{y}_k$  و  $\hat{\sigma}_{y_k}$  نشان می‌دهیم. در نهایت شاخص استاندارد شده RDI از رابطه ۱۴ محاسبه می‌گردد.

$$RDI_s^{(i)} = \frac{y_k^{(i)} - \bar{y}_k}{\hat{\sigma}_{y_k}} \quad \text{رابطه ۱۴}$$

### شاخص بارش استاندارد شده (SPI)

برای محاسبه شاخص SPI و تبدیل مقادیر بارش، ابتدا میانگین محاسبه می‌گردد.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{N} \quad \text{رابطه ۱۵}$$

سپس قابلیت تفسیر نمره استاندارد (Z) با میانگین صفر و انحراف معیار یک ممکن می‌گردد.

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{N}} \quad \text{رابطه ۱۶}$$

و چولگی از فرمول زیر قابل محاسبه است:

$$SK = \frac{N}{(N-1)(N-2)} \sum_{i=1}^n \left[ \frac{x_i - \bar{x}}{S} \right]^3 \quad \text{رابطه ۱۷}$$

در مرحله بعد داده‌های بارش به لوگ نرمال (Ln) تغییر یافته و میانگین این مقادیر محاسبه می‌گردد. مقادیر تغییر

کرده از طریق ثابت U، شکل و مقیاس بررسی می‌شود:

$$\bar{x}_{Ln} = \frac{\sum_{i=1}^n \text{Ln}x_i}{N} \quad \text{رابطه ۱۸}$$

$$U = \text{Ln}(x_i) - \bar{x}_{Ln} \quad \text{رابطه ۱۹}$$

$$\beta = \frac{1}{4U} \left[ 1 + \sqrt{1 + \frac{4U}{3}} \right] \quad \text{رابطه ۲۰}$$

و

$$\alpha = \frac{\bar{x}}{\beta} \quad \text{رابطه ۲۱}$$

در همین راستا از تابع گاما که خلاصه شده توزیع نمایی است جهت تفسیر مقادیر شکل و مقیاس استفاده می‌شود.

$$G(x) = \frac{1}{\alpha^\beta \Gamma(\beta)} \int_0^x t^{\beta-1} e^{-\frac{t}{\alpha}} dt \quad \text{رابطه ۲۲}$$

در این فرمول  $\alpha, \beta > 0$  و  $x > 0$  و  $\Gamma(\beta)$  تابع گاما می‌باشد. تابع گاما بصورت

$$\Gamma(\beta) = \int_0^\infty e^{-x} x^{\beta-1} dx \quad \text{رابطه ۲۳}$$

تعریف شده و میانگین و واریانس بترتیب با استفاده از فرمول  $\mu = \alpha\beta$  و  $\delta^2 = \alpha^2\beta$  محاسبه می‌گردد

(Marques desa, 2003). تابع دو پارامتری گاما برای مقادیر صفر تعریف نشده است، بنابراین احتمال تجمعی آن:

$$F(x) = q + (1 - q) Gx \quad \text{رابطه ۲۴}$$

که در اینجا  $G(x)$  تابع توزیع برآورد شده بدون توجه به مقادیر تهی است و  $q$  نیز نسبت صفر در سری‌های

تجمعی بارش می‌باشد. SPI یک نمره Z است و انحراف وقوع از میانگین را نشان می‌دهد که به واحد انحراف معیار

بیان می‌شود. برای محاسبه شاخص استاندارد شده بارش در ارتباط با برآزش تابع چگالی احتمال گاما بر توزیع

فراوانی، ابتدا بارندگی مشخص شده، سپس مقادیر  $\alpha$  و  $\beta$  با استفاده از فرمول‌های بالا محاسبه می‌گردد. در نهایت با

جابجایی احتمال توزیع تجمعی گاما به توزیع نرمال مقادیر SPI بدست می‌آید. ساده‌ترین روش برای محاسبه مقادیر

SPI استفاده از تقریب آبراموتیزو-استوگان است که بصورت زیر انجام می‌گیرد. برای  $0 < H(x) \leq 0.5$  مقدار  $t$

برابر با

$$t = \sqrt{\ln \left[ \frac{1}{(H(x))^2} \right]} \quad \text{رابطه ۲۵}$$

و برای  $0.5 < H(x) \leq 1$  برابر با

$$t = \sqrt{\ln \left[ \frac{1}{(1 - H(x))^2} \right]} \quad \text{رابطه ۲۶}$$

خواهد بود. در نهایت مقادیر جابه‌جا شده گاما با استفاده از فرمول‌های زیر بر طبق مقادیر جابه‌جا شده برای بار دوم جابه‌جا می‌گردد. در این حالت اگر  $0 < H(x) \leq 0.5$  باشد مقدار SPI از فرمول ۲۷ قابل محاسبه است.

$$SPI = - \left[ t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right] \quad \text{رابطه ۲۷}$$

و برای  $0.5 < H(x) \leq 1$  از فرمول ۲۸ استفاده می‌شود.

$$SPI = + \left[ t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right] \quad \text{رابطه ۲۸}$$

مقادیر ثابت در روابط ۲۷ و ۲۸ که در فرمول SPI قرار می‌گیرد برابر با

$$\begin{aligned} c_0 &= 2.515517 & c_1 &= 0.802853 & c_2 &= 0.010328 \\ d_1 &= 1.432788 & d_2 &= 0.189269 & d_3 &= 0.00130 \end{aligned}$$

می‌باشد. بنابراین شاخص استاندارد شده بارش از جابجایی  $t$  با فرمول‌های مختلف بر طبق بزرگی مقادیر جابه‌جا شده گاما حاصل می‌شود. اعداد بدست آمده جهت تعیین خشکسالی‌های ۳، ۶، ۱۲، ۱۸، ۲۴ و ۴۸ ماهه نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد (Roshani et al., 2012).

#### یافته‌ها

در جداول (۲۰۱) نتایج آزمون روند من کندال میانگین RDI و SPI ناحیه مورد مطالعه آورده شده است. در این آزمون با مقایسه آلفای محاسبه شده در سطح اطمینان ۹۵٪ با مقدار آلفای برابر با ۰/۰۵ کاملاً مشخص است که مقدار آلفای محاسبه شده ماه‌های می، ژوئن و اوت برای هر دو شاخص کمتر از  $\alpha = 0.05$  است. علاوه بر این مقدار آلفای شاخص RDI در ماه مارس کمتر از  $\alpha = 0.05$  بوده و بیانگر آن است که در ماه‌های مورد نظر، روند منفی معنی‌دار در مقدار شاخص RDI و SPI وجود دارد و در بقیه ماه‌ها روند بی‌معنی است.

جدول ۱- نتایج آزمون روند من کندال میانگین RDI و SPI استان گیلان در شش ماه اول سال

Table 1- Results of the Mann-Kendall trend test for the average RDI and SPI in Gilan Province during the first six months of the year

آزمون روند من کندال	ژانویه		فوریه		مارس		آوریل		می		ژوئن	
	RDI	SPI	RDI	SPI	RDI	SPI	RDI	SPI	RDI	SPI	RDI	SPI
آماره تاو کندال	-۰/۱۷۵	-۰/۰۱۱	-۰/۱۱۶	۰/۰۱۱	-۰/۲۴۵	۰/۰۹۹	۰/۰۴۴	۰/۰۳۲	-۰/۲۱۴	-۰/۲۱۴	-۰/۲۳۳	-۰/۲۰۹
S	-۱۶۶	-۱۰	-۱۱۰	۱۰	-۲۳۲	۹۴	۴۲	۳۰	-۲۰۲	-۲۰۲	-۲۲۰	-۱۹۸
(S) Var	۹۷۷۵	۹۷۷۵	۹۷۷۵	۹۷۷۵	۹۷۷۵	۹۷۷۵	۹۷۷۵	۹۷۷۵	۹۷۷۵	۹۷۷۵	۹۷۷۵	۹۷۷۵
p-value (ده ط ف)	۰/۰۹۵	۰/۹۲۷	۰/۲۷	۰/۹۲۷	۰/۰۱۹	۰/۳۴۷	۰/۶۷۸	۰/۷۶۹	۰/۰۴۲	۰/۰۴۲	۰/۰۲۷	۰/۰۴۶
مقدار آلفا	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵

جدول ۲- نتایج آزمون روند من کندال میانگین RDI و SPI استان گیلان در شش ماه دوم سال

Table 2- Results of the Mann-Kendall trend test for the average RDI and SPI in Gilan Province during the second six months of the year

آزمون روند من کندال	ژوئیه		اوت		سپتامبر		اکتبر		نوامبر		دسامبر	
	RDI	SPI	RDI	SPI	RDI	SPI	RDI	SPI	RDI	SPI	RDI	SPI
آماره تائو کندال	۰/۱۱	۰/۱۳۳	-۰/۲۶	-۰/۲۴۹	۰/۰۰۴	۰/۰۵۹	-۰/۱۰۸	-۰/۰۳	۰/۱۱۲	۰/۰۹۹	-۰/۰۸۹	-۰/۰۰۴
S	۱۰۴	۱۲۶	-۲۴۶	-۲۳۶	۴	۵۶	-۱۰۲	-۲۸	۱۰۶	۹۴	-۸۴	-۴
(S) Var	۹۷۷۵	۹۷۷۵	۹۷۷۵	۹۷۷۵	۹۷۷۵	۹۷۷۵	۹۷۷۵	۹۷۷۵	۹۷۷۵	۹۷۷۵	۹۷۷۵	۹۷۷۵
p-value (دو طرفه)	۰/۲۹۸	۰/۲۰۶	۰/۰۱۳	۰/۰۱۷	۰/۹۷۶	۰/۵۷۸	۰/۳۰۷	۰/۷۸۵	۰/۲۸۸	۰/۳۴۷	۰/۴۰۱	۰/۹۷۶
مقدار آلفا	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵

در جدول (۳) نتایج آزمون روند من کندال مقادیر RDI ماهانه ۴۸ یاخته مورد بررسی در گستره استان گیلان آورده شده است. چنانچه مشاهده می‌شود از ۴۸ یاخته مورد آزمون در ماه ژانویه، ۱۱ یاخته S14 تا S25، S28 تا S34، S35 و S43 و S82 دارای روند منفی معنی‌دار بوده و در سایر یاخته‌ها رفتار تصادفی برقرار است. عبارت دیگر، شاخص RDI در قسمت اعظم پهنه استان روند مشخصی را نشان نمی‌دهد. در ماه فوریه نیز ۸ یاخته S5، S15 و S16 تا S24 و S71 و S72 از روند منفی برخوردار بوده و نشان می‌دهد که بر شدت خشکسالی یاخته‌های فوق در طی دوره مورد مطالعه افزوده شده است. سایر یاخته‌ها در ماه فوریه روند معنی‌داری را نشان نداده و وجود روند در آنها رد می‌گردد. در ماه مارس اکثر یاخته‌ها روند منفی معنی‌دار را نشان می‌دهند زیرا مقدار آلفای محاسبه شده در این یاخته‌ها کوچکتر از  $\alpha = 0.05$  است. در مجموع از ۴۸ یاخته مورد بررسی، ۳۰ یاخته دارای روند منفی معنی‌دار و ۱۸ یاخته دیگر بدون روند بوده و رفتار تصادفی دارند. در این ماه علاوه بر افزایش شدت شاخص RDI در طی دوره مورد مطالعه، بر وسعت آن در گستره استان گیلان افزوده شده است.

خشکسالی به روش شاخص RDI در ماه آوریل بیانگر عدم وجود روند معنی‌دار در تمامی یاخته‌ها است و رفتار تصادفی شاخص RDI بر کل مساحت استان تسلط دارد. شاخص RDI ماه می نشان می‌دهد که روند منفی فقط در یاخته‌های S8، S18، S29، S30، S38 و S39 و S45 و S46 وجود داشته و بقیه یاخته‌ها که قسمت اعظم استان را در بر می‌گیرند بدون روند بوده و رفتار تصادفی دارند. در ماه ژوئن بیشتر یاخته‌ها دارای روند منفی معنی‌دار هستند. عبارت دیگر از ۴۸ یاخته مورد بررسی، ۲۷ یاخته دارای روند و ۲۱ یاخته باقیمانده بدون روند بودند. از این رو در ماه ژوئن بر وسعت محدوده خشکسالی و شدت آن نسبت به ماه‌های قبل افزوده شده و به دلیل انطباق خشکسالی این ماه با زمان نیاز آبی بالای برخی از محصولات زراعی مهم این ناحیه (برنج، گندم و ...)، شرایط برای کشاورزان سخت‌تر خواهد شد. در ماه ژوئیه شاخص RDI در تمامی یاخته‌ها به غیر از دو یاخته S19 و S39، دارای رفتار تصادفی و بدون روند است. البته باید گفت روند در دو یاخته S19 و S39 از نوع مثبت بوده و بیانگر آن است که از شدت خشکسالی در طی دوره کاسته شده و بر شدت ترسالی افزوده شده است. رفتار تصادفی ۴۶ یاخته در این ماه نشان‌دهنده آن است که شاخص RDI در طی دوره روند خاصی نداشته و مثبت بودن آماره من کندال نیز حکایت از کاهش شدت خشکسالی و افزایش شدت ترسالی در طول دوره دارد.

جدول ۳- نتایج آزمون روند من کندال RDI یاخته‌ها در استان گیلان

Table 3- Results of the Mann-Kendall trend test for RDI cells in Gilan Province

یاخته	ژانویه		فوریه		مارس		آوریل		می		ژوئن		ژوئیه		اوت		سپتامبر		اکتبر		نوامبر		دسامبر	
	آماره	pv	آماره	pv	آماره	pv	آماره	pv	آماره	pv	آماره	pv	آماره	pv	آماره	pv	آماره	pv	آماره	pv	آماره	pv	آماره	pv
S۵	-۰/۲۰۷	۰/۰۷۷	-۰/۲۴۴	۰/۰۲۹	-۰/۲۷۸	۰/۰۰۸	-۰/۰۱۹	۰/۰۸۳	-۰/۰۸۵	۰/۰۴۲	-۰/۲۰۹	۰/۰۶۶	۰/۰۶۳	۰/۰۵۱	-۰/۳۰۷	۰/۰۰۳	۰/۰۷۶	۰/۰۴۷	۰/۰۵۹	۰/۰۷۸	۰/۰۹۹	۰/۰۳۷	-۰/۱۳۲	۰/۰۱۳۷
S۶	-۰/۰۱۲	۰/۰۳۲۷	-۰/۰۱۱۳	۰/۰۳۳۱	-۰/۰۰۳	۰/۰۰۴	-۰/۰۰۴۲	۰/۰۶۹۳	-۰/۰۰۸۹	۰/۰۰۱	-۰/۰۲۲۶	۰/۰۳۱	۰/۰۱۲۹	۰/۰۲۲۱	-۰/۰۲۸۵	۰/۰۰۷	۰/۰۰۴۲	۰/۰۶۹۳	۰/۰۰۵۹	۰/۰۵۷۸	۰/۰۱۰۶	۰/۰۳۱۷	-۰/۰۲۱۶	۰/۰۰۵۵
S۷	-۰/۰۰۶	۰/۰۹۸۱	-۰/۰۰۲۲	۰/۰۸۵۷	-۰/۰۳۳۶	۰/۰۰۱	-۰/۰۰۵۳	۰/۰۶۲	-۰/۰۱۶۹	۰/۰۰۸	-۰/۰۱۵۶	۰/۰۱۳۷	۰/۰۱۳۷	۰/۰۱۹۲	-۰/۰۰۶۸	۰/۰۵۲۴	۰/۰۰۲۵	۰/۰۸۱۶	۰/۰۰۵۱	۰/۰۶۳۵	۰/۰۱۹	۰/۰۸۶۳	-۰/۰۰۴	۰/۰۲۱۷
S۸	۰/۰۰۳۲	۰/۰۸۲۲	-۰/۰۰۷۹	۰/۰۵۱۳	-۰/۰۲۶۷	۰/۰۰۱۲	-۰/۰۰۴۲	۰/۰۶۹۳	-۰/۰۲۳۳	۰/۰۰۲۷	-۰/۰۱۷۵	۰/۰۰۹۵	۰/۰۰۶۶	۰/۰۵۳۷	-۰/۰۰۹۱	۰/۰۳۹	۰/۰۰۳	۰/۰۸۸۵	۰/۰۰۰۴	۰/۰۹۷۶	۰/۰۰۶۱	۰/۰۵۶۴	-۰/۰۱۸۸	۰/۰۰۹۹
S۹	۰/۰۰۸۴	۰/۰۵۲۹	-۰/۰۰۹۰	۰/۰۰۷۸	-۰/۰۲۶۳	۰/۰۰۱۴	۰/۰۰۳۲	۰/۰۷۶۹	-۰/۰۱۵۴	۰/۰۱۴۲	-۰/۰۰۹۲	۰/۰۳۷۹	۰/۰۱۹۹	۰/۰۰۵۹	-۰/۰۲۲۲	۰/۰۰۳۵	۰/۰۰۹۳	۰/۰۳۷۹	۰/۰۰۳۸	۰/۰۷۲۳	۰/۰۱۳۳	۰/۰۲۰۳	-۰/۰۱۷۴	۰/۰۱۲۵
S۱۴	-۰/۰۳۸۵	۰/۰۰۰۰	-۰/۰۳۱۹	۰/۰۰۰۳	-۰/۰۲۹۸	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۱۹	۰/۰۸۳۳	-۰/۰۱۴۶	۰/۰۱۶۶	-۰/۰۲۲۸	۰/۰۰۳۳	۰/۰۰۲۲	۰/۰۵۷۸	-۰/۰۰۲۹	۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۵۷	۰/۰۵۲۲	۰/۰۰۳۸	۰/۰۷۲۳	۰/۰۱۱۲	۰/۰۲۸۸	-۰/۰۱۸۲	۰/۰۰۸۴
S۱۵	-۰/۰۲۵	۰/۰۰۲۱	-۰/۰۳۱۹	۰/۰۰۰۳	-۰/۰۲۹۸	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۱۹	۰/۰۸۳۳	-۰/۰۱۴۶	۰/۰۱۶۶	-۰/۰۲۲۸	۰/۰۰۳۳	۰/۰۰۲۲	۰/۰۵۷۸	-۰/۰۰۲۹	۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۵۷	۰/۰۵۲۲	۰/۰۰۳۸	۰/۰۷۲۳	۰/۰۱۱۲	۰/۰۲۸۸	-۰/۰۱۸۲	۰/۰۰۳۰۷
S۱۶	-۰/۰۲۴۴	۰/۰۰۲۸	-۰/۰۲۶۳	۰/۰۰۱۸	-۰/۰۳۰۸	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۴	۰/۰۹۷۶	-۰/۰۱۸۸	۰/۰۰۷۳	-۰/۰۱۸۸	۰/۰۰۷۳	۰/۰۰۸۵	۰/۰۴۲۴	-۰/۰۲۸۲	۰/۰۰۰۷	۰/۰۰۳۳	۰/۰۷۶۹	۰/۰۰۷۴	۰/۰۴۸۵	۰/۰۰۱۴	۰/۰۱۸۵	-۰/۰۱۲۵	۰/۰۰۲۴
S۱۷	-۰/۰۰۱	۰/۰۹۵۱	-۰/۰۰۸۵	۰/۰۴۷۶	-۰/۰۳۳۲	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۱۹	۰/۰۸۳۳	-۰/۰۰۱۹	۰/۰۰۷	-۰/۰۲۰۱	۰/۰۰۰۶	۰/۰۱۱۸	۰/۰۲۶۲	-۰/۰۰۲۹	۰/۰۰۰۶	-۰/۰۰۱۷	۰/۰۸۷۹	-۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۷۸	۰/۰۱۵۸	۰/۰۱۶۴	-۰/۰۲۶۱	۰/۰۰۲۱
S۱۸	۰/۰۰۸۴	۰/۰۵۲۹	-۰/۰۰۷۹	۰/۰۵۱۳	-۰/۰۲۶۷	۰/۰۰۱۲	-۰/۰۰۴۲	۰/۰۶۹۳	-۰/۰۲۳۳	۰/۰۰۲۷	-۰/۰۱۷۵	۰/۰۰۹۵	۰/۰۰۶۶	۰/۰۵۳۷	-۰/۰۰۹۱	۰/۰۳۹	۰/۰۰۳	۰/۰۸۸۵	۰/۰۰۰۴	۰/۰۹۷۶	۰/۰۰۶۱	۰/۰۵۶۴	-۰/۰۱۸۸	۰/۰۰۹۹
S۱۹	۰/۰۰۳۲	۰/۰۸۲۲	-۰/۰۰۷۹	۰/۰۵۱۳	-۰/۰۲۶۷	۰/۰۰۱۲	-۰/۰۰۴۲	۰/۰۶۹۳	-۰/۰۲۳۳	۰/۰۰۲۷	-۰/۰۱۷۵	۰/۰۰۹۵	۰/۰۰۶۶	۰/۰۵۳۷	-۰/۰۰۹۱	۰/۰۳۹	۰/۰۰۳	۰/۰۸۸۵	۰/۰۰۰۴	۰/۰۹۷۶	۰/۰۰۶۱	۰/۰۵۶۴	-۰/۰۱۸۸	۰/۰۰۹۹
S۲۳	-۰/۰۰۵۲	۰/۰۶۶۳	-۰/۰۱۹۹	۰/۰۰۰۸	-۰/۰۲۸۲	۰/۰۰۰۷	۰/۰۰۷۸	۰/۰۴۶	-۰/۰۱۵۲	۰/۰۱۴۸	-۰/۰۱۹۵	۰/۰۰۰۹	۰/۰۰۸۹	۰/۰۰۴۰	-۰/۰۲۷۹	۰/۰۰۰۸	۰/۰۰۴۲	۰/۰۶۹۳	۰/۰۰۳۰	۰/۰۱۳۵	۰/۰۱۹۹	-۰/۰۱۳۲	۰/۰۰۷۴	۰/۰۰۱۸
S۲۴	-۰/۰۰۷۹	۰/۰۴۷۱	-۰/۰۲۲۱	۰/۰۴۲۴	-۰/۰۳۰۹	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۹	۰/۰۵۷۸	-۰/۰۱۹۹	۰/۰۰۰۷	-۰/۰۱۸۸	۰/۰۰۷۳	۰/۰۰۸۵	۰/۰۴۲۴	-۰/۰۲۸۲	۰/۰۰۰۷	۰/۰۰۳۳	۰/۰۷۶۹	۰/۰۰۷۴	۰/۰۴۸۵	۰/۰۰۱۴	۰/۰۱۸۵	-۰/۰۱۲۵	۰/۰۰۲۴
S۲۵	-۰/۰۳۱۳	۰/۰۰۰۴	-۰/۰۰۲۹	۰/۰۰۰۶	-۰/۰۲۳۳	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۷۶	۰/۰۴۷۳	-۰/۰۰۱۴	۰/۰۱۸۵	-۰/۰۱۸۴	۰/۰۰۰۸	۰/۰۰۵۷	۰/۰۵۲۲	-۰/۰۲۶۲	۰/۰۰۱۲	-۰/۰۰۱۳	۰/۰۹۱۱	-۰/۰۰۰۷	۰/۰۴۷۳	۰/۰۱۶۵	۰/۰۱۱۷	-۰/۰۱۱۵	۰/۰۰۲۷۹
S۲۶	-۰/۰۲۹۵	۰/۰۰۰۶	-۰/۰۲۶۴	۰/۰۰۱۲	-۰/۰۲۴۴	۰/۰۰۳۳	۰/۰۰۰۱	۰/۰۳۳۷	-۰/۰۱۲۵	۰/۰۳۳۷	-۰/۰۱۷۸	۰/۰۰۹۱	۰/۰۰۶۱	۰/۰۵۶۴	-۰/۰۲۶۴	۰/۰۰۱۲	-۰/۰۰۱۹	۰/۰۸۳۳	۰/۰۰۹۷	۰/۰۳۵۷	۰/۰۰۱۴	۰/۰۱۸۵	-۰/۰۰۹۱	۰/۰۰۳۹
S۲۷	-۰/۰۲۵۸	۰/۰۰۱۷	-۰/۰۱۶۷	۰/۰۰۱۳	-۰/۰۰۲۱	۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۸۵	۰/۰۴۲۴	-۰/۰۱۴۲	۰/۰۱۷۹	-۰/۰۱۹۷	۰/۰۰۶۱	۰/۰۱۲۳	۰/۰۲۴۵	-۰/۰۲۴۲	۰/۰۰۲۱	-۰/۰۰۱۱	۰/۰۹۲۷	۰/۰۰۰۸	۰/۰۵۲۴	۰/۰۰۱۰	۰/۰۳۳۷	-۰/۰۱۵۲	۰/۰۰۱۸
S۲۸	-۰/۰۲۱۵	۰/۰۰۴۱	-۰/۰۰۱۳	۰/۰۲۱۷	-۰/۰۱۸۶	۰/۰۰۷۷	۰/۰۰۳۶	۰/۰۷۳۹	-۰/۰۱۶۹	۰/۰۰۸	-۰/۰۲۲۸	۰/۰۰۳	۰/۰۱۲۷	۰/۰۲۲۹	-۰/۰۲۳۷	۰/۰۰۴۴	-۰/۰۱۲۳	۰/۰۲۴۵	-۰/۰۰۲۷	۰/۰۰۸	۰/۰۱۱۶	۰/۰۰۲۷	-۰/۰۱۳۳	۰/۰۰۲۶
S۲۹	-۰/۰۱۲۵	۰/۰۲۳۷	-۰/۰۱۳۳	۰/۰۰۲۰	-۰/۰۱۱۶	۰/۰۰۲۷	۰/۰۰۰۴	۰/۰۷۰۸	-۰/۰۲۷۳	۰/۰۰۰۹	-۰/۰۲۲۲	۰/۰۰۳۵	۰/۰۱۶۶	۰/۰۱۶۶	-۰/۰۰۲۴۷	۰/۰۰۱۸	-۰/۰۱۳۰	۰/۰۱۹۲	-۰/۰۰۳۰	۰/۰۸۵۵	۰/۰۰۸۹	۰/۰۰۴۰	-۰/۰۰۷۸	۰/۰۵۲۴
S۳۰	-۰/۰۰۱۰	۰/۰۳۳۷	-۰/۰۰۷۶	۰/۰۴۷۳	-۰/۰۰۷۲	۰/۰۴۹۸	۰/۰۰۸۷	۰/۰۴۱۳	-۰/۰۲۹۶	۰/۰۰۰۵	-۰/۰۲۰۷	۰/۰۰۹۹	۰/۰۱۶۵	۰/۰۱۱۷	-۰/۰۲۴۷	۰/۰۰۱۸	-۰/۰۱۲۱	۰/۰۲۵۳	۰/۰۰۶۱	۰/۰۵۶۴	۰/۰۰۵۳	۰/۰۰۶۲	-۰/۰۰۵۹	۰/۰۵۷۸
S۳۲	-۰/۰۰۴۴	۰/۰۷۲۸	-۰/۰۰۳۸	۰/۰۰۷۵	-۰/۰۳۳۹	۰/۰۰۰۱	-۰/۰۰۵۳	۰/۰۶۲	-۰/۰۱۶۵	۰/۰۱۱۷	-۰/۰۲۰۷	۰/۰۰۹۹	۰/۰۱۳۷	۰/۰۱۹۲	-۰/۰۰۳۰۲	۰/۰۰۰۴	-۰/۰۰۰۲	۰/۰۹۹۲	۰/۰۰۰۶	۰/۰۳۷۱	۰/۰۰۹۰	۰/۰۳۰۲	-۰/۰۰۴۸	۰/۰۶۷۷
S۳۳	-۰/۰۱۵۱	۰/۰۱۸۷	-۰/۰۰۱۸	۰/۰۸۸۵	-۰/۰۲۱۶	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۱۱	۰/۰۲۹۸	-۰/۰۱۶۹	۰/۰۰۸	-۰/۰۲۴۵	۰/۰۰۱۹	۰/۰۱۷۵	۰/۰۰۹۵	-۰/۰۰۲۵۸	۰/۰۰۰۴	-۰/۰۰۲۷	۰/۰۰۰۸	۰/۰۸۱۶	۰/۰۰۱۸	۰/۰۲۶۲	-۰/۰۱۷۳	۰/۰۰۱۰	۰/۰۰۷
S۳۴	-۰/۰۲۶۱	۰/۰۰۱۳	-۰/۰۰۱۳	۰/۰۲۱۷	-۰/۰۰۲۳	۰/۰۰۲۸	۰/۰۰۷۸	۰/۰۴۶	-۰/۰۱۸۴	۰/۰۰۸	-۰/۰۲۲۸	۰/۰۰۳	۰/۰۱۴۴	۰/۰۱۷۲	-۰/۰۲۴۹	۰/۰۰۱۷	-۰/۰۰۰۴	۰/۰۹۷۶	۰/۰۰۵۷	۰/۰۵۹۲	۰/۰۱۵۹	۰/۰۱۳۲	-۰/۰۱۱۵	۰/۰۰۲۷۵
S۳۵	-۰/۰۲۰۷	۰/۰۴۴۹	-۰/۰۱۴۴	۰/۰۱۷۲	-۰/۰۱۳۲	۰/۰۰۱۳	۰/۰۰۶۳	۰/۰۵۵۱	-۰/۰۱۹۲	۰/۰۰۲۷	-۰/۰۲۱۶	۰/۰۰۴	۰/۰۱۳۳	۰/۰۲۴۵	-۰/۰۲۵۴	۰/۰۰۱۶	-۰/۰۰۱۱	۰/۰۹۲۷	-۰/۰۰۰۸	۰/۰۴۴۸	۰/۰۱۶۱	۰/۰۱۲۷	-۰/۰۱۵۲	۰/۰۱۴۸
S۳۶	-۰/۰۱۹۹	۰/۰۰۵۹	-۰/۰۱۴۴	۰/۰۱۷۹	-۰/۰۱۳۱	۰/۰۰۱۳	۰/۰۰۹۷	۰/۰۳۵۷	-۰/۰۱۶۱	۰/۰۰۲۷	-۰/۰۲۲۸	۰/۰۰۳	۰/۰۰۸۹	۰/۰۰۴۰	-۰/۰۲۵۸	۰/۰۰۱۴	-۰/۰۰۲۷	۰/۰۰۰۸	۰/۰۴۴۸	۰/۰۱۶۱	۰/۰۱۲۷	-۰/۰۱۵۲	۰/۰۱۴۸	۰/۰۰۲۲۹
S۳۷	-۰/۰۱۹۲	۰/۰۰۲۷	-۰/۰۱۶۱	۰/۰۲۱۷	-۰/۰۱۳۱	۰/۰۲۱۳	۰/۰۰۷۸	۰/۰۴۶	-۰/۰۱۶۹	۰/۰۰۸	-۰/۰۲۲۶	۰/۰۰۳۱	۰/۰۰۸	۰/۰۳۰۷	-۰/۰۲۱۴	۰/۰۰۴۲	-۰/۰۰۶۳	۰/۰۵۳۷	۰/۰۰۰۴	۰/۰۷۸۸	۰/۰۱۱۴	۰/۰۲۷۹	-۰/۰۰۹۱	۰/۰۰۳۹
S۳۸	-۰/۰۱۳۱	۰/۰۲۱۳	-۰/۰۰۹۷	۰/۰۳۵۷	-۰/۰۰۷۶	۰/۰۴۷۳	۰/۰۰۰۷	۰/۰۵۱۱	-۰/۰۰۲۲	۰/۰۳۶	-۰/۰۲۱۱	۰/۰۰۴۴	۰/۰۱۷۸	۰/۰۰۹۱	-۰/۰۱۹۵	۰/۰۰۰۴	-۰/۰۰۰۷	۰/۰۵۱۱	۰/۰۰۵۳	۰/۰۰۶۲	۰/۰۰۷۶	۰/۰۴۷۳	-۰/۰۰۶۳	۰/۰۰۵۵۱
S۳۹	-۰/۰۰۸	۰/۰۴۴۸	-۰/۰۰۲۱	۰/۰۸۴۸	-۰/۰۰۴۴	۰/۰۶۷۸	۰/۰۰۲۷	۰/۰۰۰۸	-۰/۰۳۳۷	۰/۰۰۲۴	-۰/۰۱۷۵	۰/۰۰۹۵	۰/۰۲۱۱	۰/۰۰۴۴	-۰/۰۰۲۲	۰/۰۰۳۶	-۰/۰۰۸۹	۰/۰۰۴۰	۰/۰۰۹۰	۰/۰۰۱۰	۰/۰۰۳۳۷	-۰/۰۰۴۴	۰/۰۶۷۸	۰/۰۰۳۵
S۴۱	-۰/۰۰۸۴	۰/۰۵۲۹	-۰/۰۰۷۹	۰/۰۵۱۳	-۰/۰۲۶۷	۰/۰۰۱۲	-۰/۰۰۴۲	۰/۰۶۹۳	-۰/۰۲۳۳	۰/۰۰۲۷	-۰/۰۱۷۵	۰/۰۰۹۵	۰/۰۰۶۶	۰/۰۵۳۷	-۰/۰۰۹۱	۰/۰۳۹	۰/۰۰۳	۰/۰۸۸۵	۰/۰۰۰۴	۰/۰۹۷۶	۰/۰۰۶۱	۰/۰۵۶۴	-۰/۰۱۸۸	۰/۰۰۹۹
S۴۲	-۰/۰۰۹۸	۰/۰۴۴۹	-۰/۰۰۲۱	۰/۰۸۴۸	-۰/۰۰۴۴	۰/۰۶۷۸	۰/۰۰۲۷	۰/۰۰۰۸	-۰/۰۳۳۷	۰/۰۰۲۴	-۰/۰۱۷۵	۰/۰۰۹۵	۰/۰۲۱۱	۰/۰۰۴۴	-۰/۰۰۲۲	۰/۰۰۳۶	-۰/۰۰۸۹	۰/۰۰۴۰	۰/۰۰۹۰	۰/۰۰۱۰	۰/۰۰۳۳۷	-۰/۰۰۴۴	۰/۰۶۷۸	۰/۰۰۳۵
S۴۳	-۰/۰۲۴۹	۰/۰۰۱۸	-۰/۰۱۷۸	۰/۰۰۹۱	-۰/۰۲۴۹	۰/۰۰۱۷	۰/۰۰۱۶	۰/۰۳۱۷	-۰/۰۰۰۱	۰/۰۳۳۷	-۰/۰۲۲۲	۰/۰۰۰۹	۰/۰۱۳۵	۰/۰۱۹۹	-۰/۰۲۸۲	۰/۰۰۰۷	۰/۰۰۱۱	۰/۰۹۲۷	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۶۲	۰/۰۰۹۰	۰/۰۳۳۸		

شاخص RDI نیز تایید گردید. البته باید گفت متغیرهای دما و بارش ماه‌های سپتامبر، اکتبر، نوامبر و دسامبر دارای رفتار تصادفی بودند. در نتیجه شاخص RDI هم به تبع دما و بارش نیز رفتار تصادفی داشته است. چنانچه از جدول (۴) پیداست در دو ماه ژانویه و فوریه، رفتار تصادفی بر شاخص SPI تمامی یاخته‌ها در گستره استان گیلان تسلط دارد. بعبارت دیگر، در این دو ماه هیچ اثری از تغییرات شدید در شاخص خشکسالی SPI مشاهده نمی‌شود و در کل دوره رفتار این شاخص نرمال یا تصادفی بوده است.

جدول ۴- نتایج آزمون روند من کندال SPI یاخته‌ها در استان گیلان

Table 4- Results of the Mann-Kendall trend test for SPI cells in Gilan Province

یاخته	ژانویه		فوریه		مارس		آوریل		می		ژوئن		ژوئیه		اوت		سپتامبر		اکتبر		نوامبر		دسامبر	
	آماره	pv	آماره	pv	آماره	pv	آماره	pv	آماره	pv	آماره	pv	آماره	pv	آماره	pv	آماره	pv	آماره	pv	آماره	pv	آماره	pv
S۵	۰/۰۶۱	۰/۵۶۴	۰/۰۹	۰/۳۹۶	۰/۱۱۲	۰/۲۸۸	-۰/۰۳۵	۰/۷۴۶	-۰/۰۷	۰/۵۱۱	-۰/۱۹۶	۰/۰۶۳	۰/۰۹۸	۰/۳۵۲	-۰/۲۸۴	۰/۰۰۷	۰/۱۳۱	۰/۲۱۳	-۰/۰۱۴	۰/۹۰۳	۰/۰۶۵	۰/۵۴۴	-۰/۰۱۹	۰/۸۶۳
S۶	۰/۰۴۵	۰/۶۷۱	۰/۰۵۷	۰/۵۹۲	۰/۱	۰/۳۴۲	-۰/۰۳۶	۰/۷۳۹	-۰/۰۷۲	۰/۴۹۸	-۰/۲۲۱	۰/۰۳۳	۰/۱۵۸	۰/۱۳۴	-۰/۲۵۳	۰/۰۱۶	۰/۰۷۱	۰/۵۰۴	-۰/۰۲۵	۰/۸۱۶	۰/۰۳۲	۰/۷۶۹	-۰/۰۵۳	۰/۶۲
S۷	۰/۰۹۳	۰/۳۷۹	۰/۰۷۶	۰/۴۷۳	۰/۰۷۶	۰/۴۷۳	-۰/۰۴	۰/۷۰۸	-۰/۱۵۹	۰/۱۲۲	-۰/۰۱۲	۰/۲۵۷	۰/۱۳۲	۰/۲۱	-۰/۰۵۵	۰/۶۰۶	۰/۰۵۵	۰/۶۰۶	-۰/۰۱۱	۰/۹۲۷	۰/۰۰۶	۰/۹۶	-۰/۰۷۳	۰/۴۹۲
S۸	۰/۰۱۱	۰/۹۲۷	۰/۰۳	۰/۷۸۵	۰/۰۹۴	۰/۳۳۳	-۰/۰۰۶	۰/۹۶	-۰/۲۰۳	۰/۰۵۳	-۰/۱۳۵	۰/۱۹۹	۰/۰۹۶	۰/۳۳۳	-۰/۰۸۲	۰/۴۴۲	۰/۰۷۳	۰/۴۹۱	۰/۰۴۳	۰/۶۸۶	-۰/۰۲۵	۰/۸۱۶	-۰/۰۶۵	۰/۵۴۴
S۹	-۰/۰۲۲	۰/۸۴	-۰/۰۰۶	۰/۹۶	۰/۱۹	۰/۰۷	۰/۰۹۳	۰/۳۷۹	-۰/۱۰۷	۰/۳۱۲	-۰/۰۲۱	۰/۸۴۸	۰/۲۳	۰/۰۲۸	-۰/۱۸۲	۰/۰۸۴	۰/۱۸۸	۰/۰۷۳	۰/۰۴۷	۰/۶۶۴	۰/۰۷۱	۰/۵۰۴	-۰/۰۷۸	۰/۴۶
S۱۴	۰/۰۶۳	۰/۵۵۱	۰/۱۱۹	۰/۲۶۲	۰/۱۶۵	۰/۱۱۷	-۰/۰۰۶	۰/۹۶	-۰/۱۰۱	۰/۳۳۷	-۰/۲۰۸	۰/۰۴۶	۰/۰۷۷	۰/۴۶۶	-۰/۲۷	۰/۰۱	۰/۱۴۶	۰/۱۶۶	-۰/۰۰۴	۰/۹۷۶	۰/۱۰۴	۰/۳۲۷	۰/۰۱۹	۰/۸۶۳
S۱۵	۰/۰۳۴	۰/۷۵۴	۰/۱۲۱	۰/۲۵۳	۰/۱۵۴	۰/۱۴۲	۰/۱۰۵	۰/۸۹۵	-۰/۱۰۸	۰/۳۰۷	-۰/۱۹۹	۰/۰۵۹	۰/۰۹۶	۰/۳۳۳	-۰/۲۵۸	۰/۰۱۴	۰/۱۲۸	۰/۲۲۵	-۰/۰۴۷	۰/۶۶۴	۰/۱۲	۰/۲۵۷	۰/۰۲۷	۰/۸
S۱۶	۰/۰۰۲	۰/۹۲	۰/۱۲۷	۰/۲۲۹	۰/۱۸۱	۰/۰۸۶	۰/۰۰۷	۰/۹۵۲	-۰/۱۴۶	۰/۱۶۶	-۰/۱۳۳	۰/۱۲۲	۰/۱۱۲	۰/۲۸۸	-۰/۲۶۵	۰/۰۱۲	۰/۱۰۶	۰/۳۱۷	-۰/۰۵۱	۰/۶۳۵	۰/۱۲۹	۰/۲۲۱	۰/۰۱۳	۰/۹۱۱
S۱۷	۰/۰۷	۰/۵۱۱	۰/۱۶۹	۰/۱۰۸	۰/۲۰۵	۰/۰۵۱	۰/۰۴۷	۰/۶۶۴	-۰/۱۵۴	۰/۱۴۲	-۰/۰۱۸	۰/۰۸۷	۰/۱۴۳	۰/۱۷۵	-۰/۲۵۴	۰/۰۱۶	۰/۰۲۵	۰/۸۱۶	-۰/۰۰۸	۰/۹۴۴	۰/۰۴۴	۰/۶۷۸	-۰/۰۲۶	۰/۸۰۸
S۱۸	۰/۰۱۷	۰/۸۷۹	۰/۱۰۸	۰/۳۰۷	۰/۱۸۸	۰/۰۷۳	۰/۰۲۳	۰/۸۳۲	-۰/۲۱۱	۰/۰۴۴	-۰/۱۵۹	۰/۱۳۲	۰/۱۵۲	۰/۱۴۸	-۰/۱۷۳	۰/۰۹۹	۰/۰۳۴	۰/۷۵۴	۰/۰۰۳	۰/۹۸۴	۰/۰۰۸	۰/۹۴۴	-۰/۰۷	۰/۵۱۱
S۱۹	-۰/۰۳۴	۰/۷۵۴	۰/۰۴۷	۰/۲۸۶	۰/۰۲۵	۰/۱۲۴	۰/۲۴۱	-۰/۱۲	۰/۲۵۷	-۰/۰۸	۰/۴۴۸	۰/۲۰۹	۰/۰۴۶	-۰/۲۲۴	۰/۰۳۳	۰/۰۷۶	۰/۴۷۳	۰/۰۵۱	۰/۶۳۵	۰/۰۷۲	۰/۴۹۸	-۰/۰۶۸	۰/۵۲۴	۰/۹۱۳
S۲۳	-۰/۰۰۴	۰/۹۶۶	۰/۱۱۵	۰/۲۷۵	۰/۳۳۵	۰/۰۲۵	۰/۰۵۷	۰/۵۹۲	-۰/۰۷۸	۰/۴۶	-۰/۱۵۸	۰/۱۳۴	۰/۱۲۵	۰/۲۳۷	-۰/۲۵۸	۰/۰۸۹	۰/۴۰۱	۰/۹۱۹	-۰/۰۰۴	۰/۹۷۶	۰/۱۰۳	۰/۳۳۲	۰/۰۴۲	۰/۶۹۳
S۲۴	۰/۰۴	۰/۸۰۸	۰/۱۴۴	۰/۱۷۲	۰/۲۴۶	۰/۰۱۹	۰/۰۱۹	۰/۸۶۳	-۰/۱۳۳	۰/۲۰۶	-۰/۱۶۱	۰/۱۲۰	۰/۱۳۱	۰/۲۱۳	-۰/۲۳۸	۰/۰۲۳	۰/۰۷۹	۰/۵۴۴	-۰/۰۱۵	۰/۸۹۵	۰/۱۷۸	۰/۰۹۱	۰/۰۰۴	۰/۹۷۶
S۲۵	۰/۰۱۹	۰/۸۶۳	۰/۱۵	۰/۱۵۴	۰/۲۱۸	۰/۰۳۸	۰/۶۵	۰/۵۴۴	-۰/۱۳۳	۰/۲۰۶	-۰/۱۶۲	۰/۱۲۴	۰/۱	۰/۳۴۲	-۰/۲۲۸	۰/۰۳	۰/۰۴۹	۰/۶۴۹	-۰/۰۲۹	۰/۷۹۳	۰/۱۹۲	۰/۰۲۷	۰/۰۳۸	۰/۷۲۳
S۲۶	-۰/۰۲۲	۰/۶۹	۰/۱۴۶	۰/۱۶۶	۰/۲۲	۰/۰۳۶	۰/۱۰۷	۰/۳۱۲	-۰/۰۹۴	۰/۳۳۳	-۰/۱۶۵	۰/۱۱۷	۰/۰۱	۰/۳۳۷	-۰/۲۲۲	۰/۰۳۵	۰/۰۱۹	۰/۸۶۳	-۰/۰۴۲	۰/۶۹۳	۰/۱۶۲	۰/۱۲۴	۰/۰۴	۰/۷۰۸
S۲۷	-۰/۰۳۲	۰/۶۹	۰/۲۰۵	۰/۰۵۱	۰/۳۳	۰/۰۰۲	۰/۱۲۵	۰/۳۳۷	-۰/۱۲۵	۰/۲۳۷	-۰/۱۹۱	۰/۰۶۹	۰/۱۵	۰/۱۵۴	-۰/۲۲۴	۰/۰۳۳	۰/۰۱	۰/۹۳۶	-۰/۰۰۶	۰/۹۶	۰/۰۷۴	۰/۴۸۵	۰/۰۲۷	۰/۸
S۲۸	-۰/۰۶۱	۰/۵۶۴	۰/۰۴۷	۰/۶۶۴	۰/۲۶۸	۰/۰۱۱	۰/۲۵	۰/۸۱۶	-۰/۱۲۵	۰/۲۳۷	-۰/۱۹۵	۰/۶۴	۰/۱۶۱	۰/۱۲۷	-۰/۲۱۳	۰/۰۴۳	۰/۰۷۴	۰/۴۸۵	-۰/۰۰۴	۰/۹۷۶	۰/۰۷۴	۰/۴۸۵	-۰/۰۶۸	۰/۵۲۴
S۲۹	-۰/۰۱۸	۰/۶۲۲	-۰/۰۰۴	۰/۹۷۶	۰/۱۵۶	۰/۱۳۲	۰/۰۱۸	۰/۸۷۱	-۰/۲۲۲	۰/۰۳۵	-۰/۱۵۱	۰/۰۶۹	۰/۱۷۲	۰/۰۹۹	-۰/۲۱۹	۰/۰۳۷	-۰/۰۹۵	۰/۳۳۸	۰/۹۴۴	۰/۰۲۲	۰/۸۴	۰/۰۱۱	۰/۳۳۲	۰/۳۳۲
S۳۰	-۰/۱۲۱	۰/۲۵۳	-۰/۰۰۳	۰/۷۸۵	۰/۰۴۳	۰/۶۸۶	۰/۰۴۷	۰/۶۶۴	-۰/۳۱۷	۰/۰۰۲	-۰/۱۸۶	۰/۰۷۷	۰/۱۸۲	۰/۰۸۴	-۰/۰۲۳	۰/۰۲۸	-۰/۰۱	۰/۳۴۲	-۰/۰۱۳	۰/۹۱۱	-۰/۰۰۱	۱	-۰/۱۲۳	۰/۲۴۵
S۳۱	-۰/۰۰۸	۰/۹۴۴	۰/۰۹۱	۰/۳۹	۰/۱۳۱	۰/۲۱۳	۰/۰۸۲	۰/۴۳۶	-۰/۱۳۳	۰/۲۰۶	-۰/۱۹۲	۰/۰۶۷	۰/۱۵۸	۰/۱۳۴	-۰/۳۰۶	۰/۰۰۴	۰/۰۵۲	۰/۶۱۷	-۰/۰۱۶	۰/۸۸۷	۰/۰۲۶	۰/۵۲۷	-۰/۰۱۵	۰/۸۹۵
S۳۲	-۰/۰۳۱	۰/۷۷۷	۰/۰۳۸	۰/۷۳۳	۰/۱۹	۰/۰۷	۰/۱۱۲	۰/۳۸۸	-۰/۱۴۴	۰/۱۷۲	-۰/۰۲۴	۰/۰۲۲	۰/۱۹۲	۰/۰۷۳	-۰/۲۴۹	۰/۰۱۷	۰/۰۴۲	۰/۶۹۳	۰/۰۲۲	۰/۸۴	۰/۱۳۷	۰/۱۹۲	۰/۰۰۲	۰/۹۹۲
S۳۴	۰/۰۱۷	۰/۸۷۹	۰/۰۶۳	۰/۵۵۱	۰/۰۸۴	۰/۰۴۳	۰/۰۴۹	۰/۶۴۹	-۰/۱۷۳	۰/۰۹۹	-۰/۱۹۹	۰/۰۵۹	۰/۱۸۸	۰/۰۷۳	-۰/۲۲۸	۰/۰۳	۰/۰۴۷	۰/۶۶۴	-۰/۰۰۳	۰/۹۸۴	۰/۱۷۸	۰/۰۹۱	۰/۰۱۸	۰/۸۷۱
S۳۵	-۰/۰۰۷	۰/۹۵۲	۰/۰۴۹	۰/۶۴۹	۰/۰۴۴	۰/۶۹۳	۰/۰۳۴	۰/۵۵۴	-۰/۱۸	۰/۰۸۷	-۰/۱۸۸	۰/۰۷۳	۰/۱۵۲	۰/۱۴۸	-۰/۲۱۶	۰/۰۲۴	۰/۰۴۲	۰/۶۹۳	۰/۰۲۴	۰/۹۶	۰/۱۵۴	۰/۱۴۲	۰/۰	۱
S۳۶	-۰/۰۵۵	۰/۸۳۸	۰/۰۱۹	۰/۸۶۳	۰/۰۴	۰/۰۸	۰/۰۵۷	۰/۵۹۲	-۰/۱۶۷	۰/۱۱۲	-۰/۱۸	۰/۰۸۷	۰/۱۳۲	۰/۱۴۸	-۰/۲۱۶	۰/۰۴	۰/۰۵۳	۰/۶۲	-۰/۰۳۲	۰/۷۹۶	۰/۱۲۵	۰/۲۳۷	۰/۰۱۵	۰/۸۹۵
S۳۷	-۰/۰۹۵	۰/۳۳۸	۰/۰۲۷	۰/۸	۰/۰۷۶	۰/۴۷۳	۰/۰۵۱	۰/۶۳۴	-۰/۱۶۳	۰/۱۲۲	-۰/۱۹	۰/۰۷	۰/۱۴۸	۰/۱۶	-۰/۱۶۴	۰/۱۱۹	۰/۰۱۳	۰/۹۱۱	-۰/۰۰۶	۰/۹۶	۰/۰۷۵	۰/۴۷۹	۰/۰۱۳	۰/۹۱۱
S۳۸	-۰/۱۱۴	۰/۲۷۹	۰/۰۱۹	۰/۸۳۳	۰/۰۵۵	۰/۴۷۹	۰/۰۳۶	۰/۷۳۹	-۰/۲۳۷	۰/۰۳۴	-۰/۱۹۷	۰/۰۶۱	۰/۲۰۱	۰/۰۵۲	-۰/۱۷۵	۰/۰۹۵	-۰/۰۲۲	۰/۸۴	-۰/۰۱۷	۰/۸۷۹	۰/۰۳۸	۰/۷۲۳	-۰/۰۵۱	۰/۶۳۵
S۳۹	-۰/۰۱۱	۰/۳۳۷	-۰/۰۰۴	۰/۹۷۶	۰/۰۶۶	۰/۰۵۳	۰/۰۱۶	۰/۸۸۷	-۰/۲۳۶	۰/۰۲۵	-۰/۱۶۱	۰/۱۲۰	۰/۲۳۷	۰/۰۴۴	-۰/۱۹۲	۰/۰۶۷	-۰/۰۵۱	۰/۶۳۵	-۰/۰۵۱	۰/۵۹۲	۰/۰۹۳	۰/۳۷۹	-۰/۰۶۳	۰/۵۵۱
S۴۱	-۰/۰۳۸	۰/۷۷۷	۰/۰۲۵	۰/۸۱۶	۰/۱۸۸	۰/۰۹۱	۰/۶۳	۰/۵۵۱	-۰/۱۳۳	۰/۲۰۶	-۰/۰۷۲	۰/۴۹۸	۰/۰۸۲	۰/۴۳۶	-۰/۰۲۹	۰/۰۰۶	۰/۰۳	۰/۷۸۵	-۰/۰۶۵	۰/۵۴۴	۰/۰۷۴	۰/۸۷۹	-۰/۰۰۲	۰/۹۹۲
S۴۲	-۰/۰۱۶	۰/۸۳۳	-۰/۰۰۳	۰/۹۷۶	۰/۱۱۲	۰/۱۳۲	۰/۰۱۸	۰/۳۳۷	-۰/۱۰۸	۰/۲۲۲	-۰/۱۵۱	۰/۰۶۹	۰/۱۷۲	۰/۰۹۹	-۰/۲۱۹	۰/۰۳۷	-۰/۰۹۵	۰/۳۳۸	۰/۹۴۴	۰/۰۲۲	۰/۸۴	۰/۰۱۱	۰/۳۳۲	۰/۳۳۲
S۴۳	-۰/۰۱۵	۰/۸۹۵	-۰/۰۰۳	۰/۹۸۴	۰/۰۵۷	۰/۵۹۲	۰/۱۲۶	۰/۲۳۳	-۰/۰۵۱	۰/۶۳۵	-۰/۲۴۵	۰/۰۱۹	۰/۱۵۶	۰/۱۳۷	-۰/۲۷۲	۰/۰۱	۰/۰۷	۰/۵۱۱	-۰/۰۶۸	۰/۵۲۴	۰/۰۴۹	۰/۶۴۹	-۰/۰۳۴	۰/۷۵۴
S۴۴	-۰/۰۰۶	۰/۹۶	۰/۰۳۶	۰/۷۳۹	۰/۰۱۲	۰/۹۱۹	۰/۰۹۱	۰/۳۹	-۰/۱۸۶	۰/۰۷۷	-۰/۱۸۶	۰/۰۷۷	۰/۱۷۳	۰/۰۹۹	-۰/۲۴۳	۰/۰۲۱	۰/۰۱۱	۰/۹۲۷	-۰/۰۴۲	۰/۶۹۳	۰/۱۳۵	۰/۱۹۹	-۰/۰۴۷	۰/۶۶۴
S۴۵	-۰/۰۴۱	۰/۷۰۱	۰/۰۲۱	۰/۸۴۸	۰/۰۰۲	۰/۹۹۲	۰/۰۴۴	۰/۶۷۸	-۰/۰۲۲	۰/۰۳۶	-۰/۲۰۵	۰/۰۵۱	۰/۱۴۱	۰/۱۸۲	-۰/۲۵۸	۰/۰۱۴	۰/۰۴	۰/۷۰۸	-۰/۰۱۳	۰/۳۳۲	۰/۱۲۹	۰/۲۲۱	-۰/۰۷	۰/۵۱۱
S۴۶	-۰/۰۷۲	۰/۴۹۸	-۰/۰۳۲	۰/۷۶۹	-۰/۰۲۵	۰/۸۱۶	۰/۰۵۲	۰/۶۲۷	-۰/۲۰۵	۰/۰۵۱	-۰/۲۷۹	۰/۰۰۸	۰/۰۹۴	۰/۳۷۳	-۰/۲۸۳	۰/۰۰۷	۰/۰۶۳	۰/۵۵۱	-۰/۰۱۴	۰/۱۶	۰/۰۷۴	۰/۴۸۵	-۰/۰۷۲	۰/۴۹۸
S۴۷	-۰/۰۶۶	۰/۵۳۷	-۰/۰۳۳	۰/۵۵۱	-۰/۰۰۴	۰/۹۷۶	۰/۰۴۱	۰/۷۰۱	-۰/۱۸۴	۰/۰۸	-۰/۲۸۸	۰/۰۰۶	۰/۱	۰/۳۴۲										

در ماه مارس، از ۴۸ یاخته مورد بررسی، فقط ۸ یاخته S19، S23 تا S28 و S51، دارای روند مثبت معنی دار هستند و ۴۰ یاخته نیز هیچ روند خاصی را تجربه نکردند. بطور کلی در ماه مارس هم شاخص SPI در بیشتر پهنه استان دارای رفتار تصادفی است. شاخص SPI در ماه آوریل نیز مانند دو ماه ژانویه و فوریه بوده و رفتار آن در تمامی یاخته‌ها تصادفی است. در ماه می، ۶ یاخته از ۴۸ یاخته نیز از روند منفی پیروی کرده و وجود روند در سایر یاخته‌ها بی معنی است. ماه ژوئن که یکی از ماه‌های خشک استان گیلان محسوب می‌شود دارای ۱۴ یاخته رونددار منفی است و ۳۶ یاخته باقیمانده نیز دارای رفتار تصادفی بوده و بیانگر آن است که شاخص SPI در اکثر مناطق استان روندی را طی نکرده که بر شدت خشکسالی ماه ژوئن افزوده شود. در ماه ژوئیه فقط ۳ یاخته S9، S19 و S39 از روند مثبت معنی دار پیروی می‌کنند و سایر یاخته‌ها بدون روند بوده و رفتار تصادفی دارند. بطور کلی تغییرات مهمی در شاخص SPI ماه ژوئیه در طول دوره مشاهده نمی‌شود. اما در ماه اوت، روند در شاخص SPI اکثر یاخته‌ها قابل مشاهده بوده و از ۴۸ یاخته مورد بررسی، ۳۸ یاخته از روند منفی تبعیت کرده و ۱۰ یاخته دیگر بدون روند هستند. از اینرو شاخص SPI ماه اوت همانند شاخص RDI این ماه دارای روند منفی معنی دار بوده و بیانگر افزایش شدت خشکسالی در ماه اوت است. رفتار شاخص SPI در ماه‌های سپتامبر، اکتبر، نوامبر و دسامبر کاملاً تصادفی است و هیچگونه روند مثبت یا منفی در ۴۸ یاخته مورد بررسی در گستره استان گیلان مشاهده نمی‌شود. در نتیجه باید گفت بر شدت خشکسالی این ماه‌ها در طی سال‌های ۱۹۸۰ تا ۲۰۲۳ (۴۴ سال) افزوده نشده است.

در راستای تعیین وجود روند در مقادیر RDI و SPI، الگوی فضایی مقادیر آزمون روند من کندانال این دو شاخص به تفکیک ماه‌های مختلف در شکل‌های (۲ و ۳) نمایش داده شده است. نتایج تحلیل الگوی فضایی شاخص RDI به شرح زیر است:

- در شکل (۲) الگوی فضایی تغییرات مقادیر آزمون روند من کندانال شاخص RDI نشان داده شده است. در این ماه مقادیر پایین-پایین (LL) که از روند منفی برخوردار بودند از بخش مرکزی جلگه گیلان شروع شده و در امتداد دره سفیدرود تا منجیل ادامه می‌یابد. در این ناحیه روند منفی خشکسالی در طی دوره ۴۴ ساله حکمفرما بوده و معنی داری روند بازگو کننده افزایش شدت خشکسالی در طول این دوره است. الگوی بالا-بالا (HH) که از روند معنی دار برخوردار نبود، در ارتفاعات جنوب شرق استان قابل مشاهده است. در مجموع اکثر پهنه استان دارای رفتار تصادفی و بی معنی بوده و روند معنی داری در شاخص RDI شناسایی نشد.

- در ماه فوریه الگوی فضایی LL که از روند منفی معنی دار برخوردار است بصورت دو ناحیه جدا از هم قابل شناسایی هستند. بطوریکه ناحیه اول از جلگه مرکزی استان شروع و در راستای دره سفیدرود و ارتفاعات مجاور آن تا منجیل ادامه یافته است. همچنین ناحیه دوم نیز محدوده شهرستان آستارا را پوشش می‌دهد. با وجود الگوی بالا-بالا (HH) در ارتفاعات غربی استان، روند در این ناحیه معنی دار نیست. بنابراین باید گفت قسمت اعظم مساحت استان از رفتار تصادفی پیروی کرده و روند مثبت یا منفی در شاخص RDI وجود ندارد (شکل ۲).

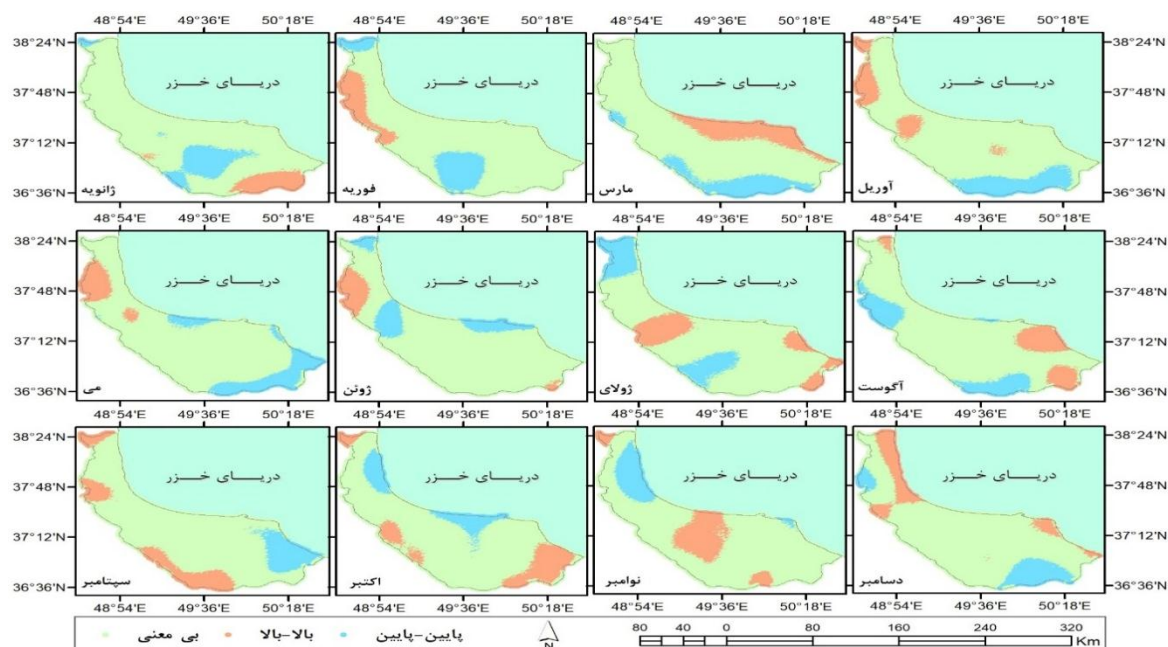
- چنانچه از شکل (۲) پیداست در ماه مارس، بخش کوهستانی نواحی جنوبی استان تا ارتفاعات ماسوله و بخش کوهستانی غرب و شمال غرب آن از الگوی فضایی LL پیروی کرده و روند منفی معنی دار بر این نواحی حاکم است. بنابراین شدت خشکسالی نواحی مورد نظر در طی دوره ۴۴ ساله افزایش یافته است. در سایر مناطق استان روند معنی داری در مقادیر آزمون من کندانال شاخص RDI مشاهده نشده و الگوی فضایی آن تصادفی است. البته

مناطق ساحلی و جلگه‌ای استان از شهرستان انزلی تا منتهی‌الیه شهرستان رودسر با الگوی فضایی HH مشخص شده است. اما این به معنی روند مثبت معنی‌دار شاخص RDI که بیانگر افزایش شدت ترسالی‌ها باشد نیست.

– در ماه آوریل رفتار تصادفی بر تمامی مقادیر RDI یاخته‌های مورد بررسی تسلط دارد (شکل ۲). اما وجود الگوی بالا-بالا (HH) بصورت سه هسته مجزا در مرکز، غرب و شمال غرب و همچنین الگوی پایین-پایین (LL) در ارتفاعات جنوبی استان نیز بر اساس مقادیر تصادفی آزمون من کندانال شناسایی شده است. زیرا براساس جدول (۳)، یاخته‌ها روند مثبت یا منفی در طی دوره مورد مطالعه نشان ندادند.

– در شکل (۲) الگوی فضایی آزمون من کندانال یاخته‌های ماه می شاخص RDI آورده شده است. همانگونه که از شکل پیداست در بخش شرقی استان گیلان الگوی فضایی پایین-پایین (LL) با روند منفی معنی‌دار مشاهده می‌شود. این الگو بصورت هلالی شکل از جلگه تا کوهستان را در بر می‌گیرد. علاوه بر این، در ناحیه ساحلی و جلگه‌ای شهرستان‌های رشت و انزلی الگوی LL با روند منفی معنی‌دار شکل گرفته است. در سایر مناطق استان که قسمت اعظم مساحت آن را شامل می‌شود رفتار شاخص RDI از نوع تصادفی است.

– براساس نتایج آزمون روند من کندانال شاخص RDI در جدول (۳) مشخص شد که در ماه ژوئن بیشتر یاخته‌ها از روند منفی معنی‌دار تبعیت می‌کنند. بر این اساس شدت خشکسالی ماه ژوئن در طی دوره ۱۹۸۰ تا ۲۰۲۳ افزایش یافته است. بعبارت دیگر، شدت مقادیر منفی شاخص RDI زیاد شده است. در این راستا، شدیدترین روند منفی در سه ناحیه کاملاً مشخص و متمایز از هم، الگوی پایین-پایین (LL) را شکل داده است. الگوی LL در ناحیه ساحلی و جلگه‌ای گیاشهر و شهرستان رشت، شمال غربی استان یعنی شهرستان آستارا و ناحیه ساحلی و جلگه‌ای شهرستان هشترت تا ارتفاعات غرب استان در راستای شمالی-جنوبی را در بر می‌گیرد (شکل ۲).



شکل ۲: الگوی فضایی شاخص RDI ۴۸ یاخته استان گیلان به روش I موران محلی

Figure 2: Spatial pattern of the RDI index for 48 cells in Gilan Province using the Local Moran's I method

- تجزیه و تحلیل الگوی فضایی آزمون روند من کندال شاخص RDI در ماه ژوئیه نشان می‌دهد که هر دو خوشه بالا-بالا و پایین-پایین در استان گیلان قابل مشاهده است. البته براساس جدول (۳) فقط دو یاخته S19 و S39 از روند مثبت معنی‌دار برخوردار بودند و ۶۶ یاخته از ۸۴ یاخته مورد بررسی دارای رفتار تصادفی و مقدار بیشتر از صفر بودند. بطور کلی شاخص RDI ماه ژوئیه در طی دوره ۴۴ ساله بالاتر از صفر و افزایشی است، اما آنقدر افزایش پیدا نکرده که تبدیل به روند مثبت معنی‌دار شود. با این وجود الگوی فضایی بالا-بالا (HH) در شرق استان و غرب آن و همچنین الگوی فضایی پایین-پایین (LL) در مرکز استان گیلان به سمت ارتفاعات ماسوله و شمال آن مشاهده می‌شود (شکل ۲).
- ماه اوت خشک‌ترین ماه استان گیلان محسوب شده و از نظر زمان، شدت و پهنه درگیر با خشکسالی نسبت به ماه‌های دیگر از اهمیت بیشتری برخوردار است. براساس جدول (۳) فقط ۵ یاخته دارای رفتار تصادفی و بدون روند بودند و ۴۳ یاخته دیگر رفتارشان از نوع روند منفی معنی‌دار بوده است. با این حال، الگوی فضایی HH که منطبق بر روند منفی معنی‌دار است به صورت دو هسته جدا از هم در شرق استان گیلان و یک هسته کوچک واقع در شمال غرب آن مشخص شده است. اما شدیدترین روند منفی در مناطق با الگوی فضایی LL اتفاق افتاده است. این الگو با سه هسته کاملاً مشخص در شکل (۲) مشخص شده است. هسته اول منطبق بر ارتفاعات جنوبی استان، هسته دوم بصورت یک پهنه خیلی کوچک در بخش ساحلی و جلگه‌ای شهرستان رشت و هسته سوم نیز ارتفاعات غربی آن را در بر می‌گیرد. در مجموع روند منفی شاخص RDI ماه ژوئیه حکایت از افزایش شدت خشکسالی در طی دوره ۴۴ ساله دارد.
- بر اساس نتایج آماره من کندال شاخص RDI در جدول (۳) مشخص شد که هیچگونه روند مثبت یا منفی در شاخص RDI ماه سپتامبر در طی دوره ۴۴ ساله (۱۹۸۰ تا ۲۰۲۳) وجود ندارد. با این حال، براساس مقادیر تصادفی آماره من کندال شاخص RDI، سه الگوی فضایی بالا-بالا در ارتفاعات جنوبی، غربی و شمال غربی و یک الگوی LL در شرق استان گیلان مشاهده می‌شود (شکل ۲).
- طبق نتایج محاسبه آماره من کندال شاخص RDI در جدول (۳) کاملاً مشخص است هیچگونه اثری از روند مثبت یا منفی مقدار RDI ماه اکتبر مشاهده نمی‌شود. با این وجود براساس مقادیر بدون روند و تصادفی آزمون من کندال، الگوی بالا-بالا در شرق، جنوب غرب و شمال غرب و همچنین الگوی پایین-پایین در شمال و شمال غرب استان گیلان براساس آماره موران محلی شکل گرفته است (شکل ۲).
- براساس نتایج آزمون روند من کندال شاخص RDI در جدول (۳)، هیچکدام از ۸۴ یاخته ماه نوامبر در گستره استان گیلان روند مثبت یا منفی معنی‌دار نداشتند. در نتیجه رفتار شاخص RDI در طول ۴۴ سال تصادفی بوده است. با این حال، الگوی فضایی بالا-بالا به صورت سه ناحیه جدا از هم در جنوب، مرکز و شمال غرب و الگوی فضایی پایین-پایین با دو هسته مستقل در ناحیه ساحلی و جلگه‌ای کیشهر و شمال غرب استان گیلان مشاهده می‌شود (شکل ۲).
- ماه دسامبر مانند ماه نوامبر، رفتار تصادفی بر مقادیر شاخص RDI به روش آزمون من کندال حاکم است (به استثنای S17)، بنابراین کل ناحیه مورد مطالعه هیچگونه روند مثبت یا منفی معنی‌داری را در طول دوره ۴۴ ساله (۱۹۸۰ تا ۲۰۲۳) تجربه نکرده است. براساس مقادیر تصادفی شاخص RDI، الگوی فضایی بالا-بالا (HH) در

شرق و شمال غرب و الگوی فضایی پایین-پایین (LL) در ارتفاعات جنوبی و شمال غربی استان گیلان شکل گرفته و بصورت خوشه نمایان شده است (شکل ۲).  
در همین راستا، نتایج تحلیل الگوی فضایی آزمون من کندال مقادیر SPI با استفاده از آماره I موران محلی به شرح زیر است:

- براساس جدول (۴) در هیچ یک از ۴۸ یاخته ماه ژانویه در پهنه استان گیلان روند مثبت و منفی در شاخص SPI مشاهده نشد. اما براساس مقادیر تصادفی آماره من کندال، دو الگوی پایین-پایین (LL) در ناحیه جلگه‌ای و ساحلی شرق و شمال غرب و الگوی بالا-بالا (HH) در ارتفاعات جنوبی استان گیلان و بصورت لکه کوچکی در شمال غرب آن ظاهر شده است (شکل ۳).

- در ماه فوریه هم مانند ماه ژانویه هیچ گونه روند مثبت یا منفی معنی‌داری در آزمون من کندال شاخص SPI مشاهده نشد. با این وجود، الگوی فضایی آزمون روند من کندال شاخص SPI در استان گیلان نشان می‌دهد که الگوی پایین-پایین (LL) در شهرستان‌های شمال غرب آن یعنی هشتر، تالش و آستارا و الگوی بالا-بالا (HH) در راستای شرقی-غربی در نیمه جنوبی و مرکزی استان قابل مشاهده است. در مجموع رفتار شاخص SPI در گستره استان از نوع تصادفی و بدون روند است (شکل ۳).

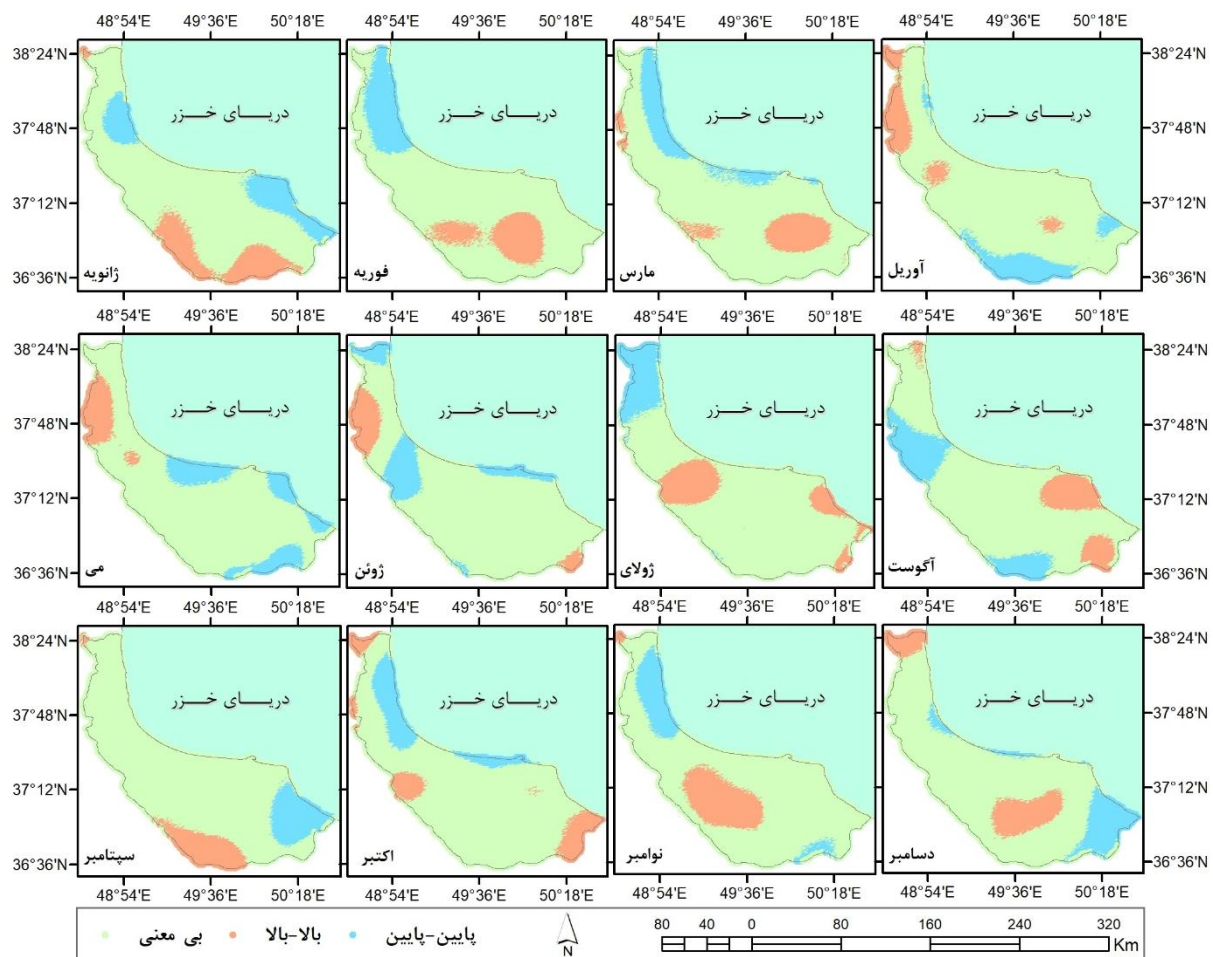
- در ۸ یاخته از ۴۸ یاخته مورد بررسی ماه مارس، روند مثبت معنی‌دار در شاخص SPI وجود دارد. به عبارت دیگر بارش یاخته‌های S19، S23 تا S28 و S51 افزایشی بوده که روند شاخص SPI هم مثبت شده است. از اینرو در یاخته‌های فوق، روند مثبت و شرایط ترسالی نسبت به سایر بخش‌های استان در طی دوره حاکم بوده است. در سایر نواحی نیز رفتار شاخص SPI از نوع تصادفی و بدون روند بوده است. الگوی فضایی روند شاخص SPI در ماه مارس نشان می‌دهد که الگوی بالا-بالا (HH) بصورت هسته‌های جدا از هم در بخش شرقی، مرکزی، غربی و شمال غرب آن شکل گرفته و بیانگر روند مثبت شاخص SPI است. همچنین الگوی پایین-پایین (LL) بدون روند نیز در نوار ساحلی و جلگه‌ای استان از کیشهر تا آستارا بطور پیوسته ادامه دارد (شکل ۳).

- ماه آوریل از جمله ماه‌هایی است که رفتار تصادفی بر آزمون روند من کندال شاخص SPI حاکم است. در این ماه دو الگوی بالا-بالا و پایین-پایین بر رفتار تصادفی شاخص خشکسالی SPI تسلط دارد، بطوریکه نواحی جنوبی، شرقی و شمال غرب از الگوی LL و نواحی شرقی، غربی و شمال غربی استان نیز از الگوی HH پیروی می‌کنند (شکل ۳).

- نتایج بدست آمده از تحلیل آماره من کندال روند شاخص SPI ماه می نشان می‌دهد که در ۶ یاخته از ۴۸ یاخته روند منفی مشاهده می‌شود. بعبارت دیگر، شاخص SPI یاخته‌های مورد نظر دارای روند منفی در طول ۴۴ سال بوده و بر شدت خشکسالی یاخته‌ها افزوده شده است. در سایر یاخته‌ها روند مثبت یا منفی معنی‌دار مشاهده نشد. الگوی فضایی پایین-پایین که منطبق بر روند منفی معنی‌دار است در جنوب و شرق استان تشکیل شده و الگوی بالا-بالا در ناحیه غربی استان قابل مشاهده است. البته باید گفت در اینجا الگوی بالا-بالا به مفهوم معنی‌داری روند مثبت آماره من کندال نیست. سایر نواحی استان گیلان نیز دارای رفتار تصادفی و بدون روند هستند (شکل ۳).

– در ماه ژوئن روند بارش معنی دار شده و به تبعیت از آن شاخص SPI نیز در برخی از یاخته معنی دار می شود. در مجموع از ۴۸ یاخته، ۱۴ یاخته آن دارای روند منفی معنی دار بودند. الگوی فضایی مقادیر منفی همراه با روند نیز بصورت پهنه های با مقادیر پایین-پایین (LL) در جنوب، شمال، غرب و شمال غرب استان مشاهده می شوند. تنها الگوی بالا-بالا (HH) که دارای رفتار تصادفی است در غرب استان گیلان شکل گرفته است. در این ماه روند منفی مقادیر SPI و توزیع گسترش آن در استان بیانگر اهمیت خشکسالی و تشدید روند منفی آن در طول دوره ۴۴ ساله است (شکل ۳).

– در ماه ژوئیه بارش در کل دوره افزایشی است، اما افزایش بارش آنقدر نبوده است که دارای روند مثبت معنی دار باشد. در نتیجه تمامی یاخته های مورد بررسی در استان، افزایش بارش را تجربه کرده اند. اما یاخته های S9، S19 و S39 دارای روند مثبت معنی دار بوده و الگوی بالا-بالا (HH) در شرق گیلان حکایت از روند مثبت بارش و به تبع آن شاخص SPI دارد. در سایر نواحی استان رفتار تصادفی مثبت (بیشتر از صفر) بر بارش و شاخص SPI غلبه دارد (شکل ۳).



شکل ۳: الگوی فضایی شاخص SPI ۴۸ یاخته استان گیلان به روش I موران محلی

Figure 3: Spatial pattern of the SPI index for 48 cells in Gilan Province using the Local Moran's I method

- خشک‌ترین ماه استان گیلان براساس شاخص SPI نیز ماه اوت است. در این ماه از ۴۸ یاخته مورد بررسی، فقط ۱۰ یاخته بدون روند بودند. بقیه یاخته‌ها از روند منفی معنی‌دار پیروی می‌کنند. تحلیل الگوی فضایی مقادیر SPI با استفاده از I موران محلی نشان می‌دهد که الگوی بالا-بالا (HH) که منطبق بر بیشترین مقادیر روند منفی است در جنوب و غرب استان شکل گرفته است. سایر مناطق استان به استثنای ۱۰ یاخته S7 تا S9، S37 تا S39، S73 و S81 تا S83 که رفتار تصادفی دارند بقیه یاخته‌ها دارای روند منفی هستند. در نتیجه ماه اوت بسیار خشک بوده و در طی دوره بر شدت خشکی آن افزوده شده است (شکل ۳).
- نتایج آزمون روند من کندال شاخص SPI در ماه سپتامبر نشان داد که هیچگونه روندی در این شاخص در پهنه استان وجود ندارد. در نتیجه رفتار شاخص SPI در ماه سپتامبر از نوع تصادفی است. با این وجود دو الگوی کاملاً مشخص یعنی HH در ارتفاعات جنوبی و LL در شرق استان قابل مشاهده است. البته یک الگوی HH با مساحت محدود در شمال غرب استان (شهرستان آستارا) شکل گرفته است (شکل ۳).
- در ماه اکتبر نیز مانند ماه سپتامبر، رفتار شاخص SPI در استان گیلان تصادفی است. در نتیجه هیچگونه روندی که تبیین‌کننده جهت‌گیری شاخص SPI به سمت خشکسالی شدیدتر یا ترسالی شدیدتر باشد در این ماه قابل مشاهده نیست. براساس مقادیر تصادفی آزمون من کندال شاخص SPI، الگوی بالا-بالا (HH) در شرق، غرب و شمال غرب استان و الگوی پایین-پایین (LL) در ناحیه ساحلی و جلگه‌ای شمال و شمال غرب آن تشکیل شده است (شکل ۳).
- نتایج بدست آمده از آزمون روند من کندال شاخص SPI در ماه نوامبر نشان‌دهنده رفتار تصادفی مقادیر این شاخص در طول ۴۴ سال (۱۹۸۰ تا ۲۰۲۳) است. در نتیجه براساس مقادیر تصادفی این آزمون، خوشه بالا-بالا (HH) در ناحیه مرکزی استان با تمایل به ارتفاعات غربی آن و خوشه پایین-پایین (LL) بصورت دو ناحیه مجزا از هم در جنوب شرق و شمال غرب استان قابل مشاهده است (شکل ۳).
- در ماه دسامبر نیز رفتار آزمون من کندال شاخص SPI در گستره استان از نوع تصادفی است و هیچ روندی اعم از مثبت یا منفی در آن مشاهده نمی‌شود. در نتیجه براساس مقادیر تصادفی شاخص SPI، الگوی خوشه‌ای بالا-بالا (HH) در مرکز و شمال غرب استان و الگوی خوشه‌ای پایین-پایین (LL) در شرق و مناطق ساحلی شمال آن قابل مشاهده است. در نتیجه باید گفت در چهار ماه سپتامبر، اکتبر، نوامبر و دسامبر، شاخص SPI روند معینی را نشان نداده و نمی‌توان گفت که خشکسالی یا ترسالی در ماه‌های مورد نظر تشدید یا تضعیف شده است، بلکه رفتار آن تصادفی و کاملاً طبیعی است (شکل ۳).

### بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش، تحلیل دقیقی از تغییرات شاخص RDI و SPI در محدوده استان گیلان طی سال‌های ۱۹۸۰ تا ۲۰۲۳ (۴۴ سال) انجام شد. بدین منظور داده‌های دما و بارش استان گیلان بصورت یاخته‌های  $0.25^\circ \times 0.25^\circ$  درجه قوسی از مرکز اروپایی پیش‌بینی میان مدت جو (ECMWF) بمدت ۴۴ سال دریافت گردید. سپس با استفاده از آزمون روند من کندال، نوع روند شاخص RDI و SPI و معنی‌داری آنها تعیین گردید. علاوه بر این، الگوی فضایی آماره من کندال این دو شاخص خشکسالی در گستره استان گیلان با استفاده از شاخص I موران محلی (ALMI)

تعیین شد. بررسی روند شاخص RDI و SPI استان گیلان نشان داد که روند منفی در هر دو شاخص در ماه‌های گرم سال اتفاق افتاده و بر شدت این پدیده در دهه‌های گذشته افزوده شده است. (Bahrami et al (2019) نشان دادند که شدت خشکسالی طبقات ۴ و ۳ شاخص SPI بیشترین فراوانی رخداد را داشته‌اند، در حالی که طبقه ۶ و ۷ کمترین فراوانی وقوع را داشته‌اند. همچنین سری زمانی شاخص SPI ی ۸۴/۲۱ درصد ایستگاه‌های مورد بررسی در گستره ایران در طی سال‌های ۱۹۶۷ تا ۲۰۱۴ با روند منفی رو به رو بوده است. (Shafizadeh et al(2016) تغییرپذیری مکانی-زمانی روند خشکسالی را با شاخص RDI در گستره ایران بررسی و نتیجه گرفتند که ۸۹ درصد از ایستگاه‌های مورد مطالعه روند کاهشی در شاخص RDI را نشان می‌دهند. همچنین (Asadi Zareh et al (2011 معتقدند در طی سال‌های ۱۹۹۹ و ۲۰۰۰، بخش‌های مرکزی، شرقی و جنوب شرقی ایران با شرایط خشکسالی فرین مواجه بوده است. مطابق با روند شاخص RDI و SPI سایر بخش‌های کشور خشکسالی‌های شدید را تحمل می‌کنند. در نتیجه بین نتایج بدست آمده از روند شاخص RDI و SPI با نتایج تحقیقات سایر محققین در سایر مناطق کشور همسویی داشته و وجود روند در این دو شاخص به تبع وجود روند در متغیرهای بارش و دمای استان گیلان در دوره گرم سال تایید می‌گردد. در نهایت تحلیل فضایی شاخص RDI و SPI نشان داد که الگوی خوشه‌ای بالا-بالا (LL) در ماه‌هایی که روند در متغیرهای مذکور معنی‌دار بود شکل گرفته است. خوشه‌های بالا-بالا (LL) در گستره استان از شرق تا غرب و از جلگه تا کوهستان بصورت هسته‌های جدا از هم قابل مشاهده بودند. در نتیجه توزیع مکانی شاخص RDI و SPI با شاخص I موران محلی (آنسلین) بیانگر وجود ساختار خوشه‌ای در ماه‌هایی است که روند در دو شاخص مورد نظر وجود داشته است.

## References

- Alina, V., Irina, O. (2013). Summer air temperature variability and trends within Oltenia Plain. *Journal of the Geographical Institute "Jovan Cvijic"*, 63 (3), 371-381. <https://doi.org/10.2298/IJGI1303371V>.
- Asadi Zareh, M. A., Malekinezhad, H., Mobin, M. H., Dastorani, M. T., Kousari, M. R. (2011). Drought Monitoring by Reconnaissance Drought Index (RDI) in Iran. *Water Resour Manage*, 25, 3485–3504. <https://doi.org/10.1007/s11269-011-9867-1>
- Bahrami, M., Bazrkar, S., Zarei, A. R. (2019). Modeling, prediction and trend assessment of drought in Iran using standardized precipitation index. *Journal of Water and Climate Change*, 10 (1), 181–196. <https://doi.org/10.2166/wcc.2018.174>
- Chirgwin, R. (2012). **Ocean currents emerge as climate change hot-spots**. The Register, available at <<http://www.theregister.co.uk>> (accessed Feb. 2012).
- Darand, M. (2015). Evaluation and identification of climate change in Iran during recent decades. *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering*, 30, 1–14. [In Persian]
- Derakhshi, J., Sobhani, B., & Jahanbakhsh, S. (2024). Prediction of temperature and precipitation values in upcoming decades using the 2canESM model in the Ahar-Chay watershed. *Journal of Applied Geographical Sciences Research*, 72, 49–64. [In Persian]
- Doulabian, S., Golian, S., Shadmehri Toosi, A., & Murphy, C. (2021). Evaluating the effects of climate change on precipitation and temperature for Iran using RCP scenarios. *Journal of Water and Climate Change*, 12 (1), 166–184. <https://doi.org/10.2166/wcc.2020.114>.
- Gilbert, R. O. (1987). **Statistical methods for environmental pollution monitoring**. Van Nostrand Reinhold Pub: New York.
- Gomez-Gomez, J. D. D., Velazquez, D. P., Collados-Lara, A. J., Chacon, F. F. (2022). The impact of climate change scenarios on droughts and their propagation in an arid Mediterranean basin. A useful approach for planning adaptation strategies. *Science of The Total Environment*, 820, 153128, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153128>.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). (2023). **Climate Change 2022 Mitigation of Climate Change**. Working Group III Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. DOI: 10.1017/9781009157926.
- Marques desa, J. P. (2003). **Applied statistics using Spss, Statistica and Mat lab**. University of parto: Springer pub – ver lag Berlin Heidelberg, pp395.
- Mathbout, S., Martin-Vide, J., & Bustins, J. A. L. (2023). Drought characteristics projections based on CMIP6 climate change scenarios in Syria. *Journal of Hydrology: Regional Studies*. 50, 101581, <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2023.101581>.
- Mirshkaran, Y., Kakapour, V., & Zarei, A. (2021). Assessment of climate change impacts on precipitation and temperature using 4AR models (Case study: Qaresu Watershed, Kermanshah). *Journal of Climate Change Research*, 8, 23–34. [In Persian]
- Nicholson, S. E., Funk, C., Fink, A. H. (2018). Rainfall over the African continent from the 19th through the 21st century. *Global and Planetary Change*, 165, 114-127. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2017.12.014>.

- Piernia, A., Habib-Nezhad Roshan, M., & Soleimani, K. (2015). Temperature and precipitation changes on the southern coasts of the Caspian Sea and their comparison with global and Northern hemisphere variations. *Watershed Management Research Journal*, 11, 90–100. [In Persian]
- Raftery, A. E., Zimmer, A., Frierson, D. M. W., Startz, R., & Liu, P. (2017). Less than 2°C warming by 2100 unlikely. *Nature Climate Change*, 9 (7), 637–641. <https://doi.org/10.1038/nclimate3352>
- Roshani, M., Rezaei, P., & Ganji-Ghofli, S. (2021). Statistical analysis of geographical information using ArcView GIS and ArcGIS. In: David, W., Wong, S., & Li, J., Tehran: Environmental Research Institute, Jihad Daneshgahi Press. [In Persian]
- Roshani, M., Ramazanipour, M., Tatina, M., Robati, M. (2012). [Characteristics of Drought in Three Recent Decades in North of Iran, Guilan Province](#). *American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci*, 12 (1), 115-122.
- Sanford, T., Frumhoff, P. C., Luers, A., & Gullede, J. (2014). The climate policy narrative for a dangerously warming world. *Nature Climate Change*, 4 (3), 164–166. <https://doi.org/10.1038/nclimate2148>
- Shafizadeh, F., Naser-Sadrabadi, A., Rostami, N. (2016). Assessing spatiotemporal variability of drought trend in Iran using RDI index. *Natural Environment Change*, 2 (1), 67- 77.
- Schellnhuber, H. J., Rahmstorf, S., & Winkelmann, R. (2016). Why the right climate target was agreed in Paris. *Nature Climate Change*, 6 (7), 649–653. <https://doi.org/10.1038/nclimate3013>
- Soleimani Sardo, F., & Mesbah-Zadeh. (2020). Prediction of temperature and precipitation using climate change scenarios and statistical downscaling models (Case study: Southern Kerman Province). *Environmental Researches*, 22, 97–110. [In Persian]
- Surampalli, R. Y., Zhang, T. C., Ojha, C. S. P., Gurjar, B., Tyagi, R. D., Kao, C. M. (2013). Impact of Greenhouse Gas Emissions and Climate Change. In: Zhang, T. C., Surampalli, R. Y., PP 92-108.
- Tsakiris, G., & Vangelis, H. (2004). Towards a Drought Watch System Based on Spatial SPI. *Journal of Water Resources Management*, 18, 1–12.
- Zahid, M., Rasul, G. (2010). Rise in Summer Heat Index over Pakistan. *Journal of Meteorology*, 6, <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:133937619>.
- Zarin, A., & Dadashi-Rudbari, A. (2021). Analytical note: Impact of climate change on heavy precipitation in Iran using the CMIP6 HEMADI model. *Water and Sustainable Development*, (4), 119–124. [In Persian]
- Zarin, A., & Dadashi-Rudbari, A. (2023). Investigating the impacts of climate change on water security in Iran. *Water and Sustainable Development*, 1, 37–44. [In Persian]

## Spatial Pattern of Drought Indicators Trend Change in Gilan Province

Leila Haghparast Mojdehi, Department of Geography, Ra.C., Islamic Azad University, Rasht, Iran.  
Bahman Ramazani Gurabi\*, Department of Geography, Ra.C., Islamic Azad University, Rasht, Iran

(Corresponding Author). Email: [Bahman.ramzani@iau.ac.ir](mailto:Bahman.ramzani@iau.ac.ir)

Atoosa Bigdeli, Department of Geography, Ra.C., Islamic Azad University, Rasht, Iran.

Yousef Zein-al-Abedin, Department of Geography, Ra.C., Islamic Azad University, Rasht, Iran.

### Abstract

One of the consequences of changes in temperature and precipitation is drought, the persistence and recurrence of which are associated with destructive environmental impacts. This study investigates drought as the most significant outcome of temperature and precipitation variations. Initially, the required data were obtained from the European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) with a spatial resolution of  $0.25^\circ \times 0.25^\circ$  over a period of 44 years (1980 to 2023). The presence of trends in the Standardized Precipitation Index (SPI) and the Reconnaissance Drought Index (RDI) was determined using the Mann-Kendall test. Additionally, the Local Moran's I statistic (ALMI) was applied to identify the spatial pattern of these indices. The results showed that the RDI exhibited a significant decreasing (negative) trend in the months of March, May, June, and August. In addition to the negative trend in the mean RDI values during March, May, June, and August, a negative trend was also confirmed at the individual grid cells for these months. Spatial analysis using the trend test and Local Moran's I of the drought indices (RDI and SPI) revealed distinct high-high (HH) and low-low (LL) clusters in various parts of the province, ranging from plains to mountainous areas and from east to west, forming separate cores. This indicates a non-random spatial distribution pattern for the RDI and SPI indices.

**Keywords:** Trend, Local Moran's I, SPI, RDI, Gilan Province

### Introduction

Since the Industrial Revolution, the annual global temperature has increased by more than  $1^\circ\text{C}$ . Between 1880 and 1980, the period during which reliable measurements were available, the temperature rose on average by  $0.07^\circ\text{C}$  ( $0.13^\circ\text{F}$ ) per decade. However, since 1981, the rate of increase has more than doubled. In other words, over the past 40 years, the global annual temperature has increased by  $0.18^\circ\text{C}$  per decade, making the planet warmer than ever before. Nine out of the ten warmest years occurred between 1880 and 2005, and all five of the warmest years recorded have been since 2015. Climate scientists now conclude that to avoid a future in which daily life worldwide is confronted with the most severe and destructive impacts of climate change—such as extreme droughts, wildfires, floods, tropical storms, and other natural disasters—global warming must be limited to  $1.5^\circ\text{C}$  by 2040 (IPCC, 2023; Surampalli et al., 2013; Chirgovin, 2012).

At the 21st Conference of the Parties to the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) in late 2015, it was decided to limit the increase in global mean surface temperature to less than  $2^\circ\text{C}$  above pre-industrial levels. However, if the current greenhouse gas emission pathway continues, achieving the  $2^\circ\text{C}$  target will be challenging and will require fundamental changes across all sectors of modern society (Sanford et al., 2014; Schellnhuber et al., 2016). Recent studies indicate that the potential range of global temperature increase could be between  $2$  and  $4.9^\circ\text{C}$ , making warming levels of  $1.5$ ,  $2$ ,  $3$ , and  $4^\circ\text{C}$  important milestones not only for mitigation but also for understanding the expected impacts of climate change (Raftery, 2017).

Studies have shown significant changes in climatic variables, including temperature and precipitation, across Iran and the world. One of the most critical consequences of changes in temperature and precipitation is drought, as intensified and prolonged droughts cause severe damage to animal and plant ecosystems, water resources, and other environmental components. For instance, studies on temperature and precipitation changes along the southern Caspian Sea coasts, compared with global and Northern Hemisphere trends, indicate that a decrease in temperature leads to reduced precipitation, whereas an increase in temperature results in higher precipitation (Pirnia et al., 2015). Evaluations of extreme heat indices such as summer hot days, warm days, warm nights, and tropical nights in Iran indicate an increasing trend, while cold indices—including frost days, icy days, cold nights, and cold days—show decreasing trends. Heatwaves are becoming longer, while cold waves are shorter, and overall, the frequency of extreme precipitation events is rising (Darand, 2015).

Moreover, studies by Soleimani Sardu and Mesbahzadeh (2020), Zarrin and Dadashi Roudbari (2021, 2023), Mirshekari et al. (2021), Derakhshi et al. (2024), and Dolabian et al. (2021) confirm significant changes in temperature and precipitation as well as irregular spatial and temporal patterns of these variables in Iran's future climate. Similarly, research by Zahed and Rasool (2010) in Pakistan, Alina and Irina (2013) in the Oltenia Plain, Nicholson et al. (2018) in Africa, Gomez et al. (2022) in the Mediterranean region, and Metbout et al. (2023) in Syria suggests that extreme changes in temperature and precipitation are likely in the future of these regions. Given the direct influence of drought on temperature and precipitation changes, this phenomenon poses increasing threats to human societies in the future.

According to predictions, West Asia and Iran will experience significant changes in some meteorological phenomena in the coming years, with these phenomena manifesting differently across space and time. Based on IPCC reports from the First Assessment Report (FAR) to AR6, the trend of rising temperatures due to increased greenhouse gas concentrations is clear, and different regions of the Earth respond differently to increases in temperature and precipitation (IPCC, 2023). Therefore, future climate scenarios have been developed to simulate the Earth's climate up to 2100. These projections indicate that meteorological phenomena, such as droughts, will become more intense and frequent with a 1.5°C increase in global temperature. Consequently, the vulnerability of natural and human communities to climate variability will increase.

Considering the sensitive ecosystem of the southern Caspian Sea region and its susceptibility to extreme future climate changes, it is crucial to study drought conditions in Gilan Province. Accordingly, this research aims to examine the temporal patterns of drought in this region. Furthermore, spatial analysis of drought can assist managers and policymakers across various sectors in anticipating future climatic conditions in Gilan Province.

## Materials and Methods

To analyze the spatial trends of the SPI and RDI indices in Gilan Province, monthly temperature, precipitation, and evapotranspiration data over a period of 44 years (1980–2023) were used. Evapotranspiration was calculated using the Thornthwaite method. Required data were obtained from the European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF). The latest ECMWF reanalysis dataset, known as ERA5, provides high-resolution atmospheric data from 1979 to the present. The data are gridded, and for this study, the geographic extent of Gilan Province between 36°33' and 38°27' N latitude and 48°32' and 50°36' E longitude was selected for data extraction. Each grid cell measures 0.25° × 0.25° in arc degrees, forming a 9 × 10 row-column matrix, covering 90 grid cells in total. In Figure 1, the grid cells are shown in accordance with the boundaries of Gilan Province. In other words, out of the 90 cells, only 48 cells were selected for the analysis.

## Discussion and Conclusion

In this study, a detailed analysis of the RDI and SPI indices in Gilan Province over the period 1980–2023 (44 years) was conducted. For this purpose, temperature and precipitation data of Gilan Province were obtained from the European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) in  $0.25^\circ \times 0.25^\circ$  grid cells for 44 years. The Mann–Kendall trend test was then used to determine the type and significance of trends in the RDI and SPI indices. Additionally, the spatial pattern of the Mann–Kendall statistic for these two drought indices across Gilan Province was analyzed using the Local Moran's I (ALMI) index.

The trend analysis of the RDI and SPI indices showed that negative trends occurred in both indices during the warm months, increasing the intensity of this phenomenon over the past decades. Bahrami et al. (2019) reported that drought severity levels 3 and 4 of the SPI index had the highest frequency, while levels 6 and 7 had the lowest frequency. Moreover, the SPI time series for 84.21% of the stations studied across Iran during 1967–2014 exhibited a decreasing trend. Shafi'zadeh et al. (2016) examined the spatiotemporal variability of drought trends using the RDI index in Iran and concluded that 89% of the stations showed a decreasing trend in the RDI index. Asadi Zare et al. (2011) also reported that in 1999 and 2000, central, eastern, and southeastern Iran experienced extreme drought conditions. According to the trends of RDI and SPI indices, other regions of the country also experienced severe droughts. Therefore, the results obtained for RDI and SPI trends are consistent with findings from other researchers in different regions of Iran, confirming that trends in these two indices reflect trends in precipitation and temperature during the warm season in Gilan Province.

Finally, the spatial analysis of RDI and SPI indices revealed that high–high (HH) clusters formed in months where trends in the variables were significant. These HH clusters were observed across the province from east to west and from lowlands to mountainous areas as separate cores. Consequently, the spatial distribution of RDI and SPI, as indicated by the Local Moran's I (Anselin) index, demonstrates a clustered structure in the months where significant trends were observed in these two indices.