

## بررسی تمرکز زمانی و روند بارش زمستانی ایستگاه‌های مرزی ایران طی نیم قرن اخیر

کیوان خلیلی<sup>۱</sup> - محمد ناظری تهرودی<sup>۲</sup> - رسول میرعباسی نجف آبادی<sup>۳</sup> - فرشاد احمدی<sup>۴\*</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۲/۰۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۶/۱۰

### چکیده

جنبه‌های مختلف پدیده بارندگی به عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل هواشناسی که به صورت مستقیم، دسترسی به منابع آب را تحت تأثیر قرار می‌دهد از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در این مطالعه شاخص تمرکز زمانی بارش (PCI) با استفاده از داده‌های بارش ماهانه ایستگاه‌های سینوپتیک مرزی ایران در دوره آماری ۲۰۱۰-۱۹۶۱ محاسبه و روند تغییرات آن مورد ارزیابی قرار گرفت. جهت بررسی دقیق‌تر تغییرات PCI، دوره آماری مورد نظر به دو زیربازه ۲۵ ساله تقسیم گردید. نتایج حاصله نشان داد که شاخص PCI در مناطق جنوبی کشور، شامل ایستگاه‌های بندرعباس، زاهدان، بیرجند، بوشهر و اهواز نشان‌دهنده وجود بی‌نظمی زیاد و پراکندگی بالا در ریزش‌های جوی بوده و در هیچ‌یک از ایستگاه‌های مورد مطالعه، تمرکز زمانی یکنواخت ( $PCI < 10$ ) مشاهده نشد. نتایج بررسی روند تغییرات شاخص مذکور در دوره آماری ۲۰۱۰-۱۹۶۱ نشان داد که روند شاخص PCI در فصل زمستان در ۸ و ۱۰ ایستگاه به ترتیب افزایش و کاهش غیرمعنی‌دار (سطح ۵ درصد) داشته است. بررسی روند تغییرات بارش نیز حاکی از آن است که در فصل زمستان که تأمین‌کننده بخش زیادی از نیاز آبی کشور می‌باشد، ۶۷٪ از ایستگاه‌ها با روند کاهشی در بارش مواجه شده‌اند که متعاقباً افزایش شاخص PCI را نیز در این فصل به‌همراه داشته است.

واژه‌های کلیدی: ایران، شاخص تراکم بارش، روند، زمستان، من - کندال

### مقدمه

زیرزمینی، ذخائر آب سطحی و برف، استفاده از شاخص‌هایی برای بیان تغییرات آن ضروری به نظر می‌رسد. از جمله این شاخص‌ها می‌توان، به شاخص بارش استاندارد شده (SPI<sup>۵</sup>) و شاخص تمرکز بارش (PCI<sup>۶</sup>) اشاره نمود (۱۴). شاخص SPI از جمله شاخص‌های کاربردی در اکثر مطالعات بوده در حالی که شاخص PCI در سال‌های اخیر معرفی و مورد توجه قرار گرفته است (۱۴). شاخص تمرکز باران (PCI) یک شاخص توانمند از توزیع زمانی باران است که معمولاً در مقیاس سالانه مورد استفاده قرار می‌گیرد. افزایش مقدار این ضریب، به این معنی است که تمرکز بارش در منطقه افزایش یافته است. علاوه، PCI بخشی از شاخص مشهور فورنیه است که یک پیشینه قوی در تحلیل سیستم‌های طبیعی مانند فرسایش خاک دارد (۱۶). نتایج حاصل از محاسبه PCI می‌تواند برای برنامه‌های مدیریتی هیدرولوژیک، منابع آب و محیطی به‌عنوان یک ابزار هشدار دهنده برای آمادگی در مواجهه با سیل یا فرسایش مورد استفاده قرار گیرد (۱). توزیع نامتعادل بارندگی به‌معنی بروز خشکسالی بوده و ممکن است بارشی کمتر از مقدار میانگین منطقه سبب بروز سیلاب‌های خطرناک نیز گردد (۱۴). چرا که رطوبت خاک کاهش و در نتیجه

تغییرات اقلیمی در عصر حاضر یکی از چالش‌های مهم زیست محیطی می‌باشد. درک ما از تأثیرات بشر روی محیط، به‌ویژه آن‌هایی که در ارتباط با گرم شدن ناشی از افزایش گازهای گلخانه‌ای هستند، نشان می‌دهد که تعدادی از پارامترها به احتمال زیاد در حال تغییر می‌باشند. بر اساس گزارش‌های علمی، متوسط دمای هوای سطح زمین طی قرن بیستم در حدود ۰/۶ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است و انتظار می‌رود که مقدار تبخیر نیز روندی صعودی داشته باشد. در این صورت اتمسفر قادر خواهد بود تا مقادیر بیشتری از بخار آب را جا به جا کرده و در نتیجه مقدار ریزش‌های جوی تحت تأثیر قرار خواهد گرفت (۱۴). کم‌بودن مقدار بارش و نوسانات شدید آن در مقیاس‌های زمانی روزانه، فصلی و سالانه از ویژگی‌های ذاتی اقلیم ایران می‌باشد. با توجه به تأثیرات بارندگی بر منابع آب مانند آب

۱- استادیار، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

۲- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند

۳- استادیار، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

۴- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید

چمران اهواز

\*- نویسنده مسئول: (Email: farshad.paper@yahoo.com)

پوشش گیاهی نیز از بین می‌رود. در نهایت این امر سبب افزایش تدابیر حفاظتی در حوضه به‌منظور حفظ سازه‌های آبی خواهد شد.

علیحجانی و همکاران (۲) شدت بارندگی‌های ایران را در ۹۰ ایستگاه سینوپتیک مورد بررسی قرار داده و نشان دادند که پراکنندگی بارش در کل کشور نامنظم بوده و ایستگاه‌های حاشیه دریای خزر، کوه‌های زاگرس و شمال غرب کشور بیشترین سهم بارندگی را داشته و در معرض بارندگی‌های شدید قرار دارند. لویس و همکاران (۱۶)، مقادیر متوسط سالانه، فصلی و بازه‌های مرطوب و خشک از PCI را در مجاورت اسپانیا برای دو دوره زمانی ۲۰۰۵-۱۹۷۶ و ۱۹۶۴-۱۹۷۵ مورد مطالعه قرار دادند. تحلیل‌های دو زیربازه، تغییرات قابل توجه باران اتفاق افتاده در اسپانیا از سال ۱۹۴۶ تا ۲۰۰۵ را نشان داد. آدگان و همکاران (۱)، شاخص PCI را در دو مقیاس فصلی و سالانه طی بازه ۲۰۱۱-۱۹۷۴ برای دو منطقه در نیجریه مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج محاسبه PCI برای این منطقه نشان داد که به‌ترتیب، ۸۷٪ و ۷۱٪ از سال‌های مورد بررسی در منطقه اول و دوم در محدوده تمرکز متوسط قرار می‌گیرند. والی و همکاران (۲۳)، در بخشی از مطالعه خود، برای نشان دادن الگوی بارندگی در ایالت آندراپرادش<sup>۱</sup> برای بازه زمانی ۲۰۱۰-۱۹۸۱ در دو مقیاس سالانه و فصلی از شاخص PCI استفاده کردند. نتایج حاصله نشان‌دهنده وجود یک توزیع نامنظم بارندگی (با محدوده مقادیر ۱۶ تا ۳۵) در این منطقه می‌باشد.

برای بررسی وجود روند در سری‌های هیدرولوژیکی اغلب از روش‌های ناپارامتری استفاده می‌شود. آزمون‌های ناپارامتری برای سری داده‌هایی که توزیع آماری آن‌ها نرمال نیست و یا دارای داده‌های بریده شده باشند، مناسب‌تر هستند. هرش و همکاران (۹) دلایل استفاده از آزمون‌های ناپارامتری را در مطالعات مربوط به روند به‌طور مبسوط شرح داده‌اند. شرط استفاده از این آزمون‌ها، عدم وجود ضریب خودهمبستگی معنی‌دار در سری‌های زمانی داده‌ها می‌باشد. جیانگ و هارتمن (۱۱) روند زمانی و مکانی داده‌های بارش روزانه ۱۴۷ ایستگاه باران‌سنجی در دوره ۲۰۰۰-۱۹۶۱ و داده‌های دبی ماهانه برای این ایستگاه‌ها را در حوضه رودخانه یانگ تسه در چین مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها از روش من-کندال و رگرسیون ساده استفاده نمودند. نتایج نشان داد که روند مثبت معنی‌دار در بارش تابستانه در ایستگاه‌های زیادی بویژه برای ژوئن و ژوئیه در مرکز و پائین حوضه رودخانه یانگ تسه در دهه ۱۹۹۰ وجود دارد. روند مثبت در فراوانی رگبار که سهم اصلی را در افزایش بارش تابستانه در این حوضه دارد و روند مثبت معنی‌دار در دبی سیلاب در مرکز و پائین حوضه با الگوهای مکانی و روندهای زمانی بارش و رگبارهای مجزا در ۴۰ سال گذشته مرتبط شده است. آن‌ها دریافتند که رگبارها باعث شدیدتر

شدن سیلاب‌ها در مرکز و پائین حوضه رودخانه یانگ تسه در دهه-های اخیر شده‌اند. صیوحی و سلطانی (۲۱) برای تحلیل آماری عوامل بارش، دما، رطوبت نسبی و باد در برخی از شهرهای بزرگ ایران از آزمون ناپارامتری من-کندال استفاده کردند. آن‌ها روند افزایش دما را در ۶۲ درصد از ایستگاه‌ها و روند کاهش بارش را در ۲۳ درصد از ایستگاه‌ها گزارش نمودند. پال اتبائ (۲۰) روند بارش‌های فصلی را در فصول زمستان، بهار و پائیز منطقه کراالی در هندوستان را با استفاده از آزمون من-کندال مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که روند بارش‌های فصلی در فصول زمستان و پائیز افزایشی می‌باشد و این عامل باعث وقوع بیشتر سیلاب‌ها در این فصول شده است. با این حال، روند بارش در فصل بهار در منطقه مورد مطالعه آن‌ها کاهش بود. یانگ و همکاران (۲۴) روند دما و بارش میانگین ماهانه ۵۳ ساله در حوضه رودخانه ژانگویان<sup>۲</sup> و پنج ایستگاه هواشناسی اطراف آن را با استفاده از آزمون من-کندال مورد بررسی قرار دادند و روند کاهش معنی‌دار در بارندگی سالانه و روند افزایشی دما را در فصل‌های تابستان و بهار گزارش نمودند. جین و همکاران (۱۰) در مطالعه‌ای تغییرات بلندمدت بارش و دمای شمال‌غرب هند را مورد بررسی قرار دادند. این محققین از روش من-کندال در تشخیص روند بهره برده و در مقیاس‌های زمانی ماهانه، فصلی و سالانه بارش، در دوره آماری ۱۸۷۱ تا ۲۰۰۸ هیچ‌گونه روند معنی‌داری مشاهده نکردند، اما دما در هر سه مقیاس زمانی، روند افزایشی را تجربه کرده بود. دوهان و پاندی (۶) در پژوهشی به مطالعه تغییرات زمانی و مکانی بارش ۱۰۲ ساله منطقه مادھیا پراداش هندوستان پرداختند. آن‌ها از آزمون من-کندال و تخمین‌گر شیب سن به منظور تعیین روند یکنواخت بارش و از آزمون پتیت برای تشخیص نقاط شکست استفاده کردند. نتایج حاصله نشان داد که تمامی ایستگاه‌های مورد بررسی در مقیاس سالانه روندی کاهش را تجربه کرده و سال ۱۹۷۸ بیشترین احتمال را برای تاریخ تغییر روند به خود اختصاص داده بود. چن و همکاران (۴) روند تغییرات بارش، دما و رواناب حوضه آبریز یانگ تسه چین را در دوره آماری ۱۹۵۵ تا ۲۰۱۱ با استفاده از آزمون من-کندال مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها در مطالعه خود نشان دادند که میانگین دما روندی افزایشی داشته، بارش هیچ‌گونه تغییرات معنی‌داری را تجربه نکرده و رواناب از روندی افزایشی برخوردار بوده است.

از پیشینه تحقیق چنین استنباط می‌شود که تاکنون مطالعه جامعی بر روی پراکنندگی و تمرکز بارش زمستانه در ایران صورت نگرفته است. بنابراین هدف از مطالعه حاضر، محاسبه تمرکز زمانی و روند بارش زمستانه مناطق مرزی ایران در نیم قرن اخیر می‌باشد.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

ایران با وسعتی بیش از ۱۶۴۸۰۰۰ کیلومتر مربع در نیم کره شمالی و در قاره آسیا واقع شده است. اقلیم ایران تقریباً در تمام نقاط آن، چهار فصل می‌باشد. ایران با متوسط بارش سالانه حدود ۲۵۰ میلی‌متر بین دو نصف النهار ۴۴° و ۶۴° شرقی و دو مدار ۲۵° و ۴۰° شمالی قرار گرفته است. آب و هوای ایران متأثر از سه سامانه به شرح زیر است:

- ۱- سامانه پرفشار سیبریایی که با ریزش به عرض‌های جنوبی در نوار شمالی بارش باران و برف و کاهش دما و در سایر نقاط فقط کاهش دما را به همراه دارد.
  - ۲- سامانه باران‌زای مدیترانه‌ای که از سمت غرب وارد ایران می‌شود و موجب ریزش باران یا برف در بسیاری از نقاط غربی و میانی و شرق ایران می‌شود.
  - ۳- سیستم کم فشار جنوبی که در نوار جنوب و جنوب غرب موجب رگبار باران می‌شود.
- در این مطالعه از بین ۲۰۰ ایستگاه سینوپتیک موجود در کشور، ۱۸ ایستگاه سینوپتیک مرزی دارای آمار بلند مدت ۵۰ ساله (۲۰۱۰-۱۹۶۱) جهت بررسی تمرکز زمانی و روند بارش انتخاب شدند. جدول ۱ مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه و شکل ۱، موقعیت این ایستگاه‌ها را در سطح کشور نشان می‌دهد.

### شاخص PCI

شاخص PCI به عنوان شاخصی از تمرکز و پراکندگی باران

پیشنهاد شده است. مقیاس فصلی این شاخص به صورت رابطه زیر محاسبه شد (۱۹):

$$PCI_{\text{Seasonal}} = \frac{\sum_{i=1}^3 p_i^2}{(\sum_{i=1}^3 p_i)^2} * 25 \quad (1)$$

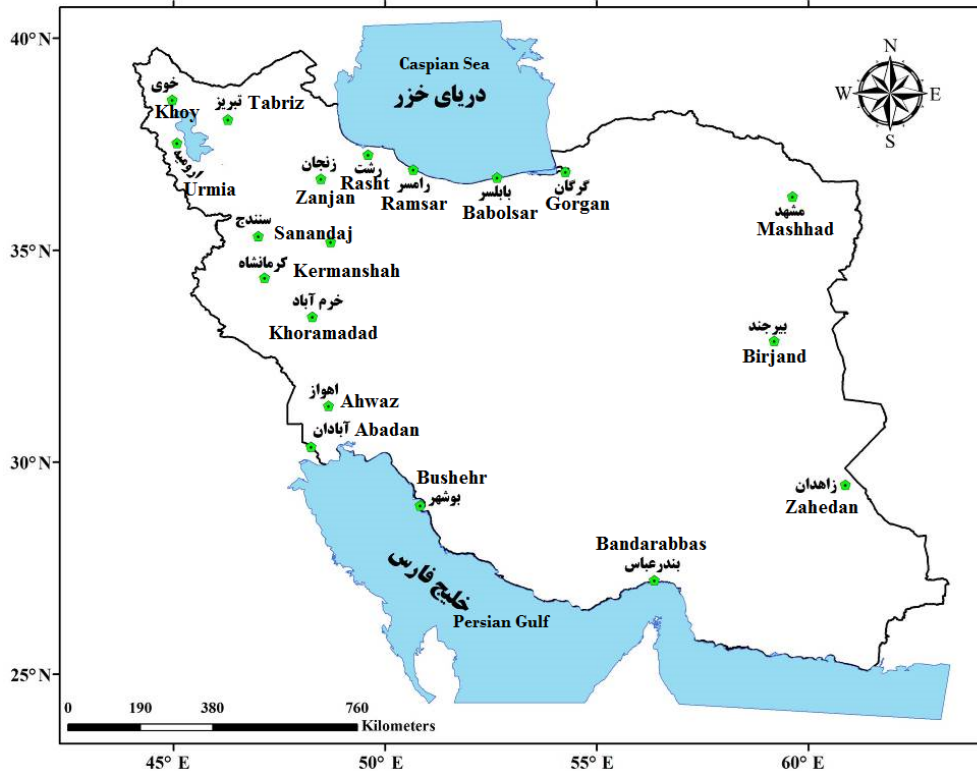
که در آن،  $P_i$ : مقدار بارندگی ماهانه در ماه  $i$  می‌باشد. بر اساس فرمول پیشنهادی، حداقل مقدار تئوری PCI، ۸/۳ بوده که یکنواختی کامل در توزیع بارندگی را نشان می‌دهد (به این معنی که مقدار یکسان بارندگی در هر ماه اتفاق می‌افتد). مقدار ۱۶/۷ برای PCI، نشان می‌دهد که کل بارندگی در  $\frac{1}{3}$  از بازه زمانی تمرکز یافته است و مقدار ۲۵ برای این شاخص، نشان‌دهنده آن است که کل بارش‌های دریافتی در  $\frac{1}{3}$  بازه زمانی رخ می‌دهد (بدین معنی که کل بارندگی در ۴ ماه اتفاق افتاده است). بر اساس این دسته‌بندی الیور (۱۹) پیشنهاد کرد که مقادیر PCI کمتر از ۱۰، یک توزیع زمانی یکنواخت از بارندگی (تمرکز کم بارندگی) را نشان دهد.

مقادیر PCI از ۱۱ تا ۱۵، تمرکز متوسط بارندگی و مقادیر ۱۶ تا ۲۰ این شاخص نیز نشان‌دهنده توزیع نامنظم بارندگی باشند. بر اساس طبقه‌بندی الیور (۱۹) مقادیر بزرگتر از ۲۰ برای شاخص PCI وجود یک بی‌نظمی زمانی زیاد از توزیع بارندگی (تمرکز زیاد باران) را نشان می‌دهد (۱۶).

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه

Table 1- Properties of used synoptic stations

ایستگاه Station	ارتفاع (متر) Elevation (m)	عرض جغرافیایی Latitude	طول جغرافیایی Longitude	متوسط بارندگی (میلی‌متر) Average Precipitation (mm)	ایستگاه Station	ارتفاع (متر) Elevation (m)	عرض جغرافیایی Latitude	طول جغرافیایی Longitude	متوسط بارندگی (میلی‌متر) Average Precipitation (mm)
رامسر Ramsar	-20	36.90	50.66	1206.2	آبادان Abadan	6.6	30.36	48.25	153.3
رشت Rasht	37.6	37.25	49.60	1337.5	ارومیه Urmia	1315.9	37.53	45.08	338.9
زاهدان Zahedan	1370	29.46	60.88	89.3	اهواز Ahwaz	22.5	31.33	48.66	209.2
زنجان Zanjan	1663	36.58	48.48	311.1	بابلسر Babolsar	-21	36.71	42.65	889.3
سنندج Sanandaj	1347.4	35.33	47.00	449.9	بندرعباس Bandarabbas	9.8	27.21	56.26	176.1
کرمانشاه Kermanshah	1318.6	34.35	47.15	439.2	بوشهر Bushehr	19.6	28.98	50.83	268.0
گرگان Gorgan	13.3	36.85	54.26	583.8	بیرجند Birjand	1491	32.86	59.20	168.5
مشهد Mashhad	999.2	36.26	59.63	251.5	تبریز Tabriz	1361	38.08	46.28	283.8
خرم‌آباد Khoramabad	1147.8	33.43	48.28	504.3	خوی Khoy	1103	38.55	44.96	289.2



شکل ۱- موقعیت ایستگاه‌های منتخب  
Figure 1- The selected stations

بسیاری از مطالعات مورد استفاده قرار گرفته است. اگر تعداد داده‌های سری‌زمانی در دوره مورد بررسی  $n$  باشد، ابتدا آماره  $S$  به شرح زیر محاسبه می‌شود:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k) \quad (2)$$

که در آن  $x_j$  مقدار داده  $j$ ام،  $n$  طول دوره آماری و  $\text{sgn}(\theta)$  تابع علامت می‌باشد که به صورت زیر تعریف می‌گردد:

$$\text{sgn}(x) = \begin{cases} +1 & \text{if } (x_j - x_k) > 0 \\ 0 & \text{if } (x_j - x_k) = 0 \\ -1 & \text{if } (x_j - x_k) < 0 \end{cases} \quad (3)$$

به ازای  $n \geq 8$  آماره  $S$  دارای توزیع نرمال بوده و میانگین و واریانس آن به شرح زیر می‌باشد:

$$E(S) = 0 \quad (4)$$

$$\text{Var}(S) = \frac{n - (n-1)(2n+5) - C}{18} \quad (5)$$

که در آن  $C$  عاملی مربوط به تصحیح واریانس است و در صورتی که داده‌های تکراری متوالی در سری داده‌ها وجود داشته باشد، از رابطه زیر محاسبه شده و در واریانس اعمال می‌شود:

$$C = \sum_{i=1}^m t_i(t_i - 1)(2t_i - 5) \quad (6)$$

### تحلیل روند

هدف از آزمون روند این است که وجود و یا عدم وجود سیر صعودی یا نزولی در سری داده‌ها مشخص گردد. با توجه به اینکه در روش‌های پارامتری فرضیاتی نظیر نرمال بودن، ایستایی و مستقل بودن متغیرها وجود داشته و این فرضیات اغلب برای متغیرهای هیدرولوژیکی اعتبار ندارد، از روش ناپارامتری من-کندال که کاربرد بیشتری در مطالعات هواشناسی و هیدرولوژی دارد، می‌توان استفاده کرد. در ضمن روش‌های ناپارامتری جهت بررسی روند نسبت به روش‌های پارامتری حساسیت کمتری به مقادیر حدی دارند. همچنین آزمون ناپارامتری را می‌توان برای سری‌زمانی داده‌ها، بدون در نظر گرفتن خطی یا غیرخطی بودن روند به کار برد (۱۳). یکی از معروف‌ترین آزمون‌های ناپارامتری روند، آزمون من-کندال می‌باشد (۱۲ و ۱۷). به‌طور کلی آزمون من-کندال دارای چهار ویرایش می‌باشد (۱۲) که توسط دین پژوه و همکاران (۵) شرح داده شده است. در مطالعه حاضر از ویرایش سوم این آزمون که اثر خودهمبستگی داده‌ها را بطور کامل حذف می‌کند، استفاده شد.

### آزمون Mann-Kendall مرسوم (MK)

این روش، که فرم کلاسیک آزمون من-کندال می‌باشد، در

مطالعه به دو دوره زمانی ۲۵ ساله تقسیم شد (۷). نتایج حاصل از بررسی شاخص مورد نظر در دو دوره آماری ۲۵ ساله، در شکل‌های ۲ و ۳ ارائه شده است. در فصل زمستان در زیربازه ۲۵ ساله اول، توزیع نامنظم بارش در ایستگاه بندرعباس و حوالی آن قابل مشاهده بوده و در هیچ یک از ایستگاه‌های مورد مطالعه تغییرات به شدت نامنظم بارش رخ نداده است. در ایستگاه‌های بابلسر، گرگان، کرمانشاه، خرم آباد، خوی، رشت، رامسر، سنندج، زنجان و تبریز مقدار PCI نزدیک به ۱۰ دیده شد. اکثر ایستگاه‌های دارای مقدار شاخص نزدیک به ۱۰ در حوالی دریای خزر وجود دارند. بیشترین سهم شاخص PCI مربوط به طبقه توزیع متوسط بارش بوده و مناطق شمال، شمال غرب و شمال شرق کشور دارای توزیع یکنواخت در بارندگی می‌باشند. در فصل زمستان در ۲۵ سال اول دوره آماری، شرایط ایده‌آل از نظر بارش و پراکندگی آن در مناطق مذکور وجود داشته است. در ۲۵ سال دوم دوره آماری مورد بررسی از شدت پراکندگی نامنظم بارش‌های زمستانه کاسته شده و مناطقی که با بی‌نظمی‌های شدید در بارش مواجه بودند به مناطق دارای پراکندگی یکنواخت افزوده می‌شود. همچنین در این فصل، سهم ایستگاه‌های مورد مطالعه از توزیع یکنواخت در ۲۵ سال دوم کاسته شده و به طور کلی بیشترین مناطق مورد مطالعه را توزیع متوسط بارش فرا گرفته است. توزیع یکنواخت بارش در سال‌های اخیر (۲۵ سال دوم) در فصل زمستان کاهش یافته است به طوری که در شمال شرق توزیع یکنواخت مشاهده نشده و توزیع یکنواخت متعلق به نوار مرزی دریای خزر، مناطق جنوبی ایستگاه‌های آذربایجان غربی و شرقی و ایستگاه‌های کرمانشاه، سنندج و زنجان است. به طور کلی در طول دوره آماری نتایج بررسی شاخص PCI نشان داد که در مناطق شمال و قسمتی از شمال غرب ایران تراکم متوسط بارش مشاهده می‌شود که در این مناطق مقدار شاخص مورد نظر بین ۱۱ تا ۱۵ بوده که نشان دهنده پراکندگی متوسط بارش از نظر زمانی در این مناطق (شمال و قسمتی از شمال غرب ایران) است. متوسط بارش نیز در این مناطق نسبت به سایر نواحی کشور بیشتر و تقریباً متعلق به ایستگاه‌های پرباران ایران (حاشیه دریای خزر و آذربایجان غربی و شرقی) می‌باشد. مناطق دارای پراکندگی یکنواخت کمترین تعداد از ایستگاه‌های مورد بررسی را شامل می‌شوند. نتایج بررسی شاخص تراکم بارش در طی دوره آماری مورد مطالعه نشان داد که در ۵۰ سال اخیر در هیچ یک از ایستگاه‌ها توزیع زمانی بارش یکنواخت نبوده و تنها در ۲۵ سال اول دوره آماری، ایستگاه گرگان دارای پراکندگی یکنواخت است که در ۲۵ سال دوم نیز ایستگاه گرگان دچار بی‌نظمی متوسط در بارش‌ها شده است. به طور کلی مناطق دارای توزیع متوسط بارش تحت تأثیر توده‌های شمالگان قاره‌ای با منشأ سیبری از شمال شرق ایران و جنوب شرق دریای خزر و توده‌های هوایی قطبی- قاره‌ای با منشأ اروپا و قطبی- دریایی با منشأ اقیانوس اطلس شمالی از سمت شمال غرب ایران واقع

که در آن  $t_i$  تعداد داده‌های یکسان در دسته  $i$  ام می‌باشد. در نهایت آماره آزمون MK یا  $Z$  به شکل زیر محاسبه می‌شود:

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(s)}} & \text{if } S > 0 \\ 0 & \text{if } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(s)}} & \text{if } S < 0 \end{cases} \quad (۷)$$

فرض صفر (عدم وجود روند) به شرط  $-Z_{1-\alpha/2} \leq Z \leq Z_{1-\alpha/2}$  پذیرفته می‌شود و در غیر این صورت،  $H_0$  رد و فرض مخالف آن یعنی وجود روند پذیرفته می‌شود (۲۲).

### آزمون Mann-Kendall اصلاح شده (MMK)

فرض اصلی بیشتر مطالعات تحلیل روند با استفاده از آزمون من-کندال بر این است که داده‌های نمونه خودهمبستگی معنی‌داری ندارند، با این حال ممکن است برخی سری‌های هیدرولوژیکی دارای ضریب خودهمبستگی معنی‌دار باشند (۵). چنانچه یک سری دارای ضرایب خودهمبستگی مثبت باشد، احتمال این که آزمون من-کندال وجود روند را در این سری نشان دهد، افزایش می‌یابد. در این صورت فرض صفر، مبنی بر عدم وجود روند، رد می‌شود. در حالی که حقیقت این است که فرض صفر نباید رد شود (۱۸). آزمون اصلاح شده من-کندال توسط حامد و راثو (۸) ارائه و توسط کومار (۱۵) برای تحلیل روند رودخانه‌های هند به کار رفته است. در این روش، اثر همه ضرایب خودهمبستگی معنی‌دار از داده‌ها حذف می‌شود و برای سری‌هایی مورد استفاده قرار می‌گیرد که ضرایب خودهمبستگی آن‌ها در یک یا چند مورد معنی‌دار باشند. در این روش ابتدا واریانس اصلاح شده  $V(S)^*$ ، بصورت زیر محاسبه می‌شود:

$$V(S)^* = V(S) \frac{n}{n^*} \quad (۸)$$

$$\frac{n}{n^*} = 1 + \frac{2}{n(n-1)(n-2)} \sum_{i=1}^{n-1} (n-i)(n-i-1)(n-i-2)r_i \quad (۹)$$

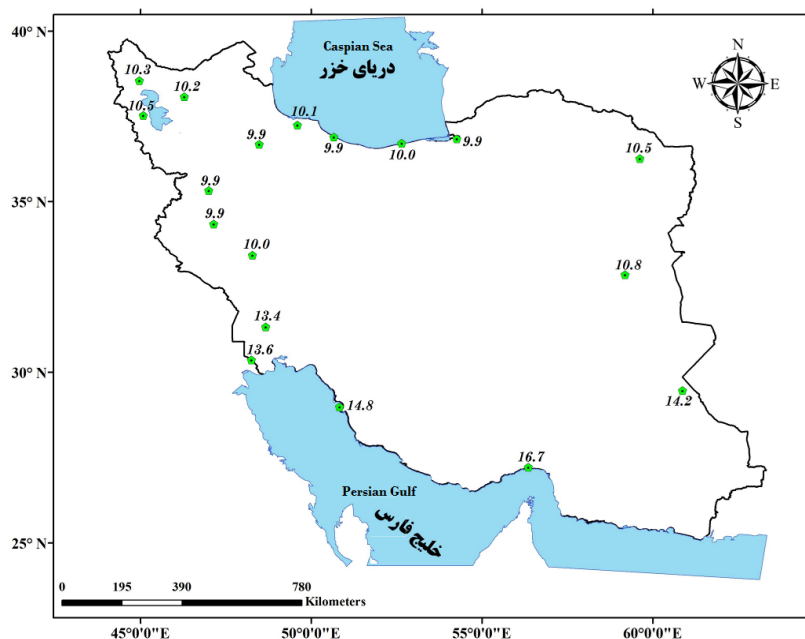
که در آن  $r_i$  ضریب خودهمبستگی با تأخیر  $i$  بوده و  $V(S)$  از رابطه (۵) تخمین زده می‌شود. برای محاسبه آماره  $Z$  آزمون من-کندال اصلاح شده در رابطه (۷)،  $V(S)^*$  جایگزین می‌گردد. مقدار آماره  $Z$  به دست آمده از رابطه فوق با  $Z$  استاندارد نرمال در سطح معنی‌داری  $\alpha$  مقایسه می‌شود.

### نتایج و بحث

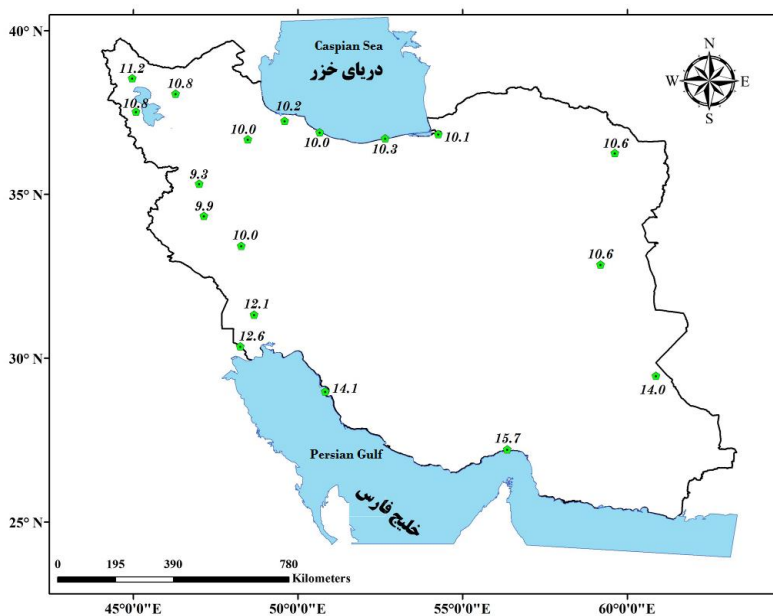
با استفاده از داده‌های بارش ماهانه ایستگاه‌های منتخب، شاخص PCI در فصل زمستان، برای دوره آماری ۵۰ ساله محاسبه و سپس به منظور بررسی تغییرات متوسط مقدار این شاخص، دوره آماری مورد

پراکندگی زمانی بارندگی در این مناطق می‌باشد. تمرکز نامنظم بارش نیز در استان‌های کردستان، کرمانشاه، خرم‌آباد و خراسان رضوی، قسمت جنوبی استان آذربایجان غربی و زنجان و خراسان شمالی مشهود است. این مناطق تحت تأثیر توده هوایی قطبی دریایی و قطبی قاره‌ای قرار دارند.

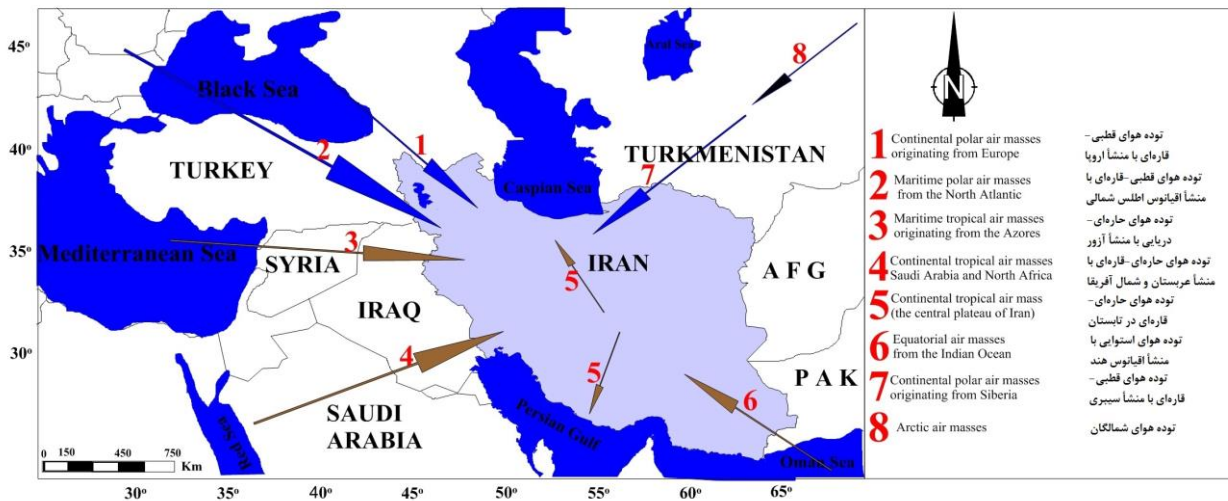
شده‌اند. با توجه به توده‌های هوایی مذکور و وجود رشته کوه‌های زاگرس در این مناطق، ایستگاه‌های شمال و شمال غرب کشور از بارش‌های منظم‌تری نسبت به سایر نقاط برخوردارند. در زیربازه ۲۵ ساله دوم دوره آماری، تراکم متوسط بارش در مناطق شمال شرق کاهش و در شمال غرب کشور افزایش یافته است. افزایش تراکم بارش در مناطق شمال غرب کشور به مفهوم بهبود بارش از نظر



شکل ۲- مقادیر شاخص فصلی PCI (۲۵ سال اول فصل زمستان) در ایستگاه‌های مورد مطالعه  
Figure 2- Values of Seasonal PCI (First 25 Years of winter season) in studied stations



شکل ۳- مقادیر شاخص فصلی PCI (۲۵ سال دوم فصل زمستان) در ایستگاه‌های مورد مطالعه  
Figure 3- Values of Seasonal PCI (Second 25 Years of winter season) in studied stations



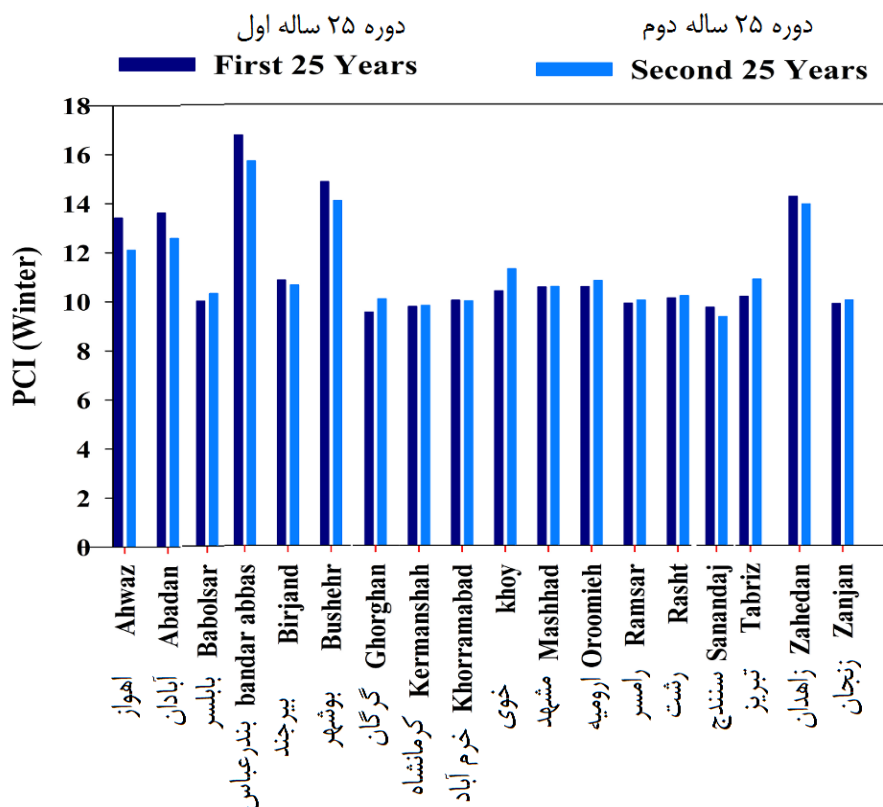
شکل ۴- توده‌های هوایی موثر بر ایران در فصول تابستان و زمستان (۱۴)  
 Figure 4- The effective air masses upon Iran in the summer and winter seasons (14)

به‌طور کلی از ۱۸ ایستگاه مورد مطالعه ۹ ایستگاه نشان‌دهنده افزایش روند شاخص PCI می‌باشد که به‌معنی افزایش بی‌نظمی‌ها در بارش زمستانه می‌باشد. قسمت شرقی دریاچه ارومیه نیز با افزایش بی‌نظمی‌های بارش مواجه بوده است، هر چند که این تغییرات معنی‌دار نیست اما با این وجود کاهش بارش‌ها که در مطالعات میرعباسی و دین‌پژوه (۱۸)، عساکره و رزمی (۳) و دین‌پژوه و همکاران (۵) گزارش شده است تأثیر به‌سزایی در وضعیت منابع آب منطقه داشته و حتی می‌توان این امر را در خشکی دریاچه ارومیه دخیل دانست چرا که وجود روند افزایشی شاخص PCI به مفهوم کاهش بارش‌ها در منطقه می‌باشد.

مقادیر شاخص PCI فصل زمستان در دو زیربازه ۲۵ ساله در شکل ۵ ارائه شده است. با توجه به شکل ۵ مشاهده می‌شود که نواحی حاشیه دریای خزر و شمال غرب کشور از یکنواختی زمانی بارش بهتری نسبت به سایر مناطق برخوردارند. جدول ۲ نتایج بررسی روند تغییرات شاخص PCI را برای ایستگاه‌های مورد مطالعه پس از حذف اثر همه ضرایب خودهمبستگی معنی‌دار نشان می‌دهد. با توجه به جدول ۲ می‌توان مشاهده کرد که در فصل زمستان ایستگاه‌های آبادان، اهواز، بندرعباس، بیرجند، کرمانشاه، سنندج، ارومیه و زاهدان روند کاهش غیرمعنی‌دار در شاخص تراکم بارندگی را داشته است. در سایر ایستگاه‌ها نیز روند تغییرات PCI افزایشی غیر معنی‌دار می‌باشد.

جدول ۲- نتایج بررسی روند تغییرات مقادیر شاخص PCI در فصل زمستان (۱۹۶۱-۲۰۱۰)  
 Table 2- Results of PCI index trend investigation in winter season (1961-2010)

ایستگاه	روند	ایستگاه	روند	ایستگاه	روند
Station	Trend	Station	Trend	Station	Trend
زنجان	0.58	بیرجند	-1.24	آبادان	-0.33
Zanjan		Birjand		Abadan	
سنندج	-1.17	تبریز	1.03	ارومیه	-0.11
Sanandaj		Tabriz		Urmia	
کرمانشاه	-0.1	خوی	1.63	اهواز	-1.25
Kermanshah		Khoy		Ahwaz	
گرگان	1.33	رامسر	-0.66	بابلسر	0.63
Gorgan		Ramsar		Babolsar	
مشهد	0.55	رشت	0.61	بندرعباس	-0.85
Mashhad		Rasht		Bandrabbas	
خرم آباد	-0.92	زاهدان	-0.81	بوشهر	0.46
Khoramabad		Zahedan		Bushehr	



### Synoptic Stations

ایستگاه های سینوپتیک

شکل ۵- مقادیر شاخص فصلی PCI مربوط به فصل زمستان در دو زیر بازه ۲۵ ساله ایستگاه های مورد مطالعه در سطح ایران  
Figure 5- The winter PCI values for studied stations of Iran in two 25-year sub-periods

تجربه کرده اند. همچنین در ایستگاه های خوی، سنندج، تبریز، ارومیه، زاهدان و زنجان روند کاهشی بارش زمستانه معنی دار بوده است. با توجه به اینکه ۴۴٪ بارش های ایران در فصل زمستان رخ می دهد. وجود روند کاهشی بارش در پهنه کشور در مطالعات مختلفی نظیر میرعباسی و همکاران (۱۸) و خلیلی و همکاران (۱۳) نیز تأیید شده است. از طرفی صبحی و همکاران (۲۱) نشان دادند که روند افزایشی دما در پهنه کشور ایران به ویژه در ماه های سرد سال وجود دارد و از این رو می توان تغییرات دمایی را به عنوان یکی از دلایل کاهش بارندگی در ایران دانست، چرا که افزایش درجه حرارت در منطقه مورد مطالعه ظرفیت جو برای پذیرش و نگهداری رطوبت را افزایش داده و موجب شده است تا هوا به اندازه کافی برای فراهم شدن شرایط بارش، سرد نشود (۱۴). به عبارت دیگر، وجود روند افزایشی دما باعث ذخیره بیشتر رطوبت در جو شده و مانع گرد هم آمدن شرایط مورد نیاز برای بارش می گردد.

بر اساس شکل ۲ مشاهده می شود که بیشترین مقدار افزایش شاخص PCI در ۲۵ سال دوم نسبت به ۲۵ سال اول دوره آماری مورد مطالعه در ایستگاه خوی و بیشترین مقدار کاهش شاخص PCI در ایستگاه اهواز رخ داده است. همچنین نتایج نشان داد که در دو زیربازه ۲۵ ساله دوره آماری، کمترین تغییرات متعلق به ایستگاه مشهد می باشد. در هیچ یک از ایستگاه های مورد مطالعه پراکندگی یکنواخت بارش بدست نیامد. والی و همکاران (۲۳) در تحقیق خود مبنی بر بررسی تراکم بارش ایالت آندرا پرادش هندوستان نیز وضعیت پراکندگی یکنواخت بارش مشاهده نکردند که با یافته های مطالعه حاضر مطابقت دارد.

### نتایج آزمون روند متوسط بارش زمستانه

بر اساس نتایج ارائه شده در جدول ۳ و شکل ۶ مشاهده می شود که در فصل زمستان ایستگاه های اهواز، گرگان، خرم آباد، کرمانشاه، رامسر و رشت روند کاهشی غیرمعنی دار در بارش های زمستانه را



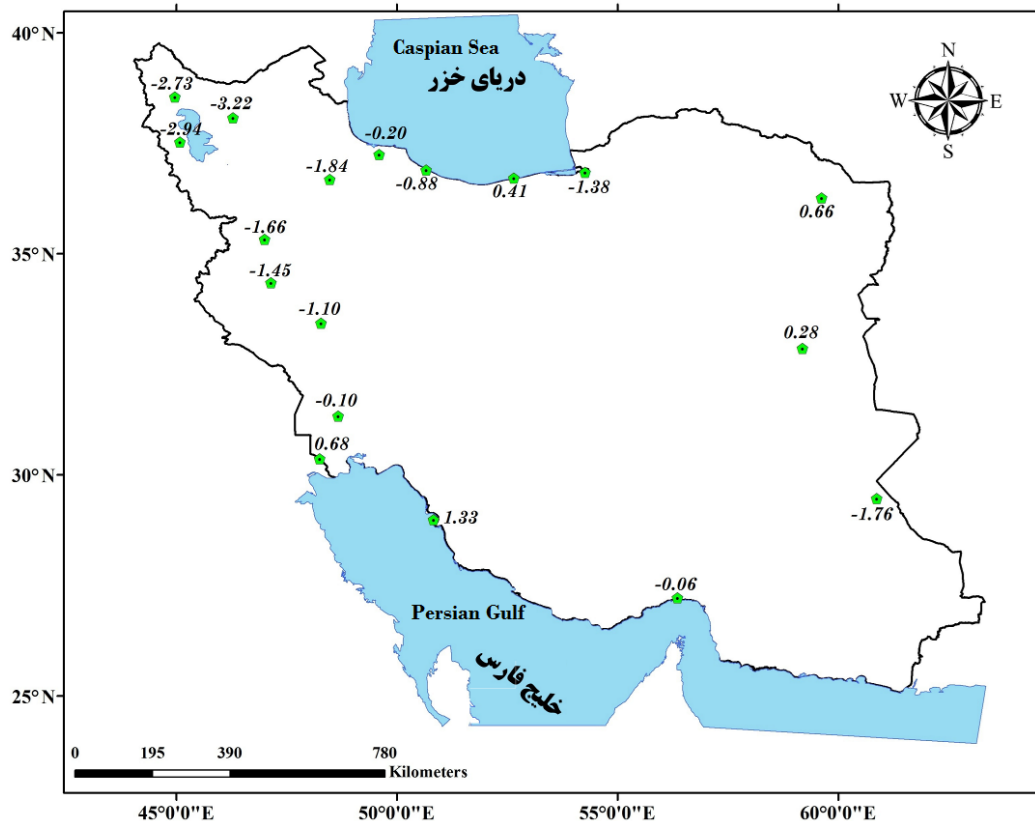
جدول ۳- نتایج بررسی روند تغییرات بارش فصل زمستان (۲۰۱۰-۱۹۶۱)  
Table 3- Results of precipitation trend in winter season (1961-2010)

ایستگاه	روند	ایستگاه	روند	ایستگاه	روند
Station	Trend	Station	Trend	Station	Trend
زنجان	-1.84	بیرجند	0.28	آبادان	0.68
Zanjan		Birjand		Abadan	
سندج	-1.66	تبریز	-3.32	ارومیه	-2.94
Sanandaj		Tabriz		Urmia	
کرمانشاه	-1.45	خوی	-2.72	اهواز	-0.1
Kermanshah		Khoy		Ahwaz	
گرگان	-1.38	رامسر	-0.88	بابلسر	0.41
Gorgan		Ramsar		Babolsar	
مشهد	0.66	رشت	-0.2	بندرعباس	0.06
Mashhad		Rasht		Bandrabbas	
خرم آباد	-1.1	زاهدان	-1.75	بوشهر	1.33
Khoramabad		Zahedan		Bushehr	

### نتیجه گیری

خشکسالی‌ها و تعیین علل وقوع آن به کار گرفته شود. تغییرات روند بارش زمستانه تمامی ایستگاه‌ها افزایشی غیرمعنی‌دار می‌باشد. به‌طور کلی از ۱۸ ایستگاه مورد مطالعه ۱۲ ایستگاه دچار روند کاهشی در بارش زمستانه شده‌اند. نتایج بررسی روند تغییرات شاخص تراکم بارش (PCI) در فصل زمستان نشان دهنده افزایش بی‌نظمی‌های بارندگی در سطح کشور می‌باشد به‌طوری‌که حدود ۵۰ درصد از ایستگاه‌های مورد مطالعه با روند افزایشی شاخص PCI مواجه بوده‌اند. در این بین روند معنی‌دار افزایشی PCI در ایستگاه خوی مشاهده گردید. وجود روند افزایشی در شاخص تراکم بارش هر چند غیرمعنی-دار، نشان دهنده ایجاد تغییراتی در بارش‌های کشور می‌باشد. این تغییرات در مطالعات مختلفی نظیر صبحی و سلطانی (۲۱) گزارش شده است که می‌تواند از تغییرات دمایی موجود در پهنه کشور نشأت گرفته باشد. افزایش دما در مطالعه میرعباسی و دین‌پژوه (۱۸) به-عنوان یکی از دلایل کاهش بارش‌های شمال غرب کشور معرفی شده است. وجود روند افزایشی در شاخص تراکم بارش هر چند غیرمعنی-دار، نشان دهنده ایجاد تغییراتی در بارش‌های زمستانه مناطق مرزی ایران می‌باشد که این مهم نیز توسط آزمون من-کندال برای بارش ۱۸ ایستگاه مورد مطالعه نشان داده شد. به‌طور کلی می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که وجود روند کاهشی در بارش‌های زمستانه مناطق مرزی ایران سبب افزایش شاخص PCI در این مناطق گردیده و این امر افزایش بی‌نظمی در بارش‌های زمستانه مناطق مورد مطالعه را به-همراه داشته است.

شاخص PCI، شاخصی است جهت تعیین تغییرات بارندگی در منطقه‌ای خاص و نتایج تحلیل آن می‌تواند قابلیت دسترسی به آب را در یک محیط نشان دهد. در این مطالعه شاخص تراکم بارش (PCI) به منظور تحلیل تمرکز بارش در مقیاس فصلی در سطح کشور (در دوره آماری ۱۹۶۱ تا ۲۰۱۰) مورد استفاده قرار گرفت. نتایج پهنه‌بندی شاخص PCI در مقیاس فصلی نیز نشان داد که پراکندگی الگوی بارش در هر دو زیر بازه ۲۵ ساله از الگوی پراکندگی یکسان پیروی می‌کند. همچنین نتایج پهنه بندی نشان از بالا بودن این شاخص در استان‌های کم‌بارشی مثل زاهدان است که این ایستگاه‌ها بر اساس طبقه‌بندی الیور (۱۸) دارای بی‌نظمی زیاد و پراکنده در بارش‌های زمستانه هستند. به طور کلی نتایج تحلیل شاخص PCI در فصل زمستان نشان داد که مناطق تحت پوشش توده‌های هوایی قطبی-قاره‌ای، قطبی-قاره‌ای با منشأ اروپا و قطبی-قاره‌ای با منشأ اقیانوس اطلس شمالی بهترین پراکندگی را از نظر بارش در سطح کشور نسبت به سایر نواحی ایران دارند. بعد از بررسی و پهنه‌بندی شاخص مورد نظر در ایستگاه‌های مرزی ایران، روند تغییرات فصلی این شاخص در دوره آماری ۵۰ ساله نیز با استفاده از آزمون من-کندال اصلاح شده مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این شاخص می‌تواند کمک بسزایی در فهم تغییرات تمرکز زمانی بارش (رژیم تغییرات آن) داشته باشد به‌طوری‌که کاهش PCI به مفهوم نظم در پراکندگی زمانی بارش و افزایش آن به مفهوم بی‌نظمی در دریافت نزولات جوی است که به‌طور غیرمستقیم می‌تواند در تحلیل



شکل ۶- نتایج روند تغییرات بارش زمستانه ایستگاه‌های سینوپتیک مورد بررسی در دوره آماری ۱۹۶۱-۲۰۱۰  
 Figure 6- Results of winter precipitation trend investigation of studied synoptic stations in period of 1961-2010

### منابع

- 1- Adegun O., Balogun I., and Adeaga O. 2012. Precipitation Concentration Changes in Owerri and Enugu. Hydrology for Disaster Management, Special Publication of the Nigerian Association of Hydrological Sciences, 391- 383.
- 2- Alijani B., O'Brien J., and Yarnal B. 2008. Spatial analysis of precipitation intensity and concentration in Iran. Theoretical and Applied Climatology, 94: 107- 124.
- 3- Asakereh H., and Razmi R. 2012. Analysis of annual precipitation changes in Northwest of Iran. Geography and Environmental Planning, 23(3): 147- 162. (In Persian with English abstract).
- 4- Chen j., Wu X., Finlayson B., Webber M., Wei T., and Li M. 2014. Variability and trend in the hydrology of the Yangtze River, China: Annual precipitation and runoff. Journal of Hydrology, 513: 403- 412.
- 5- Dinpashoh Y., Mirabbasi R., Jhajharia D., Zare Abianeh H., and Mostafaeipour A. 2014. Effect of short term and long-term persistence on identification of temporal trends. Journal of Hydrologic Engineering, 19(3): 617- 625.
- 6- Duhan D., and Pandey A. 2013. Statistical analysis of long term spatial and temporal trends of precipitation during 1901-2002 at Madhya Pradesh, India. Atmospheric Research, 122: 136- 149.
- 7- Gozzini B., Bartolini G., and Torrigiani T. 2012. Precipitation concentration patterns in Tuscany (central Italy) 1955-2010. European Annual Meetings, 9: 339/ 9th ECAC.
- 8- Hamed K.H., and Rao A.R. 1998. A modified Mann-Kendall trend test for autocorrelated data. Journal of Hydrology, 204: 182- 196.
- 9- Hirsch R.M., Slack J.R., and Smith R.A. 1982. Techniques of trend analysis for monthly water quality data. Water Resources Research, 18(1): 107- 121.
- 10- Jain S.K., Kumar V., and Saharia M. 2013. Analysis of rainfall and temperature trends in northeast India. International Journal of Climatology, 33: 968- 978.
- 11- Jiang T., Su B., and Hartmann H. 2007. Temporal and spatial trends of precipitation and River flow in the Yangtze River basin, 1961-2000. Geomorphology, 85: 143- 154.
- 12- Kendall MG. 1975. Rank Correlation Measures, Charles Griffin, London.
- 13- Khalili K., Nazeri Tahrudi M., and Khanmohammadi N. 2014. Trend Analysis of Precipitation in Recent Two

- Decade over Iran. *Journal of Applied Environmental and Biological Science*, 4(1s) 5-10.
- 14- Khalili K., Nazeri Tahoudi M., Mirabbasi R., and Ahmadi F. 2015. Investigation of spatial and temporal variability of precipitation in Iran over the last half century. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 1-17, Doi: 10.1007/s00477-015-1095-4
  - 15- Kumar S., Merwade V., Kam J., and Thurner K. 2009. Stream flow trends in Indiana: Effects of long term persistence, precipitation and subsurface drains. *Journal of Hydrology*, 374: 171- 183.
  - 16- Luis Mde., Gonz'alez-Hidalgo J.C., Brunetti M., and Longares L.A. 2011. Precipitation concentration changes in Spain 1946–2005. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 11: 1259– 1265.
  - 17- Mann HB. 1945. Nonparametric test against trend. *Econometrica*, 13: 245- 259.
  - 18- Mirabbasi R., and Dinpashoh Y. 2012. Trend analysis of precipitation of NW of Iran over the past half of the century. *Journal of Irrigation Science and Engineering*, 35(4): 59- 73. (In Persian with English abstract).
  - 19- Oliver JE. 1980. Monthly precipitation distribution: a comparative index. *The Professional Geographer*, 32: 300– 309.
  - 20- Pal Al-Tabbaa A. 2009. Trends in seasonal precipitation extremes—an indicator of 'climate change' in Kerala, India. *Journal of Hydrology*, 367: 62– 69.
  - 21- Saboohi R., Soltani S., and khodaghohi M. 2012. Trend analysis of temperature parameters in Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 109: 529– 547.
  - 22- Tabari H., Marofi S., Aeini A., Talae P.H., and Mohammadi K. 2010. Trend analysis of reference evapotranspiration in the western half of Iran. *Agricultural and Forest Meteorology*, 151(2): 128- 136.
  - 23- Vali M., Shanti Sree K., and Iyyanki V.M.K. 2013. Analysis of precipitation concentration index and rainfall prediction in various agro-climatic zones of Andhra Pradesh, India. *International research journal of environment Sciences*, 2(5): 53- 61.
  - 24- Yang X.L., Xu L.R., Li C.h., Hu J., and Xia X.H. 2012. Trends in temperature and precipitation in the Zhangweinan River basin during last 53 years. *Procedia Environmental Sciences*, 13: 1966- 1774.

## Investigation the Concentration and Trend of Winter Precipitation of Iranian Border Stations over the Last Half Century

K. Khalili<sup>1</sup>- M. Nazeri Tahroudi<sup>2</sup>- R. Mirabbasi<sup>3</sup>- F. Ahmadi<sup>4\*</sup>

Received: 22-04-2015

Accepted: 01-09-2015

**Introduction:** Climate change in the current era is a very important environmental challenge. Our understanding of the impacts of human activities on the environment, especially those related to global warming caused by increased greenhouse gases indicates that, most probably, a number of hydro-climatic parameters are changing. Based on the scientific reports, the average temperature of the earth has increased about 0.6 degrees centigrade over the 20<sup>th</sup> century and it is expected that the amount of evaporation continues to rise. In this case, the atmosphere would be able to transport larger amounts of water vapor, influencing the amount of atmospheric precipitations (21). Low precipitation and its severe fluctuations in the daily, seasonal and annual time scales are the intrinsic characteristics of Iran's climates. Based on the research background, it seems that no comprehensive study has been conducted on concentration of winter precipitation in Iran. The aim of this study is to calculate the concentration and Trend of precipitation of Iranian border stations over the last half-century.

**Materials and Methods:** Iran with an area of over 16480000 square kilometers is situated in the northern hemisphere and southwest of Asia. Almost all parts of Iran have four seasons. In general, a year can be divided into two warm and cold seasons. In this study, 18 stations were selected among more than 200 synoptic stations existing in the country, for investigating the concentration and precipitation trend.

**PCI Index** The PCI index has been proposed as an index of precipitation concentration. The seasonal scales of this index are calculated as equation 1(18):

$$PCI_{Seasonal} = \frac{\sum_{i=1}^3 P_i^2}{(\sum_{i=1}^3 P_i)^2} \times 25 \quad (1)$$

Where  $P_i$  is the amount of monthly precipitation in the  $i^{\text{th}}$  month. Based on the proposed formula, the minimum value of theoretical PCI is 8.3, indicating absolute uniformity in the precipitation concentration (i.e. the same amount of precipitation occurs every month).

**Trend analysis** The aim of process test is to specify whether an ascending or a descending trend exists in data series. Since parametric tests have some assumptions including normality, stability, and independence of variables, where most of these assumptions do not apply to hydrologic variables, the nonparametric methods are more preferred in meteorological and hydrological studies.

**Results and Discussion:** The PCI index was calculated using the monthly precipitation of the selected stations at seasonal and winter time scales over a 50-year period. This period was then divided into two 25-year sub-periods for the investigation of changes in average values of PCI (7). In the first 25-year span, the irregular precipitation distribution has been observed in the Bandarabbas station and its surroundings in winter season. In none of the studied stations, highly irregular precipitation occurred. The highest share of PCI was related to the precipitation average distribution class, and the northern, northwestern, and northeastern parts of the country have a uniform precipitation distribution. In winter, within the first 25-year period, the country had ideal conditions in terms of precipitation and its concentration in the mentioned regions. Within the second 25-year period, the intensity of irregular precipitation concentration decreased, as the regions that had confronted strong precipitation irregularities were added to regions with uniform concentration. At the seasonal scale and in winter, the country's share of uniform distribution diminished in the second 25 years, and overall most parts of Iran have

1- Assistant Professor, Department of Water Resources Engineering, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran

2- Ph.D. Student, Department of Water Resources Engineering, Faculty of Agriculture, Birjand University, Birjand, Iran

3- Assistant Professor, Department of Water Resources Engineering, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran

4- Ph.D. Student, Department of Water Resources Engineering, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran

(\*- Corresponding Author Email: farshad.paper@yahoo.com)

been covered by average precipitation distribution. The uniform precipitation distribution in recent years (second 25 years) has decreased in winter in such a way that no uniform distribution has been observed in the northeast of the country and uniform distribution belonged to the Caspian sea border strip, southern regions of west and east Azerbaijan stations (Urmia, Khoy and Tabriz stations) along with Kermanshah, Sanandaj, and Zanjan stations.

**Trend analysis of the PCI** In winter the Abadan, Ahwaz, Bandarabbas, Birjand, Kermanshah, Sanandaj, Urmia and Zahedan stations experienced an insignificant decreasing trend in PCI. At other stations, an insignificant increasing trend was observed in the PCI series. Overall, 9 out of 18 considered stations, witnessed increasing PCI trend implying increased irregularities in winter precipitation.

**The results of Mann-Kendall trend test for precipitation** Based on the results it can be observed that in winter Ahwaz, Gorgan, Khoramabad, Kermanshah, Ramsar, Rasht and Sanandaj experienced an insignificant decreasing trend in precipitation. In Khoy, Sanandaj, Tabriz, Urmia, Zahedan, and Zanjan stations, the decreasing precipitation trend in winter was significant. Overall, 12 out of 18 studied stations have been afflicted with a decreasing precipitation trend in winter.

**Conclusion:** Precipitation Concentration Index (PCI) is an index for determining the precipitation variations in a certain region and PCI analysis can reveal the accessibility to water in an environment. In this study, the PCI was used to analyze the precipitation concentration at two annual and seasonal time scales throughout the Iran (from 1961 to 2010). The PCI zoning results at the seasonal scale demonstrated that precipitation concentration had the same trend within the two 25-year sub-periods. These results also revealed a high PCI in provinces with low precipitation such as Zahedan. These stations, according to Oliver (18) classification, have irregular and sporadic precipitation during winter. Overall, the PCI analysis at the seasonal scale indicated that the regions covered by polar-continental, Europe-originated polar-continental and North Atlantic ocean-originated polar-continental have the best precipitation concentration throughout the country. The results of this index provided valuable information for water resources managers in regions with low-precipitation, consistent with research by Gozzini et al (7). The results of modified Mann-Kendall (MMK) test for PCI in Iran revealed a decreasing trend over the last 50 years. Based on the obtained results in winter, the Khoy, Sanandaj, Tabriz, Urmia, Zahedan, and Zanjan stations experienced a significant decreasing trend. The existence of an increasing trend in PCI albeit insignificant reveals changes in Iran's winter precipitations confirmed by Mann-Kendall test for precipitations in 18 studied stations. Overall, it can be concluded that the decreasing trend in Iran's winter precipitation has resulted in increasing PCI and thereby increased irregularities in winter precipitations, especially in winter season.

**Keywords:** Iran, Mann-Kendall, Precipitation concentration index, Trend