

## بررسی تغییرات فصلی تراکم بارش نیم قرن اخیر ایران

محمد ناظری تهرودی<sup>1\*</sup>، کیوان خلیلی<sup>2</sup>، جواد بهمنش<sup>3</sup>

تاریخ دریافت: 94/03/06 تاریخ پذیرش: 94/12/11

<sup>1</sup>- کارشناس ارشد منابع آب، دانشگاه ارومیه

<sup>2</sup>- استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه ارومیه

<sup>3</sup>- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه ارومیه

\*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: [m\\_nazeri2007@yahoo.com](mailto:m_nazeri2007@yahoo.com)

### چکیده

در مناطق مختلف دنیا، مطالعات زیادی در مورد تغییر اقلیم انجام شده است. نتایج اغلب آن‌ها نشان‌دهنده تغییر عوامل اقلیمی، به‌ویژه بارش و دما است. بررسی پدیده بارندگی به‌عنوان یکی از عوامل هواشناسی مهم، اهمیت ویژه‌ای در دسترسی به منابع آب دارد. در این تحقیق، با استفاده از شاخص تراکم بارش در مقیاس فصلی به بررسی تغییرات این پدیده مهم در سطح کشور ایران پرداخته شد. با استفاده از سری زمانی داده‌های بارندگی ماهانه 25 ایستگاه سینوپتیک ایران در دوره آماری 1961-2010، داده‌های شاخص تراکم بارش در مقیاس فصلی استخراج گردید. سپس این داده‌ها در دو بازه 25 ساله مورد ارزیابی قرار گرفتند. معنی‌دار بودن شاخص موردنظر در دو زیربازه 25 ساله با استفاده از آزمون t مورد تحلیل قرار گرفت. با استفاده از آزمون من-کندال روند تغییرات فصلی سری زمانی بارندگی و شاخص فصلی تراکم بارش محاسبه گردید. نتایج پهنه‌بندی شاخص موردنظر نشان داد که پراکنش بارندگی در هر دو زیربازه از الگوی یکسان پیروی می‌کند. شاخص مذکور در مرکز و جنوب ایران و در استان‌های کم بارش مثل کرمان، یزد و سیستان و بلوچستان دارای مقادیر بیشتری بود. به‌طورکلی، نتایج نشان داد که با توجه به شاخص موردبررسی، ایران را می‌توان به سه ناحیه (از نظر الگوی پراکنندگی بارش) تقسیم نمود: مناطق شمالی و حاشیه دریای خزر با تراکم و الگوی متوسط بارش، نواحی مرکزی ایران با الگوی بی‌نظم در بارش‌ها و مناطق جنوبی ایران و حاشیه دریای عمان و خلیج فارس که الگوی به‌شدت بی‌نظمی در بارش‌ها دارند.

واژه‌های کلیدی: توزیع بارش، روند فصلی، شاخص تراکم بارش، من-کندال

## Investigating Changes of Seasonal Precipitation Concentration of Iran in Recent Half-Century

M Nazeri Tahroudi<sup>1\*</sup>, K Khalili<sup>2</sup>, J Behmanesh<sup>3</sup>

Received: 27 May 2015 Accepted: 1 March 2016

<sup>1</sup>- M.Sc., Water Resources Management, Univ. of Urmia, Iran

<sup>2</sup>- Assist. Prof., Faculty of Agric., Univ. of Urmia, Iran

<sup>3</sup>- Assoc. Prof., Faculty of Agric., Univ. of Urmia, Iran

\*Corresponding Author, Email: [m\\_nazeri2007@yahoo.com](mailto:m_nazeri2007@yahoo.com)

### Abstract

In different regions of the world, numerous studies have been conducted on climate change. The results of those studies show the changes in climatic factors, especially in precipitation and temperature. Investigation of the precipitation phenomenon as one of the most important meteorological factors has a special importance in the availability of the water resources. In this study, using the precipitation concentration index in a seasonal scale, the variations of this important phenomenon in Iran, were investigated. Using the monthly rainfall time series data of 25 synoptic stations in Iran during 1961-2010, the precipitation concentration index values were extracted in the seasonal scale. The data were evaluated in two sub-intervals of 25 years. The significance of the mentioned index in two sub-intervals was analyzed using t-test. The seasonal trend of the precipitation time series and the precipitation concentration seasonal index were investigated using the Mann – Kendall test. The zonation results of precipitation concentration index showed that the distribution of the precipitation in the both sub-intervals obeyed the same pattern. The mentioned index in the south and central provinces of Iran having the low precipitation such as Kerman, Yazd, Sistan and Baluchistan had high values. In general, the results showed that according to the mentioned index, Iran's territory could be divided into three parts (from the view point of precipitation concentration pattern): the North area and Caspian Sea shores as the first part having the moderate density and pattern of rainfall, central as the second part having the irregular pattern of precipitation and the Oman Sea and the Persian Gulf margins having a highly irregular pattern of rainfall.

**Keywords:** Mann-Kendall, Precipitation concentration index, Rainfall distribution, Seasonal trend

### مقدمه

می‌رسد. از جمله این شاخص‌ها می‌توان، به شاخص استاندارد بارش (SPI<sup>1</sup>) و شاخص تراکم بارش (PCI<sup>2</sup>) اشاره نمود. شاخص SPI از جمله شاخص‌های کاربردی در بیشتر مطالعات بوده درحالی‌که، شاخص PCI در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته است.

مقدار بارش ناکافی و نوسانات شدید آن در مقیاس‌های زمانی روزانه، فصلی و سالانه از ویژگی‌های ذاتی اقلیم ایران هست (خلیلی و همکاران 2015). با توجه به تأثیرات بارندگی بر منابع آب مانند آب زیرزمینی، ذخایر آب سطحی و برف، استفاده از شاخص‌هایی برای بیان تغییرات آن ضروری به نظر

<sup>1</sup> - Standard precipitation index

<sup>2</sup> Precipitation concentration index

نتایج تحقیق ایشان نشان داد که در طی دو دهه گذشته روند تغییرات بارش ایران در بیشتر ایستگاه‌های سینوپتیک، کاهشی بوده است.

با توجه به اهمیت پراکندگی‌های بارش و کمبود آن در زمان حال و همچنین نقش باران در تدوین برنامه‌های مدیریتی، به نظر می‌رسد بررسی تغییرات زمانی و مکانی بارش در ایران ضروری باشد. هدف از این مطالعه، بررسی شاخص PCI و روند تغییرات آن در سطح کشور ایران در طی نیم‌قرن اخیر در مقیاس فصلی است.

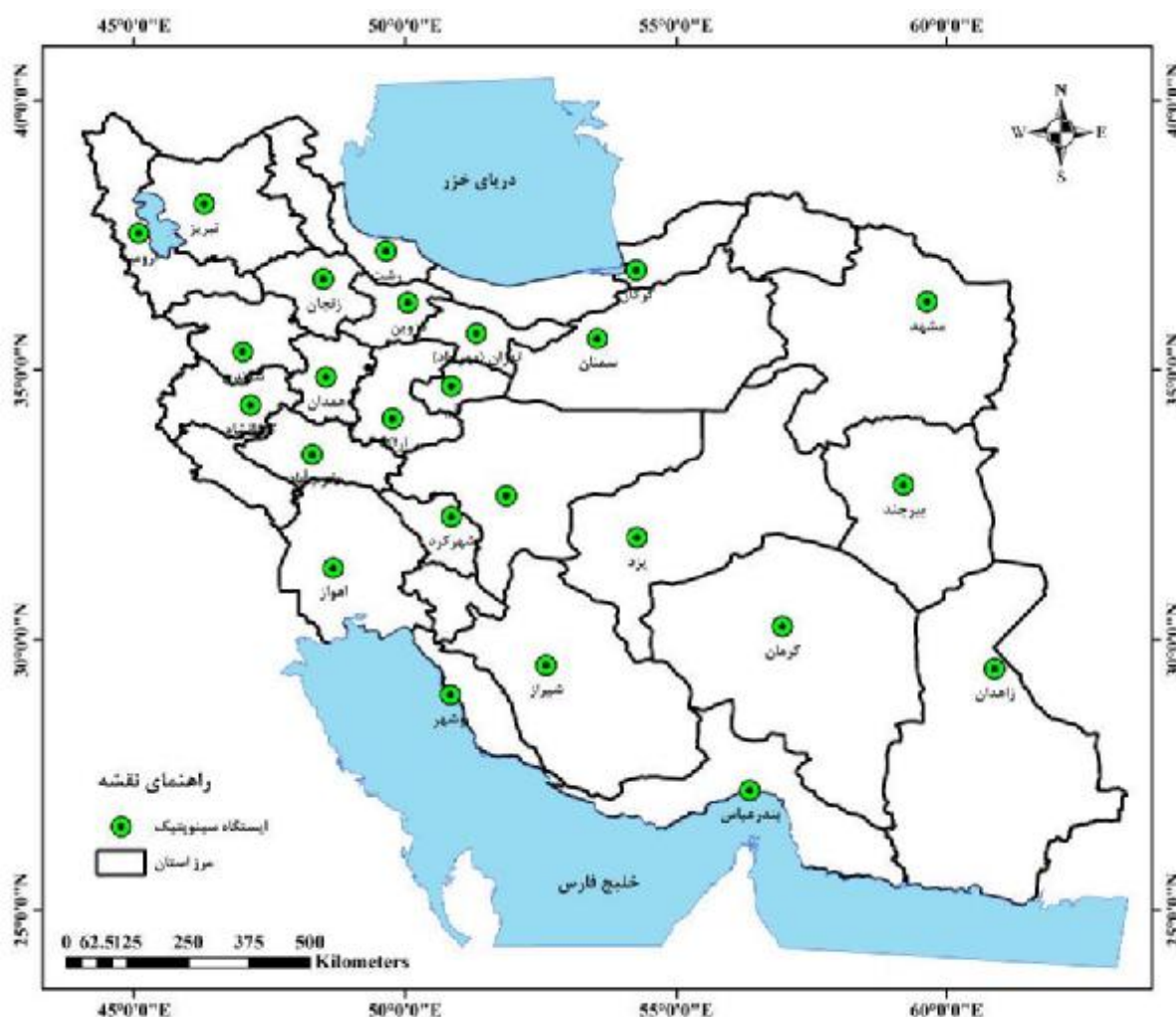
#### مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق کشور ایران است. ایران با وسعتی حدود 1648000 کیلومتر مربع و متوسط بارش سالانه 241 میلی‌متر در نیم‌کره شمالی و در قاره آسیا و بین دو نصف‌النهار  $44^{\circ}$  و  $64^{\circ}$  شرقی و دو مدار  $25^{\circ}$  و  $40^{\circ}$  شمالی قرار گرفته است. حدود 94/8 درصد از سطح آن، در زمره مناطق خشک و نیمه‌خشک با ریزش‌های جوی کم و تبخیر-تعرق زیاد قرار دارد (خلیلی و همکاران 2015). در این مطالعه از داده‌های 25 ایستگاه سینوپتیک ایران استفاده شده است. جدول 1 مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه و شکل 1، موقعیت این ایستگاه‌ها در ایران را نشان می‌دهد.

جهت بررسی شاخص تراکم بارش، از آمار بارش ماهانه 25 ایستگاه مذکور طی دوره آماری 1961 تا 2010 استفاده شده است. مجموع سالانه بارش توسط مقادیر ماهانه حاصل شد و مطالعه روند داده‌های فصلی بارش با استفاده از آزمون فصلی من-کنندال انجام گرفت.

شاخص تراکم بارش (PCI) یک شاخص قوی از توزیع زمانی باران است که عموماً در مقیاس‌های سالیانه مورد استفاده قرار می‌گیرد. افزایش مقدار این ضریب، بدین معنی است که باران از پراکندگی و تراکم کمتری در منطقه برخوردار است. به علاوه، PCI بخشی از شاخص مشهور Fournier با یک پیشینه قوی در تحلیل سیستم‌ها، به‌عنوان نمونه فرسایش خاک، هست (لویس و همکاران 2011). نتایج حاصل از محاسبه PCI می‌تواند برای برنامه‌های مدیریتی، هیدرولوژیکی، منابع آب و سازه‌ای به‌عنوان یک ابزار هشداردهنده برای آمادگی در مواجهه با سیل یا فرسایش مورد استفاده قرار گیرد (آدگان و همکاران 2012). در سال‌های اخیر، محققان از این شاخص در تحلیل‌های خود استفاده نموده‌اند؛ لویس و همکاران (2011) مقادیر متوسط سالانه، فصلی و بازه‌های مرطوب و خشک از PCI را در اسپانیا برای دو دوره زمانی 1976-2005 و 1975-1964 مورد مطالعه قرار دادند. تحلیل‌های دو زیربازه، تغییرات قابل‌توجه باران اتفاق افتاده در اسپانیا از سال 1946 تا 2005 را نشان داد. آدگان و همکاران (2012) شاخص PCI را در دو مقیاس فصلی و سالانه طی بازه 1974-2011 برای دو منطقه در نیجریه محاسبه نمودند. نتایج محاسبه PCI برای این منطقه نشان داد 71% تا 87% از سال‌های مورد بررسی در دو منطقه نیجریه در محدوده تمرکز متوسط قرار می‌گیرند. والی و همکاران (2013) در بخشی از مطالعه خود، برای نشان دادن الگوی بارندگی در ایالت آندھرا-پرادیش<sup>3</sup> هندوستان برای بازه زمانی 1981-2010 در دو سطح سالانه و فصلی از شاخص PCI استفاده نمودند. نتایج حاصله نشان‌دهنده وجود یک توزیع نامنظم بارندگی (با محدوده مقادیر 16 تا 35) در این منطقه است. خلیلی و همکاران (2014) روند تغییرات بارش ایران را در دو دهه گذشته در مقیاس سالانه مورد بررسی قرار دادند.

<sup>3</sup> - Pradesh Andhra



شکل 1- موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه در کشور ایران.

### شاخص PCI

شاخص PCI (الیور، 1980)، به عنوان شاخصی از تمرکز و الگوی بارش پیشنهاد شده است. مقیاس فصلی این شاخص به صورت رابطه 1 محاسبه می‌شود:

$$PCI_{\text{Seasonal}} = \frac{\sum_{i=1}^3 \bar{a} p_i^2}{(\sum_{i=1}^3 \bar{a} p_i)^2} \cdot 25 \quad [1]$$

که در آن،  $p_i$ : مقدار بارندگی ماهانه در ماه  $i$  است. بر اساس فرمول پیشنهادی، کمینه مقدار نظری PCI، 8/3 بوده که یکنواختی کامل در توزیع بارندگی را در هر فصل نشان می‌دهد (به این معنی که مقدار یکسان بارندگی در هر یک از ماه‌های فصل اتفاق می‌افتد). مقدار

16/7 برای PCI، نشان می‌دهد که کل بارندگی در  $\frac{1}{2}$  از بازه زمانی تمرکز یافته است و مقدار 25 برای این شاخص، نشان‌دهنده این امر است که کل بارندگی در  $\frac{1}{3}$  بازه زمانی رخ داده است. بر اساس این دسته‌بندی، الیور (1980)، پیشنهاد کرد که مقادیر PCI کمتر از 10، یک توزیع یکنواخت از بارندگی (تمرکز کم بارندگی) را نشان دهد. مقادیر PCI از 11 تا 15، تمرکز متوسط بارندگی و مقادیر 16 تا 20 این شاخص نیز توزیع نامنظم بارندگی باشند. مقادیر بالای 20 این شاخص نیز یک بی‌نظمی زیاد از توزیع بارندگی (تمرکز زیاد باران) را نشان می‌دهند (لویس و همکاران 2011).

آزمون من-کندال (MK)

کندال (1938) متغیر  $\tau$  (tau) را جهت اندازه‌گیری رابطه همبستگی بین  $x$  و  $y$  ارائه کرد و من (1945) با استفاده از آزمون کندال یکی از متغیرها را مؤلفه زمانی در نظر گرفت تا وجود روند را در سری داده‌ها مورد آزمون قرار دهد. این آزمون را به صورت MK نیز نشان می‌دهند. در این آزمون، فرض صفر ( $H_0$ ) این است که مجموعه مشاهدات نمونه  $\{x_1, x_2, \dots, x_N\}$  مستقل از هم بوده و به صورت تصادفی توزیع شده‌اند و در نتیجه روند در بین داده‌ها وجود ندارد. درحالی‌که فرض مخالف ( $H_1$ ) بیانگر وجود روند در داده‌ها هست. آزمون آماری MK به صورت زیر است:

$$\tau = 2S/[n(n-1)] \quad [2]$$

در این رابطه  $S$  به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k) \quad [3]$$

که در آن  $x_i$  و  $x_j$  داده‌های متوالی،  $\theta = (x_j - x_i)$ ،  $n$  تعداد داده‌های مشاهداتی آماری و  $\text{sgn}$  به شرح زیر است.

$$\text{sgn}(q) = \begin{cases} +1 & q > 0 \\ 0 & q = 0 \\ -1 & q < 0 \end{cases} \quad [4]$$

میانگین آماره  $S$  صفر بوده و انحراف معیار  $S$  ( $\sigma_S$ ) به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$\sigma_s = \sqrt{\frac{1}{18} [n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^m t_i(t_i-1)(2t_i+5)]} \quad [5]$$

که در آن  $t_i$  تعداد داده‌های یکسان در دسته  $i$ ام بوده که داده‌ها در آن تکراری هست. در شرایطی که تعداد نمونه از 10 بزرگ‌تر باشد، مقدار متغیر نرمال و استاندارد  $Z$  از رابطه زیر به دست می‌آید (داگلاس و همکاران 2000).

طبقه‌بندی شاخص مذکور بر اساس طبقه‌بندی الیور (1980) به صورت جدول 2 ارائه شد.

جدول 1- مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه.

ایستگاه	مختصات		ارتفاع از متوسط بارندگی (mm)
	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	
ارومیه	37° 40'	45° 3'	325/0
زنجان	36° 41'	48° 29'	304/2
سندج	35° 20'	40° 00'	451/7
قزوین	36° 15'	50° 3'	316/5
شهرکرد	32° 17'	50° 51'	332/1
بوشهر	28° 58'	50° 49'	244/6
اهواز	31° 20'	48° 40'	226/6
بیرجند	32° 52'	59° 12'	164/6
بندرعباس	27° 13'	56° 22'	171/2
زاهدان	29° 28'	60° 53'	79/1
کرمان	30° 15'	56° 58'	136/7
مشهد	36° 16'	59° 38'	251/6
تبریز	38° 5'	46° 17'	284/8
گرگان	36° 54'	54° 24'	527/6
رشت	37° 19'	49° 37'	1339/9
تهران	35° 41'	51° 19'	234/2
اراک	34° 6'	49° 46'	330/3
کرمانشاه	34° 20'	48° 9'	444/8
همدان	34° 52'	48° 32'	323/3
خرم‌آباد	33° 26'	48° 17'	499/8
قم	34° 42'	50° 51'	148/6
اصفهان	32° 37'	51° 40'	121/2
یزد	31° 54'	54° 17'	57/1
سمنان	35° 35'	53° 25'	140/9
شیراز	29° 32'	52° 36'	316/9

جدول 2- طبقه‌بندی شاخص PCI (طبقه‌بندی الیور 1980).

تقسیم‌بندی Oliver, 1980	
10<	یکنواخت
11-15	تمرکز متوسط بارندگی
16-20	توزیع نامنظم
20>	بی‌نظمی زیاد

که در این روابط،  $t$ : آماره آزمون  $t$ ،  $\bar{X}_1$  و  $\bar{X}_2$ : به ترتیب، میانگین نتایج حاصل از شاخص‌های مورد مطالعه در بازه 1961-1985 و 1986-2010،  $S_1^2$  و  $S_2^2$ : به ترتیب، واریانس نتایج حاصل از شاخص‌های مورد مطالعه در بازه 1961-1985 و 1986-2010 و  $n_1$  و  $n_2$ : تعداد سال‌های آماری است که در این مطالعه 25 می‌باشند.

### نتایج و بحث

قبل از بررسی و استخراج شاخص تراکم بارش در مقیاس فصلی و روند تغییرات آن در طول دوره آماری 1961-2010، روند تغییرات فصلی بارش در منطقه مورد مطالعه مورد بررسی قرار گرفت. جهت بررسی روند فصلی داده‌های بارش ایستگاه‌های سینوپتیک منطقه مورد مطالعه از آزمون فصلی من-کندال استفاده شد. شکل 2 نتایج آزمون فصلی من-کندال را برای داده‌های بارندگی فصلی طی نیم‌قرن اخیر در ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد (در شکل زیر آماره  $Z$  آزمون من-کندال ذکر شده است).

#### بررسی روند فصلی بارش سطح کشور

به‌طور کلی می‌توان گفت که حدود 60 درصد ایستگاه‌های سینوپتیک ایران در طی نیم‌قرن اخیر دارای روند کاهشی در بارندگی هستند. بیشترین روند کاهشی بارش در مقیاس فصلی، در نیمه شمال غرب صورت گرفته است. روند بارش ایستگاه‌های گرگان، ارومیه، قم، زنجان، زاهدان، تبریز، سنندج و اصفهان نیز در سطح اطمینان 5 درصد معنی‌دار هست.

در ادامه نتایج بررسی شاخص PCI فصلی و پهنه-بندی آن در سطح کشور ارائه می‌گردد.

نتایج بررسی و پهنه‌بندی شاخص PCI فصلی در ایستگاه‌های منتخب ایران نشان داد که بیشترین مقادیر شاخص مورد نظر در فصل تابستان وجود دارد که نشان‌دهنده توزیع و الگوی به‌شدت نامنظم بارش در

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(s)}} & \text{if } S > 0 \\ 0 & \text{if } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(s)}} & \text{if } S < 0 \end{cases} \quad [6]$$

با توجه به آزمون آماری دوطرفه کای اسکوئر و جدول آن، اگر  $X^2 = \sum_{j=1}^p Z_j^2 - pZ^2$ ، فرض صفر (عدم وجود روند) به شرط  $Z_{1-a/2} \leq Z \leq Z_{1-a/2}$  پذیرفته می‌شود و در غیر این صورت،  $H_0$  رد و فرض مخالف آن یعنی وجود روند پذیرفته می‌شود. مقدار  $P$  برای سری ماهانه 12 و مقدار  $Z$  نیز متوسط مقادیر  $Z$ ها ماه‌ها یا فصول سال هست. مقادیر مثبت  $S$  روند صعودی و مقادیر منفی نیز روند نزولی را نشان می‌دهند. مطالعات نشان داده که وجود همبستگی متوالی<sup>5</sup> در سری زمانی سبب تغییر واریانس  $S$  در آزمون من-کندال و افزایش امکان عدم روند خواهد بود. همچنین این روش برای سری داده‌هایی که در آن‌ها خاصیت تناوب یا فصلی وجود ندارد، مناسب است و برای داده‌هایی نظیر دبی ماهانه جریان و مقیاس زمانی کوچک‌تر که در آن‌ها تناوب وجود دارد، می‌توان از روش کندال فصلی استفاده کرد (هرش و اسلاک 1984 و هرش و همکاران، 1982). در این مطالعه جهت بررسی دقیق‌تر تغییرات الگوی بارش در گذشته و حال از دو زیربازه 25 ساله استفاده شد. همچنین جهت مشخص شدن تغییر دو شاخص در دو زیربازه 25 ساله انتخابی، از آزمون  $t$  استفاده شد. مقدار این آماره به‌صورت زیر حاصل شد (مک‌دونالد 2008):

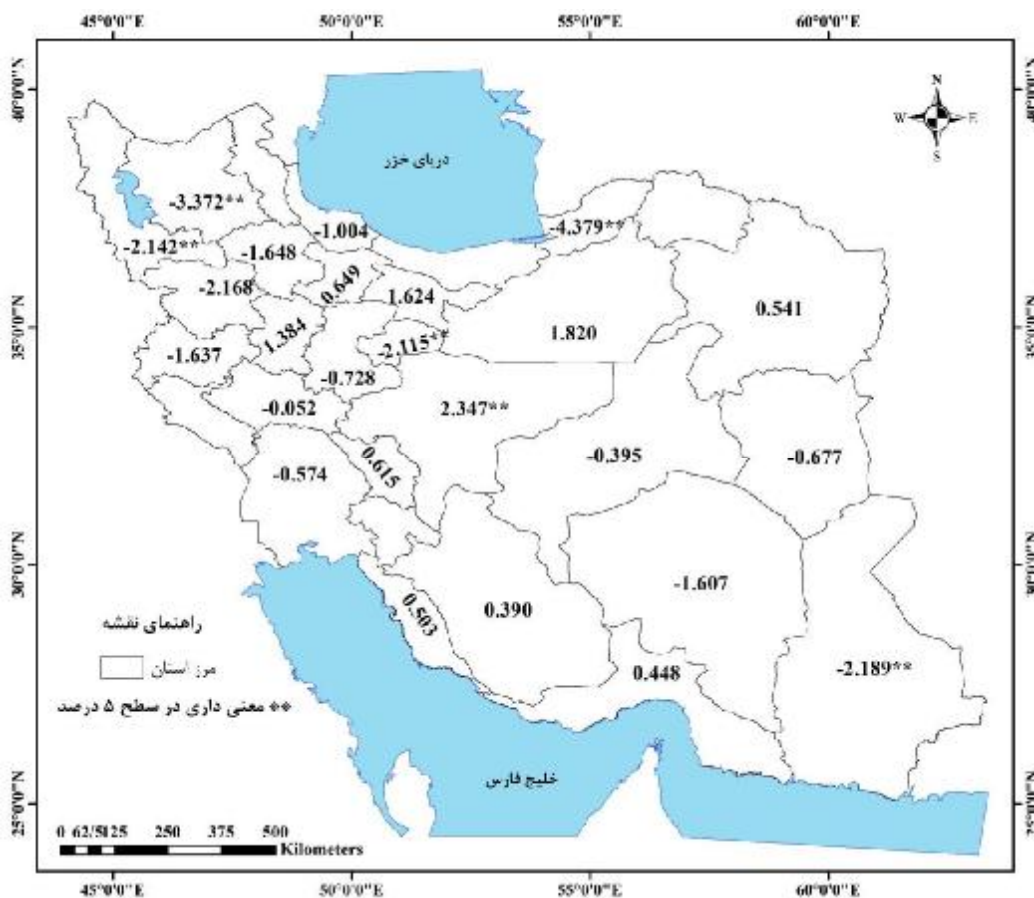
$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{S^2 \left( \frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}} \quad [7]$$

$$S^2 = \frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \quad [8]$$

<sup>5</sup> - Serial correlation

این فصل و در تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه در کشور ایران است. بیشترین مقادیر به دست آمده از شاخص PCI مربوط به ایستگاه سینوپتیک بندرعباس است. کمترین مقدار شاخص مورد نظر نیز متعلق به ایستگاه‌های پر بارانی مثل رشت است. جهت نمایش

پراکندگی شاخص مورد نظر در سطح کشور، شاخص مورد نظر با استفاده از مختصات جغرافیایی ایستگاه‌های سینوپتیک پهنه‌بندی و به صورت شکل‌های 3 تا 6 ارائه گردید.



شکل 2- آماره Z مربوط به آزمون من- کندال در بررسی روند بارش نیم قرن اخیر در ایران.

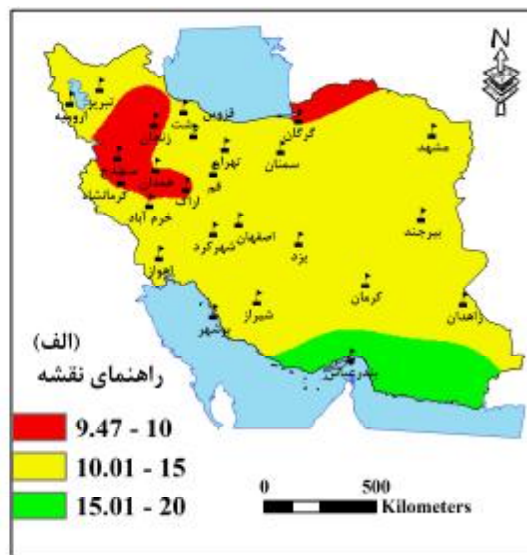
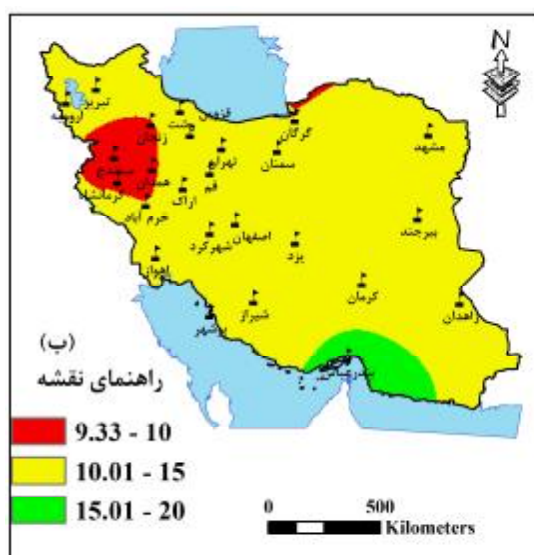
تراکم متوسط بارش می‌دهد. این موضوع بیانگر کاهش تراکم و پراکندگی بارش در بین ماه‌های مختلف فصل زمستان است. در فصل بهار نیز از محدوده با تراکم بی‌نظم بارش در زیربازه دوم کاسته شده و محدوده با پراکندگی به شدت نامنظم افزایش داشته است. با توجه به پهنه‌بندی شاخص PCI در فصل بهار، سه منطقه متفاوت را می‌توان در ایران از نظر پراکندگی و تراکم بارش مشاهده کرد. منطقه شمالی ایران با تراکم متوسط، مناطق میانی ایران با تراکم و پراکندگی بی‌نظم بارش و مناطق جنوبی و حاشیه خلیج فارس

با توجه به تقسیم‌بندی یور (1980)، نتایج بررسی شاخص PCI فصلی در ایران نشان داد که تنها در فصل زمستان چند ایستگاه از ایستگاه‌های مورد مطالعه از جمله ایستگاه گرگان، سنندج، زنجان و قسمتی از ایستگاه‌های کرمانشاه و ارومیه دارای تراکم بارش یکنواخت می‌باشند که این موضوع در 25 سال اول دوره آماری بیشتر دیده می‌شود. همان‌طور که از شکل 3 قابل مشاهده است، در فصل زمستان با گذشت زمان و در دوره آماری 25 سال دوم، از حجم تراکم یکنواخت بارش کاسته شده و جای خود را به

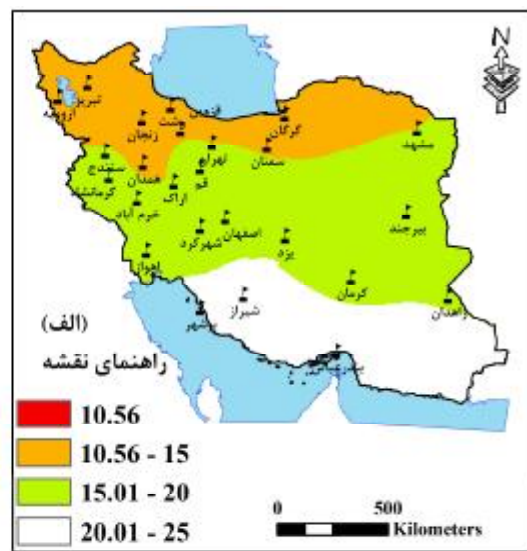
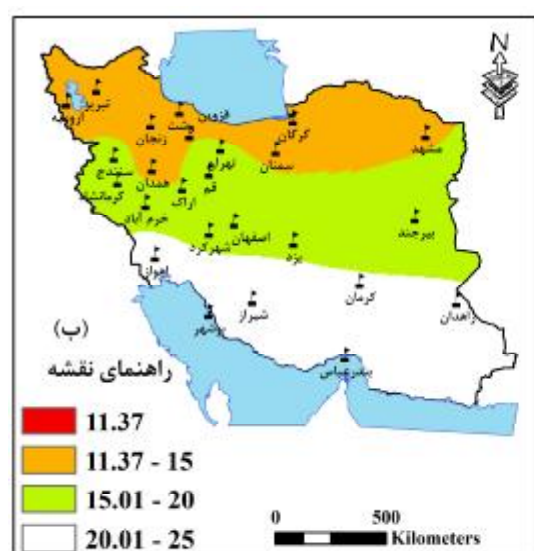


بی‌نظمی متوسط بوده و نوار حاشیه دریای خزر نیز پراکندگی نامنظم بارش را نشان می‌دهد. افزایش شاخص PCI در 25 سال دوم دوره آماری در فصل تابستان حاکی از شدید بودن بی‌نظمی‌ها در پراکندگی و تراکم بارش در ماه‌های تیر، مرداد و شهریور هست. در فصل پاییز با توجه به شکل 6 مشاهده می‌شود که تراکم متوسط بارش در دو زیر بازه تفاوت زیادی نداشته است. در زیربازه دوم دوره آماری، تراکم به‌شدت نامنظم بارش‌ها ایستگاه یزد و زاهدان را نیز در بر گرفته است. تراکم نامنظم بارش نیز در بازه دوم دوره آماری افزایش داشته است.

و دریای عمان که دارای تراکم و پراکندگی به‌شدت بی‌نظم در ریزش بارش می‌باشند. همچنین نتایج نشان‌دهنده بی‌نظمی شدید در پراکندگی بارش مناطق جنوبی کشور در فصل بهار هست. با توجه به پراکندگی بارش در ایران می‌توان نتیجه گرفت که مناطق با بی‌نظمی شدید در توزیع بارش‌ها متعلق به ایستگاه‌ها و مناطق کم بارش ایران می‌باشند. در فصل تابستان (شکل 5) نتایج بررسی شاخص PCI نشان داد که در بازه 25 سال دوم دوره آماری بیشتر قسمت‌های ایران دارای بی‌نظمی شدید در پراکندگی بارش می‌باشند. تنها در 25 سال اول قسمتی از ایستگاه‌های گرگان و رشت دارای

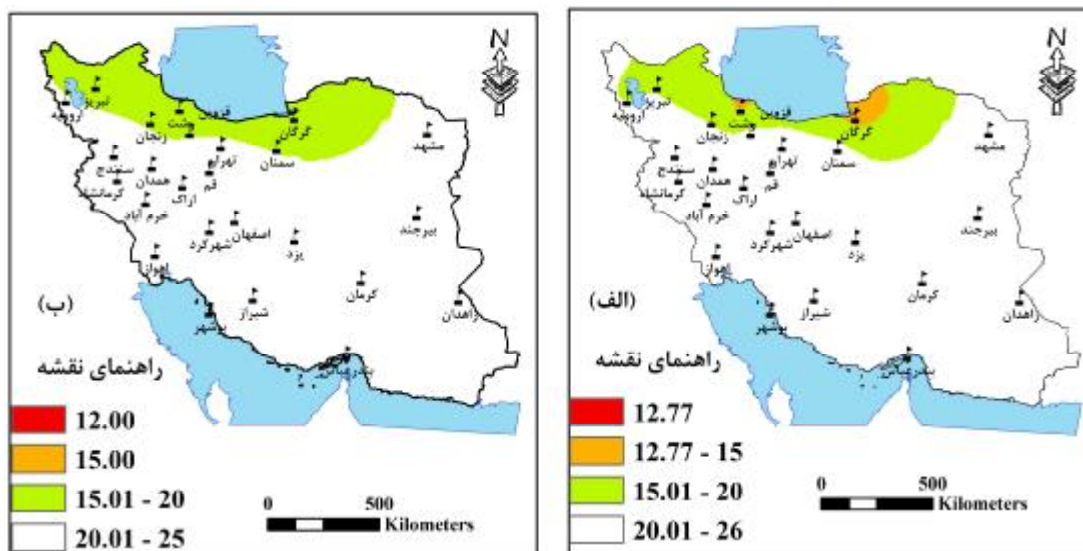


شکل 3- پهنه‌بندی شاخص PCI مربوط به فصل زمستان (الف: 25 سال اول و ب: 25 سال دوم دوره آماری).

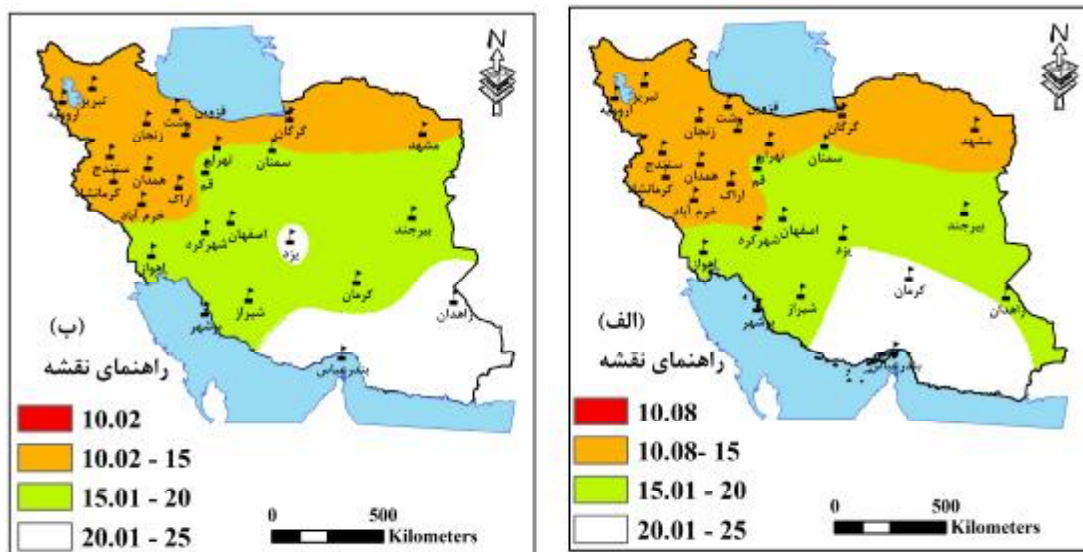


شکل 4- پهنه‌بندی شاخص PCI مربوط به فصل بهار (الف: 25 سال اول و ب: 25 سال دوم دوره آماری).





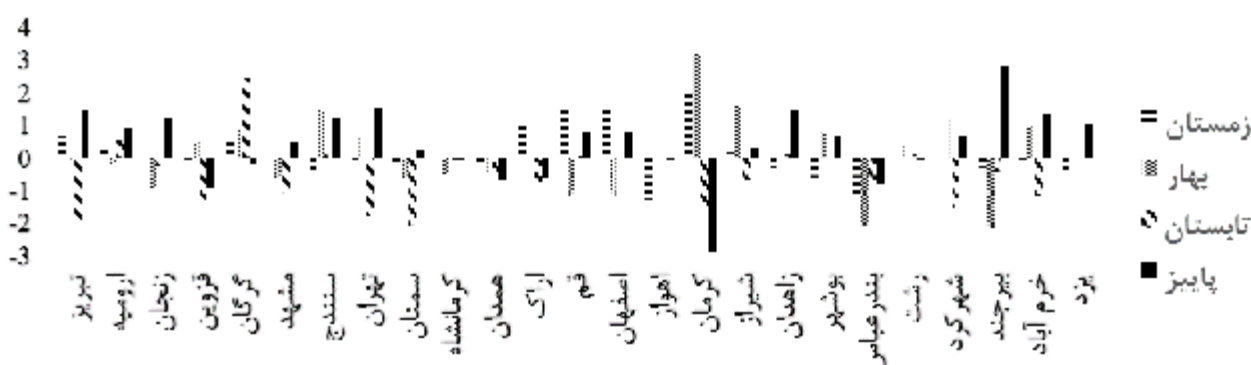
شکل 5- پهنه‌بندی شاخص PCI مربوط به فصل تابستان (الف: 25 سال اول و ب: 25 سال دوم دوره آماری).



شکل 6- پهنه‌بندی شاخص PCI مربوط به فصل پاییز (الف: 25 سال اول و ب: 25 سال دوم دوره آماری).

شمالی و جنوبی ایران بسیار متفاوت هست. همچنین در برخی فصول تفاوت این شاخص در دو زیربازه مورد بررسی نیز متفاوت است. از این رو بررسی روند تغییرات داده‌های شاخص مورد نظر ضروری به نظر می‌رسد. تفاوت محاسبات PCI در دو زیر بازه 25 ساله به صورت شکل 6 ارائه گردید.

نتایج بررسی شاخص فصلی PCI در ایستگاه‌های منتخب نشان داد که ایستگاه‌های کم‌بارش ایران از تراکم و الگوی بی‌نظم و به شدت نامنظم در پراکندگی بارش‌ها برخوردار هستند. همچنین کمترین اعداد مربوط به شاخص PCI فصلی در بین تمام فصل‌ها مربوط به نوار حاشیه دریای خزر و همچنین قسمت‌های شمالی ایران هست. تفاوت شاخص PCI در مناطق



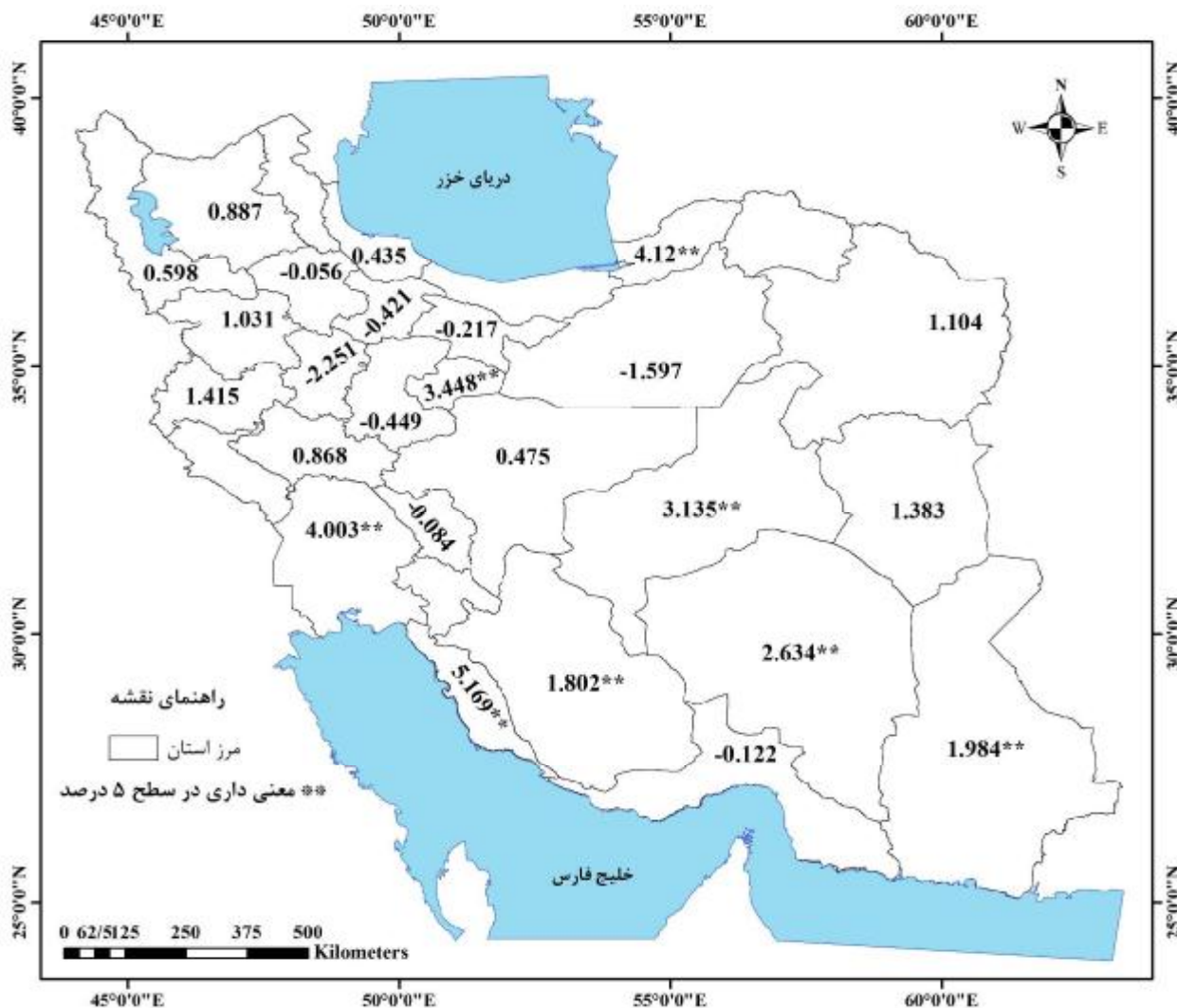
شکل 7- بررسی کاهش یا افزایش شاخص فصلی PCI (بازه زمانی دوم نسبت به بازه زمانی اول).

با استفاده از آزمون فصلی من- کندال، روند تغییرات فصلی سری زمانی 50 ساله داده‌های شاخص PCI مورد بررسی قرار گرفت و نتایج آزمون ذکر شده به شرح شکل 8 ارائه گردید.

با توجه به شکل 8 نتایج بررسی روند تغییرات شاخص تراکم بارش نشان از روند کاهشی غیرمعنی‌دار در ایستگاه‌های تهران، اراک، قزوین، زنجان و همدان بود. روندهای افزایشی معنی‌دار نیز در ایستگاه‌های کرمان، یزد، قم، اهواز، بوشهر و گرگان مشاهده شد. در سایر ایستگاه‌های مورد مطالعه نیز روند افزایشی دیده می‌شود. به‌طور کلی نتایج بررسی روند تغییرات شاخص PCI نشان داد که بیشتر ایستگاه‌های کم بارش ایران روند معنی‌دار افزایشی دارند. جهت بررسی معنی‌دار بودن، اطمینان از تفاوت دو بازه 25 ساله و همچنین جهت ارزیابی میزان هم‌قواری یا یکسان بودن و نبودن میانگین دو نمونه 25 تایی از شاخص PCI، از آزمون t استفاده شد و نتایج به شرح جدول 3 ارائه گردید.

همان‌گونه که از شکل 7 قابل‌مشاهده هست، بیشترین افزایش بازه دوم نسبت به بازه اول مربوط به پاییز ایستگاه‌های کرمان و اهواز به‌ترتیب با 18 و 16 درصد افزایش است. در سایر ایستگاه‌ها نیز شاخص PCI دارای نوسانات افزایشی یا کاهشی است. به‌طور کلی نتایج تفاوت شاخص PCI در دو بازه 25 ساله مورد بررسی نشان داد که شاخص موردنظر به‌طور متوسط حدود 1/43، 1/42، 1/2 و 3/2 درصد به‌ترتیب در فصول زمستان، بهار، تابستان و پاییز افزایش‌یافته است. این افزایش نسبت به بازه 25 سال اول صورت گرفته است. بیشترین افزایش از نظر عددی مربوط به فصل پاییز و بیشترین افزایش از نظر تغییر طبقه‌بندی شاخص (تغییر از طبقه الگوی بی‌نظم بارش به الگوی به‌شدت بی‌نظم) مربوط به فصل تابستان هست.

در ادامه به بررسی روند تغییرات شاخص PCI در سطح کشور پرداخته می‌شود.



شکل 8- روند فصلی شاخص فصلی PCI طی نیم قرن اخیر کشور ایران.

### نتیجه‌گیری کلی

شاخص فصلی PCI، شاخصی جهت تعیین تغییرات بارندگی در منطقه‌ای خاص می‌باشند و نتایج تحلیل آن می‌تواند قابلیت دسترسی به آب را در یک ناحیه نشان دهد. اطلاعات حاصل می‌تواند در برنامه‌های مدیریتی مورد استفاده قرار گیرد. شاخص تراکم بارش به منظور تحلیل بارندگی در کشور ایران طی بازه زمانی 2010-1961 مورد استفاده قرار گرفت. در این مطالعه با استفاده از آمار بارش ماهانه 25 ایستگاه سینوپتیک واقع در کشور ایران طی دوره آماری 1961 تا 2010 اقدام به بررسی روند تغییرات فصلی بارش، بررسی شاخص فصلی PCI و بررسی تغییرات فصلی این

شاخص در سطح کشور شد. به منظور بررسی روند بارش فصلی ایستگاه‌های سینوپتیک ایران از آزمون فصلی من-کندال استفاده شد.

نتایج حاصل از بررسی روند تغییرات فصلی بارندگی کشور نشان داد که بیشترین روند کاهشی در نیمه‌های جنوب شرق و شمال غرب ایران اتفاق افتاده است و در نیمه غربی نیز، روند کاهشی مشاهده می‌شود. بیشترین روند کاهش بارندگی مربوط به شمال غرب ایران بود که این کاهش روند تغییرات بارش در این منطقه یکی از عوامل تأثیرگذار بر سطح آب دریاچه ارومیه و خشک‌سالی‌های منطقه شمال غرب است.

جدول 3- مقادیر آماره t به دست آمده برای شاخص PCI فصلی.

ایستگاه	زمستان	بهار	تابستان	پاییز
مشهد	0/002	0/001	-0/001	-0/002
اهواز	0/027	0/003	0/000	0/001
اراک	-0/014	0/000	0/000	-0/001
بندرعباس	0/012	0/003	0/001	-0/001
بیرجند	0/000	0/002	0/002	-0/005
بوشهر	0/028	-0/001	0/000	-0/001
اصفهان	-0/043	0/001	-0/001	-0/003
قزوین	-0/007	0/000	0/000	0/000
خرم آباد	-0/001	-0/001	0/001	-0/003
رشت	0/001	0/000	0/000	0/000
سنندج	0/000	-0/001	0/000	-0/002
شهرکرد	0/007	-0/001	0/001	-0/001
شیراز	-0/011	-0/002	-0/001	-0/002
تبریز	-0/003	0/000	0/001	-0/002
تهران	-0/011	-0/001	0/000	-0/002
یزد	-0/011	0/001	0/000	-0/001
زاهدان	0/005	-0/001	0/000	0/000
زنجان	-0/003	0/001	0/001	-0/003
کرمان	-0/052	-0/003	0/002	0/003
قم	-0/043	-0/002	-0/008	-0/005
کرمانشاه	-0/018	0/000	-0/001	0/001
ارومیه	-0/006	0/001	0/000	-0/001
گرگان	-0/011	-0/001	-0/001	-0/001
همدان	-0/001	0/001	-0/001	0/002
سمنان	-0/018	-0/002	0/001	0/001

روند افزایشی بارش فصلی فقط در چند ایستگاه مرکزی ایران و ایستگاه‌های، هرمزگان، فارس و بوشهر دیده شد و در سایر نقاط روند کاهش بارش به وضوح قابل رؤیت بود.

خشک‌سالی‌های اخیر کشور، تغییر اقلیم و افزایش دما در سال‌ها اخیر نیز از کاهش بارندگی نشات می‌گیرد. به‌طور کلی بیش از نیمی (بیش 60 درصد) از

ایستگاه‌های مورد مطالعه دارای روند کاهش بارش بودند که با تحقیقات خلیلی و همکاران (2014) مطابقت دارد. بعد از بررسی روند بارش فصلی ایستگاه‌های سینوپتیک مناطق مختلف ایران، با استفاده از شاخص PCI فصلی، تراکم و پراکندگی بارش در سطح کشور مورد بررسی قرار گرفت. برای جزئی‌تر شدن مسئله و امکان مقایسه بیشتر، 50 سال مورد مطالعه به دو زیربازه 25 ساله 1961-1985 (زیربازه اول) و 2010-1986 (زیربازه دوم) تقسیم‌بندی شده و شاخص‌های مربوطه حاصل شدند و سپس جهت اطمینان از تقسیم دو زیربازه 25 ساله از آزمون t استفاده شد و نتایج این آزمون نشان داد که داده‌های شاخص مورد نظر در دو زیربازه تفاوت معنی‌داری با هم ندارند.

نتایج پهنه‌بندی شاخص PCI نشان داد که پراکندگی و تراکم بارش فصول بهار، پاییز و زمستان در دو زیربازه 25 ساله تقریباً از الگوی یکسان پیروی می‌کند. همچنین نتایج پهنه‌بندی نشان از بالا بودن این شاخص در مرکز و به‌خصوص مناطق جنوبی کشور و در ایستگاه‌های کم بارشی مثل کرمان، یزد، زاهدان و غیره است که این ایستگاه‌ها بر اساس طبقه‌بندی الیور (1980) دارای بی‌نظمی زیاد و پراکنده در ریزش بارش هستند. بر اساس این طبقه‌بندی، تنها در فصل زمستان چند ایستگاه در دسته اول (تراکم و الگوی مناسب بارش) قرار داشته و بیشتر ایستگاه‌های مورد مطالعه در طبقه‌بندی "الگوی متوسط، الگوی بی‌نظم و به‌شدت نامنظم در پراکندگی بارش" قرار دارند. این الگوهای بی‌نظم و به‌شدت نامنظم بارندگی نشان از پراکندگی شدید بارش در بین ماه‌های هر فصل هست. بیشترین مقدار شاخص مورد نظر مربوط به فصل تابستان است. همچنین نتایج پهنه‌بندی این شاخص در تمام فصل‌ها و در سطح کشور، نشان از بالا بودن مقدار این شاخص در نواحی جنوب ایران بود. به‌طور کلی نتایج نشان داد که بر اساس شاخص پیشنهادی الیور (1980)، ایران به سه قسمت از نظر الگوی بارش تبدیل می‌شود. بعد از

کاهش می‌دهد. به‌طور کلی مقادیر شاخص PCI در ایستگاه‌های مورد بررسی که دارای روند افزایشی بودند، دارای روند کاهشی معنی‌دار و گاهی غیر معنی‌دار هستند. این موضوع نشان می‌دهد که روند تغییرات فصلی شاخص PCI، با روند فصلی داده‌های سری زمانی بارندگی، نسبت عکس دارند.

بررسی و پهنه‌بندی شاخص مورد نظر در سطح ایران، روند تغییرات فصلی این شاخص در دوره آماری 50 ساله نیز با استفاده از آزمون فصلی من-کندال مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بررسی روند تغییرات شاخص PCI نشان داد که تنها در ایستگاه همدان مقدار شاخص محاسبه‌شده در مقیاس فصلی دارای روند کاهشی معنی‌دار در سطح 5 درصد است. روندهای

#### منابع مورد استفاده

- Adegun O, Balogun I and Adeaga O, 2012. Precipitation Concentration Changes in Owerri and Enugu. Pp. 383-391. In: Hydrology for Disaster Management, Special Publication of the Nigerian Association of Hydrological Sciences.
- Douglas EM, Vogel RM and Kroll CN, 2000. Trends in floods and low flow in the United States: impact of spatial correlation. *Journal of Hydrology* 240: 90-105.
- Hirsch RM and Slack JR, 1984. A nonparametric trend test for seasonal data with serial dependence. *Water Resources Research* 20(6): 727-732.
- Hirsch RM, Slack JR and Smith RA, 1982. Techniques of trend analysis for monthly water quality data, *Water Resources Research* 18(1): 107-121.
- Kendall MG, 1938. A new measure of rank correlation. *Biometrika* 36: 81-93.
- Khalili K, Nazeri Tahrudi M and Khanmohammadi N, 2014. Trend analysis of precipitation in recent two decades over Iran. *Journal of Applied Environmental and Biological Science* 4(1s): 5-10.
- Khalili K, Nazeri Tahrudi M, Mirabbasi R and Ahmadi, F. 2015. Investigation of spatial and temporal variability of precipitation in Iran over the last half century. *Stochastic Environment Research Risk Assessment*, DOI 10.1007/s00477-015-1095-4, 1-17.
- Luis Mde, Gonz´alez-Hidalgo JC, Brunetti M and Longares LA, 2011. Precipitation concentration changes in Spain 1946–2005. *Natural Hazards Earth System Science* 11: 1259–1265.
- Mann HB, 1945. Nonparametric test against trend. *Econometrica* 13: 245-259.
- McDonald JH, 2008. *Handbook of Biological Statistics*. Sparky House Publishing, Baltimore.
- Oliver JE, 1980. Monthly precipitation distribution: a comparative index. *The Professional Geographer* 32(3): 300-309.
- Valli M, Shanti Sree K and Murali Krishna IV, 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.