# بررسی شاخص خشکسالی PCI و روند تغییرات آن در ایران طی نیم قرن اخیر

کیوان خلیلی[۱]، محمد ناظری تهرودی[۲*]، علیرضا مقدم‌نیا[۳]، مجتبی مروج[۴] ومرضیه عباس زاده افشار[۵]

۱- استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه ارومیه
۲*- نویسنده مسئول، دانشجوی دکتری منابع آب، دانشگاه بیرجند
۲- دانشیار گروه کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران
۳- دانشجوی دکتری منابع آب دانشگاه تهران
۴- دانشجوی کارشناسی ارشد منابع آب، دانشگاه ارومیه

تاریخ دریافت: ۹۳/۴/۲ تاریخ پذیرش: ۹۴/۸/۹

## چکیده

**بررسی پدیده بارندگی به عنوان یکی از مهمترین عوامل هواشناسی که به صورت مستقیم منابع آب را تحت تاثیر قرار می‌دهد، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. بنابراین، در این تحقیق، توسط شاخص پراکندگی بارش (PCI) در مقیاس سالانه به بررسی تغییرات الگوی بارندگی در سطح ایران پرداخته شد. بدین منظور آمار بارندگی ماهانه ۲۵ ایستگاه سینوپتیک کشور ایران در یک دوره ۵۰ ساله (۲۰۱۰-۱۹۶۱) در دو بازه ۲۵ ساله ارزیابی شد و سپس معنی‌دار بودن شاخص مورد نظر در دو زیر بازه ۲۵ ساله با استفاده از آزمون t مورد بررسی قرار گرفت. نتایج پهنه بندی شاخص مورد نظر نشان داد که پراکندگی و پراکنش بارندگی در هر دو زیر بازه از الگوی یکسان پیروی می‌کند. هم‌چنین نتایج پهنه‌بندی نشان از بالا بودن این شاخص در مرکز ایران و در استان‌های کم بارشی مثل کرمان، هرمزگان، یزد، زاهدان، شهرکرد، بیرجند، بوشهر، اهواز و اصفهان می‌باشد که این ایستگاه‌ها بر اساس طبقه‌بندی الیور (۱۹۸۰)، دارای بی نظمی زیاد و پراکنده در ریزش بارش هستند. هم‌چنین نتایج نشان داد که اکثر نواحی شمال غرب ایران دارای الگوی نامنظم بارندگی است. دو ایستگاه رشت و گرگان دارای تمرکز متوسط بارندگی و دو ایستگاه زنجان و تبریز دارای تمرکز تقریباً متوسط بارندگی هستند. در هیچ یک از ایستگاه‌های مورد مطالعه در کشور ایران، تمرکز یکنواخت (PCI<10) یافت نشد. در نهایت روند تغییرات شاخص مذکور در دو مقیاس ایستگاهی و منطقه‌ای مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان دهنده روند افزایشی غیرمعنی‌دار در سطح اطمینان ۵ درصد در دو خوشه دو و پنج و در سایر خوشه‌ها روند کاهشی غیرمعنی دار بود.**

**کلیدواژه‌ها:** الگوی بارندگی، خوشه بندی فازی، شاخص PCI، کندال منطقه‌ای.

## Investigation of PCI Drought Index and Its Trend Over Iran in The Recent Half Century

K. Khalili [1], M. Nazeri Tahrudi [2*], A .R. Moghaddamnia[3], M. Moravej [4] and M. Abbaszadeh Afshar[5]

1. Assistant Professor, Department of Water Engineering, Urmia University, Iran.
2*- Ph.D student of Water Resource Management, Birjand University, Iran.
3- Associate Professor, Faculty of Natural Resources, University of Tehran Iran.
4- Ph.D student of Water Resource Management, Tehran University, Iran.
5- . Msc Student of Water Resource Management, Urmia University, Iran.

Received:23 June 2014 Accepted:31 October 2015

## Abstract

Precipitation is one of most the important parameters of climate that affects water resources directly. In this research changes of precipitation pattern in Iran investigated by means of PCI index. In this order 25 synoptic stations of Iran during two periods of 1961-1986 and 1986-2010 used to calculate PCI index and then significance of this index evaluated by t-test method.

Results of mapping this index over Iran showed that precipitation changes had the same pattern in the two studied periods of time. Also results indicated that PCI index was high in the central part of Iran and in the low-precipitation provinces such as Kerman, Hormozgan, Yazd, Zahedan, Shahrekord, Birjand, Booshehr, Ahwaz and Isfahan. These stations according to the Oliver (1980) classification showed high irregular precipitation pattern. According to the results most parts of northwest followed irregular precipitation pattern. Two stations of Rasht and Gorgan had intermediate PCI index values and Zanjan and Tabriz stations had almost intermediate PCI index values. In none of stations uniform precipitation pattern (PCI<10) found. Finally trend of PCI index analyzed in the regional and stational scales and non-significant upward trend detected at 5% level at clusters 2 and 5 while in other clusters non-significant downward trend observed.

**Keywords:** Precipitation pattern, Fuzzy classification, PCI index, Regional Kendall.

## مقدمه

کمبود مقدار بارش و نوسانات شدید آن در مقیاس‌های زمانی روزانه، فصلی و سالانه از ویژگی‌های ذاتی اقلیم ایران می‌باشد. با توجه به تاثیر بارندگی بر منابع آب مانند آب زیرزمینی، ذخائر آب سطحی و برف، استفاده از شاخص‌هایی برای بیان تغییرات آن ضروری به نظر می رسد. از جمله این شاخص‌ها می‌توان، به شاخص بارش استاندارد[1] و شاخص تراکم بارش[2] اشاره نمود. شاخص بارش استاندارد از جمله شاخص‌های کاربردی در اکثر مطالعات خشکسالی هواشناسی بوده در حالی‌که، شاخص PCI در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته است.

شاخص تراکم بارش 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 بیشتری تمرکز یافته است. به‌علاوه، شاخص تراکم بارش بخشی از شاخص مشهور فوریه با یک پیشینه قوی در آنالیز سیستم‌ها می‌باشد (لویس و همکاران[3]، ۲۰۱۱). نتایج حاصل از محاسبه PCI می‌تواند برای برنامه‌های مدیریتی هیدرولوژیک، منابع آب و محیطی به عنوان یک ابزار هشدار دهنده برای آمادگی در مواجهه با سیل یا فرسایش خاک مورد استفاده قرار گیرد (آدگان و همکاران[4]، ۲۰۱۲). در سال‌های اخیر، محققان از این شاخص در تحلیل‌های خشکسالی و پراکندگی بارش استفاده نموده‌اند؛ لویس و همکاران (۲۰۱۱)، مقادیر متوسط سالانه، فصلی و بازه‌های مرطوب و خشک از شاخص تراکم بارش را در مجاورت اسپانیا برای دو دوره زمانی ۲۰۰۵-۱۹۷۶ و ۱۹۷۵-۱۹۶۴ 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 (۲۰۱۲) شاخص PCI را در دو مقیاس فصلی و سالانه طی بازه ۲۰۱۱-۱۹۷۴ برای دو منطقه در نیجریه محاسبه نمودند. نتایج محاسبه PCI برای این منطقه نشان داد که به ترتیب، ۸۷ و ۷۱ درصد از سال‌های مورد بررسی در منطقه اول و دوم در محدوده تمرکز متوسط قرار می‌گیرند. والی و همکاران[5] (۲۰۱۳)، در بخشی از مطالعه خود، الگوی بارندگی در ایالت آندهرا پرادش[6] برای بازه زمانی ۲۰۱۰-۱۹۸۱ در دو سطح سالانه و فصلی از شاخص PCI استفاده نمودند. نتایج حاصله توسط این شاخص یک توزیع نامنظم بارندگی با محدوده مقادیر ۱۶ تا ۳۵ را حاصل نمود.

با توجه به اهمیت و نقش باران در تدوین برنامه‌های مدیریتی، هدف از این مطالعه، بررسی شاخص تراکم بارش و روند تغییرات آن در سطح کشور ایران در طی نیم قرن اخیر می باشد.

## مواد و روش‌ها

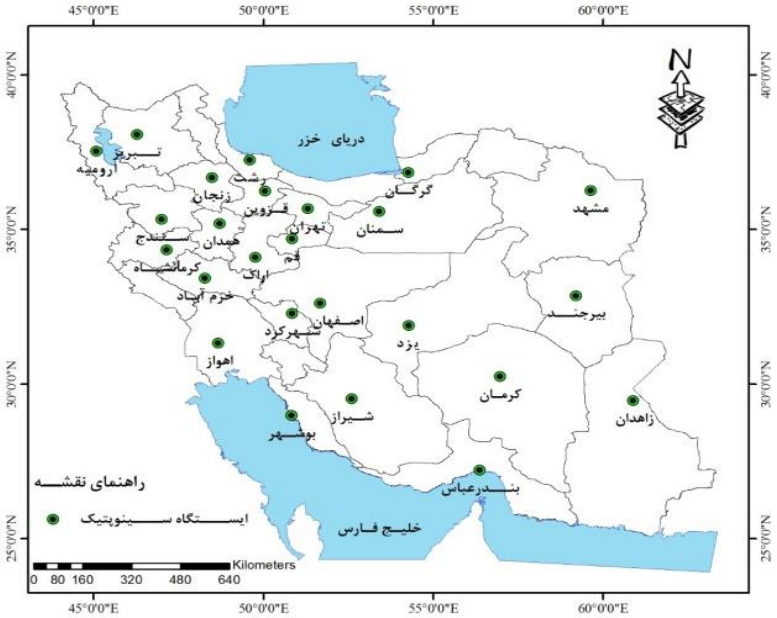
منطقه مورد مطالعه در این تحقیق ۲۵ ایستگاه سینوپتیک مراکز استان‌های کشور ایران می‌باشد. کشور ایران با وسعتی حدود ۱۶۴۸۰۰۰ کیلومتر مربع و متوسط بارش سالانه ۲۴۱ میلی‌متر در نیم کره شمالی و در قاره آسیا واقع شده است. این کشور بین دو نصف النهار °۴۴ و °۶۴ شرقی و دو مدار °۲۵ و °۴۰ شمالی قرار گرفته است. حدود ۹۴/۸ درصد از سطح آن، در زمره مناطق خشک و نیمه خشک با ریزش‌های جوی کم و تبخیر (تبخیر و تعرق) زیاد قرار دارد. جدول (۱) مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه و شکل (۱)، موقعیت این ایستگاه‌ها در کشور ایران را نشان می‌دهد.

برای بررسی شاخص تراکم بارندگی، از آمار بارش ماهانه ۲۵ ایستگاه نام برده شده طی دوره آماری ۱۹۶۱ تا ۲۰۱۰ استفاده شد. مجموع سالانه بارش توسط مقادیر ماهانه حاصل شد و مطالعه روند داده‌های بارش با استفاده از آزمون من-کندال انجام گرفت.

1 - SPI
2 - Precipitation Concentration Index
3 - Luis *et al.*
4 - Adegun *et al.*
5 - Valli *et al.*
6 - Pradesh Andhra

**جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه**

| ایستگاه | مشخصات | | ارتفاع از سطح دریا (متر) | متوسط بارندگی (میلی‌متر) |
|---|---|---|---|---|
| | E | N | | |
| ارومیه | ۵۰۷۳۶۲/۶ | ۴۱۵۴۰۴۳ | ۱۳۱۲/۵ | ۳۲۵/۰۰۰ |
| زنجان | ۲۷۳۶۸۲/۷ | ۴۰۰۷۲۱۹ | ۱۶۶۳ | ۳۰۴/۲۱۱ |
| سنندج | ۶۸۱۷۷۲/۴ | ۳۹۱۱۸۴۵ | ۱۳۷۳ | ۴۵۱/۷۲۶ |
| قزوین | ۴۱۴۶۶۶/۸ | ۴۰۱۳۹۴۵ | ۱۹۵۹ | ۳۱۶/۵۱۵ |
| شهرکرد | ۴۸۵۸۷۵/۴ | ۳۵۷۱۸۵۲ | ۲۰۴۸/۹ | ۳۳۲/۰۴۸ |
| بوشهر | ۴۸۳۷۶۴/۱ | ۳۲۰۶۱۵۱ | ۱۹/۶ | ۲۴۴/۶۴۴ |
| اهواز | ۲۷۷۹۹۶/۱ | ۳۴۶۸۸۹۶ | ۲۲/۵ | ۲۲۶/۶۰۱ |
| بیرجند | ۷۰۵۸۴۴/۳ | ۳۶۳۸۶۵۱ | ۱۴۹۱ | ۱۶۴/۶۵۷ |
| بندرعباس | ۴۳۷۲۸۳/۸ | ۳۰۱۰۵۹۲ | ۹/۸ | ۱۷۱/۲۲۲ |
| زاهدان | ۲۹۴۷۳۴/۴ | ۳۲۶۱۵۵۶ | ۱۹۵۱ | ۷۹/۱۴۸ |
| کرمان | ۴۹۶۷۹۳/۲ | ۳۳۴۶۴۸۸ | ۱۷۵۳/۸ | ۱۳۶/۷۴۷ |
| مشهد | ۷۰۴۵۴۴/۳ | ۴۰۳۹۹۸۴ | ۹۹۲/۲ | ۲۵۱/۶۴۷ |
| تبریز | ۶۱۲۵۴۷/۹ | ۴۲۱۵۸۳۹ | ۱۳۶۱ | ۲۸۴/۷۶۵ |
| گرگان | ۲۵۶۲۹۵/۷ | ۴۰۸۱۷۲۰ | ۱۳/۳ | ۵۲۷/۶۲۹ |
| رشت | ۳۸۰۱۹۴/۶ | ۴۱۱۷۹۱۳ | ۳۶/۷ | ۱۳۳۹/۹۰۰ |
| تهران | ۵۲۸۶۵۴/۱ | ۳۹۴۸۸۷۳ | ۱۱۹۰/۸ | ۲۳۴/۳۱۹ |
| اراک | ۶۶۲۹۶۶/۱ | ۳۷۷۴۶۵۳ | ۱۷۰۸ | ۳۳۰/۳۵۸ |
| کرمانشاه | ۵۱۳۷۹۵/۱ | ۳۸۰۰۹۷۵ | ۱۳۱۸/۶ | ۴۴۴/۸۳۸ |
| همدان | ۲۷۴۵۲۳/۷ | ۳۸۶۱۰۳۳ | ۱۷۶۹/۷ | ۳۲۳/۳۵۲ |
| خرم آباد | ۲۴۷۴۳۰/۷ | ۳۷۰۲۶۲۹ | ۱۱۴۷/۸ | ۴۹۹/۷۷۸ |
| قم | ۴۸۶۲۶۲/۵ | ۳۸۳۹۷۸۵ | ۸۸۷/۴ | ۱۴۸/۶۵۰ |
| اصفهان | ۵۶۲۵۴۵/۷ | ۳۶۰۸۹۸۸ | ۱۵۵۰/۴ | ۱۲۱/۳۴۱ |
| یزد | ۲۴۳۰۷۵/۴ | ۳۵۳۲۵۷۲ | ۱۲۳۷/۲ | ۵۷/۰۲۹ |
| سمنان | ۷۳۱۰۵۳/۱ | ۳۹۴۰۷۲۹ | ۱۱۳۰/۸ | ۱۴۰/۹۸۰ |
| شیراز | ۶۵۵۰۴۳/۶ | ۳۲۶۸۱۴۴ | ۱۹۵۱ | ۳۱۶/۹۲۹ |




**شکل ۱- موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه در کشور ایران**

**شاخص PCI**

شاخص PCI (الیور[1]، ۱۹۸۰)، به عنوان شاخصی از تمرکز باران و فرسایش بارندگی پیشنهاد شده است. مقیاس سالانه این شاخص به صورت معادله (۱) محاسبه می‌شود:

$$PCI_{annual}=\frac{\sum_{i=1}^{12} p_i^2}{(\sum_{i=1}^{12} p_i)^2}\times 100 \qquad (۱)$$

که در آن، Pi: مقدار بارندگی ماهانه در ماه iام 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 می افتد). مقدار ۱۶/۷ برای PCI، نشان می‌دهد که کل بارندگی در $\frac{1}{2}$ از بازه زمانی تمرکز یافته است و مقدار ۲۵ برای این شاخص، نشان دهنده این امر است که کل بارندگی در $\frac{1}{3}$ بازه زمانی رخ داده است (بدین معنی که کل بارندگی در چهار ماه اتفاق افتاده است). بر اساس این دسته بندی، الیور (۱۹۸۰)، پیشنهاد کرد که مقادیر PCI کمتر از ۱۰، یک توزیع یکنواخت از بارندگی (تمرکز کم بارندگی) را نشان دهد. مقادیر PCI از ۱۱ تا ۱۵، تمرکز متوسط بارندگی و مقادیر از ۱۶ تا ۲۰ این شاخص نیز توزیع نامنظم بارندگی باشند. مقادیر بالای ۲۰ از این شاخص نیز یک بی نظمی زیاد از توزیع بارندگی (تمرکز زیاد باران) را نشان می‌دهد (لویس و همکاران، ۲۰۱۱).

**آزمون من - کندال (MK)**

کندال[2] (۱۹۳۸) متغیر $\tau\,(tau)$را برای اندازه‌گیری رابطه همبستگی بین x و y ارائه کرد و من[3] (۱۹۴۵) با استفاده از آزمون کندال یکی از متغیرها را مولفه 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 $\{x_1, x_2, ..., x_N\}$ مستقل از هم بوده و به صورت تصادفی توزیع شده و در نتیجه روند در بین داده‌ها وجود ندارد. در حالی که فرض مخالف $(H_1)$ بیانگر وجود روند در داده‌ها می‌باشد. آزمون آماری MK به صورت زیر است:

$$t = 2S/[N(N-1)] \qquad (۲)$$

در این رابطه S به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$S=\sum_{i=1}^{n-1}\sum_{j=i+1}^{n} sign(X_i - X_j) \qquad (۳)$$

که در آن Xj و Xi: مقادیر مرتب شده نمونه و n: تعداد نمونه است. مقدار $sign(X_i-X_j)$ برای (Xi-Xj)<0، برابر با ۱- ، برای (Xi-Xj)=0، برابر با صفر و برای (Xi-Xj)>0، برابر با ۱ است.

میانگین آماره S صفر بوده و واریانس آن به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$Var(S)=\frac{1}{18}[n(n-1)(2n-5)-\sum_{p=1}^{q} t_p(t_p-1)(2t_p+5)] \qquad (۴)$$

که در آن $t_i$: تعداد داده‌های یکسان در دسته[4] iام بوده که داده‌ها در آن تکراری می‌باشد. در شرایطی که تعداد نمونه از ۱۰ بزرگ‌تر باشد، مقدار متغیر نرمال و استاندارد Z از رابطه زیر به‌دست می‌آید ( داگلاس و همکاران[5] ، ۲۰۰۰).

$$Z_c=\begin{cases}\frac{S-1}{\sqrt{Var(S)}} & ,S>0\\ 0 & ,S=0\\ \frac{S+1}{\sqrt{Var(S)}} & ,S<0\end{cases} \qquad (۵)$$

با توجه به آزمون آماری دوطرفه کای اسکوئر، اگر $\chi^2=\sum_{J=1}^{P} Z_J^2 - P\overline{Z}^2$ در سطح معنی‌داری معین $\alpha$ باشد، فرض صفر $(H_0)$ پذیرفته شده و روند وجود ندارد. مقدار P برای سری ماهانه ۱ تا ۱۲ می باشد. مقادیر مثبت S روند صعودی و مقادیر منفی نیز روند نزولی را نشان می‌دهند. مطالعات نشان داده که وجود همبستگی متوالی[6] 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[7] 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 (هایرش[8] و همکاران، ۱۹۸۲ ; هایرش و اسلاک[9]، ۱۹۸۴).

**تشخیص روند منطقه‌ای[10]**

به منظور محاسبه روند در مقیاس منطقه‌ای، آماره میانگین S من–کندال منطقه‌ای توسط داگلاس و همکاران (۲۰۰۰) معرفی شد:

1 -Oliver
2 - Kendall
3 - Mann

4 - Tie
5 - Douglas *et al.*
6 - Serial correlation
7 - Seasonality
8 - Hirsch *et al.*
9 - Hirsch and Slack
10 – Regional Kendall

$$\bar{S}_m = \frac{1}{m}\sum_{k=1}^{m} S_k \qquad (۶)$$

که در آن $S_k$: آماره من-کندال برای ایستگاه k ام در منطقه‌ای با m ایستگاه می‌باشد. برای سری زمانی که مستقل باشد و متغیرها به صورت تصادفی توزیع شده باشند، میانگین و پراش $\bar{S}_m$ به صورت زیر محاسبه می‌شوند:

$$E(\bar{S}_m) = 0 \qquad (۷)$$

$$Var(\bar{S}_m) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18m} = \frac{\sigma^2}{m} \qquad (۸)$$

که در آن $Var(\bar{S}_m)$: برای مقادیر داده‌ها به صورت رابطه (۴) تصحیح می‌شود. اگر $\bar{S}_m$ مستقل و تصادفی باشد، توزیع $\bar{S}_m$ تقریباً نرمال خواهد بود و آماره نرمالیزه آزمون ($Z_m$) به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$Z_m = \frac{\bar{S}_m - E(\bar{S}_m)}{\frac{\sigma}{\sqrt{m}}} = \frac{\bar{S}_m}{\frac{\sigma}{\sqrt{m}}} \qquad (۹)$$

و معنی داری $Z_m$ می‌تواند از تابع توزیع تجمعی نرمال محاسبه شود.

برای مشخص شدن تغییر دو شاخص در دو زیربازه ۲۵ سال انتخابی، از آزمون t استفاده شد. مقدار این آماره به صورت زیر حاصل شد:

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{S^2\left(\frac{1}{n_1}+\frac{1}{n_2}\right)}} \qquad (۱۰)$$

$$S^2 = \frac{(n_1 - 1)S_1^{\,2} + (n_2 - 1)S_2^{\,2}}{n_1 + n_2 - 2} \qquad (۱۱)$$

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 ۱۹۸۵-۱۹۶۱ و ۲۰۱۰-۱۹۸۶، $S_1^{\,2}$ و $S_2^{\,2}$ : به ترتیب، واریانس نتایج حاصل از شاخص‌های مورد مطالعه در بازه ۱۹۸۵-۱۹۶۱ و ۲۰۱۰-۱۹۸۶ و $n_1$ و $n_2$: تعداد سال‌های آماری با مقدار ۲۵ می باشند.

منطقه‌بندی مناطق مورد مطالعه با استفاده از خوشه بندی فازی[1] صورت گرفت. یکی از اولین روش‌های خوشه‌بندی فازی که بر مبنای تابع هدف و استفاده از فاصله اقلیدسی بنا شده بود توسط دان[2](۱۹۷۴) ارایه و سپس توسط بزدک[3] (۱۹۸۱) تعمیم داده شد.

در خوشه‌بندی فازی رابطه (۸) در نظر قرار می‌گیرد:

$$J = \sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{C} u_{ij}\left\|x_i - C_j\right\|^2 \qquad (۱۲)$$

که در آن، $x_i$ : برابر با متغیر $i$ که بر اساس آن خوشه‌بندی انجام می‌شود؛ $u_{ij}$: میزان تعلق هر عدد $x_i$ به خوشه با مرکز $c_j$، که عددی بین صفر یک است و هرچه برای خوشه $j$ به عدد یک نزدیک تر باشد، بیانگر تعلق بیشتر به آن خوشه است.

بهترین تقسیم‌بندی در شرایطی است که میزان $J$ کمینه گردد. گام‌های حل به شرح زیر است.

۱- انتخاب $C$ (تعداد خوشه‌ها)

۲- حدس زدن $u_{ij}$ برای تعلق هر $x_i$ به دسته با مرکز $c_j$ به شرطی که:

$$\sum_{j=1}^{C} u_{ij} = 1 \qquad (۱۳)$$

۳- حدس زدن $c_j$ بر اساس اعداد انتخاب شده:

$$C_j = \frac{\sum_{i=1}^{N} u_{ij}.x_i}{\sum_{i=1}^{N} u_{ij}} \qquad (۱۴)$$

۴- تخمین $u_{ij}$ جدید با استفاده از $c_j$ محاسبه شده:

$$New\ u_{ij} = \frac{1}{\sum_{k=1}^{C}\left(\frac{\left\|x_i - C_j\right\|}{\left\|x_i - C_k\right\|}\right)} \qquad (۱۵)$$

۵- معیار توقف

اگر $\left|New u_{ij} - u_{ij}\right| \le \varepsilon$، تکرار تمام. در غیر این صورت برو به گام ۶ ( $\varepsilon$ مقداری اندک و دلخواه است).

۶- قرار بده $u_{ij} = New\ u_{ij}$ و از گام سه ادامه بده.

## نتایج و بحث

قبل از بررسی شاخص PCI و تغیرات روند این شاخص در طول دوره آماری ۲۰۱۰-۱۹۶۱، روند تغییرات بارش سالانه در منطقه مورد مطالعه مورد بررسی قرار گرفت. برای بررسی روند داده‌های بارش سالیانه‌ی ایستگاه‌های سینوپتیک منطقه مورد مطالعه از آزمون من-کندال استفاده شد. شکل (۲) نتایج این

1- Fuzzy Clustering

2- Dunn

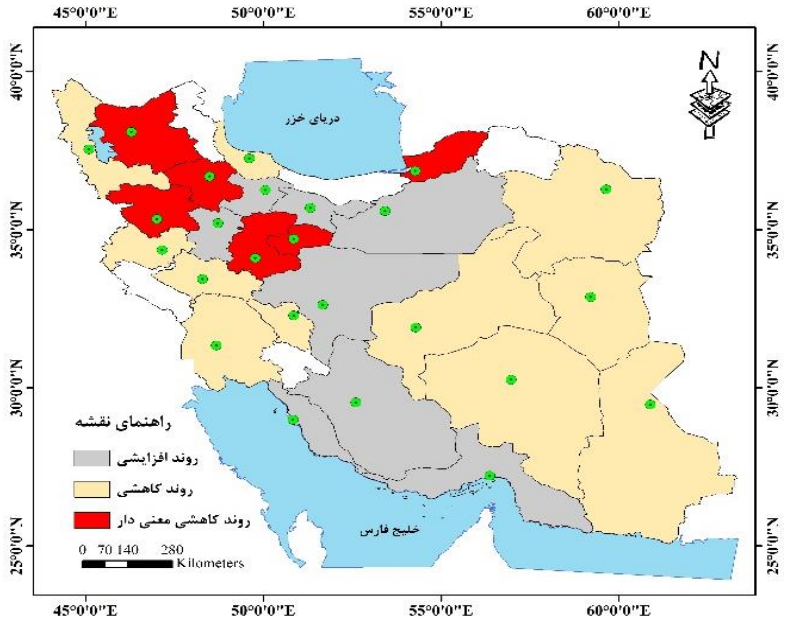
3- Bezdak

آزمون را برای داده‌های بارندگی سالانه طی نیم قرن اخیر در ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد.

نتایج این بررسی نشان داد که به طور کلی می‌توان گفت که حدود ۶۷ درصد ایستگاه‌های سینوپتیک ایران در طی نیم قرن اخیر دارای روند کاهشی هستند. افزایش بارش‌ها تقریباً در نیمه مرکز و جنوب ایران صورت گرفته است و در بقیه نقاط کاهش بارش در دوره آماری مشاهده شد.

بعد از بررسی روند تغییرات سالانه بارش سطح کشور، با استفاده از شاخص PCI سالانه، ابتدا دوره آماری ۵۰ ساله به دو دوره زمانی ۲۵ ساله تقسیم و مقدار این شاخص در سطح کشور محاسبه گردید. نتایج حاصل از بررسی شاخص مورد نظر به صورت متوسط در دو دوره آماری ۲۵ ساله، به شرح شکل‌های (۳) و (۴) ارائه گردید. طبقه‌بندی شاخص مورد نظر بر اساس طبقه-بندی الیور (۱۹۸۰) به صورت جدول (۲) ارائه گردید.

برای نمایش پراکندگی شاخص مورد نظر در سطح کشور، شاخص مورد نظر با استفاده از مختصات جغرافیایی ایستگاه‌های سینوپتیک پهنه‌بندی و به صورت شکل‌های (۵) و (۶) ارائه گردید.



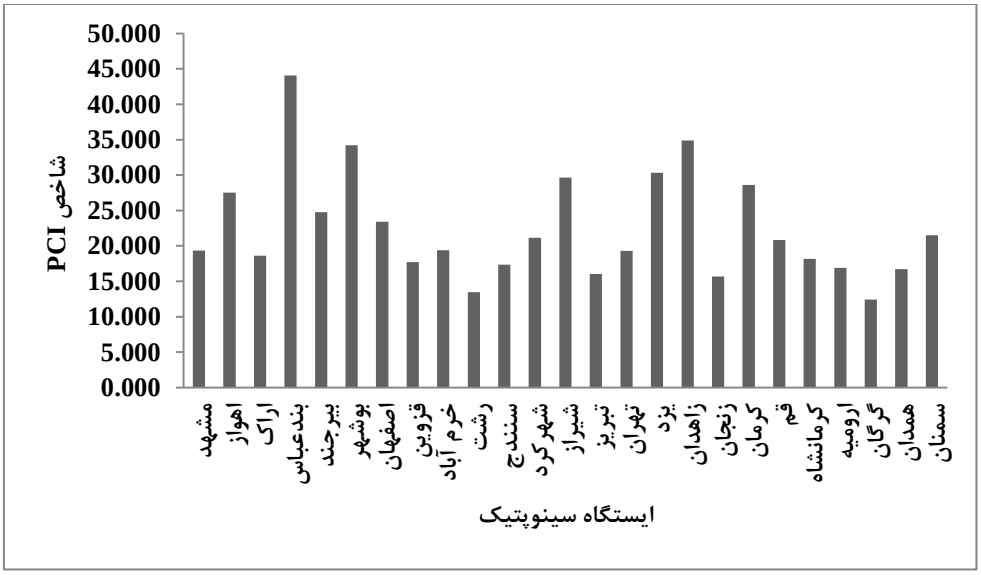

**شکل ۲- روند داده‌های بارش سالیانه ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه طی نیم قرن اخیر در سطح پنج درصد**

**جدول ۲- طبقه‌بندی شاخص PCI (الیور، ۱۹۸۰)**

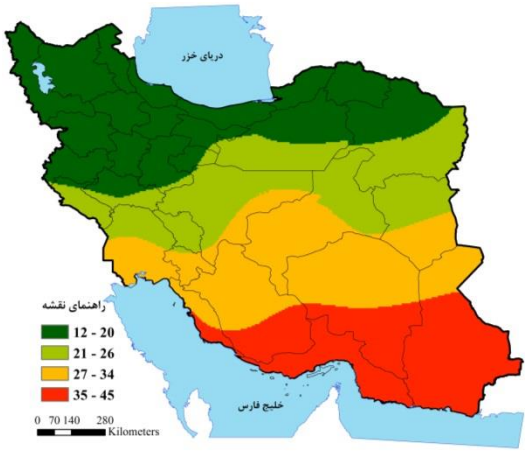
| وضعیت | دامنه تغییرات |
|---|---|
| یکنواخت | بیشتر از ۱۰ |
| غلظت متوسط بارندگی | ۱۱ تا ۱۵ |
| توزیع نامنظم | ۱۶ تا ۲۰ |
| بی نظمی زیاد | بیشتر از ۲۰ |



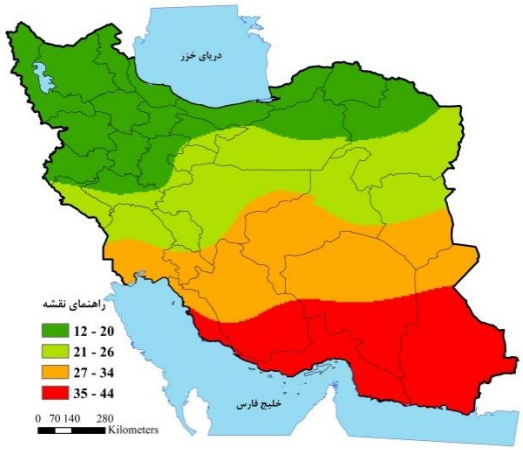

**شکل ۳- مقدار محاسبه شده شاخص PCI در بازه زمانی ۲۵ سال اول**



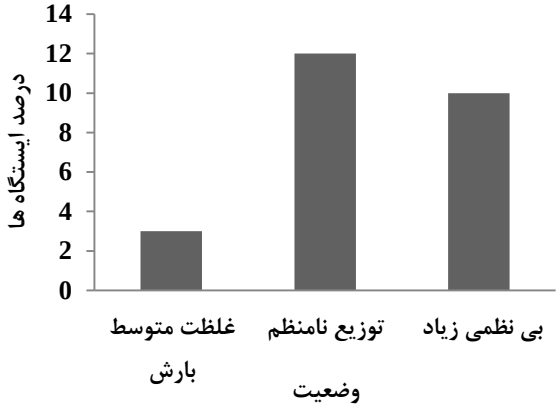

**شکل ٤- مقدار محاسبه شده شاخص PCI در بازه زمانی ۲۵ سال دوم**




**شکل ۵- پهنه‌بندی شاخص PCI (۲۵ سال اول دوره آماری)**



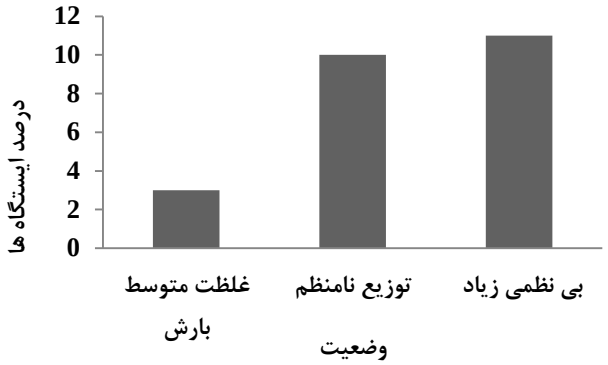

**شکل ٦- پهنه‌بندی شاخص PCI (۲۵ سال دوم دوره آماری)**



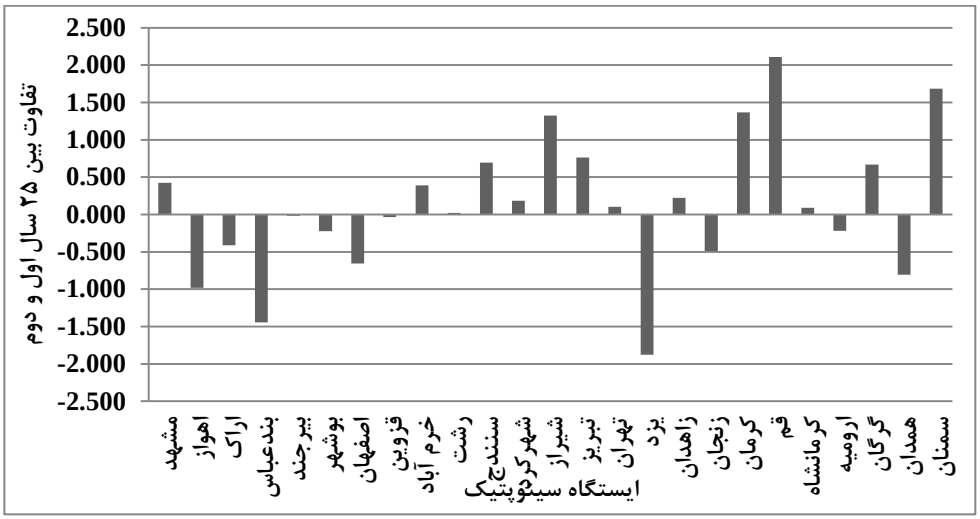

**شکل ۷- بررسی وضعیت مقادیر محاسبه شده شاخص PCI در بازه زمانی ۲۵ سال اول**

نتایج بررسی شاخص PCI در مقیاس سالانه در سطح کشور نشان داد که ایستگاه‌های دارای بی‌نظمی بالا در بارش از بیشترین فراوانی برخوردار هستند. برای بررسی و تحلیل دقیق‌تر شاخص مورد نظر، دوره آماری ۵۰ ساله به دو زیربازه ۲۵ ساله تقسیم و تغییرات این دو زیربازه در مقیاس سالانه نیز به صورت شکل‌های (۵) و (۶) ارائه گردید. به طور کلی در طول دوره آماری نتایج بررسی شاخص سالانه 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 و هم‌چنین نشان می‌دهد که پراکندگی بارش این مناطق در تمام ماه‌های سال به طور متوسط در طول دوره آماری حفظ شده است. متوسط بارش نیز در این مناطق نسبت به سایر نواحی کشور بیشتر و تقریباً متعلق به ایستگاه‌های پر باران ایران (حاشیه دریای خزر، استان‌های 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 بارش یکنواخت وجود ندارد. به طور کلی نتایج حاصل از بررسی شاخص PCI نشان داد که در بازه ۲۵ سال اول، ۱۲ درصد ایستگاه‌ها دارای توزیع متوسط بارندگی، ۴۸ درصد ایستگاه‌ها دارای توزیع نامنظم بارندگی و ۴۰ درصد ایستگاه دارای بی نظمی زیاد در توزیع بارندگی است در بازه ۲۵ سال دوم نیز همانند بازه اول، ۱۲ درصد ایستگاه‌ها دارای توزیع متوسط بارندگی است. بر خلاف بازه اول، در بازه دوم ۴۰ درصد ایستگاه‌ها دارای توزیع نامنظم بارندگی و ۴۸ درصد ایستگاه دارای بی نظمی زیاد در توزیع بارندگی است که از این رو بررسی روند تغییرات داده‌های شاخص مورد نظر ضروری است. مقادیر محاسبه شده شاخص تراکم بارش در دو زیربازه ۲۵ ساله به شرح دو شکل (۷) و (۸) ارائه گردید.

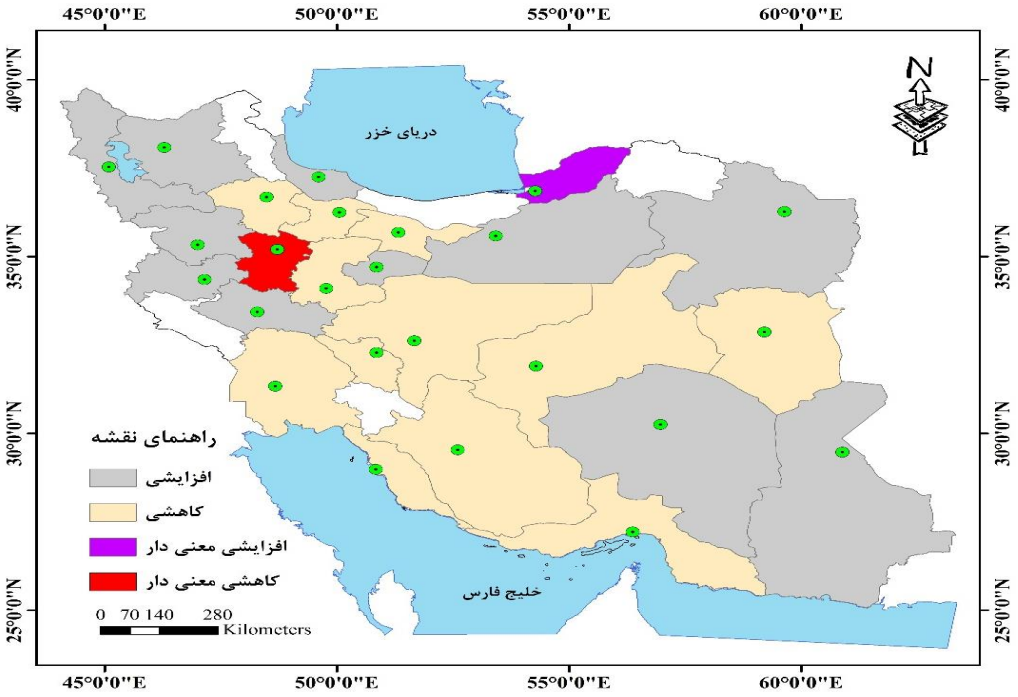
تفاوت محاسبات PCI در دو زیر بازه ۲۵ ساله به صورت شکل (۹) ارائه گردید که بیانگر کاهش ۶/۲۵ درصدی شاخص PCI در ایستگاه سینوپتیک استان یزد نسبت به ۲۵ سال اول و افزایش ۱۰ درصدی شاخص PCI در ایستگاه سینوپتیک استان قم نسبت به ۲۵ سال اول بود. در سایر ایستگاه‌ها نیز شاخص PCI دارای نوسانات افزایشی یا کاهشی است.




**شکل ۸- بررسی وضعیت مقادیر محاسبه شده شاخص PCI در بازه زمانی ۲۵ سال دوم**




**شکل ۹- بررسی کاهش یا افزایش شاخص PCI (بازه زمانی اول نسبت به بازه زمانی دوم)**




**شکل ۱۰- روند سالانه شاخص PCI طی نیم قرن اخیر کشور ایران در سطح پنج درصد**

با استفاده از آزمون من–کندال، روند تغییرات سری زمانی ۵۰ ساله داده‌های شاخص مورد نظر مورد بررسی قرار گرفت و نتایج آزمون ذکر شده در سطح معنی دار پنج درصد بررسی و به شرح شکل (۱۰) ارائه گردید.

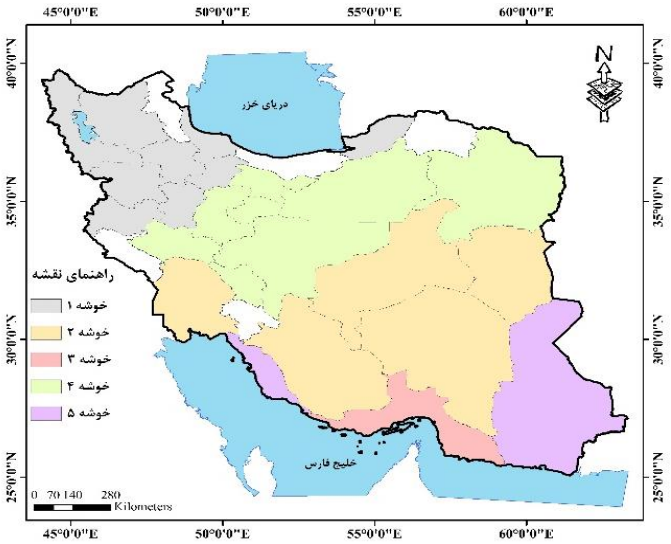
نتایج بررسی روند تغییرات شاخص مورد نظر نشان از روند کاهشی معنی‌دار شاخص PCI در استان همدان بود و در سایر استان‌ها روند افزایشی و کاهشی معنی‌دار دیده نشد. روندهای کاهشی غیرمعنی دار اغلب در قسمت مرکزی و جنوب شرقی دیده شدند. برای بررسی معنی‌دار بودن دو بازه ۲۵ ساله، از آزمون t استفاده شد و نتایج به شرح جدول (۳) ارائه گردید.

بعد از بررسی روند سالانه تغییرات بارش و شاخص PCI در سطح ایران، با استفاده از داده‌های مستخرج شاخص PCI و روش کندال منطقه‌ای، روند تغییرات شاخص مذکور به صورت منطقه‌ای مورد بررسی قرار گرفت. در این راستا با استفاده از خوشه‌بندی فازی، استان‌های مورد مطالعه در کشور ایران، به پنج خوشه تقسیم‌بندی شد و سپس روند تغییرات این مناطق مورد بررسی قرار گرفت. شکل (۱۱)، نتایج خوشه‌بندی مناطق را نشان می‌دهد.

با توجه به خوشه‌بندی، روند سری زمانی داده‌های مستخرج شاخص PCI به صورت منطقه‌ای، در پنج منطقه مورد بررسی قرار گرفت و نتایج به شرح جدول (۴) و شکل (۱۲) ارائه گردید.

**جدول ۳- نتایج آزمون t برای شاخص PCI**

| ایستگاه | t value | ایستگاه | t value |
|---|---|---|---|
| ارومیه | -۰/۴۴۰ | قزوین | -۰/۸۲۶ |
| تبریز | ۰/۴۰۲ | خرم آباد | -۰/۰۸۷ |
| سنندج | ۰/۳۸۹ | رشت | ۰/۶۰۹ |
| زنجان | ۰/۲۸۶ | شهرکرد | -۰/۰۵۷ |
| همدان | ۰/۰۱۱ | شیراز | ۰/۵۰۰ |
| کرمانشاه | ۰/۰۶۹ | تهران | -۰/۵۶۱ |
| مشهد | ۰/۳۷۹ | یزد | -۱/۶۵۰ |
| اهواز | ۰/۰۴۳ | زاهدان | -۰/۱۱۲ |
| اراک | -۰/۴۳۰ | کرمان | ۰/۲۴۹ |
| بندرعباس | -۰/۰۳۴ | قم | -۱/۶۲۵ |
| بیرجند | -۱/۱۳۵ | گرگان | ۰/۸۰۴ |
| بوشهر | -۰/۱۶۹ | سمنان | -۱/۱۷۷ |
| اصفهان | -۰/۴۵۴ | | |

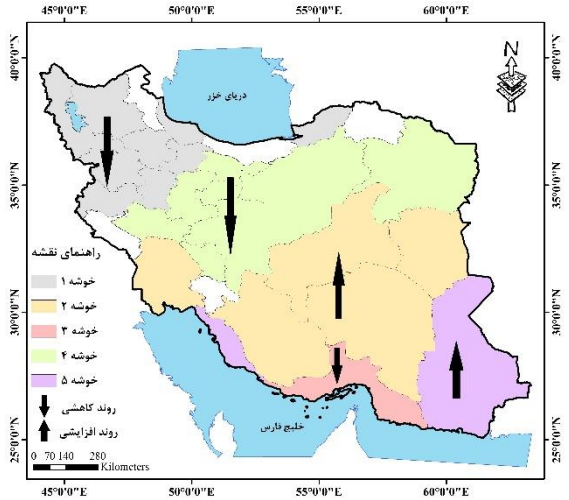



**شکل ۱۱ – خوشه‌بندی مناطق مورد مطالعه با استفاده از روش فازی**

**جدول ٤- نتایج بررسی روند منطقه‌ای شاخص PCI طی نیم قرن اخیر**

| ایستگاه | خوشه | P | Z | S | نتیجه |
|---|---|---|---|---|---|
| قزوین، رشت، سنندج، تبریز، زنجان، کرمانشاه، ارومیه، گرگان، همدان | یک | ۰/۷۴۸ | -۰/۰۳۲۱ | -۱۱۶ | پذیرش فرض صفر در سطح پنج درصد |
| اهواز، بیرجند شیراز، یزد کرمان | دو | ۰/۹۱۰ | ۰/۱۱۲ | ۳۱ | پذیرش فرض صفر در سطح پنج درصد |
| بندرعباس | سه | ۰/۷۱۲ | -۰/۳۶۸ | -۴۵ | پذیرش فرض صفر در سطح پنج درصد |
| مشهد، اراک اصفهان، خرم آباد شهرکرد، تهران قم، سمنان | چهار | ۰/۴۳۳ | -۰/۷۸۴ | -۲۶۶ | پذیرش فرض صفر در سطح پنج درصد |
| بوشهر و زاهدان | پنج | ۰/۴۱۷ | ۰/۸۱۰ | ۱۳۸ | پذیرش فرض صفر در سطح پنج درصد |

** فرض صفر: عدم وجود روند




**شکل۱۲- نتایج بررسی روند منطقه‌ای شاخص PCI**

نتایج بررسی روند منطقه‌ای شاخص PCI در سطح ایران، نشان از روند افزایشی غیرمعنی‌دار در سطح اطمینان پنج درصد در دو خوشه دو و پنج بود. خوشه‌های دو و پنج مناطق مرکزی و جنوب غربی ایران را در بر می‌گیرند. سایر مناطق نیز دارای روند کاهشی غیر معنی دار در سطح اطمینان پنج درصد بود.

## نتیجه‌گیری

شاخص PCI، شاخصی برای تعیین تغییرات بارندگی در منطقه‌ای خاص می‌باشند و نتایج تحلیل آن می‌تواند قابلیت دسترسی به آب را در یک محیط نشان دهد. اطلاعات حاصل می‌تواند در برنامه‌های مدیریتی مورد استفاده قرار گیرد. بدین منظور، این شاخص برای تحلیل بارندگی در کشور ایران طی بازه زمانی ۲۰۱۰-۱۹۶۱ مورد استفاده قرار گرفت. در این مطالعه با استفاده از آمار بارش ماهانه ۲۵ ایستگاه سینوپتیک واقع در کشور ایران طی دوره آماری ۱۹۶۱ تا ۲۰۱۰ اقدام به بررسی روند تغییرات بارش، بررسی شاخص PCI و بررسی تغییرات این شاخص در سطح کشور شد. بدین منظور برای بررسی روند بارش سالانه ایستگاه‌های سینوپتیک ایران از آزمون من-کندال استفاده شد. نتایج این بررسی نشان داد که از بین ۲۵ ایستگاه کشور، حدود ۱۲ درصد ایستگاه‌های سینوپتیک (سه ایستگاه) دارای روند کاهشی شدید در استان‌های آذربایجان شرقی، کردستان و گرگان، حدود ۳۶ درصد ایستگاه‌های کشور (نه ایستگاه) دارای روند افزایشی غیر معنی دار در سطح پنج درصد، ۱۲ درصد ایستگاه‌های کشور (سه ایستگاه) دارای روند کاهشی غیرمعنی دار در سطح یک درصد در استان‌های زنجان، قم و اراک و حدود ۴۰ درصد ایستگاه‌های کشور (ده ایستگاه)، دارای روند کاهشی غیرمعنی دار در سطح پنج درصد در طی نیم قرن اخیر هستند. افزایش بارش‌ها تقریباً در نیمه مرکز و شمال ایران صورت گرفته است و در بقیه نقاط کاهش بارش در دوره آماری مشاهده شد که این موضوع با نتایج تحقیقات خلیلی و همکاران (۲۰۱۴) مطابقت دارد. برای اطمینان از محاسبات و آزمون من-کندال، با استفاده از آزمون اسپیرمن نیز به طور تصادفی چند ایستگاه انتخاب شدند و روند آن‌ها مورد بررسی قرار گرفت. نتایج آزمون اسپیرمن نیز نتایج آزمون من-کندال را تأیید کرد. روندهای معنی‌دار کاهشی بیشتر در مناطق غربی مشاهده شد که آب و هوای گرم‌تری نسبت به سایر ایستگاه‌های کشور دارند و به وضوح می‌توان کاهش بارندگی را در این ایستگاه‌ها یا استان‌ها مشاهده کرد. بعد از بررسی روند بارش سالانه ایستگاه‌های سینوپتیک مناطق مختلف ایران، با استفاده از شاخص PCI سالانه، تراکم و پراکندگی بارش در سطح کشور مورد بررسی قرار گرفت. برای جزئی تر شدن مسئله و امکان مقایسه بیشتر، ۵۰ سال مورد مطالعه به دو زیربازه ۲۵ ساله ۱۹۸۵-۱۹۶۱ (زیربازه اول) و ۲۰۱۰-۱۹۸۶ (زیربازه دوم) تقسیم بندی شده و شاخص‌های مربوطه حاصل شدند و سپس معنی‌دار بودن شاخص مورد نظر در دو زیر بازه ۲۵ ساله با استفاده از آزمون t مورد بررسی قرار گرفت. نتایج پهنه‌بندی شاخص مورد نظر نشان داد که پراکندگی و پراکنش بارندگی در هر دو زیر بازه از الگوی یکسان پیروی می‌کند. هم‌چنین نتایج پهنه‌بندی نشان از بالا بودن این شاخص در مرکز ایران و در ایستگاه‌های کم بارشی مثل کرمان، بندرعباس، یزد، زاهدان، شهرکرد، بیرجند، بوشهر، اهواز و اصفهان است که این ایستگاه‌ها بر اساس طبقه‌بندی الیور (۱۹۸۰) دارای بی نظمی زیاد و پراکنده در ریزش بارش هستند. هم‌چنین نتایج نشان داد که اکثر نواحی شمال غرب ایران دارای تمرکز نامنظم بارندگی است. دو ایستگاه رشت و گرگان دارای تمرکز متوسط بارندگی و دو ایستگاه زنجان و تبریز دارای تمرکز تقریباً متوسط بارندگی هستند. در هیچ یک از ایستگاه‌های مورد مطالعه در کشور ایران، تمرکز یکنواخت (PCI<10) یافت نشد. بیشترین مقدار شاخص مورد نظر متعلق به ایستگاه سینوپتیک بندرعباس و کمترین آن متعلق به ایستگاه سینوپتیک گرگان بود. بعد از بررسی و پهنه‌بندی شاخص مورد نظر در سطح ایران، روند تغییرات سالانه این شاخص در دوره آماری ۵۰ ساله نیز با استفاده از آزمون من – کندال مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بررسی روند تغییرات شاخص PCI نشان دهنده یک روند کاهشی معنی دار در ایستگاه سینوپتیک استان همدان مشاهده شد و روند سایر ایستگاه‌ها در سطح معنی دار یک و پنج درصد غیرمعنی‌دار بودند. نتایج بررسی روند در مقیاس منطقه‌ای نشان از کاهش روند منطقه ای در ناحیه شمال، شمال غربی و شمال شرقی بود. به طور کلی استخراج شاخص PCI در سطح ایران نشان داد که الگوی بارش در سطح کشور از الگوی یکنواخت پیروی نمی‌کند.

## منابع

1- Adegun, O., Balogun, I. and O. Adeaga. 2012. Precipitation concentration changes in Owerri and Enugu. Special Publication of the Nigerian Association of Hydrological Sciences, Pp. 383-391.

2- Douglas, E. M., Vogel, R. M. and C. N. Kroll. 2000. Trends in floods and low flow in the United States: Impact of spatial correlation. Journal of Hydrology, 240: 90-105.

3- Hirsch, R. M., Slack, J. R. and R. A. Smith. 1982. Techniques of trend analysis for monthly water quality data. Water Resources Research, 18(1): 107-121.

4- Hirsch, R. M. and J. R Slack. 1984. A nonparametric trend test for seasonal data with serial dependence. Water Resources Research, 20(6): 727-732.

5- Luis, M., Gonz´alez-Hidalgo, J. C., Brunetti, M. and L. A. Longares. 2011. Precipitation concentration changes in Spain 1946–2005. Natural Hazards Earth Systems Science, 11: 1259–1265.

6- Khalili, K., Nazeri Tahrudi, M. and N. Khanmohammadi. 2014. Trend analysis of precipitation in recent two decades over Iran. Journal of Environment and Biological Sciences, 4(1s): 5-10.

7- Oliver, J. E. 1980. Monthly precipitation distribution: A comparative index, Professional Geographer. 32: 300–309.

8- Valli, M., Shanti Sree, K. and I. V. Murali Krishna. 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.

9- Mann, H. B. 1945. Nonparametric test against trend. Econometrica, 13: 245-259.

10- Kendall, M. G. 1938. A new measure of rank correlation. Biometrika, 36: 81-93.

11- Dunn, J. C. 1974. Well-separated clusters and optimal fuzzy partitions. Journal of cybernetics, 4(1): 95-104.

12- Bezdak, j. 1981. Pattern recognition with fuzzy objective function algorithms, plenum, New York.