

کاربرد شاخص PCI در بررسی الگوی بارش ایران و تحلیل روند تغییرات آن در مقیاس سالانه و فصلی طی نیم قرن اخیر

کیوان خلیلی^۱، محمد ناظری تهرودی^۲، فرشاد احمدی^{۳*}

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۰/۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۲/۹

چکیده

بررسی پدیده بارندگی به عنوان یکی از مهم ترین عوامل هواشناسی که به صورت مستقیم، دسترسی به منابع آب را تحت تأثیر قرار می دهد از اهمیت ویژه ای برخوردار است. در این مطالعه شاخص تراکم بارش (PCI) با استفاده از داده های بارش ماهانه ۳۴ ایستگاه سینوپتیک در دوره آماری ۲۰۱۰-۱۹۶۱ محاسبه و روند تغییرات آن در دو مقیاس سالانه و فصلی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج پهنه بندی شاخص مورد نظر در مقیاس سالانه نشان داد که پراکندگی بارندگی در دو زیر بازه ۲۵ ساله از الگوی یکسان پیروی می کند. هم چنین براساس نتایج حاصله، شاخص PCI در مناطق مرکزی و جنوبی کشور، شامل استان های کرمان، بندرعباس، یزد، زاهدان، شهرکرد، بیرجند، بوشهر، اهواز و اصفهان نشان دهنده وجود بی نظمی زیاد و پراکندگی بالا در ریزش های جوی بوده و در هیچ یک از ایستگاه های مورد مطالعه، تمرکز یکنواخت ($PCI < 10$) در مقیاس سالانه مشاهده نشد. نتایج بررسی روند تغییرات شاخص مذکور در دوره آماری ۲۰۱۰ - ۱۹۶۱ نشان داد که روند شاخص PCI در فصل زمستان در ۱۶ و ۱۵ ایستگاه به ترتیب افزایش و کاهش غیر معنی دار داشته و در ایستگاه های دزفول، سقز و همدان با کاهش معنی دار مواجه شده است. هم چنین در فصل بهار ایستگاه های کرمان و رامسر، وجود روند افزایشی معنی دار در شاخص PCI را نشان داده که به معنای افزایش معنی دار بی نظمی های پراکندگی بارش در این دو ایستگاه می باشد. در فصل تابستان، ایستگاه گرگان بی نظمی شدید و معنی دار را برای شاخص PCI نشان داد و در فصل پاییز ایستگاه های تبریز و زاهدان روند افزایشی معنی دار و ایستگاه بابلسر نیز دارای روند کاهشی معنی دار در شاخص PCI را تجربه کرده اند. در مقیاس سالانه نیز ۵۰ درصد ایستگاه ها با روند افزایشی در شاخص PCI مواجه بوده اند.

واژه های کلیدی: ایران، شاخص تراکم بارش، روند، من - کندال

مقدمه

جابه جا کرده و در نتیجه مقدار ریزش های جوی تحت تأثیر قرار خواهد گرفت (Tabari et al, 2010). کم بودن مقدار بارش و نوسانات شدید آن در مقیاس های زمانی روزانه، فصلی و سالانه از ویژگی های ذاتی اقلیم ایران می باشد. با توجه به تأثیرات بارندگی بر منابع آب مانند آب زیرزمینی، ذخایر آب سطحی و برف، استفاده از شاخص هایی برای بیان تغییرات آن ضروری به نظر می رسد. از جمله این شاخص ها می توان، به شاخص استاندارد بارش (SPI^4) و شاخص تراکم بارش (PCI^5) اشاره نمود. شاخص SPI از جمله شاخص های کاربردی در اکثر مطالعات بوده در حالی که، شاخص PCI در سال-های اخیر معرفی و مورد توجه قرار گرفته است. شاخص تراکم باران (PCI) یک شاخص توانمند از توزیع زمانی باران است که عموماً در مقیاس های سالانه مورد استفاده قرار می گیرد (Vali et al. 2013).

تغییرات اقلیمی در عصر حاضر یکی از چالش های مهم زیست محیطی می باشد. درک ما از تأثیرات بشر روی محیط، به ویژه آن هایی که در ارتباط با گرم شدن ناشی از افزایش گازهای گلخانه ای هستند، نشان می دهد که تعدادی از پارامترها به احتمال زیاد در حال تغییر می باشند. بر اساس گزارش های علمی، متوسط دمای هوای سطح زمین طی قرن بیستم در حدود ۰/۶ درجه سانتی گراد افزایش یافته است و انتظار می رود که مقدار تبخیر نیز روندی صعودی داشته باشد. در این صورت اتمسفر قادر خواهد بود تا مقادیر بیش تری از بخار آب را

۱- استادیار گروه مهندسی آب دانشگاه ارومیه

۲- دانش آموخته کارشناسی ارشد منابع آب دانشگاه ارومیه

۳- دانشجوی دکتری منابع آب دانشگاه شهید چمران اهواز

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

4-Standard Precipitation Index

5-Precipitation Concentration Index

روند تغییرات متغیرهای مختلف هواشناسی و هیدرولوژیکی انجام شده است (Kumar et al. 2009).

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.

هیرسچ و همکاران دلایل استفاده از آزمون‌های ناپارامتری را در مطالعات مربوط به روند به طور مبسوط شرح داده‌اند. شرط استفاده از این آزمون‌ها، عدم وجود ضریب خودهمبستگی معنی‌دار در سری - زمانی داده‌ها می‌باشد (Hirsch et al. 1982). اثر وجود خودهمبستگی در تحلیل روند با روش‌های ناپارامتری توسط Hamed and Rao (1998) مورد ارزیابی قرار گرفت. آن‌ها روابط تئوری برای حذف اثر خودهمبستگی معنی‌دار را ارائه نموده و از روش پیشنهادی برای بررسی روند داده‌های بارش و جریان استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که در تحلیل روند، استفاده از آزمون Mann-Kendall با حذف اثر خودهمبستگی نسبت به آزمون من- کندال کلاسیک نه تنها از دقت بهتری برخوردار است، بلکه از توان آزمون نیز کاسته نمی‌شود. جیانگ و هارتمن روند زمانی و مکانی داده‌های بارش روزانه ۱۴۷ ایستگاه باران‌سنجی در دوره ۲۰۰۰-۱۹۶۱ و داده‌های دبی ماهانه برای این ایستگاه‌ها را در حوزه رودخانه یانگ تسه در چین مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها از روش MK و رگرسیون ساده استفاده نمودند. نتایج نشان داد که روند مثبت معنی‌دار در بارش تابستانه در ایستگاه‌های زیادی به‌ویژه برای ژوئن و ژولای در مرکز و پائین حوزه رودخانه یانگ تسه در دهه ۱۹۹۰ وجود دارد. روند مثبت در فراوانی رگبار که سهم اصلی را در افزایش بارش تابستانه در این حوزه دارد و روند مثبت معنی‌دار در دبی سیلاب در مرکز و پائین حوزه 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 حوزه رودخانه یانگ تسه در دهه‌های اخیر شده‌اند (Jiang and Hartmann 2007). صبوحی و همکاران 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 (Saboohi et al. 2012). پال ال-تبا روند بارش‌های حدی فصلی را در فصول زمستان، بهار و پائین منطقه کراچی در هندوستان را با استفاده از آزمون MK مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که روند بارش‌های حدی در فصول زمستان و پائین 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 کاهش‌ی بود (Pal Al-Tabbaa, 2009). یانگ و همکاران روند دما و بارش میانگین ماهانه

افزایش مقدار این ضریب، بدین معنی است که بارش پراکندگی کمی در منطقه داشته است. به‌علاوه، PCI بخشی از شاخص مشهور Fournier است که یک پیشینه قوی در آنالیز سیستم‌های طبیعی مانند فرسایش خاک دارد (Luis et al. 2011). 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 مورد استفاده قرار گیرد (Adegun et al. 2012). هم‌چنین می‌توان از این مفهوم در برنامه‌ریزی‌های آبیاری و طراحی سیستم‌های نوین استفاده کرد. توزیع نامتعادل بارش می‌تواند موجب کاهش عملکرد محصولات زراعی از طریق کاهش ذخیره رطوبت موجود در زمین و افزایش تعداد دوره‌های آبیاری گردد. علاوه بر این توزیع نامتعادل بارندگی به معنی بروز خشکسالی بوده و ممکن است بارشی کم‌تر از مقدار میانگین منطقه سبب بروز سیلاب‌های خطرناک نیز گردد. چرا که رطوبت خاک کاهش و در نتیجه پوشش گیاهی نیز از بین می‌رود. در نهایت این امر سبب افزایش تدابیر حفاظتی در حوضه به‌منظور حفظ سازه‌های آبی خواهد شد (Vali et al. 2013).

علی‌جانی و همکاران شدت بارندگی‌های ایران را در ۹۰ ایستگاه سینوپتیک مورد بررسی قرار داده و نشان دادند که پراکندگی 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 (Alijani et al. 2008). لوئیس و همکاران مقادیر متوسط سالانه، فصلی و بازه‌های مرطوب و خشک از PCI 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 (Luis et al. 2011). آدگان و همکاران 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 به ترتیب، ۸۷٪ و ۷۱٪ از سال‌های مورد بررسی در منطقه اول و دوم در محدوده تمرکز متوسط قرار می‌گیرند (Adegun et al. 2011). والی و همکاران در بخشی از مطالعه خود، برای نشان دادن الگوی بارندگی در ایالت Pradesh Andhra برای بازه زمانی ۲۰۱۰-۱۹۸۱ در دو مقیاس سالانه و فصلی از شاخص PCI استفاده کردند. نتایج حاصله نشان دهنده وجود یک توزیع نامنظم بارندگی (با محدوده مقادیر ۱۶ تا ۳۵) در این منطقه می‌باشد (Vali et al. 2013).

دانشمندان بر این باورند که تغییر در غلظت گازهای گلخانه‌ای ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی منجر به تغییرات شدید در برخی از مؤلفه‌های چرخه هیدرولوژی از جمله بارش در نقاط مختلف جهان شده است. به‌همین دلیل در دهه‌های اخیر مطالعات زیادی در رابطه با

نگرفته است. بنابراین هدف از مطالعه حاضر، محاسبه شاخص تراکم بارش (PCI) در دو مقیاس زمانی فصلی و سالانه و بررسی روند تغییرات آن در نیم قرن اخیر می‌باشد.

مواد و روش‌ها

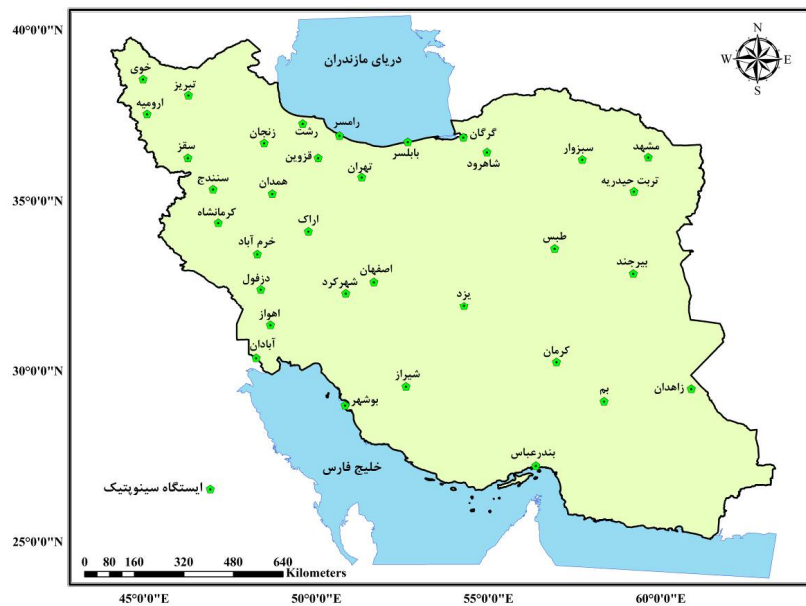
منطقه مورد مطالعه

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 و به طور کلی یک سال را می‌توان به دو فصل سرد و گرم تقسیم کرد. ایران با متوسط بارش سالانه معادل ۳۴۴/۸-۶۲/۱ میلی‌متر بین دو نصف النهار 44° و 64° شرقی و دو مدار 25° و 40° شمالی قرار گرفته است. حدود ۹۴/۸ درصد از سطح کشور، در زمره مناطق خشک و نیمه خشک با ریزش‌های جوی کم و تبخیر- تعرق زیاد قرار دارد. آب و هوای ایران متأثر از چندین سامانه است:

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.

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.

۵۳ ساله در حوضه رودخانه Zhangweinan و پنج ایستگاه هواشناسی اطراف آن را با استفاده از آزمون من- کندال مورد بررسی قرار دادند و روند کاهشی معنی‌دار در بارندگی سالانه و روند افزایشی دما را در فصل‌های تابستان و بهار گزارش نمودند (Yang et al. 2012). چین و همکاران در مطالعه‌ای تغییرات بلندمدت بارش و دمای شمال غرب 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 (Jain et al, 2013). دوهان و پندی در پژوهشی به مطالعه تغییرات زمانی و مکانی بارش ۱۰۲ ساله منطقه مادها پارادش 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 کاهشی را تجربه کرده و سال ۱۹۷۸ بیش‌ترین احتمال را برای تاریخ تغییر روند به خود اختصاص داده بود (Duhan and Pandey, 2013). چن و همکاران 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 (Chen et al. 2014). از پیشینه تحقیق چنین استنباط می‌شود که تاکنون مطالعه جامعی بر روی پراکندگی و تمرکز بارش در ایران صورت



شکل ۱- موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه در کشور.

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های منتخب

ایستگاه	متوسط بارش (mm)	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع (m)	ایستگاه	متوسط بارش (mm)	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع (m)
آبادان	۱۲/۷۷	۴۸/۲۵	۳۰/۳۶	۶/۶	رشت	۱۱۱/۱۵	۴۹/۶۰	۳۷/۲۵	۳۶/۷
اراک	۲۷/۵۳	۴۹/۷۶	۳۴/۱۰	۱۷۰/۸	زاهدان	۶/۵۹	۶۰/۸۸	۲۹/۴۶	۱۳۷۰
ارومیه	۲۷/۴۶	۴۵/۰۸	۳۷/۵۳	۱۳۱۵/۹	زنجان	۲۵/۳۵	۴۸/۴۸	۳۶/۶۸	۱۶۶۳
اصفهان	۱۰/۱۱	۶۶۵۱	۳۲/۶۱	۱۵۵۰/۴	سبزوار	۱۵/۵۵	۵۷/۷۱	۳۶/۲۰	۹۷۷/۶
اهواز	۱۸/۸۸	۴۸/۶۶	۳۱/۳۳	۲۲/۵	سقز	۴۰/۶۰	۴۶/۲۶	۳۶/۲۵	۱۵۲۲/۸
بابلسر	۴۷/۰۸	۴۲/۶۵	۳۶/۷۱	-۲۱	سنندج	۳۷/۶۴	۴۷/۰۰	۳۵/۳۳	۱۳۷۳/۴
بم	۴/۹۰	۵۸/۳۵	۲۹/۱۰	۱۰۶۶/۹	شاهرود	۷۷/۱۲	۵۴/۹۵	۳۶/۴۱	۱۳۴۵/۳
بندرعباس	۱۴/۲۶	۵۶/۳۶	۲۷/۲۱	۹/۸	شهرکرد	۲۷/۶۷	۵۰/۸۵	۲۸/۳۲	۲۰۴۸/۹
بوشهر	۲۰/۴۹	۵۰/۸۳	۲۸/۹۸	۱۹/۶	شیراز	۲۶/۴۱	۵۹/۶۰	۲۹/۵۳	۱۴۸۴
بیرجند	۱۳/۷۲	۵۹/۲۰	۳۲/۸۶	۱۴۹۱	طیس	۶/۸۵	۵۶/۹۱	۳۳/۶۰	۷۱۱
تبریز	۲۳/۷۳	۴۶/۲۸	۳۸/۰۸	۱۳۶۱	قزوین	۲۶/۳۷	۵۰/۰۵	۳۶/۲۵	۱۲۷۹/۲
تربت	۲۲/۳۰	۵۹/۲۱	۳۵/۲۶	۱۴۵۰/۸	کرمان	۱۱/۳۴	۵۶/۹۶	۳۰/۲۵	۱۷۵۳/۸
حیدریه	۱۹/۵۵	۵۱/۳۱	۳۵/۶۸	۱۱۹۰/۸	کرمانشاه	۳۷/۶۱	۴۷/۱۵	۳۴/۳۵	۱۳۱۸/۶
تهران	۴۱/۶۴	۴۸/۲۸	۳۳/۴۳	۱۱۴۷/۸	گرگان	۴۸/۱۳	۵۴/۲۶	۳۶/۸۵	۱۳/۳
خرم آباد	۲۴/۱۰	۴۴/۹۶	۳۸/۵۵	۱۱۰۳	مشهد	۲۰/۹۷	۵۹/۶۳	۳۶/۲۶	۹۹۹/۲
خوی	۳۲/۸۸	۴۸/۳۸	۳۲/۴۰	۱۴۳	همدان	۲۶/۸۳	۴۸/۷۱	۲۵/۲۰	۱۶۷۹/۷
دزفول	۱۰۰/۵۱	۵۰/۶۶	۳۶/۹۰	-۲۰	یزد	۴/۷۶	۵۴/۲۸	۳۱/۹۰	۱۲۳۷/۲

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، ۳۴ ایستگاه سینوپتیک دارای آمار بلند مدت ۵۰ ساله جهت بررسی تراکم بارش انتخاب گردید. 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 پراکنندگی باران پیشنهاد شده است. مقیاس سالانه و فصلی این شاخص به ترتیب به صورت روابط (۱) و (۲) محاسبه می‌شود (Oliver, 1980):

$$PCI_{annual} = \frac{\sum_{i=1}^{12} P_i^2}{(\sum_{i=1}^{12} P_i)^2} \times 100 \quad (1)$$

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

که در آن، P_i : مقدار بارندگی ماهانه در ماه i ام و عدد ۳ در معادله (۲) بیانگر تعداد ماه‌ها در هر فصل می‌باشد. بر اساس فرمول پیشنهادی، حداقل مقدار تئوری PCI، $8/3$ بوده که یکنواختی کامل در توزیع بارندگی را نشان می‌دهد (به این معنی که مقدار یکسان بارندگی در هرماه اتفاق می‌افتد). مقدار $16/7$ برای PCI، نشان می‌دهد که کل بارندگی در $1/3$ از بازه زمانی تمرکز یافته است و مقدار ۲۵ برای این شاخص، نشان دهنده آن است که کل بارش‌های دریافتی در $1/3$ بازه زمانی رخ می‌دهد (بدین معنی که کل بارندگی در ۴ ماه اتفاق افتاده است). بر اساس این دسته‌بندی، اولیور (Oliver, 1980) 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 ۱۶ تا ۲۰ این شاخص نیز نشان‌دهنده توزیع نامنظم بارندگی باشند. براساس طبقه‌بندی اولیور (Oliver, 1980) مقادیر بزرگ‌تر از ۲۰ برای شاخص PCI وجود یک بی‌نظمی زیاد از توزیع بارندگی (تمرکز زیاد باران) را نمایندگی می‌کند (Luis et al. 2011).

تحلیل روند

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:

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{Var(s)}} & \text{if } S > 0 \\ 0 & \text{if } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{Var(s)}} & \text{if } S < 0 \end{cases} \quad (8)$$

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 (Dinpashoh et al. 2014).

آزمون Mann-Kendall اصلاح شده (MMK)

فرض اصلی بیش‌تر مطالعات تحلیل روند با استفاده از آزمون Mann-Kendall بر این است که داده‌های نمونه خودهمبستگی معنی‌داری ندارند، با این حال ممکن است برخی سری‌های هیدرولوژیکی دارای ضریب خودهمبستگی معنی‌دار باشند (Dinpashoh et al, 2014). چنان‌چه یک سری دارای ضرایب خودهمبستگی مثبت باشد، احتمال این‌که آزمون Mann-Kendall وجود روند را در این سری نشان دهد، افزایش می‌یابد. در این صورت فرض صفر، مبنی بر عدم وجود روند، رد می‌شود. در حالی‌که حقیقت این است که فرض صفر نباید رد شود (میرعباسی و دین‌پژوه، ۱۳۹۱). آزمون اصلاح شده Mann-Kendall توسط حامد و رائو (Hamed and Rao, 1998) ارائه و توسط کومار و همکاران (Kumar et al, 2009) 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 $V(S)^*$ ، به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$V(S)^* = V(S) \frac{n}{n^*} \quad (9)$$

$$\frac{n}{n^*} = 1 + \frac{2}{n(n-1)(n-2)} \quad (10)$$

که در آن r_i ضریب خودهمبستگی با تاخیر i بوده و $V(S)$ از رابطه (۶) تخمین زده می‌شود. برای محاسبه آماره Z آزمون Mann-Kendall اصلاح شده در رابطه (۸)، $V(S)$ با $V(S)^*$ جایگزین می‌گردد. مقدار آماره Z به دست آمده از رابطه فوق با Z استاندارد نرمال در سطح معنی‌داری α مقایسه می‌شود.

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 (Khalili et al. 2014). یکی از معروف‌ترین آزمون‌های ناپارامتری روند، آزمون من- کندال می‌باشد (Mann, 1945; Kendall, 1975). به طور کلی آزمون من- کندال دارای چهار ویرایش می‌باشد که توسط دین‌پژوه و همکاران (Dinpashoh et al, 2014) شرح داده شده است. در مطالعه حاضر از ویرایش سوم این آزمون که اثر خودهمبستگی داده‌ها را به‌طور کامل حذف می‌کند، استفاده شد.

آزمون Mann-Kendall مرسوم (MK)

این روش، که فرم کلاسیک آزمون Mann-Kendall می‌باشد، در 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:

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

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:

$$\text{sgn}(x) = \begin{cases} +1 & \text{if } (x_j - x_k) > 0 \\ 0 & \text{if } (x_j - x_k) = 0 \\ -1 & \text{if } (x_j - x_k) < 0 \end{cases} \quad (4)$$

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

$$E(S) = 0 \quad (5)$$

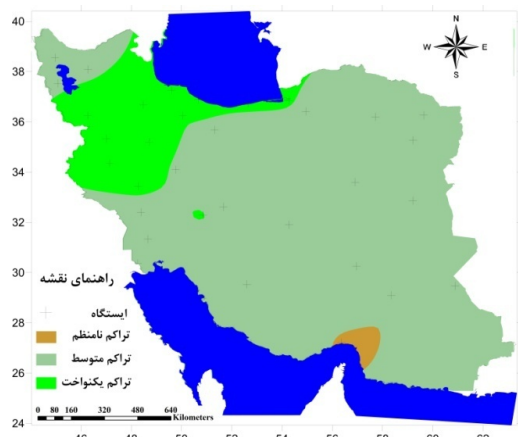
$$Var(S) = \frac{n - (n-1)(2n+5) - C}{18} \quad (6)$$

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

$$C = \sum_{i=1}^m t_i(t_i-1)(2t_i-5) \quad (7)$$

نتایج و بحث

با استفاده از داده‌های بارش ماهانه ایستگاه‌های منتخب، شاخص PCI در مقیاس سالانه و فصلی، در دوره آماری ۵۰ ساله محاسبه و سپس به منظور بررسی تغییرات متوسط مقدار این شاخص، دوره آماری مورد مطالعه به دو دوره زمانی ۲۵ ساله تقسیم شد (Gozzini et al. 2012). نتایج حاصل از بررسی شاخص مورد نظر در دو دوره آماری ۲۵ ساله، در شکل‌های ۲ تا ۷ به ترتیب برای فصل‌های زمستان و بهار و همچنین در مقیاس سالانه ارائه شده است. در مقیاس فصلی و 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 توزیع به شدت نامنظم بارش رخ نداده است. 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 بی-نظمی‌های شدید در بارش مواجه بودند به مناطق دارای پراکندگی یکنواخت افزوده می‌شود. هم‌چنین در مقیاس فصلی و در فصل زمستان، سهم کشور از توزیع یکنواخت در ۲۵ سال دوم کاسته شده و به طور کلی بیش‌ترین مناطق ایران 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.



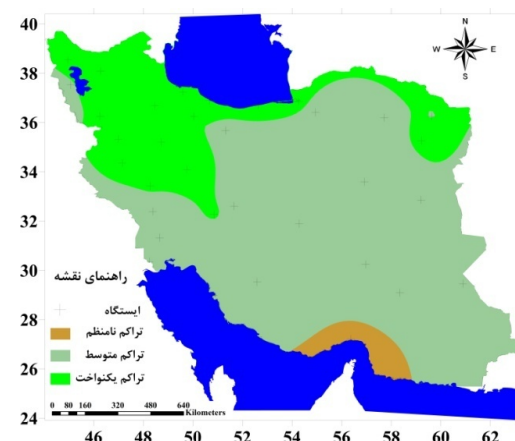
شکل ۳- پهنه‌بندی PCI فصلی (۲۵ سال دوم فصل زمستان)



شکل ۴- پهنه‌بندی PCI فصلی (۲۵ سال اول فصل بهار)



شکل ۵- پهنه‌بندی PCI فصلی (۲۵ سال دوم فصل بهار)



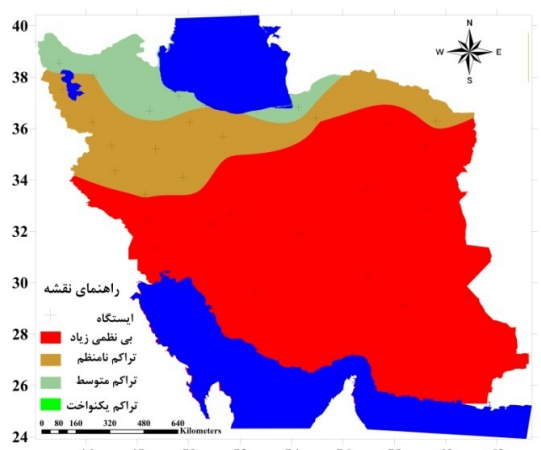
شکل ۲- پهنه‌بندی PCI فصلی (۲۵ سال اول فصل زمستان)

نتایج بررسی شاخص PCI در فصل بهار نشان داد که شاخص مذکور در ۲۵ سال اول دوره آماری دارای بی‌نظمی شدید در پراکندگی بارش در مناطق حاشیه خلیج فارس می‌باشند. در ۲۵ سال دوم دوره

تحت تأثیر توده هوای حاره‌ای دریایی قرار دارند. در این بین ۴۲ درصد از ایستگاه‌های مورد مطالعه بر اساس طبقه بندی Oliver (1980) با بی‌نظمی شدید در تراکم بارش مواجه هستند که با توجه به شکل ۷ شامل مناطق مرکزی و جنوبی کشور می‌شود. این مناطق با توجه به شکل ۸ تحت تأثیر توده‌های هوایی حاره‌ای - قاره‌ای با منشاء عربستان و شمال آفریقا، استوایی با منشاء اقیانوس هند (دریای غرب) و حاره‌ای - قاره‌ای قرار دارند. مقادیر شاخص PCI در مقیاس سالانه و فصلی در دو زیر بازه ۲۵ ساله در شکل‌های ۹ تا ۱۳ ارائه شده است. با توجه به شکل ۹ مشاهده می‌شود که نواحی حاشیه دریای خزر و شمال غرب کشور از تراکم بهتری نسبت به سایر مناطق در فصل تابستان برخوردارند. همچنین شکل ۱۰ نشان‌دهنده تراکم کم‌تر بارش در نواحی مرکز و جنوبی کشور می‌باشد. شکل‌های ۱۱، ۱۲ و ۱۳ نیز مقادیر کمی شاخص PCI را برای فصل‌های زمستان و بهار و مقیاس سالانه نشان می‌دهد.



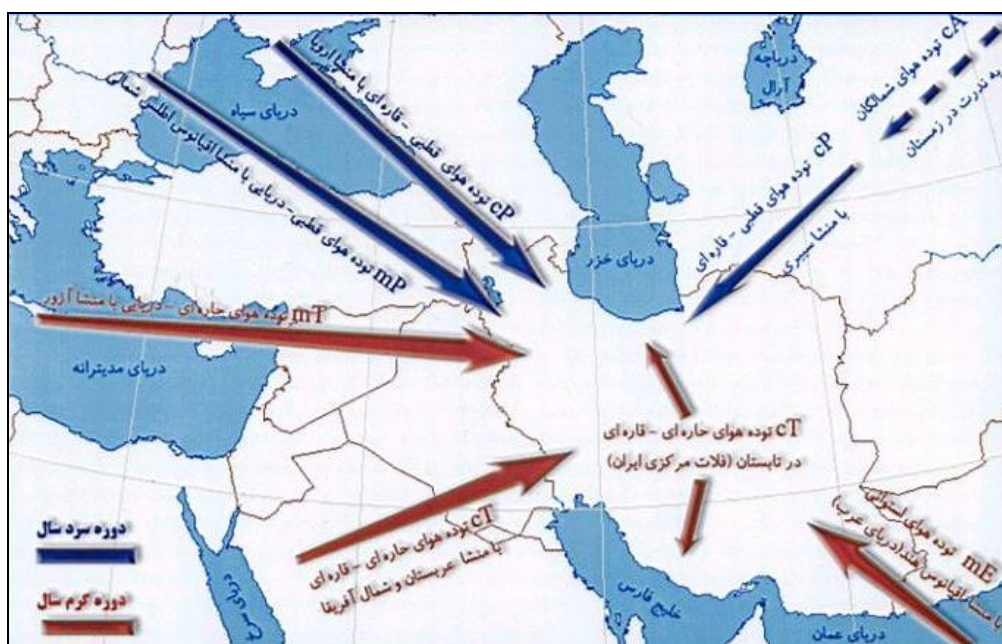
شکل ۶- پهنه‌بندی شاخص PCI (۲۵ سال اول دوره آماری)



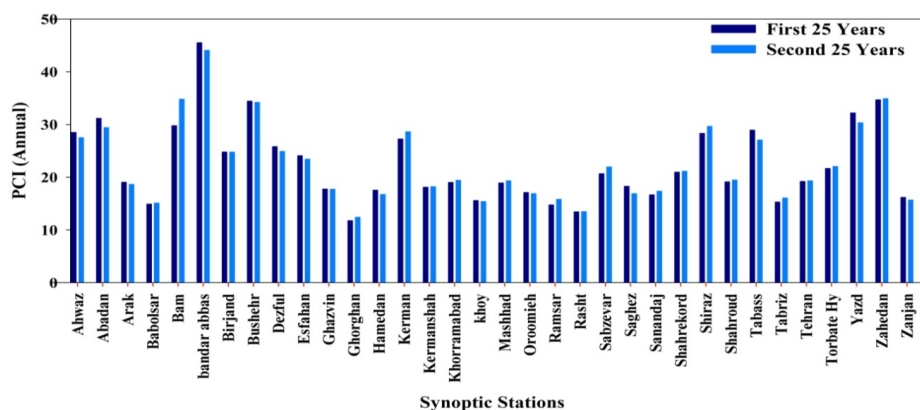
شکل ۷- پهنه‌بندی شاخص PCI (۲۵ سال دوم دوره آماری)

آماري مناطق داراي بارش غيريكنواخت و بي‌نظم گسترش پيدا کرده و کل نواحی جنوبی ایران را شامل شده‌اند. نواحی مرکزی ایران نیز در فصل بهار دارای پراکندگی نامنظم بارش هستند. همچنین در ۲۵ سال اول دوره آماری در ایستگاه گرگان توزیع یکنواخت بارش بهاره مشاهده شد که این ایستگاه نیز در ۲۵ سال دوم در دسته مناطق با پراکندگی متوسط بارش قرار گرفت. نتایج بررسی شاخص PCI در مقیاس سالانه در سطح کشور نشان داد که ایستگاه‌های دارای بی-نظمی بالا در بارش از بیش‌ترین فراوانی برخوردار هستند. جهت 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 به صورت شکل‌های ۴ و ۵ 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 نشان‌دهنده 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 پرباران ایران (حاشیه دریای خزر، استان‌های اردبیل 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 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.

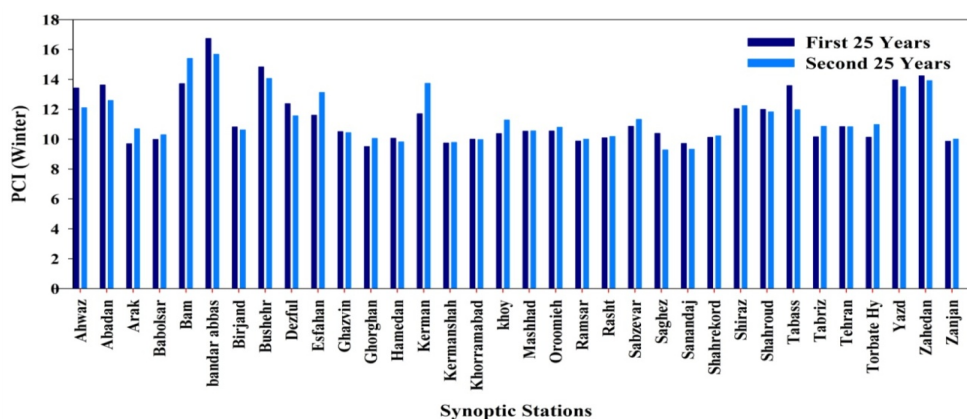
به طور کلی مناطق دارای توزیع متوسط بارش تحت تأثیر توده‌های شمالگان قاره‌ای با منشاء سیبری از شمال شرق ایران و جنوب شرق دریای خزر و توده‌های هوایی قطبی - قاره‌ای با منشاء اروپا و قطبی - دریایی با منشاء اقیانوس اطلس شمالی از سمت شمال غرب ایران واقع شده‌اند. با توجه به توده‌های هوایی مذکور و وجود رشته کوه‌های زاگرس در این مناطق، ایستگاه‌های شمال و شمال غرب کشور از بارش‌های منظم‌تری نسبت به سایر نقاط برخوردارند. در زیر بازه 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 پراکندگی زمانی بارندگی در این مناطق می‌باشد. تراکم نامنظم بارش نیز در استان‌های کردستان، کرمانشاه، همدان، لرستان، اراک، قزوین، تهران، شمال سمنان و خراسان رضوی، قسمت جنوبی استان آذربایجان غربی و زنجان و خراسان شمالی مشهود است. این مناطق



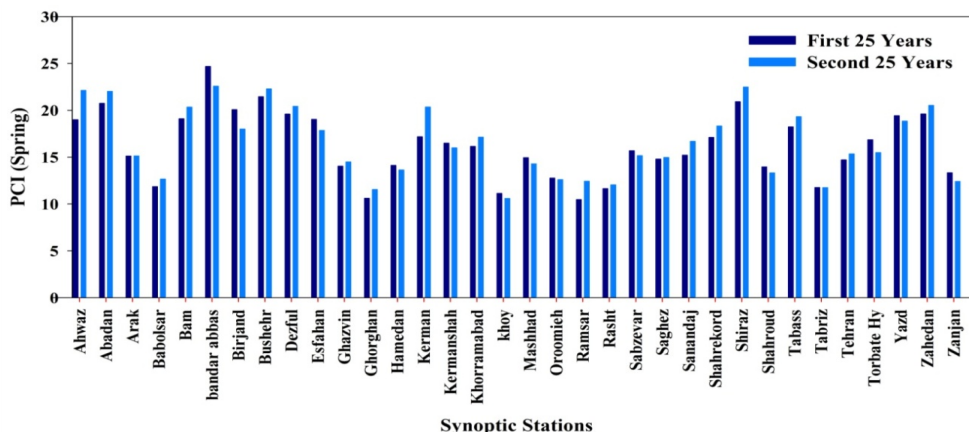
شکل ۸- توده‌های هوایی مؤثر بر ایران در فصول تابستان و زمستان (Khalili et al, 2015)



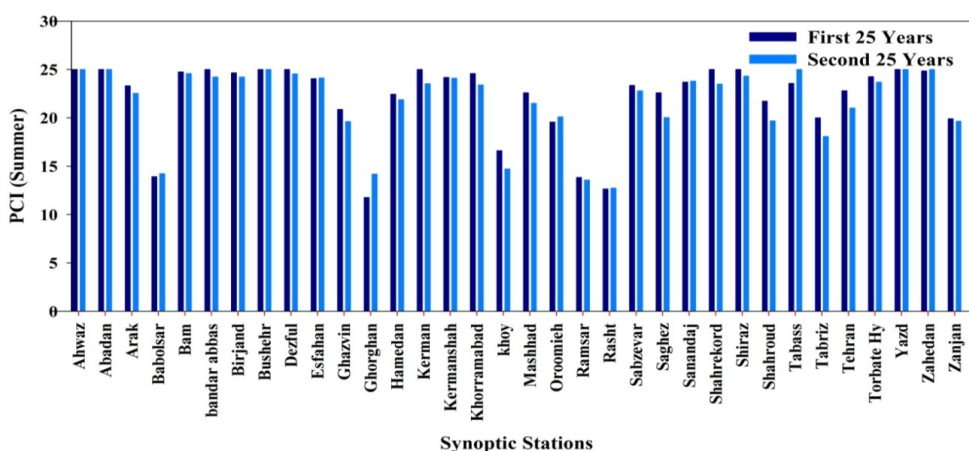
شکل ۹- مقادیر شاخص سالانه PCI در دو زیر بازه ۲۵ ساله ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه



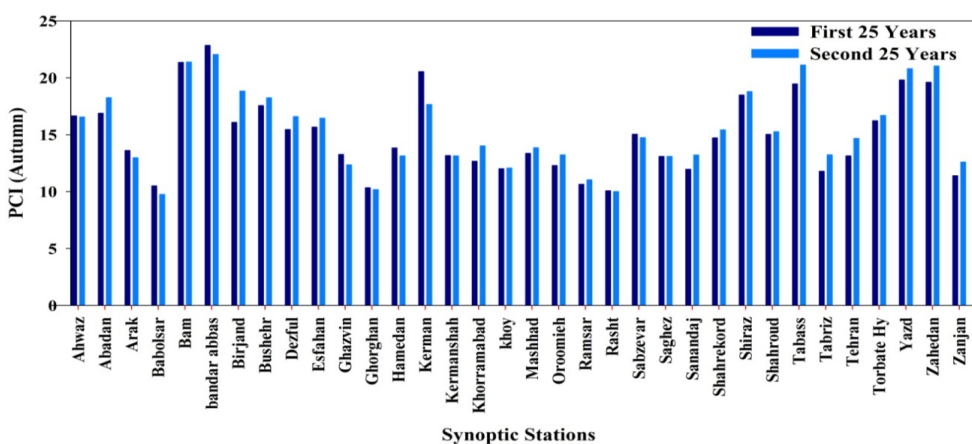
شکل ۱۰- مقادیر شاخص فصلی PCI مربوط به فصل زمستان در دو زیر بازه ۲۵ ساله ایستگاه‌های مورد مطالعه



شکل ۱۱- مقادیر شاخص فصلی PCI مربوط به فصل بهار در دو زیر بازه ۲۵ ساله ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه



شکل ۱۲- مقادیر شاخص فصلی PCI مربوط به فصل تابستان در دو زیر بازه ۲۵ ساله ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه



شکل ۱۳- مقادیر شاخص فصلی PCI مربوط به فصل پاییز در دو زیر بازه ۲۵ ساله ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه

است که در این جداول ارقام پررنگ نشان دهنده معنی‌داری روند بوده و معنی‌دار در سطوح ۱۰، ۵ و ۱ درصد به ترتیب با یک، دو و سه ستاره مشخص شده‌اند. با توجه به جدول ۳ می‌توان مشاهده کرد که در فصل زمستان ایستگاه‌های آبادان، اهواز، بندرعباس، بیرجند،

جدول ۳ نتایج بررسی روند تغییرات شاخص PCI را برای کل کشور در مقیاس زمانی فصلی و سالانه (شامل ۴ سری فصلی و یک سری سالانه) برای هریک از ۳۴ ایستگاه مورد مطالعه پس از حذف اثر همه ضرایب خودهمبستگی معنی‌دار نشان می‌دهد. لازم به ذکر

کاهش) معنی‌دار در شاخص PCI را تجربه کرده‌اند. در مقیاس سالانه نیز ۵۰ درصد از ایستگاه‌های مورد مطالعه وجود روند افزایشی در شاخص PCI را تایید می‌کنند. در این بین روند معنی‌دار افزایشی در PCI های سالانه در ایستگاه‌های بم، تبریز و گرگان مشاهده گردید. همچنین ایستگاه همدان نیز (با توجه به جدول ۲) روند کاهش معنی‌دار در شاخص PCI را نشان می‌دهد.

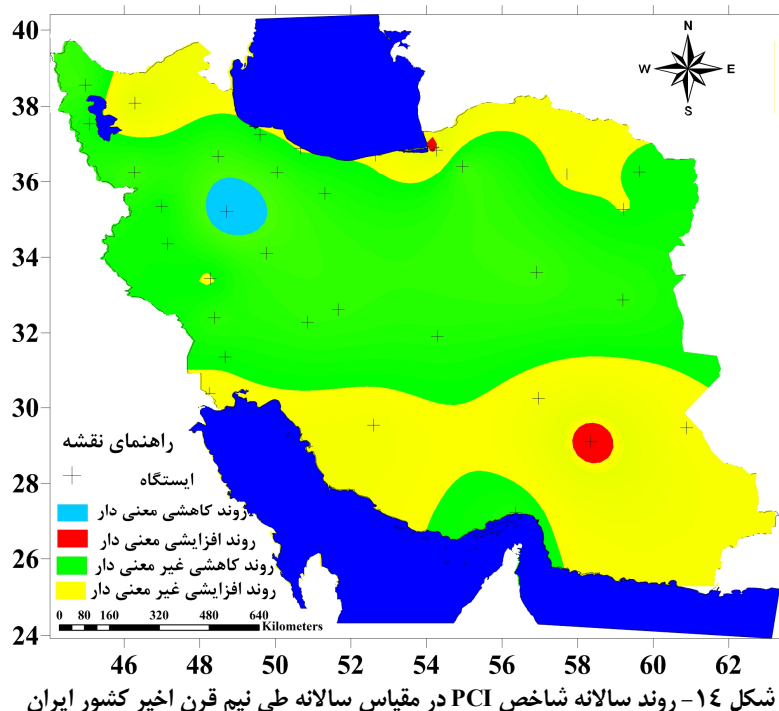
شکل ۱۴ روند تغییرات مکانی شاخص تراکم بارش (PCI) را نشان می‌دهد. با توجه به این شکل مشاهده می‌شود که پهنه وسیعی از کشور روند افزایشی و کاهش معنی‌دار را در شاخص PCI تجربه کرده است اما ایستگاه‌های سینوپتیک بم و گرگان افزایش معنی‌دار در بی‌نظمی‌های بارش را نشان می‌دهد. همچنین قسمت شرقی دریاچه ارومیه نیز با افزایش بی‌نظمی‌های بارش مواجه بوده است، هرچند که این تغییرات معنی‌دار نیست اما با این وجود کاهش بارش‌ها که در مطالعات میرعباسی و دین‌پژوه (۱۳۹۱)، عصاکره و رزمی (۱۳۹۱) و دین‌پژوه و همکاران (Dinpashoh et al, 2014) 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.

کرمانشاه، سنندج، شاهرود، شیراز، طبس، تهران، ارومیه و زاهدان روند کاهش غیرمعنی‌دار در شاخص تراکم بارندگی را داشته و ایستگاه‌های دزفول، سقز و همدان روند کاهش معنی‌دار را نشان می‌دهند. در سایر ایستگاه‌ها نیز روند تغییرات PCI افزایشی غیرمعنی‌دار می‌باشد. به طور کلی از ۳۴ ایستگاه مورد مطالعه ۱۶ ایستگاه نشان‌دهنده افزایش روند شاخص PCI می‌باشد که به معنی افزایش بی‌نظمی‌ها در بارش زمستانه می‌باشد. در فصل بهار نیز شاخص PCI در ایستگاه‌های آبادان، اهواز، بابلسر، بم، بوشهر، گرگان، قزوین، رشت، سنندج، شهرکرد، شیراز، تبریز، تهران و زاهدان روند افزایشی غیرمعنی‌دار را نشان می‌دهد. همچنین ایستگاه‌های کرمان و رامسر با افزایش معنی‌دار در شاخص PCI مواجه بوده‌اند که به معنی افزایش بی‌نظمی در بارش‌های بهاره می‌باشد. با توجه به جدول ۲، وجود روند کاهش غیرمعنی‌دار در شاخص PCI برای سایر ایستگاه‌ها نیز مورد تایید قرار می‌گیرد و به معنای افزایش تراکم بارش‌های بهاره در ۱۵ ایستگاه کشور می‌باشد. با توجه به اینکه در فصل‌های تابستان و پاییز، مقدار ریزش‌های جوی در کل کشور کاهش می‌یابد از این رو می‌توان انتظار داشت که بی‌نظمی‌های موجود در بارش نیز کاهش یابد که این امر در جدول ۲ مشهود است. در فصل تابستان ایستگاه گرگان بی‌نظمی شدیدی را به دلیل وجود روند معنی‌دار در شاخص PCI نشان می‌دهد. در فصل پاییز نیز ایستگاه‌های تبریز و زاهدان (بابلسر) روند افزایشی

جدول ۲- نتایج بررسی روند تغییرات مقادیر شاخص PCI در مقیاس سالانه و فصلی

ایستگاه	زمستان	بهار	تابستان	پاییز	سالانه	ایستگاه	زمستان	بهار	تابستان	پاییز	سالانه
آبادان	-۰/۳۳	۰/۴۵	-۰/۰۰	۱/۰۳	۰/۵۰	رشت	۰/۶۱	۰/۹۷	۰/۱۶	-۰/۰۸	۰/۰۰
اراک	۱/۴۲	-۱/۱۹	-۰/۸۱	-۱/۲۰	-۱/۱۲	زاهدان	-۰/۸۱	-۰/۱۰	۰/۱۳	۱/۶۲	۰/۴۰
ارومیه	-۰/۱۱	-۰/۱۶	-۰/۳۰	۱/۲۰	-۰/۱۰	زنجان	۰/۵۸	-۱/۵۳	۰/۴۲	-۱/۰۸	-۱/۰۸
اصفهان	۰/۶۳	-۰/۸۹	-۰/۱۴	-۰/۲۷	-۰/۹۰	سبزوار	۰/۰۰	-۱/۴۹	-۱/۰۸	-۰/۰۷	۰/۴۵
اهواز	-۱/۲۵	۰/۷۶	-۰/۰۰	-۰/۱۱	۰/۰۳	سقز	-۲/۳۳***	-۰/۶۳	-۱/۵۹	-۰/۴۹	-۱/۱۷
بابلسر	۰/۶۳	۰/۴۵	-۰/۴۰	-۱/۸۰*	۰/۳۸	سنندج	-۱/۱۷	۰/۳۳	-۰/۱۹	-۰/۳۶	۰/۰۸
بم	۱/۴۳	۱/۲۹	-۰/۰۹	۰/۷۴	۲/۱۹**	شاهرود	-۰/۹۵	-۱/۳۲	-۰/۹۵	-۰/۱۷	-۱/۱۸
بندرعباس	-۰/۸۵	-۱/۴۸	-۱/۷۳*	-۱/۰۰	-۰/۳۶	شهرکرد	۰/۳۳	۰/۶۰	-۱/۱۲	-۰/۱۱	-۰/۸۱
بوشهر	۰/۴۶	۰/۴۸	-۰/۰۰	۰/۴۳	۰/۷۳	شیراز	-۰/۷۰	۰/۶۶	-۲/۳۳***	۰/۸۰	۰/۷۶
بیرجند	-۱/۲۴	-۰/۹۸	-۰/۲۶	۱/۳۶	-۰/۷۵	طبس	-۱/۴۳	-۰/۱۳	۰/۲۵	۱/۴۲	-۱/۱۴
تبریز	۱/۰۳	۰/۳۵	-۰/۹۵	۱/۹۹**	۱/۷۲	قزوین	-۰/۹۰	۰/۷۸	-۰/۷۱	-۱/۵۲	-۰/۹۰
تربت	۰/۹۲	-۰/۶۷	-۰/۸۲	-۰/۱۳	۰/۲۵	کرمان	۰/۶۶	۱/۹۴*	-۱/۸۰	-۱/۱۲	۰/۷۱
حیدریه	-۰/۰۸	۰/۵۰	-۰/۴۱	-۰/۱۵	-۰/۵۶	کرمانشاه	-۰/۰۵	-۰/۵۸	-۰/۳۲	-۱/۱۲	-۰/۱۰
تهران	-۰/۹۲	۰/۶۱	-۰/۹۳	-۰/۹۲	۰/۳۸	گرگان	۱/۳۳	۱/۱۵	۳/۸۸***	۰/۳۳	۱/۹۰*
خرم‌آباد	۱/۶۳	-۱/۰۲	-۰/۹۳	-۱/۰۸	-۱/۰۲	مشهد	۰/۵۵	-۱/۱۵	-۰/۹۰	۰/۶۶	۰/۰۳
خوی	-۱/۸۷	-۰/۲۴	-۱/۵۲	۰/۳۴	-۰/۷۸	همدان	-۲/۸۵***	-۱/۳۹	-۰/۸۷	-۱/۲۷	-۲/۵۸***
دزفول	-۰/۶۶	۳/۶۶	-۰/۵۹	-۰/۳۶	۰/۳۱	یزد	۰/۰۴	-۰/۳۰	-۰/۰۰	-۰/۴۲	-۰/۵۱

ارقام پررنگ نشان دهنده معنی‌داری روند بوده و معنی‌دار در سطوح ۱۰، ۵ و ۱ درصد به ترتیب با یک، دو و سه ستاره مشخص شده‌اند.

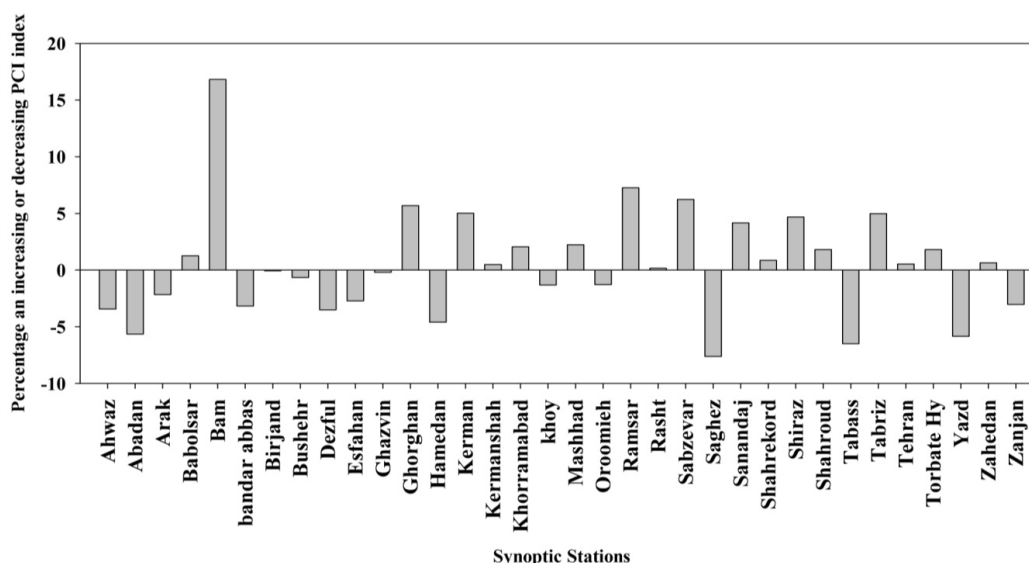


نتیجه گیری

شاخص در مرکز ایران و در استان‌های کم بارشی مثل کرمان، بندرعباس، یزد، زاهدان، شهرکرد، بیرجند، بوشهر، اهواز و اصفهان است که این ایستگاه‌ها بر اساس طبقه بندی اولیور (Oliver, 1980) دارای بی نظمی زیاد و پراکنده در ریزش بارش هستند. هم‌چنین در مقیاس سالانه و به صورت متوسط بیش‌ترین مقدار شاخص مورد نظر متعلق به ایستگاه سینوپتیک بندرعباس و کم‌ترین آن متعلق به ایستگاه سینوپتیک گرگان بود. در هیچ یک از ایستگاه‌های مورد مطالعه در کشور ایران، تمرکز یکنواخت ($PCI < 10$) در مقیاس سالانه یافت نشد. والی و همکاران در تحقیق خود مبنی بر بررسی تراکم بارش ایالت آندرها پرادیش هندوستان نیز وضعیت پراکندگی یکنواخت بارش مشاهده نکردند که با یافته‌های مطالعه حاضر مطابقت دارد (Vali et al, 2013).

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 پهنه‌بندی نشان از بالا بودن این شاخص در مرکز ایران و در استان‌های کم بارشی مثل کرمان، یزد، زاهدان است که این ایستگاه‌ها بر اساس طبقه بندی اولیور (Oliver, 1980) دارای بی نظمی زیاد و پراکنده در بارش‌های زمستانه هستند. به طور کلی نتایج تحلیل شاخص PCI در مقیاس سالانه و فصلی نشان داد که مناطق تحت پوشش توده‌های هوایی قطبی - قاره‌ای، قطبی - قاره‌ای با منشاء اروپا و قطبی - قاره‌ای با منشاء اقیانوس اطلس شمالی بهترین پراکندگی را از نظر بارش در سطح کشور نسبت به سایر نواحی ایران دارند.

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 تراکم بارش در دو مقیاس سالانه و فصلی در سطح کشور (در دوره آماری ۱۹۶۱ تا ۲۰۱۰) مورد استفاده قرار گرفت. نتایج حاصل از بررسی شاخص PCI در مقیاس سالانه نشان داد که در بازه ۲۵ سال اول، ۲۰، ۳۵ و ۴۴ درصد ایستگاه‌ها به ترتیب دارای توزیع متوسط، نامنظم و بی‌نظمی شدید در توزیع بارش‌ها می‌باشند. در بازه ۲۵ سال دوم نیز، ۱۸ درصد ایستگاه‌ها دارای توزیع متوسط بارندگی سالانه، ۳۵ درصد ایستگاه‌ها دارای توزیع نامنظم و ۴۷ درصد ایستگاه‌ها نشان‌دهنده وجود بی نظمی زیاد در بارش‌های سالانه می‌باشند. تفاوت محاسبات سالانه PCI در دو زیر بازه ۲۵ ساله که به صورت شکل ۱۵ آورده شده است، بیانگر کاهش ۸/۲۵ درصدی شاخص PCI سالانه در ایستگاه سینوپتیک استان سقز نسبت به ۲۵ سال اول و افزایش ۱۶ درصدی شاخص PCI در ایستگاه سینوپتیک بهم نسبت به ۲۵ سال اول بود. شکل ۱۵ درصد تغییرات شاخص PCI را در مقیاس سالانه برای سایر ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد. در سایر ایستگاه‌ها نیز شاخص PCI دارای نوسانات افزایشی یا کاهش‌ی است. نتایج پهنه‌بندی شاخص مورد نظر در مقیاس سالانه نشان داد که پراکندگی بارندگی در هر دو زیر بازه از الگوی یکسان پیروی می‌کند. هم‌چنین نتایج پهنه‌بندی نشان از بالا بودن این



شکل ۱۵- تغییرات شاخص PCI در زیربازه ۲۵ سال دوم نسبت به ۲۵ سال اول در مقیاس سالانه

مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی. ۴۷: ۳-۱۶۲-۱۴۷.

میرعباسی، ر.، دین‌پژوه، ی. ۱۳۹۱. تحلیل بارش‌های شمال غرب ایران در نیم قرن گذشته. مجله علوم و مهندسی آبیاری. ۴: ۳۵-۷۳-۵۹.

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.

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.

Chen, J., Wub, 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.

Dinpashoh, Y., Mirabbasi, R., Jhajharia, D., ZareAbianeh, 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.

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.

Gozzini, B., Bartolini, G and Torrigiani, T. 2012. Precipitation concentration patterns in Tuscany (central Italy) 1955-2010. European Annual Meetings. Vol. 9, EMS2012-339, 2012. 12th EMS / 9th ECAC.

Hamed, K.H and Rao, A.R. 1998. A modified Mann-Kendall trend test for autocorrelated data. Journal of Hydrology. 204: 182-196.

بعد از بررسی و پهنه‌بندی شاخص مورد نظر در سطح ایران، روند تغییرات سالانه و فصلی این شاخص در دوره آماری ۵۰ ساله نیز با استفاده از آزمون من - کندال اصلاح شده مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این شاخص کمک بسزایی در مدیریت آب در مناطق کم بارش کشور دارد که این موضوع با تحقیقات (Gozzini et al, 2012) مطابقت دارد.

نتایج بررسی روند تغییرات شاخص تراکم بارش (PCI) در فصل زمستان نشان‌دهنده افزایش بی‌نظمی‌های بارندگی در سطح کشور می‌باشد به طوری که حدود ۵۰ درصد از ایستگاه‌های مورد مطالعه با روند افزایشی شاخص PCI مواجه بوده‌اند. در فصل بهار نیز شاخص PCI در ایستگاه‌های آبادان، اهواز، بابلسر، بم، بوشهر، گرگان، قزوین، رشت، سنندج، شهرکرد، شیراز، تبریز، تهران و زاهدان روند افزایشی غیرمعنی‌دار را نشان می‌دهد که به معنی افزایش بی‌نظمی در بارش‌های بهاره می‌باشد. در فصل تابستان ایستگاه گرگان بی‌نظمی شدیدی را به دلیل وجود روند معنی‌دار در شاخص PCI نشان می‌دهد. در فصل پاییز نیز ایستگاه‌های تبریز و زاهدان (بابلسر) روند افزایشی (کاهش) معنی‌دار در شاخص PCI را تجربه کرده‌اند. در مقیاس سالانه نیز ۵۰ درصد از ایستگاه‌های مورد مطالعه وجود روند افزایشی در شاخص PCI را تایید می‌کنند. در این بین روند معنی‌دار افزایشی در PCI های سالانه در ایستگاه‌های بم، تبریز و گرگان مشاهده گردید. وجود روند افزایشی در شاخص تراکم بارش هر چند غیرمعنی‌دار، نشان‌دهنده ایجاد تغییراتی در بارش‌های کشور می‌باشد.

منابع

عساکره، ح.، رزمی، ر. ۱۳۹۱. تحلیل بارش سالانه شمال غرب ایران.

- Earth System Sciences. 11: 1259–1265.
- Mann,H.B. 1945. Nonparametric test against trend, *Econometrica* 13: 245-259.
- Oliver,J.E. 1980. Monthly precipitation distribution: a comparative index, *Prof. Geogr.*, 32, 300–309, 1980.
- Pal Al-Tabbaa,A. 2009. Trends in seasonal precipitation extremes—an indicator of ‘climate change’ in Kerala, India. *Journal of Hydrology*. 367: 62–69.
- Saboohi,R., Soltani,S and khodagholi,M. 2012. Trend analysis of temperature parameters in Iran. *Theoretical and Applied Climatology*. 109: 529–547.
- Tabari,H., Marofi,S., Aeini,A., Talaee,P.H and Mohammadi,K. 2010. Trend analysis of reference evapotranspiration in the western half of Iran. *Agricultural and Forest Meteorology*. 151 :2: 9 pages.
- 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 research*. 2.5: 53-61.
- 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.
- 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.
- Jain,SK., Kumar,V and Saharia,M. 2013. Analysis of rainfall and temperature trends in northeast India. *International Journal of Climatology*. 33: 968-978.
- 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.
- Kendall,M.G. 1975. Rank Correlation Measures, Charles Griffin, London.
- Khalili,K., Nazeri Tahroudi,M., Mirabbasi,R., 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.
- 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*. 4.1:5-10.
- 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.
- Luis,M.de., Gonz’alez-Hidalgo,J.C., Brunetti,M and Longares,L.A. 2011. Precipitation concentration changes in Spain 1946–2005. *Natural Hazards and*

Application of PCI Index in the Annual and Seasonal Rainfall Pattern Investigation and Trend Analysis of Iran Duration the Recent Half Century

K. Khalili¹, M. Nazeri Tahrudi², F. Ahmadi^{*3}

Received: Dec.29, 2014

Accepted: Apr.29, 2015

Abstract

Evaluation of the rainfall phenomenon is important as the most effective meteorological factors that influence the access to the water resources directly. In this research precipitation concentration index (PCI) calculated using of monthly precipitation time series of 34 synoptic stations in the recent half century (1961-2010) and their trends in two annual and seasonal scales investigated. The results of the zoning the mentioned index in annual scale showed that concentration of the precipitation in two 25 years time reach followed from the same pattern. Also results of PCI index showed that rainfall was scattered irregular in the center and southern regions of Iran in the Kerman, Bandar Abbas, Yazd, Zahedan, Shahrekord, Birjand, Bushehr, Ahwaz and Isfahan also in none of the mentioned stations uniform concentration ($PCI < 10$) were not observed in the annual time scale. Results of winter trend investigation of PCI index in the period of 1961-2010 showed that non-significant upward and downward trend occurred for the number of sixteen and fifteen stations respectively and in the Dezful, Saghez and Hamedan stations significant decreasing trend observed. Also in the spring season, PCI index results showed significant increasing in the PCI trend for two Kerman and Ramsar stations which means that scattering rainfall was irregular significantly in two mentioned stations. In summer, the Gorgan station showed high irregularity as the PCI index and in autumn, the Tabriz and Zahedan stations showed significant increasing trend while decreasing trend detected for Bablosar station. In annual scale about 50 percentages followed increasing of PCI index values.

Keyword: Iran, Precipitation Concentration Index, Trend, Mann-Kendall.

1 - Assistant Professor, Water Engineering Department, Urmia University

2 - MSc. Student, Water Engineering Department, Faculty of Agriculture, Urmia University

3 - Ph.D Student, Water Resources Engineering Department, Faculty of Water Sciences Engineering, University of Ahvaz

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