

## کاربرد شاخص PCI در بررسی الگوی بارش پاییزه ایران و تحلیل روند آن در مقیاس سالانه و فصلی

رضا ابراهیمی<sup>۱</sup>، الهام مهدوی نژاد<sup>۲</sup>

### چکیده

بارش به عنوان یکی از مهم ترین عناصر آب و هوایی از دیدگاه های مختلف مورد بحث و پژوهش های زیادی قرار گرفته است. هدف از این پژوهش کاربرد شاخص تراکم PCI در بررسی الگوی بارش پاییزه ایران و تحلیل روند مقایسه ای سالانه و فصلی آن در ایستگاه های منتخب می باشد. جهت این امر از داده های بارش روزانه ۳۸ ایستگاه همدید طی دوره آماری ۱۹۸۱-۲۰۱۰ استفاده شد. ماتریس داده ها به ابعاد ۳۸\*۲۷۶۰ می باشد که سطرها شامل روزها و ستون ها ایستگاه ها می باشند. در این پژوهش برای پهنه بندی شاخص تراکم بارش از تحلیل خوشه ای، برای تجزیه و تحلیل داده ها و ترسیم نمودارها نیز از نرم افزار متلب و بالاخره جهت درون یابی شاخص PCI از روش کریجینگ معمولی در نرم افزار GIS استفاده شد. نتایج نشان داد که بارش پاییزه ایران از لحاظ شاخص تراکم بارش PCI به سه خوشه مجزای تراکم یکنواخت، متوسط و نامنظم بارش قابل تفکیک است. نتایج پهنه بندی شاخص مورد نظر در مقیاس ماهانه و سالانه نشان داد که نواحی جنوب و جنوب شرقی ایران دارای بی نظمی و پراکندگی بالا در ریزش های جوی بوده و مناطق مرکزی و شرقی دارای تراکم متوسط بارش هستند. مناطق شمال، شمال غرب، شمال شرق و زاگرس مرکزی دارای تمرکز بارندگی یکنواخت است. تراکم متوسط بارش نیز متعلق به ایستگاه هایی است که دارای متوسط بارندگی می باشند.

**کلید واژه:** تحلیل خوشه ای، توزیع مکانی، شاخص تراکم بارش، ایران

۱ - دانشجوی دکتری آب و هواشناسی، دانشگاه یزد، نویسنده مسئول Email: ebrahimireza7679@yahoo

۲ - دانشجوی کارشناسی ارشد ابرخزداری، دانشگاه یزد

## ۱- مقدمه

رفتار بارش در سطح محلی، ناحیه‌ای، منطقه‌ای و جهانی یکی از زمینه‌های تحقیقاتی مورد توجه محافل علمی طی چند دهه اخیر است. مطالعات بی‌شماری در مقیاس یاد شده در زمینه تغییرات بارش انجام گرفته که حاکی از تغییر مقدار و رژیم بارش در برخی از نقاط و ثبات آن در نقاط دیگر است (کاوایانی و عساکره، ۲۰۰۴: ۱۴۵). تغییر الگوی بارش در مقیاس محلی و منطقه‌ای برای ارزیابی هیدرولوژیکی بسیار مهم است و اهمیت بارش از آن جهت قابل توجه است که تاثیر زیادی بر خشکسالی، سیل، فرسایش و همچنین مدیریت آب دارد (هانگ، ۲۰۱۵). در ایران بارش یکی از متغیرهای اساسی برای ارزیابی منابع بالقوه آب است اما توزیع زمانی و مکانی آن بسیار ناموزون بوده و به همین دلیل توزیع آب کشور نیز یکنواخت نیست (مسعودیان ۲۰۱۱: ۱۲۱). کم بودن مقدار بارش و نوسانات شدید آن در مقیاس‌های زمانی روزانه، فصلی و سالانه از ویژگی‌های ذاتی اقلیم ایران می‌باشد. با توجه به تاثیرات بارندگی بر منابع آب مانند آب زیرزمینی، ذخایر آب سطحی و برف، استفاده از شاخص‌هایی برای شناسایی تغییرات این فراسنج ضروری است که می‌توان، به شاخص استاندارد بارش SPI و شاخص تراکم بارش PCI اشاره نمود (خلیلی و همکاران، ۲۰۱۵). سبیرت و همکاران (۲۰۰۷) با استفاده از داده‌های بارش روزانه طی سال‌های ۱۹۹۳ تا ۱۹۷۰ از روش تحلیل خوشه‌ای، هفت الگوی همدید و هفت ناحیه بارش را در اتریش شناسایی کردند. آدگوان و همکاران (۲۰۱۱) شاخص PCI را در دو مقیاس فصلی و سالانه طی بازه زمانی 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 بارش با تمرکز متوسط قرار می‌گیرند لوئیس و همکاران (۲۰۱۲) شاخص PCI را در دو مقیاس فصلی و سالانه، برای دو دوره زمانی ۲۰۰۵-۱۹۷۶ و ۱۹۷۵-۱۹۶۴ در اسپانیا مورد مطالعه

قرار دادند. تحلیل دو زیر بازه نشان داد که تغییرات در میزان بارش در اسپانیا رخ داده و تراکم بارش در طول فصل مرطوب افزایش یافته است. کورتز و همکاران (۲۰۱۲) تراکم بارش روزانه در سراسر اروپا را برای دوره آماری ۱۹۷۱-۲۰۱۰ با شاخص تراکم بارش PCI مورد مطالعه قرار دادند نتایج نشان داد بالاترین تراکم روزانه بارش سالانه و فصلی در حوزه غربی مدیترانه، به طور عمده شامل اسپانیا و فرانسه است. بوستان (۲۰۱۲) در مطالعه‌ای تحت عنوان مقایسه تکنیک‌های کریجینگ و رگرسیون برای ترسیم میانگین بارش سالانه ترکیه، به پهنه‌بندی بارش سالانه این کشور از طریق تکنیک‌های زمین‌آماري و جبری پرداخت. (هانگ و همکاران، ۲۰۱۵) تغییرات زمانی- مکانی بارش روزانه در رودخانه وی چین را با دو شاخص CID و CIM مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد در تمام ایستگاه‌ها روند نزولی شاخص CIM، نشان‌دهنده توزیع بارش روزانه یکنواخت است. مقادیر بالای CID در شمال حوضه و میزان CID کم در جنوب حوزه مشاهده شد. هانگ و همکاران (۲۰۱۵) برای تجزیه و تحلیل مکانی و زمانی بارش روزانه و ماهانه در استان کینگای چین از شاخص تراکم بارش PCI و شاخص CI استفاده نمودند. نتایج نشان داد که در این استان بی‌نظمی قابل توجهی از توزیع بارندگی ماهانه و توزیع همگن بارش روزانه مشاهده می‌گردد. سای با (۲۰۱۶) تغییرات زمانی بارش در ترکیه برای دوره زمانی ۱۹۶۷ تا ۲۰۱۰ را مورد بررسی قرار دادند. برای روند تغییرات زمانی و مکانی بارش از روش کریجینگ معمولی استفاده نمودند نتایج نشان داد که در سراسر منطقه ترکیه به غیر از آناتولی روند بارش کاهشی بوده است. تحقیقاتی نیز در ایران در مورد بارش صورت گرفته است:

مسعودیان (۲۰۱۱) پهنه‌بندی بارش غرب و شمال غرب ایران به روش تحلیل خوشه‌ای را مورد مطالعه قرار داد. نتایج نشان داد در منطقه مورد مطالعه سه ناحیه بارش متمایز وجود دارد؛ مناطق مذکور با توجه به وضعیت بارشی آنها شامل

منطقه کم بارش، پر بارش و متوسط می‌باشد. آرامش و همکاران (۲۰۱۲) به بررسی پهنه‌بندی اقلیمی استان کرمان با استفاده از تحلیل عاملی و خوشه‌ای پرداختند. خروجی تحلیل عاملی نشان داد که پنج عامل برودتی، ارتفاعی، بارشی، بادی، تندری و غباری بیش از ۹۶ درصد رفتار آب و هوایی استان کرمان را تعیین کرده‌اند. انجام تحلیل خوشه‌ای بر روی این عامل‌ها وجود ۶ ناحیه آب و هوایی را در استان کرمان نشان داد. شیروانی و همکاران (۲۰۱۲) برای طبقه بارش ماهانه ایران با روش تحلیل خوشه‌ای از داده‌ها بارش ۴۲ ایستگاه همدیدی برای دوره (۲۰۰۳-۱۹۶۷) استفاده نمودند. نتایج نشان داد که کشور به شش ناحیه مختلف پهنه‌بندی می‌شوند. مناطق با توجه به وضعیت بارشی آنها شامل منطقه کم بارش، پر بارش و متوسط می‌باشد. قویدل و همکاران (۲۰۱۴) به بررسی مدل‌های جبری و زمین‌آماری در پهنه‌بندی بارش استان اردبیل پرداختند. نتایج نشان داد که مدل کریجینگ نسبت به سایر روش‌ها دارای خطای کمتری بوده و با نقشه توزیع ارتفاعی منطقه هم‌خوانی دارد و روش کریجینگ بهترین روش برآورد بارندگی مناطق فاقد اطلاعات با اختلاف توپوگرافیک شدید استان اردبیل، تشخیص داده شد. خلیلی و همکاران (۲۰۱۵) با استفاده از داده‌های بارش ماهانه ۳۴ ایستگاه سینوپتیک در دوره آماری ۱۹۶۱-۲۰۱۰، شاخص تراکم بارش PCI محاسبه و روند تغییرات آن در دو مقیاس سالانه و فصلی مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج پهنه‌بندی شاخص در مقیاس سالانه نشان داد که پراکندگی بارندگی در دو زیر بازه ۲۵ ساله از الگوی یکسان پیروی می‌کند. هم‌چنین بر اساس نتایج حاصله شاخص PCI در مناطق مرکزی و جنوبی کشور، نشان‌دهنده بی‌نظمی زیاد و پراکنده بالا در ریزش‌های جوی بوده است. جهان‌بخش و همکاران (۲۰۱۵) به منظور بررسی توزیع زمانی و مکانی بارش در سطح شهرستان تبریز با روش تحلیل خوشه‌ای از آمار و اطلاعات روزانه ۱۱ ایستگاه در طی دوره آماری ۱۳۷۸ تا ۱۳۸۸ استفاده نمودند. نتایج پژوهش نشان داد که شهرستان تبریز از لحاظ بارش به سه گروه

مجزای بارش کم، متوسط و زیاد قابل تفکیک است. خلیلی و همکاران (۲۰۱۶) به بررسی تراکم و روند بارش زمستانه ایستگاه‌های مرزی ایران طی نیم اخیر پرداختند. نتایج نشان داد که شاخص PCI در مناطق جنوب کشور، شامل استان های بندر عباس، زاهدان، بیرجند، بوشهر و اهواز نشان‌دهنده وجود بی‌نظمی زیاد و پراکنده بالا در ریزش‌های جوی بوده است. خدائی‌شاد و همکاران (۲۰۱۶) در مقاله‌ای بارش را به عنوان یکی از عوامل مهم خشکسالی، توسط اندازه‌گیری ایستگاه‌های زمینی و به کمک داده‌های برآورد بارش TRMM بررسی کردند؛ شاخص‌های نرمال‌شده رطوبت: (تفاضل نرمال‌شده پوشش گیاهی، مرئی- طول موج کوتاه مادون قرمز خشکسالی و ظرفیت آب سطح) را با دو شاخص وضعیت بارش PCI و دمای سطح زمین LST، وارد آنالیز مؤلفه اصلی PCA کردند. نتایج نشان داد که نمایه به‌دست‌آمده از آنالیز PCA روی شاخص‌های نرمال‌شده VSDI، PCI و LST، بهترین عملکرد را در پایش زمان واقعی خشکسالی استان‌های تهران و قم، ارائه می‌دهد. مفاخری و همکاران (۲۰۱۷) در پژوهشی تغییرات تعداد روز بارشی، مقدار بارش و تغییرات شدت بارش در بلند مدت در نواحی مختلف ایران را با روش تحلیل خوشه‌ای برای ناحیه‌بندی اقلیمی بررسی کردند. برای شناسایی شدت بارش روزانه از نسبت بارش حداکثر روزانه به سالانه استفاده شد. نتایج نشان داد که در اغلب نواحی ایران نسبت فراوانی روزهای بارشی کوتاه مدت در ۱۵ سال اخیر (۲۰۱۳-۱۹۹۹) به ۱۵ سال گذشته (۱۹۸۴-۱۹۹۸) روند افزایشی دارد این امر می‌تواند باعث تشدید بارش‌های رگباری شود که خود مسبب افزایش و تشدید سیل و طغیان رودخانه‌ها و خسارات جانی و مالی در این مناطق شود. همچنین مشخص شد نسبت حداکثر بارش‌های روزانه به بارش سالانه در کل نواحی کشور روند افزایشی دارد.

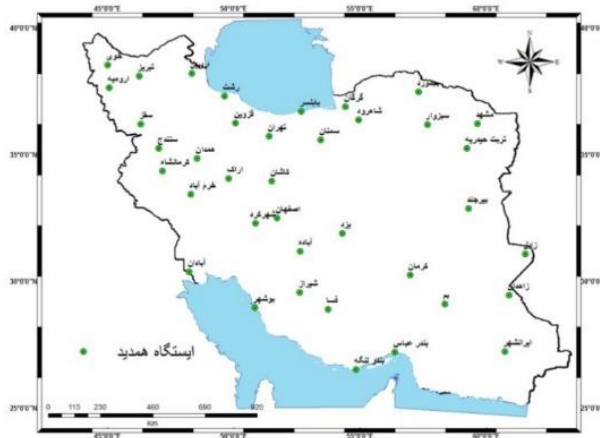
از پیشینه تحقیق چنین استنباط می‌شود که تاکنون مطالعه جامعی بر روی پراکنده‌گی و تمرکز بارش در فصل پاییز ایران صورت نگرفته است. بنابراین هدف

از مطالعه حاضر، بررسی میزان نظم و پراکندگی بارش‌های پاییزه ایران با محاسبه شاخص تراکم بارش PCI در دو مقیاس زمانی ماهانه و سالانه در سه دهه اخیر می‌باشد.

## ۲- داده‌ها و روش‌ها

### ۲-۱- منطقه مورد مطالعه

کشور ایران با وسعت ۱۶۴۸۱۹۵ کیلو متر مربع ما بین ۲۵ تا ۴۰ درجه عرض شمالی و ۴۴ تا ۶۴ درجه طول شرقی واقع شده است. بنابراین نیمه جنوبی کشور از نظر تقسیمات کلی جغرافیایی کره زمین در منطقه مجاور حاره و نیمه شمالی آن در منطقه معتدله شمالی قرار گرفته است. حدود ۹۴/۸ درصد از سطح کشور در زمره مناطق خشک و نیمه‌خشک با ریزش جوی کم و تبخیر - تعرق زیاد قرار دارد (شکل ۱).



شکل ۱: موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه

در این مطالعه از داده‌های بارش روزانه ۳۸ ایستگاه همدید (جدول ۱) در طی دوره آماری ۳۰ ساله (۲۰۱۰-۱۹۸۱) که از سازمان هواشناسی اخذ گردید. دلیل انتخاب این ایستگاه‌ها کامل بودن داده‌ها و توزیع مکانی مناسب آنها در سراسر محدوده جغرافیایی کشور ایران است. داده‌های بارش روزانه در ماتریسی به ابعاد  $۳۸ * ۲۷۶۰$  که سطرها بیانگر زمان (روز) و ستون‌ها بیانگر مکان (ایستگاه) می‌باشد. سپس جمع

ماهانه و سالانه بارش در نرم افزار متلب محاسبه شد. در مرحله بعد شاخص PCI بر روی داده های بارش ماهانه و سالانه پاییزه ایران انجام گرفت. این شاخص بیانگر میزان تراکم یا عدم تراکم و نظم نسبی در بارش های پاییزه ایران می باشد. نقشه های ناحیه بندی شاخص تراکم بارش به روش کریجینگ با استفاده از قابلیت ArcGIS در تحلیل های زمین آماری، تهیه گردید. روش های آماری مورد استفاده این تحقیق، روش تحلیل خوشه ای و شاخص تراکم بارش PCI می باشد.

جدول ۱: مشخصات ایستگاه های منتخب

ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع (m)	ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع (m)
آبادان	۴۸/۲۵	۳۰/۳۶	۶/۶	زاهدان	۶۰/۸۸	۲۹/۴۶	۱۳۷۰
اراک	۴۹/۷۶	۳۴/۱۰	۱۷۰۸	زابل	۶۱/۲۹	۳۱/۲	۴۸۹/۲
اردبیل	۴۸/۱۷	۳۸/۱۵	۱۳۳۲	سبزوار	۵۷/۷۱	۳۶/۲۰	۹۷۷/۶
ارومیه	۴۵/۰۸	۳۷/۵۳	۱۳۱۵/۹	سقز	۴۶/۲۶	۳۶/۲۵	۱۵۲۲/۸
اصفهان	۶۶۵۱	۳۲/۶۱	۱۵۵۰/۴	سمنان	۵۳/۲۵	۳۵/۳۵	۱۱۲۷
اهواز	۴۸/۶۶	۳۱/۳۳	۲۲/۵	سنندج	۴۷	۳۵/۳۳	۱۳۷۳/۴
بابلسر	۴۲/۶۴	۳۶/۷۱	-۲۱	شاهرود	۵۴/۹۵	۳۶/۴۱	۱۳۴۵/۳
بم	۵۸/۳۵	۲۹/۱۰	۱۰۶۶/۹	شهرکرد	۵۰/۸۵	۲۸/۳۲	۲۰۴۸/۹
بندر عباس	۵۶/۳۶	۲۷/۲۱	۹/۸	شیراز	۵۹/۶۰	۲۹/۵۳	۱۴۸۴
بندر لنگه	۵۴/۵۰	۳۲/۲۶	۲۲/۷	فسا	۵۳/۴۱	۲۸/۵۸	۱۲۸۸/۳
بجنورد	۵۷/۱۶	۳۷/۲۸	۱۱۱۲	قزوین	۵۰/۰۵	۳۶/۲۵	۷۱۱
بوشهر	۵۰/۸۳	۲۸/۹۸	۱۹/۶	کرمان	۵۶/۹۶	۳۰/۲۵	۱۷۵۳/۸
بیرجند	۵۹/۲۰	۳۲/۸۶	۱۴۹۱	کاشان	۵۱/۲۷	۳۳/۵۹	۹۸۲/۳
تبریز	۴۶/۲۸	۳۸/۰۸	۱۳۶۱	کرمانشاه	۴۷/۱۵	۳۴/۳۵	۱۳۱۸/۶
تربت حیدریه	۵۹/۲۱	۳۵/۲۶	۱۴۵۰/۸	گرگان	۵۴/۲۶	۳۶/۸۵	۱۳۳/۳
تهران	۵۱/۱۹	۳۵/۴۱	۱۱۹۰/۸	مشهد	۵۹/۶۳	۳۶/۲۶	۹۹۹/۲
خرم آباد	۴۸/۲۸	۳۳/۴۳	۱۱۴۷/۸	همدان	۴۸/۷۱	۳۵/۲۰	۱۶۷۹/۷
خوی	۴۴/۹۶	۳۸/۵۵	۱۱۰۳	یزد	۵۴/۲۸	۳۱/۹۰	۱۲۳۷/۲
رشت	۴۹/۶۰	۳۷/۲۵	۳۶/۷	ایرانشهر	۶۰/۴۲	۲۷/۱۲	۵۹۱/۱

## ۲-۲- PCI شاخص

شاخص PCI به عنوان شاخصی از تمرکز و پراکندگی باران پیشنهاد شده است. PCI یک شاخص قدرتمند برای توزیع زمانی بارش است (لوئیس، ۲۰۱۱). مقیاس سالانه و فصلی این شاخص به ترتیب به صورت روابط (۱) و (۲) محاسبه می‌شود (اولیور، ۱۹۸۰):

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

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

که در آن P: مقدار بارندگی ماهانه در ماه i ام و عدد ۳ در معادله (۲) بیانگر تعداد ماه‌ها در هر فصل می‌باشد. (اولیور، ۱۹۸۰) پیشنهاد کرد مقادیر PCI کم‌تر از ۱۰، یک توزیع یکنواخت از بارندگی (تمرکز کم بارندگی) را نشان می‌دهد. مقادیر PCI از ۱۱ تا ۱۵، تمرکز متوسط بارندگی و مقادیر ۱۶ تا ۲۰ این شاخص نیز نشان‌دهنده توزیع نامنظم بارندگی می‌باشند و مقادیر بزرگ‌تر از ۲۰ برای شاخص PCI وجود یک بی‌نظمی از توزیع زیاد بارندگی را بیان می‌کند (خلیلی و همکاران، ۲۰۱۵).

## ۲-۳- تحلیل خوشه‌ای

یکی از تکنیک‌های مفید در تحلیل‌های مکانی، روش تحلیل خوشه‌ای است. به کمک این روش می‌توان بر پایه اصول علمی مبادرت به تفکیک مکانی نمود و پهنه مشابه را مرزبندی و از سایر پهنه‌های ناهمگن جدا کرد (منتظری، ۲۰۰۹: ۱۲۸). روش‌های تجزیه خوشه‌ای عمل طبقه‌بندی را با استفاده از فرمول ریاضی انجام می‌دهند. فرشادفر، ۲۰۰۵: ۵۵۱). تحلیل خوشه‌ای به دلیل پیدا کردن گروه‌های واقعی و نیز کاهش داده‌ها مفید و ارزشمند است، هدف پایه تحلیل خوشه‌ای یافتن گروه‌های طبیعی است، که می‌توانند شامل تمامی یا برخی افراد نمونه باشند



(اشرفی، ۲۰۱۰: ۶). روش خوشه‌ای معمولاً برای گروه‌بندی‌های معیاری به کار می‌رود. در این روش برای تعیین فاصله اعضاء از یکدیگر از هندسه اقلیدسی استفاده می‌شود. طبق فاصله اقلیدسی بین مکانی و زمانی، ماتریس فاصله حاصل می‌شود که بر اساس فاصله‌های این ماتریس، خوشه مکانی و زمانی تعیین می‌شود (علیجانی، ۲۰۰۶: ۱۷۳). بر این اساس نخست با اندازه‌گیری فاصله اقلیدسی بارش همه نقاط مکانی ماتریس  $P$  به ازاء همه روزها، درجه ناهم‌اندی مکان‌ها را با یکدیگر می‌سنجیم.

$$d_{rs}^2 = (p_r - p_s)(p_r - p_s) \quad (۳)$$

فاصله اقلیدسی نقطه  $r$  ام به مختصات  $(Q_r, D_2)$  و نقطه  $s$  ام به مختصات  $(Q_s, D_s)$  یا فاصله اقلیدسی گروه  $r$  ام و گروه  $s$  ام،  $p_r$  بارش نقطه یا گروه  $r$  ام،  $p_s$  بارش نقطه‌ای یا گروه  $s$  ام.

پس از اندازه‌گیری فواصل اقلیدسی یک تحلیل خوشه‌ای به روش ادغام وارد<sup>۱</sup> بر روی ماتریس فواصل ( $d$ ) انجام می‌گیرد. در روش وارد گروه‌های  $r$  و  $s$  در صورتی ادغام می‌شوند که افزایش پراش ناشی از ادغام آنها نسبت به ادغام هر یک از آنها با دیگر گروه‌ها کمینه باشد. یعنی:

$$d(r,s) = \frac{n_r n_s d_{rs}^2}{n_r + n_s} \quad (۴)$$

$d_{rs}^2$  که در اینجا فاصله بین گروه  $r$  و گروه  $s$  است که به روش پیوند مرکزی بدست آمده باشد.  $n_r$  تعداد اعضای گروه  $R$  و  $n_s$  تعداد اعضای گروه  $S$  است (جهانبخش و همکاران، ۲۰۱۳).

## ۲-۴- درون‌یابی به روش کریجینگ<sup>۱</sup>

به طور کلی کریجینگ دارای دو وظیفه اصلی است:

- واریوگرافی: تعیین کمیت ساختار مکانی داده‌ها (برازش مدل وابسته به مکان روی داده‌هاست).
- تولید پیش‌بینی: ساخت یک پیش‌بینی برای مقادیر مجهول در یک موقعیت خاص

کریجینگ معمولی<sup>۲</sup>: با فرض غلبه مؤلفه همبستگی مکانی و به کارگیری مستقیم نیمه‌پراش نگار، ارزش مقداری ( $Z$ ) در یک نقطه مثل  $Z_0$  به شکل  $z_0 = \sum_{i=1}^s W_x z_x$  است. وزن‌ها از حل مجموعه‌ای از معادلات همزمان با حداقل کردن واریانس  $\text{var}\{\sum W_i Z(x_i, y_i) - Z(x_0, y_0)\}$  به دست می‌آید (مدنی، ۱۹۹۸: ۶۵۹).

## ۳- نتایج و بحث

در بررسی اقلیمی میزان کلی بارش در تعیین شرایط آب و هوایی و نهایت اکولوژی عامل مهمی به شمار می‌آید لیکن توزیع فصلی آن و به عبارت دقیق‌تر تطابق آن با نیازهای محیطی به ویژه کشاورزی دارای اهمیت فراوانی است. با استفاده از داده‌های بارش روزانه ایستگاه‌های منتخب، شاخص PCI در مقیاس سالانه و ماهانه فصل پاییز در دوره آماری ۳۰ ساله محاسبه گردید. در این مطالعه تراکم و پراکندگی بارش فصل پاییزه به سه خوشه طبقه‌بندی شد.

### ۳-۱- مشخصات توصیفی خوشه‌ها

#### خوشه‌های ماه اکتبر (شکل ۲)

خوشه یک (خوشه بارش یکنواخت): این خوشه در بین سه خوشه بارشی، بارش یکنواخت را تشکیل می‌دهد. مقدار PCI این گروه کمتر از ۱۰ است که شامل

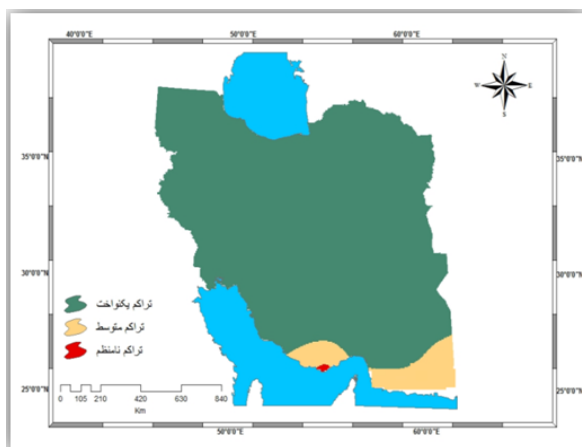
<sup>۱</sup> Kriging

<sup>۲</sup> Ordinary Kriging

ایستگاه‌های، رشت، سبزوار، سقز، سمنان، سنندج، شاهرود، شهرکرد، شیراز، فسا، قزوین، کرمان، کاشان، کرمانشاه، گرگان، مشهد، همدان، یزد، آبادان، اراک، اردبیل، ارومیه، اصفهان و اهواز می‌باشد. خوشه دوم (خوشه بارش دارای تراکم نامنظم): میزان شاخص PCI این خوشه بیش از ۲۰ است و شامل ایستگاه بندر لنگه است. بالا بودن شاخص PCI نشانگر خارج شدن توزیع منظم بارش این ایستگاه از توزیع نرمال است و بارش در این منطقه از ثبات چندانی برخوردار نیست. که یکی از دلایل عمده آن دوری از سیستم‌های باران غربی است. خوشه سوم (خوشه بارش با تراکم متوسط): میزان شاخص PCI این خوشه بین ۱۰ تا ۲۰ است و شامل ایستگاه‌های، زابل، زاهدان، بندرعباس، ایرانشهر می‌باشد. بارش در این مناطق از ثبات بیشتری نسبت به خوشه دوم برخوردار می‌باشد. ناحیه‌بندی شاخص PCI (شکل ۳) در ماه اکتبر نشان داد که شاخص مذکور در ایستگاه بندر لنگه در جنوب ایران دارای بی‌نظمی بالا در پراکندگی بارش می‌باشد. نواحی جنوب شرق دارای تراکم متوسط بارش می‌باشد و مناطق مرکزی، جنوب غرب، غرب، شمال، شمال غرب و شمال شرق از تراکم یکنواخت بارش برخوردارند. بیش‌ترین سهم شاخص PCI در ماه اکتبر مربوط به طبقه توزیع یکنواخت بارش بوده است.



شکل ۲: نمودار درختی حاصل از انجام تحلیل خوشه‌ای



شکل (۳): ناحیه‌بندی شاخص PCI بارش ماه اکتبر

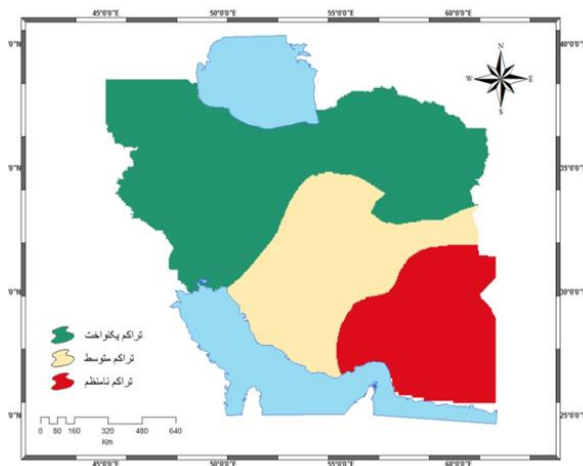
### خوشه‌های ماه نوامبر

در شکل (۴) خوشه یک تراکم نامنظم بارش را نشان می‌دهد. مقدار PCI بیشتر از ۲۰ و توزیع نامنظم بارش در ایستگاه‌های ایرانشهر، بندرعباس، زاهدان، بم، زابل و حوالی آن قابل مشاهده است. خوشه دوم، تراکم متوسط بارش با مقدار شاخص PCI بین ۱۰ تا ۲۰ است. این خوشه شامل ایستگاه‌های کرمان، فسا، بندر لنگه، شیراز، آباده، یزد می‌باشد. خوشه سوم، تراکم یکنواخت بارش با مقدار شاخص PCI کمتر از ۱۰ را بیان می‌نماید و شامل ایستگاه‌های، بوشهر، آبادان، سمنان، سقز، سبزوار، سنندج، شاهرود، شهرکرد، قزوین، گرگان، مشهد، همدان، اراک، اردبیل، ارومیه، اصفهان و اهواز است. این خوشه بزرگترین پهنه را نسبت به دو خوشه دیگر به خود اختصاص می‌دهد. ناحیه‌بندی شاخص PCI (شکل ۵) نشان می‌دهد که در ماه نوامبر نسبت به ماه اکتبر مناطق دارای بارش غیر یکنواخت و بی‌نظم گسترش پیدا کرده و کل نواحی جنوب شرقی و قسمتی از جنوب کشور را شامل شده‌اند. نواحی مرکزی و شرقی ایران نیز در ماه نوامبر دارای پراکندگی متوسط بارش هستند. مناطق شمال، شمال غرب و شمال شرق دارای تراکم یکنواخت و منظم بارش است. از آن جا که جریان‌های مدیترانه‌ای ابتدا از سمت

غرب و شمال غرب وارد کشور می شوند معمولا تا نیمه پاییز نوار یک سوم جنوبی بهره چندان از بارش های این سیستم ها نخواهند داشت.



شکل (۴): نمودار درختی حاصل از تحلیل خوشه‌ای

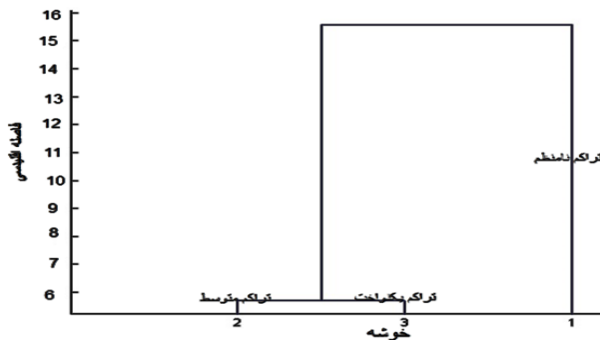


شکل (۵): ناحیه‌بندی شاخص PCI بارش ماه نوامبر

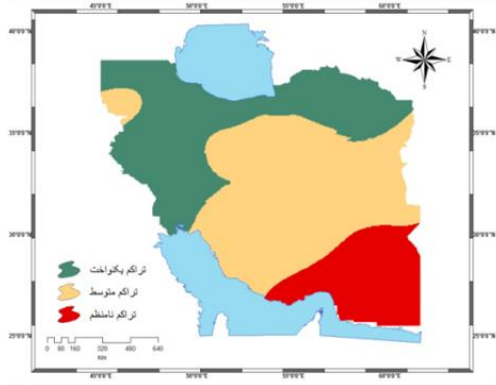
### خوشه‌های ماه دسامبر (شکل ۶)

خوشه یک (خوشه بارش دارای تراکم نامنظم): این خوشه نامنظم‌ترین پهنه در بین سه خوشه بارشی است. مقدار PCI این گروه بیشتر از ۲۰ است که شامل ایستگاه‌های، ایرانشهر، بندر عباس، زاهدان، زابل، آباد، بم و بندر لنگه می‌باشد. نامنظم‌ترین بارش این مناطق مربوط به ماه اکتبر می‌باشد. خوشه دوم (خوشه بارش

با تراکم متوسط): این خوشه با مقدار PCI بین ۱۰ تا ۲۰، ایستگاه‌های، کرمان، سقز، فسا، خوی، ارومیه، اصفهان، شیراز، تبریز و یزد را شامل می‌شود. خوشه سوم (خوشه بارش یکنواخت): میزان شاخص PCI این خوشه کمتر از ۱۰ است و شامل ایستگاه‌های، سبزوار، سمنان، سنندج، شاهرود، شهرکرد، قزوین، کاشان، اهواز، بجنورد، گرگان، مشهد و همدان می‌باشد. این ناحیه‌بندی شاخص در ماه دسامبر (شکل ۷) نشان می‌دهد که مناطق جنوب، جنوب شرق و اطراف ایستگاه آباده تراکم نامنظم بارش دیده می‌شود. در ماه دسامبر مناطق دارای بارش غیر یکنواخت و بی‌نظم گسترش بیشتری نسبت به دو ماه نوامبر و اکتبر داشته است. نواحی مرکزی، شرق و بخش از نواحی شمال غرب ایران تراکم بارش متوسط است و بخش‌های شمالی، شمال شرق و زاگرس مرکزی دارای بارش یکنواخت و منظم می‌باشد.



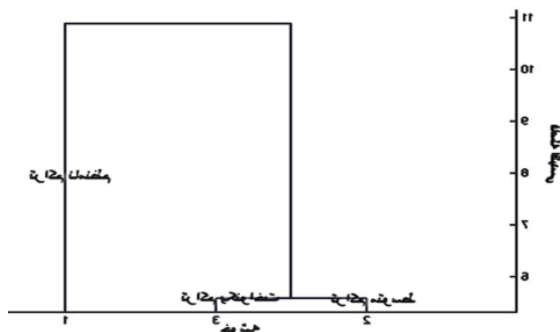
شکل ۶: نمودار درختی حاصل از تحلیل خوشه‌ای



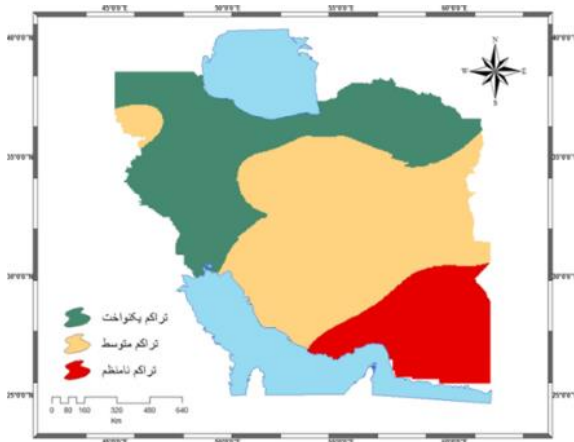
شکل ۷: ناحیه‌بندی شاخص PCI بارش ماه دسامبر

### خوشه‌های سالانه فصل پاییز (شکل ۸)

خوشه یک (خوشه تراکم نامنظم بارش): این خوشه شامل ایستگاه‌های، بم، بندر لنگه، بندر عباس، ایرانشهر است. مقدار PCI این خوشه بیش از ۲۰ می‌باشد. توزیع نامنظم بارش در این ایستگاه‌ها و حوالی آنها قابل مشاهده است که گویای این است که بارش‌های سالانه فصل پاییز در این نقاط دارای ثبات و نظم خاصی برخوردار نمی‌باشند. خوشه دوم (خوشه تراکم متوسط بارش): این خوشه شامل ایستگاه‌های، کرمان، بیرجند، سقز، فسا، کاشان، زابل، سمنان، شیراز، آباده، یزد و بوشهر می‌باشد. خوشه سوم (خوشه تراکم منظم و یکنواخت بارش): این خوشه شامل ایستگاه‌های سبزوار، سمنان، سنندج، شاهرود، شهرکرد، قزوین، کرمانشاه، گرگان، مشهد، همدان، اراک، اردبیل، ارومیه، اصفهان و اهواز است. در ناحیه‌بندی شاخص PCI سالانه فصل پاییز (شکل ۹)، مناطق جنوب و جنوب شرق ایران دارای تراکم نامنظم بارش است و مناطق جنوب غرب، مرکز و حوالی ایستگاه‌های سقز، تراکم متوسط بارش را در بر دارند. شمال، شمال غرب، شمال شرق و زاگرس مرکزی دارای تراکم یکنواخت و منظم‌تری در بارش نشان می‌دهند. بررسی ناحیه‌بندی شاخص PCI بارش در مقیاس سالانه فصل پاییز در سطح کشور نشان داد که ایستگاه‌های دارای پراکندگی یکنواخت و منظم بارش از بیشترین فراوانی برخوردار هستند. مناطق دارای تراکم نامنظم بارش شامل نواحی حاشیه خلیج فارس و جنوب شرق است که اوایل پاییز تحت تاثیر توده هوای حاره‌ای-قاره‌ای و پرفشار آزور قرار دارند و از اواسط پاییز تحت تاثیر توده هوای غربی و مدیترانه‌ای قرار می‌گیرد.



شکل ۸: نمودار درختی حاصل از تحلیل خوشه‌ای



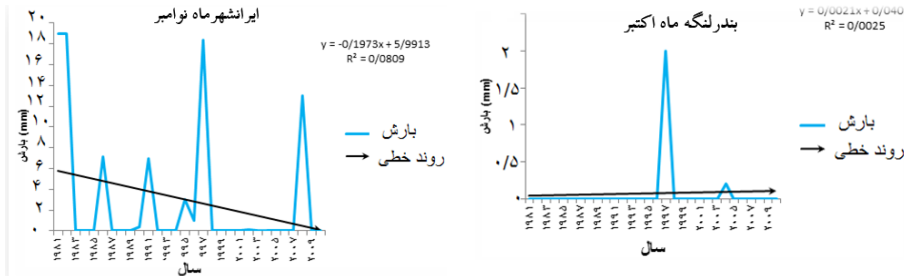
شکل ۹: ناحیه‌بندی شاخص PCI بارش سالانه پاییزه ایران

### ۳-۲- رگرسیون خطی بارش ماهانه و سالانه ایستگاه‌های دارای تراکم نامنظم و غیر یکنواخت

جهت بررسی روند افزایشی یا کاهش‌ی و همبستگی ایستگاه‌های دارای توزیع نامنظم بارش در فصل پاییز، رگرسیون خطی بارش آنها نیز محاسبه گردید. رگرسیون خطی شکل (۱۰): الگوی خطی مجموع بارش ماه اکتبر (ایستگاه بندر لنگه) نشان‌دهنده افزایش تدریجی بارش به میزان بسیار کم در سال است. میزان همبستگی ناچیز است. الگوی بارش ایستگاه ایرانشهر در ماه نوامبر (شکل ۱۱) کاهش سریع بارش به میزان  $0/20$  میلیمتر در سال است و دارای همبستگی ضعیفی می‌باشد. بارش ایستگاه بم در ماه نوامبر (شکل ۱۲) فاقد روند افزایشی و کاهش‌ی است و میزان ضریب همبستگی تقریباً صفر می‌باشد. رگرسیون خطی شکل (۱۳)



بیانگر روند کاهشی سالانه بارش پاییزه در ایستگاه ایرانشهر به میزان ۰/۴۷ میلیمتر در سال است. میزان همبستگی ناچیز و حدود ۰/۱۹ است که نشان‌دهنده روند کاهشی جزئی بارش است.



شکل ۱۰: روند بارش ایستگاه بندر لنگه (ماه اکتبر) شکل ۱۱: روند بارش ایستگاه ایرانشهر (ماه نوامبر)



شکل ۱۲: روند بارش ایستگاه بم (ماه دسامبر) شکل ۱۳: روند بارش ایستگاه ایرانشهر (جمع سالانه فصل پاییز)

#### ۴- نتیجه‌گیری

شاخص PCI شاخصی است جهت تعیین تغییرات بارندگی در منطقه‌ای خاص و نتایج آن قابلیت دسترسی به آب را در یک محیط نشان دهد. در این پژوهش شاخص تراکم بارش PCI به منظور تراکم بارش پاییزه در دو مقیاس ماهانه و سالانه در سطح کشور مورد استفاده قرار گرفت. نتایج حاصل از بررسی تحلیل خوشه‌ای شاخص تراکم بارش در مقیاس ماهانه و سالانه نشان داد که سه منطقه مجزای تراکم یکنواخت، تراکم متوسط و تراکم نامنظم قابل تفکیک است. نتایج پهنه‌بندی شاخص مورد نظر در مقیاس ماهانه نشان داد که بالا بودن این شاخص در

جنوب و جنوب شرق و متعلق به ایستگاه‌های کم‌بارش ایران (حاشیه خلیج فارس) می‌باشد و در ایستگاه‌های بندر لنگه، بندر عباس، زاهدان، بم و زابل دارای بی‌نظمی زیاد و پراکنده غیر یکنواخت در ریزش بارش هستند که با نتایج خلیلی و همکاران (۱۳۹۴) که بیان داشتند که شاخص مذکور بی‌نظمی زیادی در ایران مرکزی دارد هم‌راستاست. هم‌چنین در مقیاس سالانه بیش‌ترین مقدار شاخص مورد نظر متعلق به مناطق جنوب شرقی و کم‌ترین شاخص PCI بارش متعلق به مناطق شمال، شمال غرب، شمال شرق و زاگرس مرکزی بود که پراکندگی بارش این مناطق در تمام ماه‌های فصل پاییز به طور یکنواخت در طول دوره آماری حفظ شده است. یکنواختی بارش نیز در این مناطق نسبت به سایر نواحی کشور بیش‌تر و تقریباً متعلق به ایستگاه‌های پرباران ایران (حاشیه دریای خزر، استان‌های اردبیل، قزوین، بجنورد) می‌باشد. تراکم متوسط بارش نیز متعلق به ایستگاه‌های که دارای متوسط بارندگی می‌باشند. هم‌چنین نتایج پهنه بندی 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 دارای بی‌نظمی زیاد و پراکنده در ریزش بارش هستند. هم‌چنین نتایج نشان داد که اکثر نواحی شمال غرب ایران دارای تمرکز نامنظم بارندگی است.

## منابع

۱. خدائی‌شاد، روزبه؛ مقصودی، یاسر و مرجان قائمی (۲۰۱۶). تعیین یک شاخص بهینه چند سنسوره سنجش از دوری به منظور ارتقای فرآیند پایش زمان واقعی خشکسالی در مناطقی با پوشش اراضی ناهمگن. مجله اکو هیدرولوژی
۲. مفاخری، امید؛ سلیقه، علیجانی؛ بهلول، اکبری و مهری. (۲۰۱۷). مخاطرات ناشی از تمرکزگرایی بارش در ایران. جغرافیا و مخاطرات محیطی ۱۳۹-۱۲۶.
3. -Ashrafi, S. 1389. the zoning is the North West of Iran, using cluster analysis and discriminant analysis, Journal of Climatology, 3 and 4, pp. 44-27
4. -Allen, M. R. and Ingram, W. J: Constraints on future changes in Climate and the hydrological cycle, Nature, 419, 224-232, 2002.

5. -Alijani, B., 1385, synoptic climatology, first edition, the publisher, Tehran. [in Persian]
6. -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, 327. 383-.391
7. -Cortesi, N, J. C. Gonzalez-Hidalgo, M. Brunetti, J. Martin-Vide, (2012), Daily precipitation concentration across Europe 1971–2010, Natural Hazards And Earth System Sciences, 12, 2799–2810.
8. -Farshadfar, ezatollah, 1384, the principles and multivariate statistical methods, Kermanshah Taq-e Bostan Press, 732 p.
9. Azadie, Mohammad Reza, Hossein, Asakereh (1384), Statistical analysis of long-term precipitation trends Shalanh Isfahan, Isfahan University Research Journal, No. 1, 162-143.
- 10.-Ghavidel Rahimi, uoseph, Alijahan, M, OGi, Ruhollah, 1393, algebraic model and geostatistical mapping of precipitation Ardabil province, Journal - of geographical space, Ss.230.209-23.
- 11.-Huang, Qiang Huang, Yutong Chen, Li Xing, Guoyong Leng<sup>3</sup> (2015), Spatial-temporal variation of precipitation concentration and structure in the Wei River Basin, China Shengzhi, Theor Appl Climato.319.234-243.
- 12.-Jin Huang. Fengling Liu, Yan Xue, Shanlei (2015) the spatial and temporal analysis of precipitation concentration and dry spell in Qinghai, northwest China Stoch Environ Res Risk Assess (2015) 29:1403–1411
- 13.-Jahanbakhsh, Said, Abtahi, Vahide, Ghorbanie, Muhammad Ali, religiosity, M, high, holy, 1394, to investigate the temporal and spatial distribution of rainfall city of Tabriz using cluster analysis, Journal - of geographical space, in Issue 50 , pp. 81-59 .
- 14.-Khalili, Ali, Tahrud, Kerman, Mohammed, Ahmed, F. (1394) The use of the index PCI in the pattern of rainfall Iran and trend analysis on the scale annual and quarterly during the last half century, the journal Irrigation and Drainage, Issue 1, Volume IX, pp. 208-195 .
- 15.-Khalili, A, Mir Abbas Najaf Abadi, R., President, F. (1395) The condensation and precipitation patterns over the past half century Iranian border stations, water and soil Magazine, Issue 4, page 30.

- 16.-Montazeri, Majid, 1388, when analysis - a place of extreme daily rainfall in Iran, Journal of Geography and Environmental Planning, No. 2, pp. 140-125 .
- 17.-Masodian, Seyed Abolfazl (1390) .climatologyof iran 1 -150.
- 18.-Madani, H., 1998. Principles of Geostatistic s, Amir-Kabir University Publishers.659. [In in Persian]
- 19.-Masodian, Seyed Abolfazl, Mohammdie, Sakineh, 1390, zoning precipitation West and North West of Iran Cluster Analysis, Physical Geography Quarterly, Issue 11-21.32
- 20.-M. de Luis<sup>1,2</sup>, J. C. Gonz´alez-Hidalgo <sup>1,2</sup>, M. Brunetti <sup>3</sup>, and L. A. Longares(2011);Precipitation concentration changes in Spain 1946–2005, Natural Hazardsand EarthSystem Sciences, 11, 1259–1265,
- 21.-Rzyy, Tayyip, Azizy, G. (1386), Zoning West Iranian regime is using principal component analysis and clustering, Iran Water Resources Research, (2), 65-62.
- 22.-Shirvany, Amin, Nazemosadat, SM, 1391, zoning precipitation using principal component analysis and cluster analysis in Iran, Iranian journal Water Research, Issue 1, Spring and Summer 1391.20,13-23