

تحلیل روند تغییرات ایستگاهی و منطقه‌ای بارش نیم قرن اخیر کشور ایران

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

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۷/۲۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۲/۱۳

چکیده

در طی دهه‌های اخیر، تغییر جهانی اقلیم یکی از موضوع‌های مهم تحقیقاتی در مطالعات محققین بوده است. بارش یکی از عناصر موثر اصلی در اقلیم هر منطقه است که در برنامه‌ریزی‌های شهری و روستایی، مکان‌یابی صنعتی، معماری، کشاورزی، صنایع، اقلیم منطقه و غیره نقش تعیین کننده دارد. هر چند بررسی روند داده‌های متوسط بارندگی در مقیاس ماهانه و سالانه صورت گرفته است، اما مطالعات کمتری در مقیاس منطقه‌ای وجود دارد. در این مطالعه با استفاده از داده‌های مقدار بارش سالانه ایستگاه‌های سینوپتیک ۳۱ استان در کشور ایران در دوره آماری ۲۰۱۰-۱۹۶۱، به بررسی روند تغییرات ایستگاهی و منطقه‌ای بارش در سطح کشور پرداخته شده است. جهت بررسی روند پارامتر مذکور در مقیاس منطقه‌ای، ابتدا با استفاده از خوشه-بندی فازی، ایستگاه‌های مورد مطالعه به ۵ منطقه تقسیم و شماره‌گذاری شدند. سپس با استفاده از آماره کندال منطقه‌ای، روند تغییرات پارامتر مورد نظر در ۵ منطقه و در سطح کل ایران مورد بررسی قرار گرفت. نتایج روند در هر دو مقیاس ایستگاهی و منطقه‌ای روند کاهشی را در شمال غرب تایید کرد. در مقیاس منطقه‌ای، روند کاهشی معنی‌دار در مناطق شمال غرب، نیمه مرکزی و جنوب غرب کشور، روند کاهشی غیرمعنی‌دار در مناطق غربی ایران و روند افزایشی غیرمعنی‌دار در مناطق شمالی و حاشیه دریای خزر مشاهده شد. بیشترین روند کاهشی بارش در مناطق شمال غرب کشور مشاهده شد که این موضوع ناشی از افزایش روند تغییرات درجه حرارت سالانه این منطقه و تغییر اقلیم ناشی از آن است.

واژه‌های کلیدی: خوشه‌بندی، روش فازی، کندال منطقه‌ای، من - کندال

مقدمه^۱

پارامتری فرضیاتی نظیر نرمال بودن، ایستایی و مستقل بودن داده‌ها از هم وجود داشته و ممکن است این فرضیات برای متغیرهای هیدرولوژیکی درست نباشد، از روش غیر پارامتری من - کندال که کاربرد بیشتری در مطالعات هواشناسی و هیدرولوژی نیز داشته و نیازی به مفروضات مذکور ندارد، استفاده شده است (۲۵). در ضمن روش‌های غیر پارامتری جهت بررسی روند از روش‌های پارامتری حساسیت کمتری نسبت به مقادیر پرت دارند. هم‌چنین آزمون غیر پارامتری را می‌توان برای سری زمانی بدون در نظر گرفتن خطی یا غیرخطی بودن روند، به کار برد. فرض اساسی در روش من - کندال عدم معنی‌داری ضریب خود همبستگی در بین داده‌ها است (۲۲). تورکس و همکاران (۲۱) آزمون‌های مختلف غیر پارامتری^۱ را جهت تعیین روند در داده‌های ۶۳ ساله میانگین درجه حرارت ترکیه به کار بردند. هم‌چنین تورکس (۲۰) با استفاده از داده‌های میانگین سالانه درجه حرارت ایستگاه‌های تبخیرسنجی ترکیه، روند افزایش درجه حرارت را در این مناطق مشاهده نمود. طبری و همکاران (۱۸) روند داده‌های ماهانه، فصلی و سالانه‌ی حداقل و حداکثر درجه حرارت را برای غرب کشور بررسی کردند که در اکثر این ایستگاه‌ها روند

بررسی وجود یا عدم وجود روند در متغیرهای هیدرولوژی با استفاده از آزمون‌های آماری از جمله روش‌های رایج به منظور تحلیل سری‌های زمانی مذکور می‌باشد. اساسا وجود روند در این سری‌های زمانی ممکن است به دلیل تغییر اقلیم، تغییرات تدریجی طبیعی و یا تحت تاثیر فعالیت‌های انسان باشد (۳). در سال‌های اخیر، تعداد زیادی از مطالعات در زمینه شناسایی روند تغییرات آب - اقلیمی در سطح جهان و اثرات احتمالی آن روی تغییر منابع آب، بیابان زدایی و کاهش تنوع گیاهی تمرکز یافته‌اند (۱۳). بررسی وجود روند در داده‌های هیدرولوژیکی می‌تواند در دو مقیاس مکانی نقطه‌ای و منطقه‌ای انجام شود. روش‌های پارامتری نسبت به روش‌های غیر پارامتری توان بیشتری در آزمون روند دارند ولی با توجه به این که در روش‌های

۱ و ۲ - دانشجوی کارشناسی ارشد و استادیار، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

*- نویسنده مسئول: (Email: k.khalili@urmia.ac.ir)

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

چمران اهواز

منطقه‌ای بارش در وسعت ایران صورت نگرفته است. همچنین از آنجا که پدیده گرمایش جهانی و تاثیر آن بر میزان بارش و خشکسالی‌های اخیر در ایران قابل توجه است، بررسی روند داده‌های مجموع بارش سالانه مراکز استان‌های کشور در نیم قرن اخیر در دو مقیاس منطقه-ای و ایستگاهی می‌تواند کمک زیادی در مورد تاثیر این پدیده‌ها بر میزان بارش در کشور داشته باشد.

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 و تعرق زیاد قرار دارد (۱۴). در این تحقیق از داده‌های بارش سالانه ایستگاه‌های سینوپتیک مراکز استان‌ها در دوره آماری ۵۰ ساله (۲۰۱۰-۱۹۶۱) استفاده شده است. منطقه مورد مطالعه و مشخصات ایستگاه‌ها به ترتیب به شرح شکل ۱ و جدول ۱ ارائه گردید. خلا آماری موجود در بعضی از ایستگاه‌های مورد مطالعه با استفاده از داده‌های بارش سالانه ایستگاه‌های مجاور دارای شرایط مساوی و روش‌های آماری تصحیح و تکمیل شد.

آزمون من- کندال (MK)

این روش، که فرم کلاسیک آزمون من- کندال می‌باشد، در بسیاری از مطالعات مورد استفاده قرار گرفته است. اگر تعداد داده‌های سری زمانی در دوره مورد بررسی n باشد، ابتدا آماره S به شرح زیر محاسبه می‌شود:

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

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

$$\text{sgn}(x) = \begin{cases} +1 & \text{if } (x_j - x_k) > 0 \\ 0 & \text{if } (x_j - x_k) = 0 \\ -1 & \text{if } (x_j - x_k) < 0 \end{cases} \quad (2)$$

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

$$E(S) = 0 \quad (3)$$

$$\text{Var}(S) = \frac{n - (n-1)(2n+5) - C}{18} \quad (4)$$

افزایشی مشاهده گردید. دین‌پژوه و همکاران (۵) تبخیر و تعرق گیاه مرجع را در غرب کشور مورد بررسی قرار دادند و مشخص شد که میزان تبخیر و تعرق ماهانه افزایش یافته است. ریو و همکاران (۱۶) با استفاده از داده‌های سالانه، فصلی و ماهانه ۴۳۷ ایستگاه هواشناسی در دوره آماری ۴۶ ساله، روند درجه حرارت را با استفاده از آزمون من- کندال در کشور اسپانیا مورد مطالعه قرار دادند و نتایج این تحقیق نشان داد که بیش از ۶۰ درصد اسپانیا در فصول بهار و تابستان دارای روند مثبت بوده و درجه حرارت تمام ایستگاه‌ها حدود ۰/۱ الی ۰/۲ درجه سانتی‌گراد افزایش داشته است. طبری و حسین‌زاده (۱۹) روند درجه حرارت حداکثر و حداقل دمای سالانه، فصلی و ماهانه را در ۱۹ ایستگاه سینوپتیک واقع در مناطق خشک و نیمه خشک ایران در دوره آماری ۳۰ ساله با استفاده از آزمون من- کندال مورد مطالعه قرار داده، نتایج این تحقیق نشان داد درجه حرارت حداکثر و حداقل سالانه به ترتیب ۰/۰۹ و ۰/۴۴۴ درجه سانتی‌گراد در هر دهه افزایش داشته است. یانگ و همکاران (۲۳) بر اساس درجه حرارت و بارش میانگین ماهانه ۵۳ ساله در حوضه رودخانه ژانگوبیان و ۵ ایستگاه هواشناسی اطراف آن با استفاده از آزمون من- کندال روند این عوامل را مورد بررسی قرار داده و روند کاهشی معنی‌دار در بارندگی سالانه و روند صعودی دما در در فصول تابستان و بهار گزارش نمودند. جین و همکاران (۱۱) 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. دوهان و پاندی (۸) 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. چن و همکاران (۴) روند تغییرات بارش، دما و رواناب حوضه آبریز یانگ تسه چین را در دوره آماری ۱۹۵۵ تا ۲۰۱۱ با استفاده از آزمون من- کندال مورد بررسی قرار دادند. آنها در مطالعه خود نشان دادند که میانگین دما روندی افزایشی داشته، بارش هیچ‌گونه تغییرات معنی‌داری را تجربه نکرده و رواناب از روندی افزایشی برخوردار بوده است. خلیلی و همکاران (۱۳) روند بارش ۱۴۰ ایستگاه سینوپتیک ایران را در دوره آماری ۲۰۱۰-۱۹۹۰ با استفاده از آزمون من- کندال و اسپیرمن و در مقیاس ایستگاهی مورد بررسی قرار دادند. ایشان روند کاهشی را در بیشتر ایستگاه‌ها مشاهده کردند. از مرور منابع چنین استنباط می‌شود که در مطالعه‌ای در مورد بررسی روند تغییرات

که در آن t_i تعداد داده‌های یکسان در دسته i ام می‌باشد. در نهایت آماره آزمون من - کندال یا Z به شکل زیر محاسبه می‌شود (۱۲) و (۷):

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

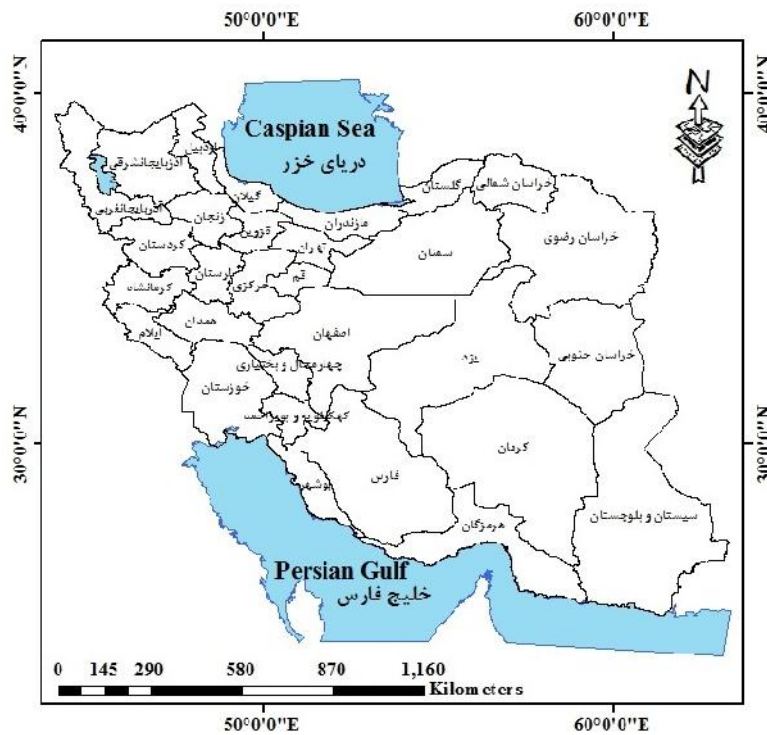
$$C = \sum_{i=1}^m t_i(t_i - 1)(2t_i - 5) \quad (5)$$

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه
Table 1- Properties of used synoptic stations

ایستگاه Station	متوسط بارندگی (میلیمتر) Average Precipitation (mm)	ارتفاع از سطح دریا (متر) Elevation(m)	مختصات Coordinate	
			N	E
ارومیه Urmia	325.00	1312.5	4154043	507362.6
زنجان Zanjan	304.211	1663	4007219	273682.7
سنندج Sanandaj	451.726	1373	3911845	681772.4
قزوین Qazvin	316.515	1959	4013945	414666.8
شهرکرد Shahrekord	323.048	2048.9	3571852	485875.4
یاسوج Yasouj	819.924	1816.3	3392775	549495.1
بوشهر Boshehr	244.644	19.6	3206151	483764.1
اهواز Ahwaz	226.601	22.5	3468896	277996.1
بیرجند Birjand	164.657	1491	3638651	705844.3
بندرعباس Bandar Abbas	171.222	9.8	3010592	437283.8
زاهدان Zahedan	79.148	1951	3261556	294734.4
کرمان Kerman	136.747	1753.8	3346488	496793.2
مشهد Mashhad	251.647	992.2	4039984	704544.3
بجنورد Bojnord	264.474	1070	4146760	544214.8
اردبیل Ardabil	287.895	1332	4237044	262274.8
تبریز Tabriz	284.765	1361	4215839	612547.9
گرگان Gorgan	527.629	13.3	4081720	256295.7
رشت Rasht	1339.000	36.7	4117913	380194.6
تهران Tehran	234.319	1190.8	3948873	528654.1
ساری Sari	1226.618	23	4046815	679005.9

ادامه جدول شماره ۱:

ایستگاه Station	متوسط بارندگی (میلی متر) Average Precipitation (mm)	ارتفاع از سطح دریا (متر) Elevation(m)	مختصات Coordinate	
			N	E
اراک Arak	330.358	1708	3774653	662966.1
کرمانشاه Kermanshah	444.838	1318.6	3800975	513795.1
همدان Hamedan	323.352	1769.7	3861033	274523.7
خرم آباد Khoram Abbad	499.778	1147.8	3702629	247430.7
قم Qom	148.650	887.4	3839785	486262.5
اصفهان Isfahan	121.341	1550.4	3608988	562545.7
یزد Yazd	57.029	1237.2	3532572	243075.4
سمنان Seman	140.980	1130.8	3940729	731053.1
شیراز Shiraz	316.629	1951	3268144	655043.6
ایلام Ilam	37.089	1337	4146690	528002.7
کرج Karaj	86.724	1312.5	4007219	273682.7



شکل ۱- موقعیت ایستگاه‌های مورد بررسی
Figure 1- Location of used stations

خوشه‌بندی فازی^۳

منطقه‌بندی مناطق مورد مطالعه با استفاده از خوشه‌بندی فازی صورت گرفت. یکی از اولین روش‌های خوشه‌بندی فازی که بر مبنای تابع هدف و استفاده از فاصله اقلیدسی بنا شده بود در سال ۱۹۷۴ توسط دان^۴ آرایه و سپس توسط بزدک^۵ ۱۹۸۱ تعمیم داده شد. الگوریتم خوشه‌بندی FCM، اصلاح شده الگوریتم خوشه‌بندی K میانگین^۶ می‌باشد. این الگوریتم واریانس داخل خوشه را به حداقل می‌رساند (۱). فرض این الگوریتم بر این است که داده‌ها در یک فضای برداری هستند و هدف آن به حداقل رساندن مجموع واریانس داخل خوشه D_V می‌باشد.

$$D_V = \sum_{k=1}^K \sum_{j \in S_k} |X_j - c_k|^2 \quad (12)$$

که در آن c_k مرکز یا میانگین نقاط در خوشه k ، K برابر با مجموع تعداد خوشه‌ها، S_k مجموع نقاط در کلاستر k ام و x_j بردار استاندارد در نقطه j می‌باشد. در این روش ابتدا به طور تصادفی k خوشه انتخاب می‌شود. سپس میانگین هر خوشه به دست می‌آید. در ضمن برای هر داده یک درجه عضویت تعریف می‌کند. با به هنگام کردن مراکز و درجه عضویت‌ها برای هر داده، FCM مراکز خوشه‌ها را تصحیح می‌کند. این تکرار بر پایه کمینه کردن تابع هدف می‌باشد که در اینجا، تابع هدف، فاصله هر داده از مرکز خوشه می‌باشد، که البته این مراکز خوشه‌ها به وسیله درجه عضویت هر داده وزن دهی می‌شوند. بر خلاف روش خوشه‌بندی k میانگین که هر داده فقط به یک خوشه تعلق می‌گیرد، در روش FCM عضویت جزئی مطرح می‌باشد به این صورت که هر داده با درجه‌ای از عضویت به تمامی خوشه‌ها تعلق دارد. بنابراین داده‌ای که در مرکز یک خوشه قرار می‌گیرد با درجه عضویت کمتری نسبت به داده‌ای که به مرکز خوشه نزدیک‌تر است مشخص می‌گردد. درجه عضویت ایستگاه i به خوشه k ام، با فاصله این ایستگاه تا مرکز خوشه نسبت عکس دارد:

$$b_k(i) = \frac{1}{d(c_{k,i})} \quad (13)$$

که در آن $b_k(i)$ درجه عضویت ایستگاه i به خوشه k ام و $d(c_{k,i})$ برابر با فاصله ایستگاه i تا مرکز خوشه i می‌باشد. هر ایستگاه به خوشه‌ای تعلق می‌گیرد که بیش‌ترین درجه عضویت را به آن خوشه دارد. درجه‌های عضویت ضرایب نرمال شده هستند به طوری که مجموع درجه عضویت هر ایستگاه به تمام خوشه‌ها برابر با واحد

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

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 (۵ و ۱۳). همچنین این روش برای سری داده‌هایی که در آنها خاصیت تناوب یا فصلی^۱ 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 (۹ و ۱۰).

تشخیص روند منطقه‌ای^۲

به منظور محاسبه روند در مقیاس منطقه‌ای، آماره میانگین S من-کندال منطقه‌ای توسط داگلاس و همکاران (۷) معرفی شد.

$$\bar{S}_m = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m S_k \quad (7)$$

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:

$$E(\bar{S}_m) = 0 \quad (8)$$

$$\text{Var}(\bar{S}_m) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18m} = \frac{1}{m} \quad (9)$$

$$s = \sqrt{\frac{1}{18} [N(N-1)(2N+5) - \sum_{i=1}^m t_i(t_i-1)(2t_i+5)]} \quad (10)$$

که در آن $\text{Var}(\bar{S}_m)$ برای مقادیر داده‌ها به صورت رابطه (۱۰) 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:

$$Z_m = \frac{\bar{S}_m - E(\bar{S}_m)}{\sqrt{\text{Var}(\bar{S}_m)}} = \frac{\bar{S}_m}{\sqrt{m}} \quad (11)$$

و معنی‌داری Z_m می‌تواند از تابع توزیع تجمعی نرمال محاسبه شود.

3 -Fuzzy Clustering
4- Dunn
5 -Bezdak
6- K-means

1- Seasonality
2 - Regional Kendall

خواهد بود.

$$\forall_i = \sum_{k=1}^K U_k(i) = I \quad (14)$$

که در آن $U_k(i)$ برابر با درجه عضویت استاندارد ایستگاه i در خوشه k ام و بین صفر و یک است. در صورت ناهمگنی منطقه، با استفاده از درجه عضویت محاسبه شده برای ایستگاهها و مقادیر گشتاور خطی محاسبه شده و در هر ایستگاه می‌توان به طور دستی ایستگاهها را بین خوشه‌ها از یک خوشه به خوشه دیگر منتقل کرد (۶).

نتایج و بحث

در این مطالعه برای بررسی وجود روند در سری زمانی متوسط بارندگی ۳۱ ایستگاه سینوپتیک در دوره آماری ۱۹۶۱-۲۰۱۰، در مقیاس ایستگاهی از آزمون من-کندال و در مقیاس منطقه‌ای، از روش کندال منطقه‌ای استفاده شد. نتایج بررسی تغییرات روند ایستگاهی متوسط بارندگی سالانه کشور ایران به شرح جدول ۲ و شکل ۲ ارائه شد.

با توجه به شکل ۲ می‌توان روندهای کاهشی و افزایشی بارش سالانه ایستگاه‌های سینوپتیک مراکز استان در ایران را در دو سطح معنی‌دار ۵ و ۱ درصد مشاهده کرد. نمودار تغییرات بارش سالانه دو ایستگاه سینوپتیک ایران برای نمونه به شرح شکل‌های ۳ و ۴ ارائه شد. ایستگاه سینوپتیک استان اصفهان دارای روند افزایشی در سطح ۵ درصد و ایستگاه سینوپتیک استان آذربایجان شرقی دارای روند کاهشی شدید و معنی‌دار است.

بررسی روند در مقیاس منطقه‌ای مستلزم خوشه‌بندی منطقه مورد مطالعه است. بعد از بررسی روند ایستگاهی متوسط بارندگی سالانه، ابتدا منطقه مورد مطالعه با استفاده از خوشه‌بندی فازی تقسیم‌بندی شد و سپس روند منطقه‌ای بارش کشور نیز مورد بررسی قرار گرفت. با استفاده از خصوصیات جغرافیایی و متوسط بارش ایستگاه‌های مورد مطالعه، ابتدا تعداد خوشه‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفت و در نهایت با توجه به همبستگی داده‌های بارش ایستگاه‌های موجود در هر خوشه، تعداد ۵ خوشه جهت بررسی روند منطقه‌ای بارش منطقه مورد مطالعه انتخاب گردید. نتایج خوشه‌بندی به شرح شکل ۵ و نتایج بررسی روند منطقه‌ای داده‌های متوسط بارندگی سالانه به شرح جدول ۳ و شکل ۶ ارائه گردید.

نتایج بررسی روند کندال منطقه‌ای مناطق مورد مطالعه، روند کاهشی معنی‌دار در نیمه شمال غرب کشور و روند افزایشی در نواحی شمال، روند کاهشی غیر معنی‌دار در نواحی شرقی و روند کاهشی معنی‌دار در مرکز و جنوب غربی را نشان داد. در هیچ منطقه‌ای روند افزایشی معنی‌داری مشاهده نشد.

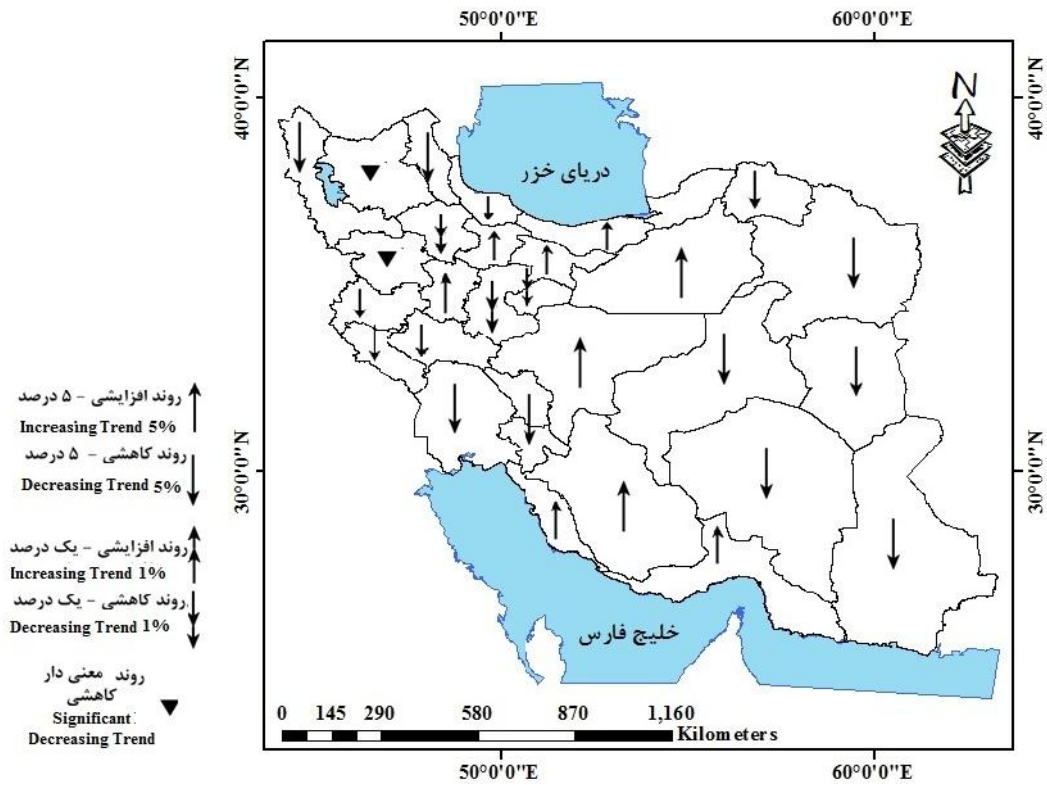
جدول ۲- نتایج بررسی روند نقطه‌ای سری زمانی داده‌های متوسط

بارش سالانه ایستگاه‌های سینوپتیک در دوره آماری ۱۹۶۱-۲۰۱۰

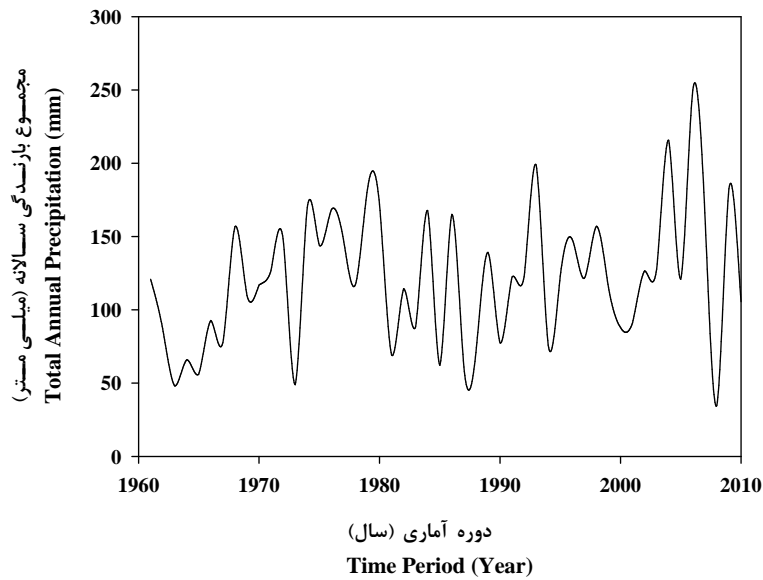
Table 2- Results of spatial trend of annual precipitation time series recorded at synoptic stations in period of 1961-2010

ایستگاه Station	Z	ایستگاه Station	Z
شیراز Shiraz	0.193	مشهد Mashhad	-1.491
تبریز Tabriz	-2.891	اهواز Ahwaz	-1.435
تهران Tehran	1.333	اراک Arak	-1.003
یزد Yazd	-1.318	بندرعباس Bandar Abbas	1.231
زاهدان Zahedan	-1.602	بیرجند Birjand	-1.079
زنجان Zanjan	-2.348	شهرکرد Shahrekord	-0.934
گرگان Gorgan	-2.733	سمنان Semnan	0.304
همدان Hamedan	1.020	اردبیل Ardabil	-1.301
یاسوج Yasouj	-1.212	کرج Karaj	0.459
ساری Sari	-1.101	ایلام Ilam	-1.401
بجنورد Bojnord	-1.041	بوشهر Boshehr	0.832
اصفهان Isfahan	0.028	کرمان Kerman	-1.133
قزوین Qazvin	-1.789	قم Qom	-2.033
خرم‌آباد Khoram Abbad	-1.123	کرمانشاه Kermanshah	-0.768
رشت Rasht	-1.180	ارومیه Urmia	-1.023
سندج Sanandaj	-3.031		

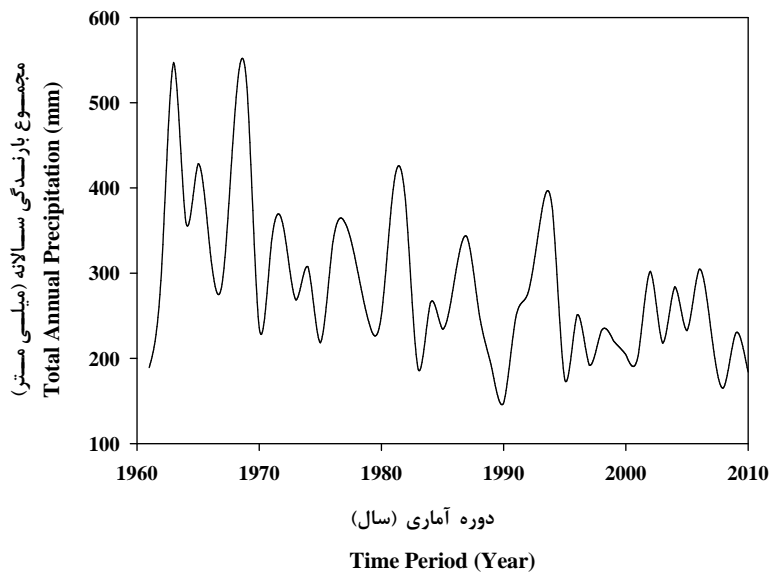
به طور کلی نتایج نشان داد که در مقیاس ایستگاهی حدود ۶۷ درصد ایستگاه‌های سینوپتیک در مراکز استان‌ها در طی نیم قرن اخیر دارای روند کاهشی هستند. افزایش بارش‌ها تقریباً در نیمه مرکز و شمال ایران صورت گرفته است و بقیه نقاط با کاهش بارش در دوره آماری روبرو هستند. این موضوع با نتایج حاصل از تحقیقات آذرخشی و همکاران (۲) مطابقت دارد. روندهای کاهشی تقریباً در همه مناطق ایران مشاهده شد و به وضوح می‌توان کاهش بارندگی را در تمام ایستگاه‌ها یا استان‌ها مشاهده کرد. خلیلی و همکاران (۱۳) نیز در تحقیقات خود روند کاهشی بارش را برای بیشتر مناطق ایران در دو دهه گذشته مشاهده کردند.



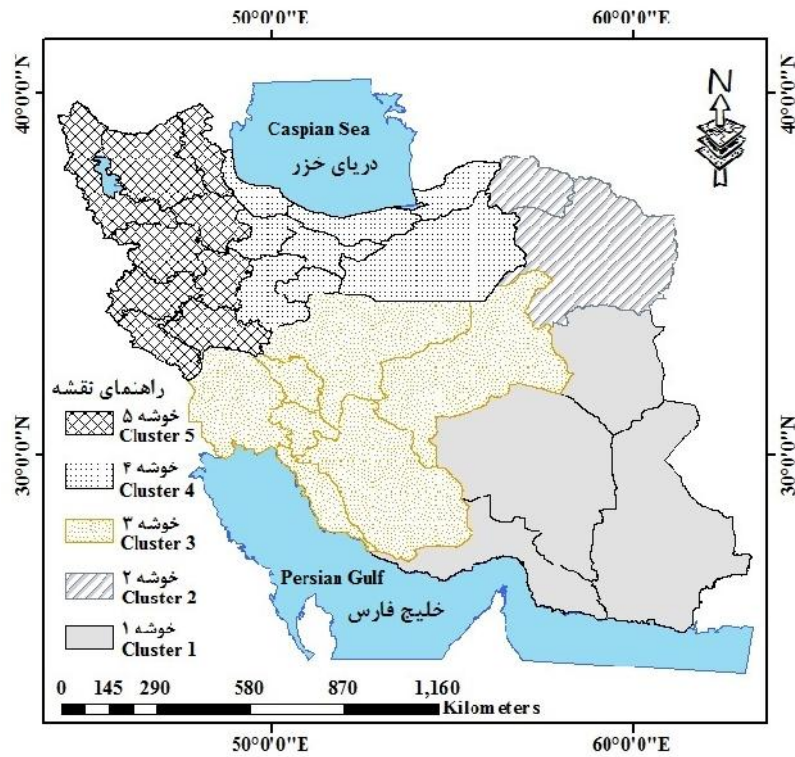
شکل ۲- نتایج آزمون من - کندال در دو سطح معنی دار ۱ و ۵ درصد
Figure 2- Results of Mann-Kendall test in two significant levels of 1 and 5 percentages



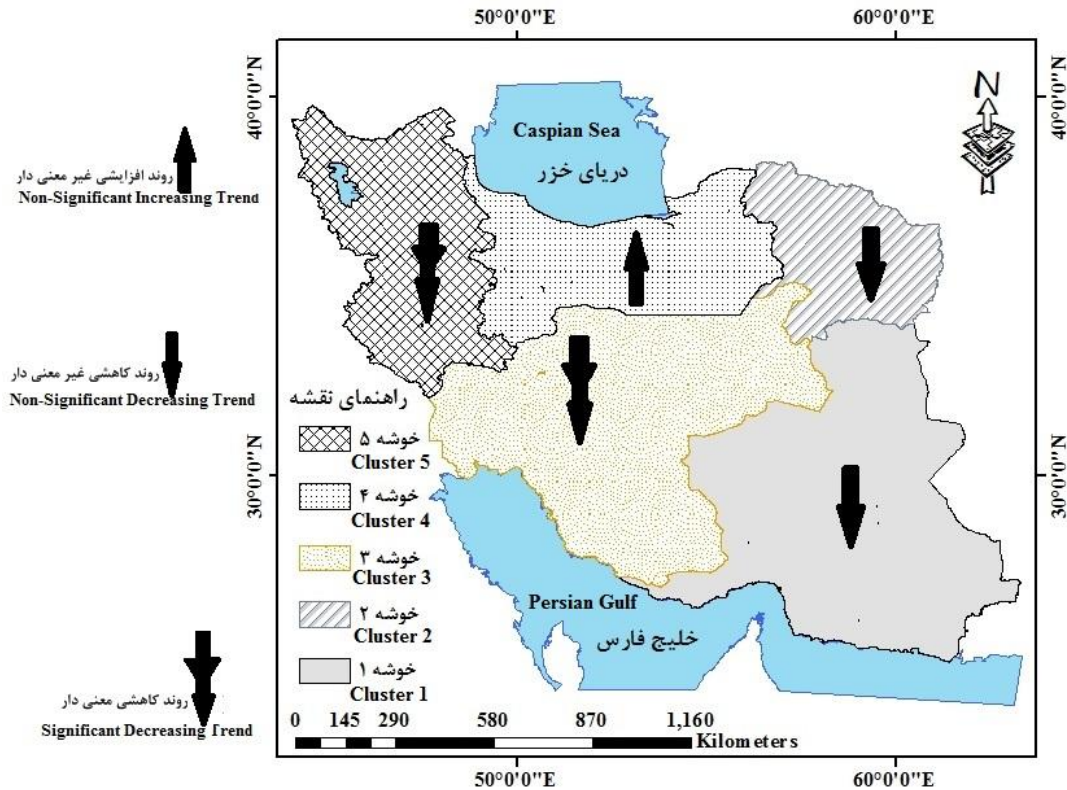
شکل ۳- تغییرات بارش سالانه ایستگاه سینوپتیک اصفهان
Figure 3- Annual precipitation changes of Isfahan synoptic station



شکل ۴- تغییرات بارش سالانه ایستگاه سینوپتیک آذربایجان شرقی (تبریز)
Figure 4- Annual precipitation changes of Tabriz synoptic station



شکل ۵- خوشه‌بندی مناطق مورد مطالعه با استفاده از روش فازی
Figure 5- Clustering studied region using Fuzzy method



شکل ۶- نتایج بررسی روند منطقه‌ای سری زمانی داده‌های متوسط بارش سالانه کشور ایران
Figure 6- Results of regional trend of mean annual precipitation time series in Iran

جدول ۳- نتایج بررسی روند منطقه‌ای سری زمانی داده‌های بارش سالانه ایران طی نیم قرن اخیر

Table 3- Regional trend results of annual precipitation time series over Iran in the recent half century

ایستگاه Station	نتیجه Result	P	Z	S	خوشه‌بندی Clustering
بیرجند، زاهدان، بندرعباس و کرمان Birjand, Bandar Abbas, Zahedan and Kerman	روند کاهشی غیر معنی‌دار Non-significant Decreasing Trend	0.126	-1.441	-339	1
مشهد و بجنورد Mashhad and Bojnord	روند کاهشی غیر معنی‌دار Non-significant Decreasing Trend	0.134	-0.468	-112	2
اهواز، بوشهر، اصفهان، شهرکرد، شیراز، یزد و یاسوج Ahwaz, Boshehr, Isfahan, Shahrekord, Shiraz, Yazd and Yasouj	روند کاهشی معنی‌دار significant Decreasing Trend	0.000	-4.348	-132	3
رشت، اراک، قزوین، تهران، قم، گرگان، سمنان، ساری و کرج Rasht, Arak, Qazvin, Tehran, Qom, Gorgan, Semnan, Sari and Karaj	روند افزایشی غیر معنی‌دار Non-significant Increasing Trend	0.258	1.119	379	4
سندج، تبریز، زنجان، کرمانشاه، ارومیه، همدان، نوره، اردبیل، خرم‌آباد و ایلام Sanandaj, Tabriz, Zanjan, Kermanshah, Urmia, Hamedan, Ardabil, Khoram Abbad and Ilam	روند کاهشی معنی‌دار significant Decreasing Trend	0.000	-5.018	-178	5

و غیره در ارتباط است. مجموعه این عوامل در فرآیندی پیچیده تغییرات فشار بخار هوا را در زمان و مکان مشخص می‌کند. برای نزول بارش نه تنها وجود بخار آب و رطوبت در هوا لازم است، بلکه

وجود رطوبت در هوا جزو ملزومات رخداد بارش بوده و تغییرات آن با عوامل دیگری همچون وجود آب در سطح زمین، وجود انرژی کافی برای انجام فرآیند تبخیر، مکانیسم مناسب برای انتقال بخار آب

۱۹۶۱ با استفاده از آماره من- کندال در مقیاس ایستگاهی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این بررسی نشان داد که از بین ۳۱ ایستگاه کشور، حدود ۹ درصد ایستگاه‌های سینوپتیک دارای روند کاهشی شدید در استان‌های آذربایجان شرقی، کردستان و گرگان، حدود ۳۲ درصد ایستگاه‌های کشور دارای روند افزایشی غیرمعنی‌دار در سطح ۵ درصد، ۹ درصد ایستگاه‌های دارای روند کاهشی معنی‌دار در استان‌های زنجان، قم و اراک و حدود ۴۸ درصد ایستگاه‌های کشور، دارای روند کاهشی غیرمعنی‌دار در سطح ۵ درصد در طی نیم قرن اخیر هستند. با استفاده از خوشه‌بندی فازی، ایستگاه‌های سینوپتیک مراکز استان‌ها به ۵ منطقه تقسیم شد و روند منطقه‌ای در این مناطق محاسبه گردید. نتایج روند در هر دو مقیاس ایستگاهی و منطقه‌ای روند کاهشی را در شمال غرب تایید کرد. در مقیاس منطقه‌ای، روند کاهشی معنی‌دار در شمال غرب در خوشه ۵ و نیمه مرکز و جنوب غرب در خوشه ۳، روند کاهشی غیرمعنی‌دار در خوشه ۱ و ۲ و روند افزایشی غیرمعنی‌دار در خوشه ۴ مشاهده شد.

مکانیزمی برای سرد شدن هوا تا رسیدن به فشار بخار اشباع نیز ضروری است. از طرفی طبری و حسین‌زاده (۱۹)، صبوحی و همکاران (۱۷)، کوثری و همکاران (۱۴) و زارع نیستانک و همکاران (۲۴) نشان دادند که روند افزایشی دما در پهنه کشور ایران به ویژه در ماه‌های سرد سال وجود دارد و از این رو می‌توان تغییرات دمایی را به عنوان یکی از دلایل کاهش بارندگی در منطقه مورد مطالعه دانست. میرعباسی و دین‌پژوه (۱۵) نیز به یافته‌های مشابهی با مطالعه حاضر دست یافته و کاهش بارندگی در شمال غرب کشور را با تغییرات دمایی منطقه مرتبط دانستند.

نتیجه‌گیری

با استفاده از داده‌های سری زمانی متوسط بارندگی سالانه، روند تغییرات پارامتر مذکور در دو مقیاس ایستگاهی و منطقه‌ای مورد بررسی قرار گرفت. داده‌های مجموع بارش سالانه ایستگاه‌های سینوپتیک مرکز استان‌های کشور ایران در طی دوره آماری ۲۰۱۰-

منابع

- 1- Ayvaza M.T., Karahana H., and Aral M.M. 2007. Aquifer parameter and zone structure estimation using kernel-based Fuzzy C-Means clustering and genetic algorithm. *J.Hydrol.*343: 3-4. 240-253
- 2- Azerakshi M., Farzadmehr J., Eslah M., and Sahabi H. 2013. Investigation of annual and seasonal precipitation and temperature parameters in different climate of Iran. *Journal of Range and Watershed Management*, Volume 66, Issue 1, page 1.
- 3- Brooks C.E.P., and Carrthers N. 1953. *Handbook of Statistical Methods in Meteorology*, London, H.M.S.O ,pp 412.
- 4- 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.
- 5- Dinpashoh Y., Jhajharia D., Fakheri-Fard A., Singh V. P., and Kahya E. 2011. Trends in referencecrop evapotranspiration over Iran. *Journal of Hydrology*, 399: 422-433.
- 6- Dodangeh A., Nateghi M.B., Rahnema H., and Dadrasi Sabzevar A.Gh. 2014. Regional flood frequency analysis by integrating L-moments and fuzzy clustering techniques (Case study: Khorasan Razavi). *J. of Water and Soil Conservation*, Vol. 21(1), 2014
- 7- Douglas E.M., Vogel R.M., and Kroll C.N. 2000. Trends in floods and low flow in the United States: impact of spatial correlation. *Journal of Hydrology*. 240: 90-105.
- 8- Duhan D., and Pandy 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.
- 9- Hirsch R.M., and Slack J.R. 1984. A nonparametric trend test for seasonal data with serial dependence. *Water Resources Research*, 20(6): 727-732.
- 10- 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.
- 11- Jain SK., Kumar V., and Saharia M. 2013. Analysis of rainfall and temperature trends in northeast India. *International Journal of Climatology*. 33: 968-978.
- 12- Khalili K., NazeriTahrudi M., and Khanmohammadi N. 2014. Trend Analysis of Precipitation in Recent two Decades over Iran. *J. Appl. Environ. Biol. Sci.*, 4(1s) 5-10, 2014.
- 13- Khalili K., Ahmadi F., Behmanesh J., and Verdinejad V. 2012. Determination of Climate Changes on Air Temperature and Shahar-Chai River in the West of Urmia Lake Using Trend and Stationarity Analysis. *Irrigation Sciences and Engineering (Scientific Journal of Agriculture)*. 35(4): 97-107. (in Persian with English abstract).
- 14- Kousari MR., Ahani H., and Hendi-Zadeh R. 2013. Temporal and spatial trend detection of maximum air temperature in Iran during 1960-2005. *Global and Planetary Change*. 111: 97-110.

- 15- Mirabbasi Najafabadi R., and Dinpashoh Y. 2012. Trend analysis of precipitation of NW of Iran over the past half of the century. *Irrigation Sciences and Engineering (Scientific Journal of Agriculture)*. 35(4): 60-73. (in Persian with English abstract).
- 16- Rio S. D., Herrero L., Pinto-Gomes C., and Peras A. 2011. Spatial analysis of mean temperature trends in Spain over the period 1961-2006. *Global and Planetary Change*, 78: 65-75
- 17- Saboohi R., Soltani S., and khodagholi M. 2012. Trend analysis of temperature parameters in Iran. *Theor Appl Climatol*. 109: 529-547.
- 18- Tabar H., and Hosseinzadeh-Talae P. 2011a. Recent trends of mean maximum and minimum air temperatures in the western half of Iran. *Journal of Meteorological Atmosphere Physics*, 111: 121-131.
- 19- Tabari H., and Hosseinzadeh-Talae P. 2011b. Analysis trends in temperature data in arid and semi-arid regions of Iran. *Atmospheric Research*, 79:1-10.
- 20- Turkes M. 1996. Spatial and temporal analysis of annual rainfall variations in Turkey, *International Journal of Climatology*, 16: 1057-1076.
- 21- Turkes M., UtKu M.S., and Kolic G. 1995. Variations and trends in annual mean air temperature in Turkey with respect to climatic variability, *International Journal of Climatology*, 15: 557-569.
- 22- Xu Z., liu Z., Fu G., and Chen Y. 2010. Trends of major of hydro climatic variables in the Tarim River basin during the past 50 years. *Journal of Arid Environments*, 74: 256-267.
- 23- Yang X. L., Xu L. R., Li C. h., Hu J., and Xia H.X. 2012. Trends in temperature and precipitation in the Zhangweinan river basin during last 53 years. *Procedia Environmental Sciences*. 13: 1774-1966.
- 24- Zarenistanak M., Dhorde A.G., and Kripalani R.H. 2014. Temperature analysis over southwest Iran: trends and projections. *Theor ApplClimatol*. 116: 103-117. DOI 10.1007/s00704-013-0913-1.
- 25- Zhang X., Harvey K.D., Hogg W.D., and Yuzyk R. 2001. Trends in Canadian Stream flow. *Water Resources Research*, 37 (4): 987-99.

Spatial and Regional Analysis of Precipitation Trend over Iran in the Last Half of Century

M. Nazeri Tahroudi¹- K. Khalili^{2*}- F. Ahmadi³

Received: 08-09-2014

Accepted: 06-04-2015

Introduction: Climate change has been one the most important subject in studies in the recent decades. Precipitation is an effective climatic parameter in the municipal and rural studies and in the industry, architecture, agriculture, climate and other fields. Trend analysis of average monthly and yearly rainfall investigated in many studies, but less researches probe regional rainfall analysis. In this study average yearly precipitation data measured at 31 synoptic stations of Iran in the period of 1961 to 2010 used to study regional variations of precipitation. In this order station divided to five regions by fuzzy clustering. Then, using the regional Kendall method, trend of precipitation investigated at five regions and all of Iran.

Materials and Methods: Iran with an area of over 16480000 square kilometers is situated in the northern hemisphere and southwest of Asia. Almost all parts of Iran have four seasons. In general, a year can be divided into two warm and cold seasons. Iran with range annual precipitation of 62.1-344.8 mm is located between two meridians of eastern 44° and 64° and two orbits of northern 40° and 25°. In order to investigate trend of precipitation two Mann-Kendall and Regional Kendall tests used. Also to evaluate the regional trends the Fuzzy method applied to clustering the studied region. The classic form of Mann-Kendall test has been used in many studies. The null hypothesis (no trends) is accepted when $-Z_{1-\rho} \leq Z \leq Z_{1-\rho}$, otherwise H_0 is rejected and its opposite hypothesis, i.e. the existence of a trend is accepted (5, 13). To estimate regional trend, the mean S statistic of Regional Mann-Kendall introduced that was presented by Douglas et al (7). Fuzzy Clustering: Clustering the studied area was done using the Fuzzy clustering method. One of the first clustering methods that were based on the objective function and Euclidean distance was presented by Dunn in 1974 and then was generalized by Bezdek in 1981. The FCM clustering algorithm is modified type of K-Means clustering algorithm. This algorithm minimizes the variance of clusters (1). The assumption of this algorithm is that data are in a vector space and the objective of this algorithm is to minimize the sum of variance in the Dv cluster.

Results and Discussion: In this section the results of decreasing and increasing trend of annual precipitation of Iran can be observed in order to the data that recorded at provinces synoptic stations in the 1 and 5 percentage significance levels. Isfahan Synoptic station detected an increasing trend insignificant level of 5 percentages and the East Azerbaijan synoptic station followed a significant and severe decreasing trends. In order to investigate regional trend it is needed to use the clustering methods. After investigation the trend of mean annual precipitation at each station, the studied area was clustered using the Fuzzy clustering method and then the regional trend of Iran's precipitation was evaluated. At first the number of different clusters investigated using the geographic properties and mean annual precipitation of the studied area and then with attention to the correlation of precipitation series in each cluster, five clusters selected to investigate the regional trend of precipitation. Overall the results showed that about 67 percentages of synoptic stations in center of provinces detected decreasing trend in the recent half century. Increasing the precipitation almost accrued in the center and northern part of Iran and other areas detected a decreasing precipitation trend in the studied data period that this subject is corresponded with Azerakhshi and et al (2). The observed trends over Iran and almost all stations and provinces were downward trend. This decreasing trend of precipitation also observed in Iran in the two past decades by Khalili et al (13).

Conclusion: Result showed decreasing trend in the west, north of Iran at each station and regional scale. Results indicated also a significant downward trend at northwest, central and south-west of the country, non-significant downward trend in western of Iran and non-significant upward trends in northern regions and Caspian Sea margins in the regional analysis. The most decreasing trend of precipitation observed at the north west of Iran because of increasing temperature and climate changes in the recent years.

Keywords: Clustering, Fuzzy Method, Mann-Kendall, Regional Kendall

1 and 2- MS.c. Student and Assistant Professor, Department of Water Resources Engineering, Urmia University, Urmia, Iran
(*- Corresponding Author Email: k.khalili@urmia.ac.ir)

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