

تحلیل روند بارندگی نیمه شمالی کشور در نیم قرن اخیر

فرشاد احمدی^{1*}، فریدون رادمنش²، رسول میرعباسی نجف‌آبادی³

تاریخ دریافت: 91/06/12 تاریخ پذیرش: 94/10/21

¹- دانشجوی دکتری مهندسی منابع آب، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز

²- استادیار گروه مهندسی منابع آب، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز

³- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: Farshad.paper@yahoo.com

چکیده

بارش یکی از مؤلفه‌های مهم چرخه هیدرولوژی است که مقدار و شدت آن در مقیاس‌های مکانی و زمانی مختلف تغییر می‌کند. دانشمندان بر این باورند که تغییر در غلظت گازهای گلخانه‌ای ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی منجر به تغییرات شدید در برخی از اجزای چرخه هیدرولوژی و از جمله بارش در نقاط مختلف جهان شده است. از این رو در مطالعه حاضر روند بارش‌های ماهانه، فصلی و سالانه نیمه شمالی ایران با استفاده از آزمون ناپارامتری من-کندال مورد بررسی قرار گرفت. داده‌های مورد استفاده شامل اطلاعات بارش 18 ایستگاه سینوپتیک، در دوره آماری 2010-1961 می‌باشند. به منظور تعیین نرخ تغییرات بارش، از روش تخمین‌گر شیب سن استفاده شد. نتایج نشان داد که در مقیاس سالانه، هشت ایستگاه (44 درصد ایستگاه‌ها) از 18 ایستگاه مورد بررسی، روند کاهشی معنی‌دار، شش ایستگاه روند کاهشی غیر معنی‌دار و فقط چهار ایستگاه (ایستگاه‌های بابلسر، قزوین، سبزوار و تهران) افزایش غیر معنی‌دار در بارش را تجربه کرده‌اند. بیشترین نرخ کاهش بارندگی در مقیاس سالانه در ایستگاه سینوپتیک گرگان با شیب روند $(-4/192 \text{ mm year}^{-1})$ اتفاق افتاده است. در مقیاس ماهانه، تعداد ماه‌ها با روند کاهشی، $1/3$ برابر تعداد ماه‌ها با روند افزایشی بود. برای سری‌های فصلی نیز شرایطی مشابه با مقیاس ماهانه رخ داده و غالب مناطق روند کاهشی داشتند. به‌طور کلی نتایج حاصل از مطالعه حاضر نشان داد که روند کاهشی بارش در منطقه شمال غرب ایران نسبت به مناطق مرکزی و شرقی شدیدتر بوده است.

واژه‌های کلیدی: آزمون من-کندال، بارش، خودهمبستگی، روند، شیب سن

Trend Analysis of Precipitation in Northern Half of Iran during the Recent Half of the Century

F Ahmadi^{1*}, F Radmanesh², R Mirabbasi Najaf Abadi³

Received: 3 September 2014 Accepted: 11 January 2016

¹- Ph.D Student, Water Resources Eng. Dept., Faculty of Water Sciences Eng., Univ. of Ahvaz, Iran

²- Assist. Prof., Water Resources Eng. Dept., Faculty of Water Sciences Eng., Univ. of Ahvaz, Iran

³- Assist. Prof., Water Eng. Dept. Faculty of Agric. Univ. of Shahrkord, Iran

* Corresponding Author, Email: Farshad.paper@yahoo.com

Abstract

Precipitation is one of the important components of the hydrologic cycle that its amount and intensity change in different space and time scales. The researchers believe that changes in concentration of greenhouse gases due to consumption of fossil fuels, leads to strong changes in some of the components of the hydrologic cycle such as precipitation in different parts of the world. In this study, trend of precipitations in the northern half of Iran was investigated in monthly, seasonal and annual time scales using the Mann-Kendall method. The precipitation data of 18 selected synoptic stations in the period of 1961-2010 were used for this analysis. The Sen's slope estimator was used for determining the slope of the precipitation trend line. Results showed that in the annual time scale, the precipitation at 44% of the stations (8 out of the 18 stations) had a significant downward trend, six stations had insignificant downward trend and only 4 stations (Babolsar, Qazvin, Sabzevar and Tehran) had insignificant upward trend in precipitation. Among the stations, the most strong negative trend line slope in the case of annual precipitation belonged to the Gorgan station, which was equal to -4.192 mm/yr. In monthly time scale, the number of months with negative trends was 1.3 times greater than that with positive trends. In seasonal time scale, similar to monthly time scale, most of the sites had negative trends. In general, the results indicated that the downward trends of precipitation in northwest of Iran were stronger than those in the central and eastern parts of the country.

Keywords: Autocorrelation, Mann-Kendall, Precipitation, Sen's slope, Trend

مقدمه

درجه سلسیوس افزایش یافته است و انتظار می‌رود که مقدار تبخیر نیز روندی صعودی داشته باشد. در این صورت اتمسفر قادر خواهد بود تا مقادیر بیشتری از بخار آب را جابه‌جا کرده و در نتیجه مقدار ریزش‌های جوی تحت تأثیر قرار خواهد گرفت (اسمعیل‌پور و دین-پژوه 1391). بارش یکی از مهم‌ترین بخش‌های چرخه هیدرولوژیک بوده و نقش مؤثری در تأمین نیاز آبی دارد. همچنین بارش یکی از اجزای مهم در برنامه‌ریزی-

در عصر حاضر تغییرات اقلیمی یکی از چالش‌های مهم زیست‌محیطی هست. درک ما از تأثیرات بشر روی محیط، به‌ویژه آن‌هایی که در ارتباط با گرم شدن ناشی از افزایش گازهای گلخانه‌ای هستند، نشان می‌دهد که تعدادی از پارامترهای اقلیمی به‌احتمال زیاد در حال تغییر می‌باشند. بر اساس گزارش‌های علمی، متوسط دمای هوای سطح زمین طی قرن بیستم در حدود 0/6

روند مثبت در فراوانی رگبار که سهم اصلی را در افزایش بارش تابستانه در این حوضه دارد و روند مثبت معنی‌دار در دبی سیلاب در مرکز و پائین حوضه با الگوهای مکانی و روندهای زمانی بارش و رگبارهای مجزا در 40 سال گذشته مرتبط شده است. آن‌ها دریافتند که رگبارها باعث شدیدتر شدن سیلاب‌ها در مرکز و پائین حوضه رودخانه یانگ تسه در دهه‌های اخیر شده‌اند. صبوحی و سلطانی (1387) برای تحلیل آماری عوامل بارش، دما، رطوبت نسبی و باد در برخی از شهرهای بزرگ ایران از آزمون ناپارامتری من-کندال استفاده کردند. آنان روند افزایش دما را در 62 درصد از ایستگاه‌ها و روند کاهش بارش را در 23 درصد از ایستگاه‌ها گزارش نمودند. پال و التباء (2009) روند بارش‌های حدی فصلی را در فصول زمستان، بهار و پائیز منطقه کرالای⁴ در هندوستان را با استفاده از آزمون MK موردبررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که روند بارش‌های حدی در فصول زمستان و پائیز افزایشی هست و این عامل باعث وقوع بیشتر سیلاب‌ها در این فصول شده است. باین‌حال، روند بارش در فصل بهار در منطقه مورد مطالعه آن‌ها کاهش بود. یانگ و همکاران (2012) روند دما و بارش میانگین ماهانه 53 ساله در حوضه رودخانه ژانگینان⁵ و پنج ایستگاه هواشناسی اطراف آن را با استفاده از آزمون من-کندال موردبررسی قرار دادند و روند کاهش معنی‌دار در بارندگی سالانه و روند افزایشی دما را در فصل‌های تابستان و بهار گزارش نمودند. جین و همکاران (2013) در مطالعه‌ای تغییرات بلندمدت بارش و دمای شمال‌غرب هند را موردبررسی 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 1871 تا 2008 هیچ‌گونه روند معنی‌داری مشاهده نکردند، اما دما در هر سه مقیاس زمانی، روند افزایشی را تجربه کرده بود. دوهان و پاندی (2013) در پژوهشی به مطالعه تغییرات زمانی

های آبیاری بوده و در طراحی سیستم‌های تحت فشار، یکی از متغیرهای تأثیرگذار هست. در این راستا بنا به اهمیت بارش، در سال‌های اخیر مطالعات فراوانی در زمینه بررسی روند تغییرات ریزش‌های جوی و به‌ویژه بارش انجام شده است.

برای بررسی وجود روند در سری‌های هیدرولوژیکی اغلب از روش‌های ناپارامتری استفاده می‌شود. آزمون‌های ناپارامتری¹ برای سری داده‌هایی که توزیع آماری آن‌ها نرمال نیست و یا دارای داده‌های بریده شده باشند، مناسب‌تر هستند (میرعباسی و دین-پژوه 1391). هرش و همکاران (1984) دلایل استفاده از آزمون‌های ناپارامتری را در مطالعات مربوط به روند به‌طور مبسوط شرح داده‌اند. شرط استفاده از این آزمون‌ها، عدم وجود ضریب خودهمبستگی معنی‌دار در سری‌زمانی داده‌ها هست. اثر وجود خودهمبستگی در تحلیل روند با روش‌های ناپارامتری توسط حامد و رائو (1998) مورد ارزیابی قرار گرفت. آن‌ها روابط نظری 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 من-کندال² با حذف اثر خودهمبستگی نسبت به آزمون من-کندال کلاسیک نه‌تنها از دقت بهتری برخوردار است، بلکه از توان آزمون نیز کاسته نمی‌شود.

جیانگ و هارتمن (2007) روند زمانی و مکانی داده‌های بارش روزانه 147 ایستگاه باران‌سنجی در دوره 1961-2000 و داده‌های دبی ماهانه برای این ایستگاه‌ها را در حوضه رودخانه یانگ تسه³ در چین موردبررسی 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 ژوئیه در مرکز و پائین حوضه رودخانه یانگ تسه در دهه 1990 وجود دارد.

¹Non parametric

²Mann Kendall

³Yangtze River

⁴ Kerala

⁵Zhangweinan

مرکزی و یزد مورد بررسی قرار گرفت. در هر استان ایستگاه‌های سینوپتیک موجود بررسی شده و ایستگاه‌هایی که طول دوره آماری آن‌ها پنجاه سال (2010-1961) بودند، برای انجام تحلیل روند انتخاب شدند. مشخصات ایستگاه‌های منتخب در جدول 1 ارائه شده و شکل 1 موقعیت مکانی ایستگاه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

تحلیل روند

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 پارامتری⁸ 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 سری زمانی داده‌ها، بدون در نظر گرفتن خطی یا غیرخطی بودن روند به‌کار برد (خلیلی و همکاران 1391). یکی از معروف‌ترین آزمون‌های ناپارامتری روند، آزمون من-کندال (من 1945 و کندال 1975) هست. به‌طور کلی آزمون من-کندال دارای چهار ویرایش هست که توسط دین‌پژوه و همکاران (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 من-کندال مرسوم (MK1)

این روش، که فرم کلاسیک آزمون من-کندال هست، در بسیاری از مطالعات مورد استفاده قرار گرفته

مکانی بارش 102 ساله منطقه مادها پارادش⁶ هندوستان پرداختند. آن‌ها از آزمون من-کندال و تخمین‌گر شیب سن به‌منظور تعیین روند یکنواخت بارش و از آزمون پتیت⁷ برای تشخیص نقاط شکست استفاده کردند. نتایج حاصل نشان داد که تمامی ایستگاه‌های مورد بررسی در مقیاس سالانه روندی کاهشی را تجربه کرده و سال 1978 بیشترین احتمال را برای تاریخ تغییر روند به خود اختصاص داده بود. چن و همکاران (2014) روند تغییرات بارش، دما و رواناب حوضه آبریز یانگ تسه چین را در دوره آماری 1955 تا 2011 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.

از پیشینه تحقیق چنین استنباط می‌شود که تاکنون مطالعه جامعی بر روی روند و تعیین زمان شکست بارش‌های نیمه شمالی کشور با حذف اثر ضرایب خودهمبستگی معنی‌دار صورت نگرفته است. بنابراین هدف از مطالعه حاضر، بررسی روند طولانی‌مدت (50 ساله) و تعیین زمان تغییر روند بارش‌های نیمه شمالی کشور در سه مقیاس زمانی ماهانه، فصلی و سالانه با استفاده از آزمون من-کندال اصلاح‌شده (با حذف کامل اثر خودهمبستگی داده‌ها (MMK)) و تست پتیت هست.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

در این مطالعه، روند تغییرات بارش در سه مقیاس زمانی ماهانه، فصلی و سالانه در نیمه شمالی کشور شامل استان‌های آذربایجان غربی و شرقی، تهران، خراسان رضوی، زنجان، سمنان، قزوین، کردستان، کرمانشاه، گیلان، گلستان، لرستان، مازندران،

⁶ Madhya Pradesh

⁷ Pettite

⁸ Parametric

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

است. اگر تعداد داده‌های سری زمانی در دوره مورد بررسی n باشد، ابتدا آماره S به شرح زیر محاسبه می‌شود:

جدول 1- مشخصات ایستگاه‌های سینوپتیک منتخب در دوره آماری 1961-2010.

ردیف	ایستگاه	طول جغرافیایی		عرض جغرافیایی		میانگین بارش	ضریب تغییرات
		درجه	دقیقه	درجه	دقیقه		
1	اراک	49	46	34	06	337/1	0/288
2	ارومیه	45	05	37	32	338/9	0/291
3	بابلسر	52	39	36	43	889/3	0/181
4	تبریز	46	17	38	05	283/8	0/294
5	تربت حیدریه	59	13	35	16	267/7	0/294
6	تهران	51	19	35	41	232/7	0/297
7	خوی	44	58	38	33	289/2	0/276
8	رامسر	50	40	36	54	1206/2	0/231
9	رشت	49	39	37	12	1337/5	0/189
10	زنجان	48	29	36	41	311/1	0/254
11	سبزوار	57	43	36	12	186/6	0/310
12	سقز	46	16	36	15	487/2	0/265
13	سنندج	47	00	35	20	449/9	0/265
14	شاهرود	54	57	36	25	153/3	0/344
15	طبس	56	55	36	33	83/80	0/413
16	قزوین	50	30	36	15	314/4	0/268
17	کرمانشاه	47	09	34	19	439/2	0/266
18	گرگان	54	16	36	51	583/8	0/197
19	مشهد	59	38	36	16	251/5	0/284

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 5 محاسبه شده و در واریانس اعمال می‌شود:

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

که در آن t_i تعداد داده‌های یکسان در دسته i ام هست. در نهایت آماره آزمون MK یا Z به شکل زیر محاسبه می‌شود:

که در آن x_j و x_k مقدار داده z ام و k ام، n طول دوره آماری و $\text{sgn}(\theta)$ تابع علامت هست که به صورت زیر تعریف می‌گردد:

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

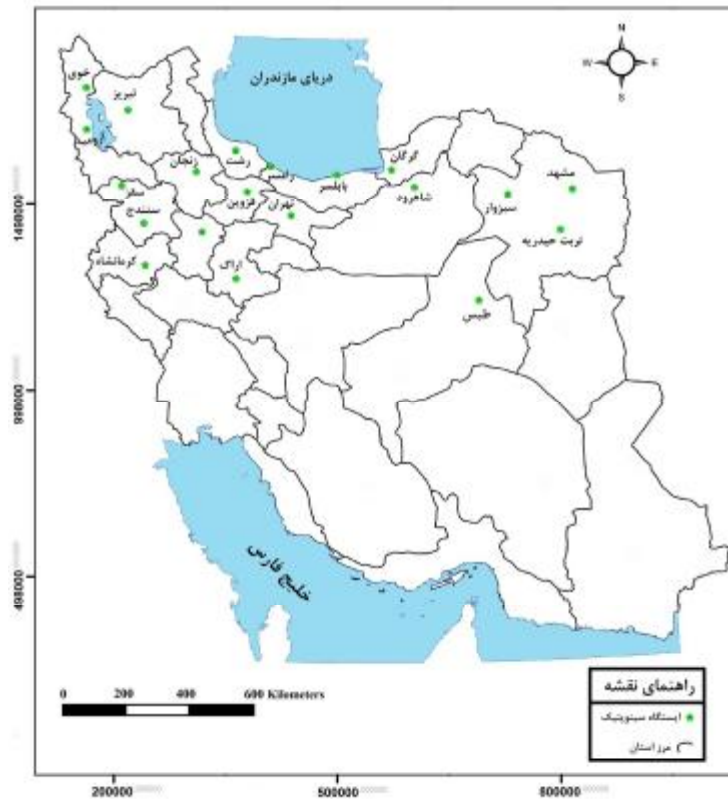
به ازای $n \geq 8$ آماره S دارای توزیع نرمال بوده و میانگین و واریانس آن به شرح زیر هست:

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

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

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 (اسمعیل‌پور و دین‌پژوه 1391).

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



شکل 1- موقعیت ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه در نیمه شمالی کشور.

آزمون من - کندال اصلاح شده (MMK)

فرض اصلی بیشتر مطالعات تحلیل روند با استفاده از آزمون من - کندال بر این است که داده‌های نمونه خودهمبستگی معنی‌داری ندارند، با این حال ممکن است برخی سری‌های هیدرولوژیکی دارای ضریب خودهمبستگی معنی‌دار باشند (دین‌پژوه و همکاران 2014). چنانچه یک سری دارای ضرایب خودهمبستگی مثبت باشد، احتمال اینکه آزمون من - کندال وجود روند را در این سری نشان دهد، افزایش می‌یابد. در این صورت فرض صفر، مبنی بر عدم وجود روند، رد می‌شود. درحالی‌که حقیقت این است که فرض صفر نباید رد شود (میرعباسی و دین‌پژوه 1391). آزمون اصلاح شده من - کندال توسط حامد و رائو (1998) ارائه و توسط

کومار و همکاران (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 شد:

$$V(S)^* = V(S) \frac{n}{n^*} \quad [7]$$

که در آن:

$$\frac{n}{n^*} = 1 + \frac{2}{n(n-1)(n-2)} \times \sum_{i=1}^{n-1} (n-i)(n-i-1)(n-i-2)r_i \quad [8]$$

که در آن r_i ضریب خودهمبستگی با تأخیر i بوده و $V(S)$ از رابطه 4 تخمین زده شد. سپس برای

مقدار k از رابطه زیر محاسبه شده و در رابطه 12 جایگزین شده و آماره P به دست می آید:

$$k = \max_{t,n} \hat{U}_{t,n} \quad [11]$$

$$P = 2' e^{-\frac{6k^2}{n^3+n^2}} \quad [12]$$

در این آزمون، فرض H_0 : بیانگر همگنی داده‌ها و فرض H_1 نشان‌دهنده سال وقوع شکست در سری زمانی مورد مطالعه هست. در صورتی که مقدار P محاسبه شده کوچکتر از α یا مقدار سطح معنی‌داری (0/05) باشد می‌توان این نقطه تغییر را در سری، از نظر آماری معنی‌دار دانست. در واقع مقدار محاسبه شده P مقدار ریسک یا خطای رد کردن فرض H_0 است که اگر این خطا از پنج درصد کمتر باشد می‌توان این تغییر را معنی‌دار دانست. در این مطالعه، آزمون پتیت بر اساس شبیه‌سازی 10000 تایی مونت کارلو انجام شد.

نتایج و بحث

روند بارش در مقیاس ماهانه، سالانه و فصلی

آزمون روند برای سری‌هایی که فاقد $r_k: k = 1, 2, \dots, n/4$ معنی‌دار بودند، با MK و برای دیگر سری‌ها از روش MMK انجام شد. مقادیر آماره Z بارش‌های ماهانه، فصلی و سالانه محاسبه شده و نتایج حاصل در جدول‌های 2، 3 و 4 ارائه گردیده است. لازم به ذکر است که در این جداول ارقام پررنگ نشان‌دهنده معنی‌داری روند بوده و معنی‌دار در سطوح 10، 5 و 1 درصد به ترتیب با یک، دو و سه ستاره مشخص شده‌اند. در ادامه وضعیت روند بارش هر ایستگاه به تفکیک ارائه می‌شود.

ایستگاه سینوپتیک اراک: نتایج آزمون MMK ارائه شده در جدول 2 برای ایستگاه سینوپتیک اراک، نشان‌دهنده وجود روند نزولی بارش در مقیاس ماهانه، فصلی و سالانه هست. در مقیاس ماهانه، ماه‌های ژانویه، آوریل، می و دسامبر روند نزولی غیر معنی‌دار داشته و سایر ماه‌ها روند افزایشی خفیفی را تجربه

محاسبه آماره Z من- کندال اصلاح شده در رابطه 6، $V(S)^*$ با $V(S)$ جایگزین گردید. مقدار آماره Z به دست آمده از رابطه فوق با Z استاندارد نرمال در سطح معنی‌داری α مقایسه می‌شود.

شیب خط روند با روش تخمین‌گر سن

در آزمون من- کندال شیب خط روند سری داده‌ها با روش تخمین‌گر سن از رابطه ناپارامتری زیر محاسبه می‌گردد:

$$\beta = \text{Median} \frac{\hat{e} X_j - X_i}{\hat{e} j - i} \frac{\hat{u}}{\hat{u}} \quad (j > i) \quad [9]$$

که در آن β برآوردگر شیب خط روند و X_i, X_j به ترتیب مقادیر مشاهداتی i ام و j ام می‌باشند. مقادیر مثبت (منفی) β نشان‌دهنده روند افزایشی (کاهشی) در سری داده‌هاست (سن 1968، میرعباسی و دین‌پژوه 1391).

آزمون پتیت

تست پتیت آزمونی ناپارامتری است که در سال 1979 توسط پتیت توسعه داده شد. این روش برای پیدا کردن نقاط تغییر در یک سری زمانی به کار برده می‌شود. در این مطالعه از این آماره جهت پیدا کردن تغییر ناگهانی در داده‌های بارش نیمه شمالی کشور استفاده شد. تست پتیت آزمونی با پایه رتبه‌ای و بدون توزیع جهت تشخیص تغییرات معنی‌دار در میانگین سری زمانی است و این موضوع زمانی اهمیت دارد که هیچ فرضیه‌ای در مورد زمان تغییر موجود نباشد. آماره آزمون پتیت به شرح زیر است (پتیت 1979):

ابتدا سری زمانی $U_{t,n}$ به صورت زیر به دست می‌آید:

$$U_{t,n} = \sum_{i=1}^t \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(x_j - x_i) \quad [10]$$

در رابطه فوق t طول دوره آماری و n تعداد داده در سری آماری است. تابع $\text{sgn}(\cdot)$ نیز به صورت رابطه 2 محاسبه می‌شود.

افزایشی معنی‌دار داشته و با توجه به شیب سن، در نیم قرن اخیر افزایشی برابر با 151/00 میلی‌متر را برای بارش‌های پاییزه نشان می‌دهد. همچنین فصل‌های بهار و تابستان (زمستان) و سری سالانه بارش نیز در این ایستگاه روند کاهشی (افزایشی) غیر معنی‌دار دارند.

ایستگاه سینوپتیک تبریز: در جدول 2 آماره Z آزمون من-کندال اصلاح‌شده برای ایستگاه سینوپتیک تبریز ارائه شده است. با توجه به این جدول مشاهده می‌شود که بارش این ایستگاه در ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس، و آوریل روند کاهشی معنی‌دار و در ماه‌های می، ژوئن، اوت، سپتامبر، اکتبر، نوامبر و دسامبر روند نزولی غیر معنی‌دار را تجربه کرده است. بیشترین مقدار کاهش در بارندگی مربوط به ماه آوریل و برابر با $22/70 \text{ mm}^{-1}$ (50years) است. روند بارش در فصل‌های بهار، پاییز و زمستان نیز کاهشی معنی‌دار است. بیشترین میزان کاهش در فصل بهار اتفاق افتاده و مجموع سه ماه این فصل، کاهشی برابر با $53/10 \text{ mm}^{-1}$ (50years) را نشان می‌دهد. همچنین در مقیاس سالانه، روند بارش نزولی معنی‌دار بوده و نرخ کاهش در این ایستگاه 2/85 میلی‌متر در سال به دست آمد.

ایستگاه سینوپتیک تربت‌حیدریه: با توجه به آماره Z آزمون من-کندال ارائه‌شده در جدول 2 برای ایستگاه سینوپتیک تربت‌حیدریه، مشاهده می‌شود که بارش در ماه‌های ژانویه، فوریه و دسامبر روند کاهشی و در سایر ماه‌ها روند افزایشی غیر معنی‌دار دارد. همچنین ماه آوریل با کاهش معنی‌دار در بارش مواجه بوده و با توجه به شیب به دست آمده، در نیم قرن اخیر کاهشی معادل با $20/45 \text{ mm}$ را تجربه کرده است. در مقیاس فصلی، فصول بهار، تابستان و پاییز (زمستان) روند افزایشی (کاهشی) خفیفی را تجربه کرده و سری سالانه نیز کاهشی غیر معنی‌دار را برای بارش ایستگاه مورد مطالعه نشان می‌دهد.

کرده‌اند. همچنین ماه فوریه با روند کاهشی معنی‌دار مواجه بوده و با توجه به شیب محاسبه‌شده، در پنجاه سال گذشته معادل 25 mm ($25 = -0/500$) از بارش‌های این ماه کاسته شده است. در مقیاس فصلی نیز فصل زمستان روند نزولی معنی‌دار در بارش را تجربه کرده و کاهشی معادل با $62/25 \text{ mm}$ را در 50 سال اخیر نشان می‌دهد. همچنین در مقیاس سالانه، روند کاهشی بارش برای ایستگاه سینوپتیک اراک در سطح 5 درصد معنی‌دار بوده و در هر سال به مقدار $2/066 \text{ mm}$ (به عبارت دیگر $103/30 \text{ mm}$) در پنجاه سال گذشته از بارش‌های موجود کاسته شده است.

ایستگاه سینوپتیک ارومیه: با توجه به نتایج آزمون MMK ارائه‌شده در جدول 2 مشاهده می‌شود که ایستگاه سینوپتیک ارومیه در تمامی ماه‌های سال (به جز ماه مارس و نوامبر) روند کاهشی در بارش را تجربه کرده است. بیشترین کاهش بارندگی نیز در ماه ژانویه مشاهده شده و بر اساس شیب سن معادل $18/85 \text{ mm}^{-1}$ (50years) است. در مقیاس فصلی نیز تمام فصول دارای روند کاهشی در بارش می‌باشند و در این بین فصل زمستان روندی معنی‌دار را تجربه کرده است. میزان کاهش بارندگی در فصل زمستان برابر با $49/15 \text{ mm}^{-1}$ (50years) محاسبه شد. همچنین در مقیاس سالانه، روند بارش نزولی غیر معنی‌دار است.

ایستگاه سینوپتیک بابلسر: نتایج آزمون من-کندال ارائه‌شده در جدول 2 برای ایستگاه سینوپتیک بابلسر، نشان می‌دهد که بارش در ماه‌های فوریه، مارس، آوریل، اوت، اکتبر و دسامبر روند کاهشی و در ماه‌های ژانویه، می، ژوئیه و سپتامبر روند افزایشی غیر معنی‌دار داشته است. همچنین ماه نوامبر با افزایش معنی‌دار در بارش مواجه بوده و با توجه به شیب سن، در پنج دهه اخیر رشدی معادل با $96/80 \text{ mm}$ را تجربه کرده است. در مقیاس فصلی نیز فصل پاییز روند

همچنین تعداد ماه‌ها با روند کاهشی بیشتر از تعداد ماه‌ها با روند افزایشی است. بارش در همه فصل‌ها روند کاهشی غیر معنی‌دار داشته و در مقیاس سالانه روند تغییرات بارندگی ایستگاه سینوپتیک رامسر نزولی است. ایستگاه سینوپتیک رشت: نتایج آزمون من-کندال برای ایستگاه سینوپتیک رشت در جدول 3 ارائه شده است. نتایج حاصل حاکی از آن است که بارش این ایستگاه در تمامی ماه‌ها (به‌جز آوریل و نوامبر) روند کاهشی غیر معنی‌دار دارد. همچنین به‌دلیل غالب بودن روند نزولی در مقیاس ماهانه، روند تغییرات بارش در سری‌های فصلی و سالانه نیز کاهشی به‌دست آمد.

ایستگاه سینوپتیک زنجان: با توجه به نتایج آزمون من-کندال ارائه‌شده در جدول 3، در ایستگاه سینوپتیک زنجان مشاهده می‌شود که ماه‌های فوریه، مارس، آوریل، می، سپتامبر، نوامبر و دسامبر با روند کاهشی غیر معنی‌دار در سری‌های ماهانه بارش مواجه بوده و در مقابل ماه‌های ژوئن، ژوئیه، اوت و اکتبر روندی افزایشی دارند. در این بین ماه ژانویه روند نزولی معنی‌دار داشته و با توجه به شیب محاسبه‌شده در نیم قرن اخیر کاهشی برابر با $18/60 \text{ mm}$ را تجربه کرده است. همچنین در مقیاس فصلی روند کاهشی معنی‌دار در فصل‌های زمستان و بهار مشهود بوده و با توجه به شیب ارائه‌شده در جدول 3، در دوره آماری مورد مطالعه به‌ترتیب کاهشی برابر با $25/40$ و $50/55$ میلی‌متر را داشته‌اند. سری سالانه بارش ایستگاه سینوپتیک زنجان نیز روند کاهشی داشته و تغییرات موجود در سطح 10 درصد معنی‌دار هست. همچنین مقدار کاهش بارندگی سالانه برای این ایستگاه $20/80 (50\text{years})^{-1}$ به‌دست آمد.

ایستگاه سینوپتیک سبزوار: با توجه به نتایج آزمون MK3 ارائه‌شده در جدول 3 برای ایستگاه سینوپتیک سبزوار، مشاهده می‌شود که این ایستگاه در هیچ‌یک از مقیاس‌های ماهانه، فصلی و سالانه خود روند معنی‌دار افزایشی یا کاهشی را به‌مانند ایستگاه رشت و رامسر تجربه نکرده است. همچنین نتایج حاصل از

ایستگاه سینوپتیک تهران: نتایج آزمون من-کندال ارائه‌شده در جدول 2 برای ایستگاه سینوپتیک تهران، نشان می‌دهد که این ایستگاه در هیچ‌یک از مقیاس‌های ماهانه، فصلی و سالانه خود روند معنی‌دار افزایشی یا کاهشی را نداشته است. همچنین تعداد ماه‌ها با روند افزایشی بیشتر از تعداد ماه‌ها با روند کاهشی است. در مقیاس فصلی، فصل‌های زمستان، بهار و پاییز روند افزایشی و فصل تابستان روند کاهشی را در بارش تجربه کرده‌اند. سری سالانه نیز از مقیاس‌های ماهانه و فصلی تأثیر پذیرفته و روند افزایشی غیر معنی‌دار را نشان می‌دهد.

ایستگاه سینوپتیک خوی: در جدول 2 آماره Z آزمون من-کندال برای ایستگاه سینوپتیک خوی ارائه شده است. بر اساس این جدول مشاهده می‌شود که بارش در ماه‌های فوریه، مارس، آوریل، می، ژوئن، اوت، اکتبر و دسامبر روند کاهشی و در ماه‌های ژوئیه، سپتامبر و نوامبر روند افزایشی غیر معنی‌دار داشته است. همچنین ماه ژانویه کاهش معنی‌دار را برای بارش نشان داده و با توجه به شیب ارائه‌شده، در نیم قرن اخیر رشدی برابر با $16/55 \text{ mm}$ را نشان می‌دهد. در مقیاس فصلی نیز فصل زمستان با روند کاهشی معنی‌دار مواجه بوده و به مقدار $40/85 \text{ mm} (50\text{years})^{-1}$ بارش‌های زمستانه این ایستگاه کاسته شده است. سری سالانه بارش ایستگاه سینوپتیک خوی از کاهش معنی‌دار بارندگی در ماه ژانویه و فصل زمستان تأثیر پذیرفته و در سطح اطمینان پنج درصد روند نزولی معنی‌دار را نشان می‌دهد. همچنین بر اساس شیب محاسبه‌شده برای مقیاس سالانه بارش، در هر سال $2/040$ میلی‌متر از مقدار بارندگی در ایستگاه سینوپتیک خوی کاسته شده است.

ایستگاه سینوپتیک رامسر: نتایج آزمون من-کندال ارائه شده در جدول 3 برای ایستگاه سینوپتیک رامسر، نشان‌دهنده آن است که این ایستگاه در هیچ‌یک از مقیاس‌های ماهانه، فصلی و سالانه خود روند معنی‌دار افزایشی یا کاهشی را در بارش نداشته است.

ایستگاه سینوپتیک شاهرود: با توجه به آماره Z آزمون من- کندال ارائه شده در جدول 3 برای ایستگاه سینوپتیک شاهرود، مشاهده می شود که بارش در ماه های ژانویه، آوریل و اکتبر روند کاهشی و در سایر ماه ها روند افزایشی غیر معنی دار دارد. همچنین ماه می با کاهش معنی دار در بارش مواجه بوده و با توجه به مقدار شیب محاسبه شده، در نیم قرن اخیر کاهشی معادل با $11/1 \text{ mm}$ را تجربه کرده است. در مقیاس فصلی، فصول زمستان و تابستان (پاییز و بهار) روند افزایشی (کاهشی) خفیفی را تجربه کرده و سری سالانه نیز کاهش ضعیفی را برای بارش ایستگاه مورد مطالعه نشان می دهد.

ایستگاه سینوپتیک طبس: با توجه به نتایج ارائه شده در جدول 4 برای ایستگاه طبس می توان مشاهده کرد که این ایستگاه در دوره آماری مورد مطالعه تغییرات معنی داری نداشته و تلفیقی از روند کاهشی و افزایشی را در بارش تجربه کرده است.

ایستگاه سینوپتیک قزوین: با توجه به نتایج آزمون MMK ارائه شده در جدول 4 برای ایستگاه سینوپتیک قزوین، مشاهده می شود که بارش این ایستگاه در ماه های ژانویه، می، ژوئن، ژوئیه، اوت و دسامبر روند کاهشی و در سایر ماه ها روند افزایشی غیر معنی دار داشته است. همچنین سری های فصلی و سالانه بارش نیز به دلیل عدم وجود روند در مقیاس ماهانه، تغییرات معنی داری را نشان نمی دهند.

ایستگاه سینوپتیک کرمانشاه: نتایج آزمون MMK ارائه شده در جدول 4 برای ایستگاه سینوپتیک کرمانشاه، نشان می دهد که بارش در ماه های ژانویه، مارس، اوت و دسامبر روند کاهشی و در سایر ماه ها روند افزایشی غیر معنی دار دارد. در این بین ماه های آوریل و می روند نزولی معنی دار داشته و با توجه به شیب ارائه شده در جدول 4، به ترتیب کاهشی برابر با $37/85$ و $21/00$ میلی متر در پنجاه سال گذشته را تجربه کرده اند. در مقیاس فصلی نیز روند بارش در

آزمون من- کندال برای سری های فصلی و سالانه نیز نشان دهنده وجود روند افزایشی خفیف برای این ایستگاه هست.

ایستگاه سینوپتیک سقز: بر اساس نتایج حاصل از آزمون من- کندال برای ایستگاه سینوپتیک سقز، مشاهده می شود که ماه های فوریه، می و دسامبر روند کاهشی و سایر ماه ها روند افزایشی غیر معنی دار دارند. در این بین ماه های ژانویه و آوریل روند نزولی معنی دار داشته و با توجه به شیب ارائه شده در جدول 3، به ترتیب کاهشی معادل با $22/85 \text{ mm}$ (50years)⁻¹ و $43/30$ میلی متر در 50 سال گذشته داشته اند. در مقیاس فصلی نیز روند بارش در فصل زمستان، نزولی معنی دار بوده و در دوره آماری مورد مطالعه نرخ کاهشی برابر با $1/791$ میلی متر را تجربه کرده است. وجود روند کاهشی در سری های ماهانه و فصلی سبب شده تا در مقیاس سالانه نیز روند کاهشی معنی دار شکل گرفته و در هر سال به مقدار $2/10 \text{ mm}$ از بارندگی های سالانه ایستگاه سینوپتیک سقز کاسته شده است.

ایستگاه سینوپتیک سنندج: نتایج آزمون من- کندال برای ایستگاه سینوپتیک سنندج در جدول 3 ارائه شده است. با توجه به این جدول مشاهده می شود که بارش در ماه های فوریه، مارس، آوریل، می، اوت، سپتامبر و دسامبر روند کاهشی و در ماه های ژوئن، ژوئیه، اکتبر و نوامبر روند افزایشی دارد. همچنین ماه ژانویه روند کاهشی معنی دار داشته و با توجه به شیب محاسبه شده به مقدار $40/00 \text{ mm}$ (50years)⁻¹ از بارندگی این ماه کاسته شده است. در مقیاس فصلی نیز روند نزولی معنی دار در فصل های زمستان و بهار اتفاق افتاده و بر اساس مقدار شیب ارائه شده در جدول 3، در دوره آماری مورد مطالعه به ترتیب در هر سال کاهشی برابر با $1/06$ و $1/48$ میلی متر را داشته اند. سری سالانه بارش ایستگاه سینوپتیک سنندج نیز روند نزولی معنی دار داشته و نرخ رشد سالانه برای این ایستگاه معادل $2/60 \text{ (mm years}^{-1}\text{)}$ - به دست آمد.

فصل بهار، نزولی معنی‌دار بوده و در دوره آماری مورد مطالعه نرخ کاهش‌ی برابر با 1/89 mm داشته است. سری سالانه ایستگاه سینوپتیک کرمانشاه نیز روند کاهش‌ی معنی‌دار را تجربه کرده است.

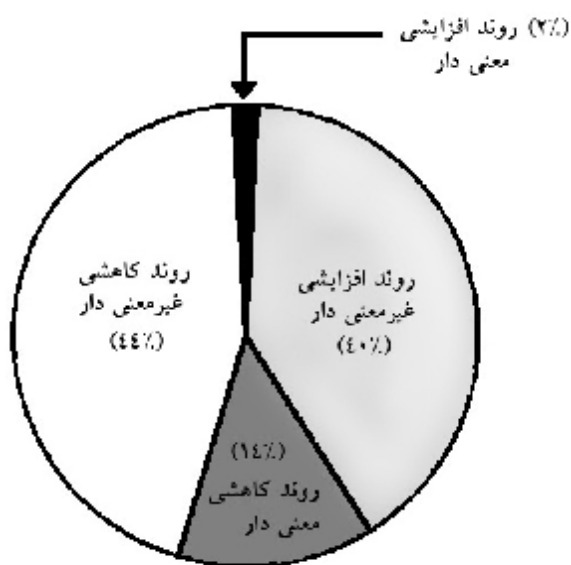
جدول 2- نتایج آزمون من- کندال اصلاح شده (MMK) برای ایستگاه‌های اراک، ارومیه، بابلسر، تبریز، تربت‌حیدریه، تهران و خوی در دوره آماری 1961-2010.

ردیف	مقیاس زمانی	اراک		ارومیه		بابلسر		تبریز		تربت‌حیدریه		تهران		خوی	
		Z	شیب	Z	شیب	Z	شیب	Z	شیب	Z	شیب	Z	شیب	Z	شیب
1	ژانویه	1/40	/336	/25**	/377	/216	61***	/366	/38	/132	/29	084	83***	/331	-0
		-	-	-2	-0	0/45	0	-2/	-0	-0	-0	0/	0/	-2/	-0
2	فوریه	/97**	/500	1/01	/203	0/14	/071	/371	/36	/088	/61	150	1/48	/147	-0
		-1	-0	-	-0	-	-0	-2/	-0	-0	-0	0/	0/	-	-0
3	مارس	0/65	/175	0/15	/031	1/46	/461	/18**	/429	/20	/420	277	0/35	/081	-0
		0	0	0	0	-	-0	-2	-0	1	-0	1	0/	-	-0
4	آوریل	0/71	/279	1/23	/538	0/55	/130	1/68*	/454	/74*	/409	240	0/32	/066	-0
		-	-0	-	-0	-	-0	-	-0	-1	-0	1	0/	-	-0
5	می	0/68	/164	0/11	/029	0/10	/004	0/50	/150	/18	/023	020	1/40	/520	-0
		-	-0	-	-0	0/10	0	-	-0	0	0	-0	0/	-	-0
6	ژوئن	0/72	/000	1/43	/143	1/38	/152	1/43	/130	/60	/000	000	0/59	/110	-0
		0	0	-	-0	-	-0	-	-0	-	0	0	0/	-	-0
7	ژوئیه	0/45	/000	0/06	/000	0/80	/075	1/29	/009	/74	/000	000	0/53	/020	0
		0	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0/	0	0
8	اوت	0/57	/000	0/37	/000	0/75	/230	0/30	/000	/55	/000	000	0/24	/000	0
		0	0	0	0	-	-0	-	-0	0	0	0	0/	-	0
9	سپتامبر	0/09	/000	0/94	/000	1/27	/815	0/66	/000	/27	/000	000	0/46	/000	0
		0	0	-	0	0	0	-	0	0	0	0	0/	-0	0
10	اکتبر	1/04	/030	0/95	/155	0/24	/154	1/38	/278	/22	/000	000	1/17	/175	-0
		0	0	-	-0	-	-0	-	-0	-0	0	0	0/	-	-0
11	نوامبر	0/37	/048	0/49	/125	2/36	/936	0/57	/092	/82	/033	237	0/10	/052	0
		0	0	0	0	1	1	-	-0	-0	0	0	0/	0	0
12	دسامبر	0/85	/310	1/40	/220	0/11	/016	0/68	/071	/58	/128	100	1/44	/192	-0
		-	-0	-	-0	-	-0	-	-0	-0	-0	0	0/	-	-0
13	ژانویه	49***	/245	94***	/983	0/41	/328	32***	/905	/44	/215	017	73***	/817	-0
		-2/	-1	-2/	-0	0	0	-3/	-0	-0	-0	0	0/	-2/	-0
14	فوریه	1/13	/795	0/82	/595	0/90	/464	15**	/062	/10	/050	450	1/41	/904	-0
		-	-0	-	-0	-	-0	-2	-0	-1	0	0	0/	-	-0
15	مارس	0/69	/050	0/61	/087	0/95	/411	0/58	/124	/07	/000	000	0/11	/014	-0
		0	0	-	-0	-	-0	-	-0	-0	0	0	0/	-	-0
16	آوریل	0/28	/120	0/75	/322	29**	/020	47***	/657	/50	/040	252	0/16	/046	-0
		-	-0	-	-0	-	-0	-	-0	-0	-0	0	0/	-	-0

6	0	-	0	2/	3	-2/	-0	0	0	1	0/	-	-0				
17	سا لانه	سا نه	سالا	04**/	066/	1/52	581/	1/55	682/	83***	853/	05/	054/	19/	907	11**/	040/

* روندهای معنی‌دار در سطوح 10، 5 و 1 درصد به ترتیب با یک، دو و سه ستاره به صورت پررنگ مشخص شده‌اند.
* واحد شیب (mm year^{-1}) است.

سالانه) 44 درصد روند کاهشی غیر معنی‌دار، 40 درصد روند افزایشی غیر معنی‌دار، 14 درصد روند کاهشی معنی‌دار و فقط 2 درصد روند افزایشی معنی‌دار را نشان دادند که با مجموع 58 درصد، روند غالب بارندگی‌های شمال کشور کاهشی به دست می‌آید. در مقیاس سالانه نیز 44 درصد از ایستگاه‌های مورد مطالعه روند کاهشی معنی‌دار داشته و ایستگاه گرگان بیشترین کاهش را در این مقیاس زمانی تجربه کرده است.



شکل 2- نمودار درصد تغییرات نوع روند در نیمه شمالی کشور (دوره آماری 1961-2010).

دلیل وجود روند کاهشی در بارش‌های منطقه

مورد مطالعه را می‌توان به صورت زیر توضیح داد:

برای نزول بارش نه تنها وجود بخار آب و

رطوبت در هوا لازم است، بلکه سازوکاری برای سرد

شدن هوا تا رسیدن به فشار بخار اشباع نیز ضروری

ایستگاه سینوپتیک گرگان: در جدول 4 آماره Z
آزمون من- کندال اصلاح شده (MMK) برای ایستگاه
سینوپتیک گرگان ارائه شده است. با توجه به این جدول
مشاهده می‌شود که بارش ایستگاه مورد مطالعه در
تمامی ماه‌ها (به جز نوامبر) روند کاهشی (افزایشی) غیر
معنی‌دار دارد. همچنین مارس، ژوئیه و اکتبر نیز روند
نزولی معنی‌دار را تجربه کرده و بیشترین مقدار کاهش
در بارندگی مربوط به ماه اکتبر و معادل با $49/55(\text{mm})$
در نیم قرن اخیر هست. روند بارش در فصل بهار نیز
کاهشی معنی‌دار بوده و نرخ تغییرات ایستگاه سینوپتیک
گرگان در این فصل برابر با $-0/935$ میلی‌متر در سال
محاسبه شد. همچنین در مقیاس سالانه، روند بارش
نزولی معنی‌دار بوده و در نیم قرن اخیر مقدار کاهش
بارندگی در هر سال معادل $4/19$ میلی‌متر به دست آمد.
ایستگاه سینوپتیک مشهد: بر اساس نتایج حاصل
از آزمون من- کندال برای ایستگاه سینوپتیک مشهد
(جدول 4)، مشاهده می‌شود که بارش در ماه‌های آوریل
و اکتبر روند نزولی معنی‌دار داشته و با توجه به شیب
محاسبه شده، به ترتیب کاهشی معادل با $19/75$ و $5/25$
میلی‌متر در پنجاه سال گذشته را تجربه کرده‌اند. در
سایر ماه‌ها نیز روند خاصی وجود ندارد. همچنین
فصل‌های زمستان، تابستان و پاییز (بهار) روند
افزایشی (کاهشی) غیر معنی‌دار دارند. سری سالانه
بارش نیز بدون روند هست.

با توجه به نتایج حاصل از این مطالعه می‌توان

روند کاهشی بارش را در پهنه شمالی کشور غالب

دانسته و شکل 2، این نتیجه‌گیری را تأیید می‌کند. در کل

از بین 306 سری مورد بررسی در دوره آماری 50

ساله (216 سری ماهانه، 72 سری فصلی و 18 سری

جدول 3- نتایج آزمون من- کندال اصلاح شده برای ایستگاههای رامسر، رشت، زنجان، سبزوار، سقز، سنندج و شاهرود در دوره آماری 1961-2010.

ردیف	مقیاس زمانی	رامسر		رشت		زنجان		سبزوار		سقز		سنندج		شاهرود	
		شیب	Z	شیب	Z	شیب	Z	شیب	Z	شیب	Z	شیب	Z	شیب	Z
1	ژانویه	/64	/364	/92	/615	66***	/372	/42	/126	/457	1/70*	64***	/800	/46	/054
		-0	-0	-0	-0	-2/	-0	0	0	0	-0	-	-2/	-0	-0
2	فوریه	/06	/018	/41	/256	0/61	/075	/58	/142	/148	0/43	1/38	/396	/33	/029
		-0	-0	-0	-0	-	-0	0	0	0	-0	-	-0	-0	0
3	مارس	/18	/016	/63	/354	0/93	/251	/14	/268	/066	0/15	1/54	/536	/23	/060
		0	-0	-0	-0	-	-0	1	-0	0	0	0	-	-0	0
4	آوریل	/23	/104	/03	/109	0/81	/164	/22	/020	/866	96***	1/02	/470	/24	/033
		0	0	-0	0	-	-0	-1	-0	-0	-2/	-0	-	-0	-0
5	می	/46	/129	/62	/210	0/55	/162	/51	/045	/387	1/23	1/49	/417	/80*	/222
		-0	-0	-0	-0	-	-0	-0	-0	-0	-	-0	-	-0	-1
6	ژوئن	/71	/366	/34	/133	0/93	/023	/89	/000	/000	0/31	0/22	/000	/19	/038
		-0	-0	-0	-0	-	0	0	0	0	0	0	0	1	0
7	ژوئیه	/87	/202	/06	/016	1/39	/020	/50	/000	/000	0/49	0/90	/000	/10	/000
		0	0	0	-0	-	0	-0	0	0	0	0	0	0	0
8	اوت	/27	/490	/63	/336	0/18	/000	/50	/000	/000	0/96	0/89	/000	/81	/000
		-1	-0	-0	-0	-	0	0	0	0	0	-	0	0	0
9	سپتامبر	/10	/084	/13	/150	0/53	/000	/51	/000	/000	0/38	0/27	/000	/52	/004
		0	0	-0	-0	-	0	0	0	0	0	0	-	0	1
10	اکتبر	/38	/713	/73	/632	0/06	/000	/21	/000	/052	0/54	0/06	/000	/89	/045
		-0	-0	-0	-0	-	0	-0	0	0	0	0	0	0	-0
11	نوامبر	/10	/100	/40	/118	0/05	/009	/05	/081	/156	0/39	0/01	/007	/62	/023
		0	0	1	-1	-	-0	1	-0	0	0	0	0	0	0
12	دسامبر	/43	/311	/01	/011	0/25	/053	/03	/000	/320	1/14	0/61	/216	/22	/150
		-0	-0	-0	-0	-	-0	0	-0	0	-	-0	-	-0	1
13	ژانویه	/88	/992	/20	/435	1/84*	/508	/80	/450	/747	1/38	1/66*	/060	/89	/204
		-0	-0	-0	-0	-	-0	0	0	0	-0	-	-0	-1	0
14	فوریه	/04	/041	/59	/457	1/68*	/011	/08	/016	/791	44***	1/29**	/484	/76	/322
		-0	-0	-0	-0	-	-0	-1	-0	0	-1	-2/	-2	-1	-0
15	مارس	/10	/880	/12	/676	1/30	/181	/80	/000	/080	0/89	0/09	/000	/92	/064
		-1	-0	-1	-0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	آوریل	/49	/931	/16	/210	0/41	/133	/37	/047	/221	0/40	0/10	/007	/15	/025
		-0	-0	-0	-0	-	-0	0	0	0	0	0	-	-0	-0
17	مهر	/03	/044	/43	/316	1/79*	/416	/75	/458	/100	1/75*	1/69*	/600	/08	/058
		-1	-3	-0	-1	-	-0	0	0	0	2	-	-	-2	-0

* روندهای معنی‌دار در سطوح 10، 5 و 1 درصد به ترتیب با یک، دو و سه ستاره به صورت پررنگ مشخص شده‌اند.

* واحد شیب (mm year⁻¹) است.

به اندازه کافی برای فراهم شدن شرایط بارش، سرد نشود. به عبارت دیگر، وجود روند افزایشی دما باعث ذخیره بیشتر رطوبت در جو شده و مانع گرد هم آمدن شرایط مورد نیاز برای بارش می‌گردد. میرعباسی و دین‌پژوه (1391) و خلیلی و همکاران (2015) نیز به یافته‌های مشابهی با مطالعه حاضر دست‌یافته و کاهش بارندگی در شمال غرب کشور را با تغییرات دمایی منطقه مرتبط دانستند.

است (میرعباسی و دین‌پژوه 1391). از طرفی احمدی و همکاران (1394)، طبری و حسین‌زاده (2011)، صبوچی و همکاران (2012)، کوثری و همکاران (2013) و زارع نیستانک و همکاران (2014) نشان دادند که روند افزایشی دما در پهنه کشور ایران به‌ویژه در ماه‌های سرد سال وجود دارد و از این رو می‌توان تغییرات دمایی را به‌عنوان یکی از دلایل کاهش بارندگی در منطقه مورد مطالعه دانست، زیرا افزایش درجه حرارت در منطقه مورد مطالعه ظرفیت جو برای پذیرش و نگهداری رطوبت را افزایش داده و موجب شده است تا هوا

جدول 4- نتایج آزمون MMK برای ایستگاه‌های قزوین، کرمانشاه، گرگان و مشهد در دوره آماری 1961-2010.

ردیف	مقیاس زمانی	طبرس		قزوین		کرمانشاه		گرگان		مشهد	
		Z	شیب	Z	شیب	Z	شیب	Z	شیب	Z	شیب
1	ژانویه	1/48	0/144	-0/88	-0/126	-1/57	-0/050	-0/77	-0/240	0/98	0/189
2	فوریه	0/13	0/016	0/49	0/125	0/06	0/013	-0/35	-0/125	-0/01	-0/014
3	مارس	0/58	0/072	0/70	0/175	-0/72	-0/257	-2/03**	-0/884	0/79	0/110
4	آوریل	-1/21	-0/107	1/13	0/386	-1/64*	-0/756	-1/49	-0/377	-1/68*	-0/395
5	می	-0/10	0/000	-0/91	-0/191	-2/25**	-0/420	-1/22	-0/341	0/13	0/023
6	ژوئن	0/15	0/000	-0/62	-0/030	0/83	0/000	-1/43	-0/262	0/56	0/000
7	ژوئیه	-0/89	0/000	0/85	0/006	0/70	0/000	-2/15**	-0/293	0/59	0/000
8	اوت	0/00	0/000	-0/89	0/000	-0/47	0/000	-1/54	-0/289	0/38	0/000
9	سپتامبر	0/00	0/000	0/10	0/000	0/35	0/000	-0/15	-0/048	1/01	0/000
10	اکتبر	0/00	0/000	0/64	0/050	0/29	0/009	-2/58***	-0/991	-1/67*	-0/105
11	نوامبر	0/00	0/000	1/12	0/250	0/32	0/088	0/05	0/020	0/64	0/069
12	دسامبر	0/99	0/106	-0/23	-0/085	-1/25	-0/435	-1/48	-0/382	0/07	0/026
13	زمستان	1/40	0/342	-0/51	-0/230	-1/45	-0/935	-1/38	-0/371	0/67	0/241
14	بهار	-0/56	-0/110	0/26	0/137	-2/07**	-1/886	-0/32	-0/646	-0/18	-0/126
15	تابستان	-0/16	0/000	-0/79	-0/047	0/46	0/000	-2/17**	-0/935	0/74	0/011
16	پاییز	-0/97	-0/009	1/07	0/321	0/02	0/009	-1/37	-0/831	0/10	0/000
17	سالانه	0/28	0/044	0/74	0/555	-2/47***	-3/030	-2/36***	-4/192	-0/05	-0/100

* روندهای معنی‌دار در سطوح 10، 5 و 1 درصد به ترتیب با یک، دو و سه ستاره به صورت پررنگ مشخص شده‌اند.
* واحد شیب (mm year^{-1}) است.

نتایج آزمون پتیت

دوره آماری 1961-2010 از آزمون ناپارامتری پتیت استفاده شد. نتایج حاصل در جداول 5 و 6 ارائه شده است. بر اساس جدول 5 و در مقیاس ماهانه، تغییر روند از اکتبر سال 1972 و در ایستگاه گرگان آغاز و تا

همان‌گونه که قبلاً ذکر گردید، در این مطالعه به‌منظور تعیین زمان تغییر روند بارش نیمه شمالی کشور در سه مقیاس زمانی ماهانه، فصلی و سالانه در

دهد، می‌توان چنین استنباط کرد که وجود نقطه جهش کاهشی در روند بارش‌های این دو فصل می‌تواند به میزان قابل‌توجهی در کاهش ذخایر آب‌های سطحی و زیرزمینی تأثیرگذار باشد. نکته قابل‌توجه در بارش‌های پاییزه ایستگاه بابلسر آن است که در این ایستگاه از سال 1992 یک جهش افزایشی (برخلاف تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه) رخ داده و بارش‌های پاییزه از 366/63 میلی‌متر به 441/02 میلی‌متر رسیده است. مقیاس سالانه نیز از دو فصل بهار و زمستان تأثیر پذیرفته و هفت ایستگاه از 18 ایستگاه مورد مطالعه وجود نقطه جهش کاهشی را در دوره آماری مورد مطالعه تجربه کرده‌اند. با توجه به مقیاس سالانه مشاهده می‌شود که زمان جهش در بارش‌های نیمه شمالی کشور از سال 1982 آغاز و تا سال 1994 ادامه داشته است.

اکتبر 2000 (ایستگاه سینوپتیک مشهد) ادامه داشته است. در تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه نوع تغییر روند معنی‌دار در مقیاس ماهانه، کاهشی بوده است. در این بین، ایستگاه سینوپتیک تبریز بیشترین فراوانی را از نظر وقوع زمان جهش به خود اختصاص داده است. در این ایستگاه زمان جهش بارش از مارس 1977 آغاز و تا فوریه 1988 ادامه داشته است.

در جدول 6 نتایج آزمون پتیت برای سری‌های فصلی و سالانه بارش منطقه مورد مطالعه ارائه شده است. با توجه به این جدول مشاهده می‌شود که در فصل زمستان شش ایستگاه (از 18 ایستگاه مورد مطالعه) دارای نقطه جهش معنی‌دار در سطح 10% هست. در فصل بهار نیز وضعیت مشابه با فصل زمستان بوده و پنج ایستگاه نقطه جهش معنی‌دار در روند بارش را تجربه کرده‌اند. با توجه به اینکه بیشتر بارش‌های کشور در دو فصل بهار و زمستان رخ می‌-

جدول 5- نتایج آزمون تست پتیت برای سری‌های ماهانه بارش نیمه شمالی کشور.

مقیاس زمانی	ایستگاه	K	P	زمان تغییر روند	میانگین قبل از پرش	میانگین بعد از پرش
ژانویه	ارومیه	246	0/06	1982	36/83	23/80
	تبریز	311	0/00	1985	27/92	18/05
	خوی	383	0/00	1986	28/12	12/90
	زنجان	272	0/03	1983	37/17	24/97
	سنندج	309	0/00	1983	80/55	47/06
فوریه	اراک	278	0/02	1996	49/62	25/40
	تبریز	279	0/02	1988	26/75	16/23
مارس	تبریز	254	0/05	1977	56/58	31/20
	گرگان	319	0/00	1973	99/59	65/73
آوریل	تبریز	220	0/12	1981	-----	-----
	تربت ح	176	0/32	1969	-----	-----
	سقز	264	0/04	1996	87/91	59/51
	کرمانشاه	320	0/00	1976	97/89	48/78
	مشهد	202	0/18	1993	-----	-----
می	شاهرود	298	0/01	1993	25/48	10/21
	کرمانشاه	251	0/05	1986	41/03	20/07
ژوئیه	گرگان	188	0/26	1970	-----	-----
	گرگان	253	0/04	1972	100/42	52/10
اکتبر	مشهد	209	0/15	2000	-----	-----

جدول 6- نتایج آزمون تست پتیت برای سری‌های فصلی و سالانه بارش نیمه شمالی کشور.

مقیاس زمانی	ایستگاه	K	P	زمان تغییر روند	میانگین قبل از پرش	میانگین بعد از پرش
زمستان	اراک	326	0/00	1984	164/92	112/76
	ارومیه	275	0/02	1996	98/27	68/28
	تبریز	324	0/00	1988	80/97	53/11
	خوی	367	0/00	1988	69/31	43/84
	زنجان	224	0/11	1982	-----	-----
بهار	سنندج	322	0/00	1992	199/42	143/20
	تبریز	342	0/00	1982	160/31	112/44
	زنجان	258	0/04	1984	162/12	124/98
	سقز	268	0/03	1998	227/48	144/46
	سنندج	260	0/03	1986	254/91	211/24
پاییز ^o	کرمانشاه	293	0/01	1976	240/46	149/40
	بابلسر	242	0/06	1992	361/63	441/02
تابستان	تبریز	202	0/19	1989	-----	-----
	گرگان	275	0/03	1984	88/76	58/95
	تبریز	396	0/00	1982	340/26	244/17
	خوی	388	0/00	1982	344/46	257/96
	زنجان	232	0/08	1987	332/73	281/20
سالانه	سقز	284	0/01	1994	525/20	407/01
	سنندج	364	0/00	1988	505/62	391/14
	کرمانشاه	304	0/01	1994	491/96	375/78
	گرگان	388	0/00	1982	653/21	517/94

نتیجه‌گیری کلی

افزایشی غیر معنی‌دار را تجربه کرده‌اند. همچنین در سری سالانه بارش هیچ ایستگاهی، روند افزایشی معنی‌دار مشاهده نشد. بررسی روند بارش سری ماهانه منطقه مورد مطالعه نشان داد که تعداد ماه‌ها با روند کاهشی بیشتر از تعداد ماه‌ها با روند افزایشی است. مقیاس فصلی نیز رفتاری مشابه با مقیاس ماهانه داشته و بیشترین تغییرات در ماه‌ها و فصل‌های سرد سال (زمانی که اکثر بارش‌ها دریافت می‌گردد) رخ داده است. بیشترین تعداد ایستگاه با روند کاهشی معنی‌دار بارش، در ماه ژانویه مشاهده شده و بعد از آن به ترتیب ماه‌های آوریل، فوریه، مارس، می، اکتبر، ژوئیه و اوت دارای بیشترین تعداد ایستگاه با روند کاهشی هستند. به دلیل وجود روند کاهشی در ماه‌های سرد و بارانی، فصل-

در این مطالعه روند تغییرات درازمدت پنجاه‌ساله بارش نیمه شمالی کشور در دوره آماری 2010-1961 در مقیاس‌های زمانی ماهانه، فصلی و سالانه با استفاده از آزمون ناپارامتری من-کندال بررسی شد و بیشترین و کمترین مقدار تغییرات بارش با استفاده از روش تخمین‌گر شیب سن به دست آمد. همچنین به منظور بررسی و تعیین زمان تغییر روند از آزمون پتیت استفاده شد. نتایج حاصل به‌طور کلی وجود روند کاهشی در بارش را تأیید کردند.

در نیمه شمالی ایران در مقیاس سالانه از 18 ایستگاه مورد مطالعه هشت ایستگاه روند کاهشی معنی-دار در بارش را نشان دادند. در این بین شش ایستگاه روند کاهشی غیر معنی‌دار و چهار ایستگاه روند

مورد مطالعه محسوس‌تر بوده که این امر در طرح‌های آبی مورد بررسی جهت احیای دریاچه ارومیه نیاز به توجه ویژه دارد.

نتایج به دست آمده در مورد وجود روند کاهشی در بارش‌های نیمه شمالی کشور با یافته‌های پارتال و کایا (2006)، مدرس و سیلوا (2007) و میرعباسی و دین‌پژوه (1391) همخوانی دارد. قهرمان و تقواییان (2008) نیز در دوره آماری 40 ساله شیب خط روند بارش‌های سالانه ایستگاه‌های زاهدان، تبریز، خوی، زنجان، شهرکرد، ارومیه، اراک، کرمان، گرگان، رامسر و بندر انزلی را منفی گزارش کرده‌اند که با نتایج مطالعه حاضر مطابقت می‌کند. فتحیان و مرید (1391) نیز وجود روند کاهشی بارش و افزایشی دما را در حوضه آبریز دریاچه ارومیه نشان دادند که کاملاً در منطقه مورد مطالعه قرار گرفته و با نتایج موجود هماهنگی دارد.

های زمستان و بهار بیشترین تعداد ایستگاه با روند کاهشی را به خود اختصاص داده‌اند.

نتایج حاصل از آزمون پتیت تأییدکننده وجود نقطه جهش کاهشی در بارش‌های ماهانه، فصلی (به جز فصل پاییز در ایستگاه بابلسر) و سالانه هست. با توجه به نتایج مطالعه حاضر مشاهده می‌شود که بیشترین فراوانی وقوع در تغییر معنی‌دار روند بارش‌های نیمه شمالی کشور از دهه 80 میلادی آغاز و تا انتهای دهه 90 ادامه داشته است. با کمی دقت در نتایج حاصل از مطالعه حاضر می‌توان دریافت که روند بارش در منطقه شمال غرب کشور (شامل استان‌های آذربایجان غربی و شرقی، کردستان، زنجان و مرکزی) نسبت به مناطق مرکزی و شرقی (شامل استان‌های قزوین، تهران، گیلان، مازندران، گرگان، سمنان و خراسان) کاهشی‌تر هست. بنابراین، چنین استنباط می‌شود که روند کاهشی بارش در منطقه شمال غرب کشور نسبت به سایر مناطق

منابع مورد استفاده

- احمدی ف، رادمنش ف، و میرعباسی نجف آبادی ر، 1394. تحلیل روند متوسط درجه حرارت نیمه جنوبی ایران در چهار دهه اخیر. نشریه دانش آب و خاک، جلد 25، شماره 3، صفحه‌های 211 تا 225.
- اسمعیل‌پور م و دین‌پژوه ی، 1391. تحلیل بلندمدت تبخیر پتانسیل در حوضه جنوبی ارس. مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، جلد 47، شماره 3، صفحه‌های 193 تا 210.
- خلیلی ک، احمدی ف، بهمنش ج و وردی‌نژاد و، 1391. بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر روی دمای هوا و جریان رودخانه شهرچای واقع در غرب دریاچه ارومیه با استفاده تحلیل روند و ایستایی. علوم و مهندسی آبیاری، جلد 35، شماره 4، صفحه‌های 97 تا 108.
- صبوحی ر و سلطانی س، 1387. تحلیل روند عوامل اقلیمی در شهرهای بزرگ ایران. نشریه علوم آب و خاک، جلد 12، شماره 46، صفحه‌های 303 تا 321.
- فتحیان ف، و مرید س، 1391. بررسی روند متغیرهای هواشناسی و هیدرولوژیکی حوضه دریاچه ارومیه با استفاده از روش‌های غیرپارامتری. مجله تحقیقات آب و خاک ایران، جلد 43، شماره 3، صفحه‌های 259 تا 269.
- میرعباسی ر و دین‌پژوه ی، 1391. تحلیل بارش‌های شمال غرب ایران در نیم قرن گذشته. مجله علوم و مهندسی آبیاری، جلد 35، شماره 4، صفحه‌های 59 تا 73.
- 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, Jhahjaria D, Zare Abianeh 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.
- Ghahraman B and Taghvaeian S, 2008. Investigation of annual rainfall trends in Iran. *Journal of Agricultural Science and Technology* 10: 93-97.

- Hamed KH and Rao AR, 1998. A modified Mann-Kendall trend test for autocorrelated data. *Journal of Hydrology* 204: 182–196.
- Hirsch RM, Slack JR and Smith RA, 1984. 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 MG, 1975. *Rank Correlation Measures*, Charles Griffin, London.
- Khalili K, Tahoudi MN, Mirabbasi R and Ahmadi F, 2015. Investigation of spatial and temporal variability of precipitation in Iran over the last half century. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment* DOI 10.1007/s00477-015-1095-4.
- 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.
- Kumar S, Merwade V, Kam J and Thurner K, 2009. Streamflow trends in Indiana: Effects of long term persistence, precipitation and subsurface drains. *Journal of Hydrology* 374: 171-183.
- Mann HB, 1945. Non-parametric tests against trend, *Econometrica* 13, MathSci Net, pp. 245-259 .
- Modarres R and Da Silva VPR, 2007. Rainfall trends in arid and semi-arid regions of Iran. *Journal of Arid Environments* 70: 344-355.
- Pal Al-Tabbaa A, 2009. Trends in seasonal precipitation extremes-an indicator of climate change in Kerala, India. *Journal of Hydrology* 367: 62–69.
- Partal T and Kahya E, 2006. Trend analysis in Turkish precipitation data. *Hydrological Processes* 20(9): 2011-2026.
- Pettitt AN, 1979. A non-parametric approach to the change-point problem. *Applied statistics* 28(2):126-135.
- Saboohi R, Soltani S, Khodaghali M, 2012. Trend analysis of temperature parameters in Iran. *Theoretical and Applied Climatology* 109(3-4):529–547.
- Sen PK, 1968. Estimates of the regression coefficients based on Kendall's tau. *Journal of the American Statistical Association* 63: 1379–1389.
- Tabari H and Hosseinzadeh-Talaei P, 2011. Analysis trends in temperature data in arid and semi-arid regions of Iran. *Atmospheric Research* 79:1-10.
- Yang XL, Xu LR, Li Ch, Hu J and Xia XH, 2012. Trends in temperature and precipitation in the Zhangweinan River basin during last 53 years. *Procedia Environmental Sciences* 13: 1966-1774.
- Zarenistanak M, Dhorde AG, and Kripalani RH, 2014. Temperature analysis over southwest Iran: trends and projections. *Theoretical and Applied Climatology* 116(1-2): 103-117.