نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره 6، جلد 10، بهمن - اسفند 1395، ص. 809-797

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 6, Vol. 10, Jan.-Feb. 2017, p. 797-809

بررسی روند تغییرات بارش و دمای شمال‌غرب کشور در نیم قرن اخیر

علیرضا امیررضائیه[1*]، جهانگیر پرهمت[2] و فرشاد احمدی[3]

تاریخ دریافت: 1394/10/6 تاریخ پذیرش: 1395/7/28

چکیده

دما و بارش، عناصر اساسی تشکیل دهنده اقلیم به شمار رفته و تغییرات آن‌ها می‌تواند ساختار آب‌وهوایی منطقه‌ای را دگرگون سازد، بنابراین بررسی روند دما و بارش در مقیاس‌های مختلف زمانی و مکانی بخش بزرگی از تحقیقات اقلیم‌شناسی و مهندسی منابع آب را به خود اختصاص داده است. در این مطالعه روند متوسط دما و بارش شمال‌غرب کشور (10 ایستگاه سینوپتیک) در سه مقیاس زمانی ماهانه، فصلی و سالانه در دوره آماری 2010-1961 با حذف اثر کلیه ضرایب خودهمبستگی معنی‌دار توسط روش ناپارامتری من-کندال (MK) مورد آزمون قرار گرفت. به منظور تعیین نرخ تغییرات دما و بارش در نیم قرن گذشته، از روش تخمین‌گر شیب سن استفاده شد. نتایج نشان داد که دما در مقیاس ماهانه در اکثر ماه‌ها دارای روند افزایشی است. در این بین ماه‌های اردیبهشت و مهر بیش‌ترین تعداد ایستگاه، با روند افزایشی معنی‌دار دما را به خود اختصاص داده اند. سری‌های ماهانه بارش نیز با روند کاهشی مواجه بوده‌اند. در مقیاس فصلی، فصل‌های تابستان، زمستان و پاییز به ترتیب بیش‌ترین افزایش دما را تجربه کرده و فصل‌های بهار و زمستان نیز بیش‌ترین نرخ کاهش بارندگی را نشان می‌دهند. همچنین نتایج نشان داد که در مقیاس سالانه 60 درصد ایستگاه‌ها روند افزایشی معنی‌دار در دما را تجربه کرده و این امر با تاثیر مستقیم بر بارش منطقه همراه بوده و باعث به وجود آمدن روند کاهشی بارش، در 70 درصد از ایستگاه‌ها شده است. به طور کلی در پنجاه سال گذشته در منطقه شمال‌غرب ایران دما به مقدار (°C)1/20+ و بارش (mm)88/9- تغییر داشته است.

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

مقدمه

مطالعه تغییر مقادیر عوامل جوی به واسطه اهمیت آن بر ساختارآب‌وهوای کره زمین همواره مورد توجه پژوهشگران و متخصصان بوده است. بررسی وقایع اقلیمی و همچنین شناخت ویژگی‌های آن در مطالعات هیدرولوژیکی مانند مدیریت کمی و کیفی آب و ارزیابی تاثیر تغییرات اقلیمی بر اکوسیستم‌های گیاهی، جانوری از اهمیت بسزایی برخوردار است. افزایش دما طی 40 سال گذشته و کاهش پوشش برف و یخ از جمله شواهد تغییر اقلیم است. گرم شدن جهانی ممکن است باعث تغییرات مهمی در فرآیندهای مختلف هیدرواقلیمی شده و میانگین و واریانس مقادیر متغیرهای اقلیمی مانند رطوبت نسبی، بارش، تشعشع خورشیدی و غیره را بطور معنی‌داری تغییر دهد. دما و بارش از چند جهت در چرخه هیدرولوژی دارای اهمیت هستند: نخست اینکه دمای هوا از معدود عناصر اقلیمی است که استمرار زمانی دارد و در همه مکان‌های جغرافیایی می‌توان به صورت پیوسته آن را اندازه گیری نمود. دوم اینکه این دو متغیر اقلیمی با سایر عناصر آب‌وهوایی مانند تشعشع خورشیدی، رطوبت موجود در جو، وزش باد، تبخیر و تعرق در ارتباط مستقیم یا غیرمستقیم می‌باشند و فرآیندهای آب‌وهوایی را کنترل می‌کنند (علیجانی و همکارن، 1390). از این رو اطلاع از روند تغییرات دما و بارش برای برنامه‌ریزی دقیق آبیاری محصولات زراعی و باغی و مدیریت منابع آب در هر منطقه یک پیش‌شرط ضروری است. تاکنون مطالعات متعددی در رابطه با بررسی روند دما و بارش در نقاط مختلف جهان انجام شده که می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

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 کاهشی بارش را در 23 درصد از ایستگاه‌ها گزارش نمودند (Saboohi and Soltani., 2008).

کوثری و اسدی به بررسی روند تغییرات دمای حداقل و حداکثر و

1 - دانشجوی دکتری مهندسی منابع آب، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران
2 - دانشیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران
3 - دانشجوی دکتری مهندسی منابع آب، دانشگاه شهید چمران اهواز
(* - نویسنده مسئول: (Email: a.amirrezaeieh@gmail.com

Archive of SID
www.SID.ir

رطوبت نسبی در 13 ایستگاه سینوپتیک ایران در بازه زمانی 2005-1950 پرداختند و بیان کردند که دمای حداقل و حداکثر روند افزایشی و رطوبت نسبی روند کاهشی داشته است (Kousari and Asadi., 2010).

طبری و حسین زاده روند داده‌های ماهانه، فصلی و سالانه‌ی حداقل و حداکثر درجه حرارت را برای غرب کشور بررسی کردند که در اکثر این ایستگاه‌ها روند افزایشی مشاهده گردید (Tabari and Hosseinzadeh., 2011). ریو و همکاران با استفاده از داده‌های سالانه، فصلی و ماهانه 473 ایستگاه هواشناسی در دوره آماری 46 ساله، روند دما را با استفاده از آزمون من-کندال در کشور اسپانیا مورد مطالعه قرار دادند. نتایج این تحقیق نشان داد که بیش از 60 درصد ایستگاه‌های مورد مطالعه در فصل‌های بهار و تابستان دارای روند مثبت بوده و درجه حرارت سالانه در تمام ایستگاه‌ها حدود 0/1 الی 0/2 درجه سانتی‌گراد افزایش داشته است (Rio et al., 2011).

طبری و حسین زاده روند دمای بیشینه و کمینه سالانه، فصلی و ماهانه را در 19 ایستگاه سینوپتیک واقع در مناطق خشک و نیمه-خشک ایران در دوره آماری 30 ساله با استفاده از آزمون من-کندال مورد مطالعه قرار دادند. نتایج این تحقیق نشان داد که درجه حرارت بیشینه و کمینه سالانه به ترتیب 0/09 و 0/444 درجه سانتی‌گراد در هر دهه افزایش داشته است (Tabari and Hosseinzadeh., 2011). یانگ و همکاران روند دما و بارش میانگین ماهانه 53 ساله در حوضه رودخانه ژانگوینان و پنج ایستگاه هواشناسی اطراف آن را با استفاده از آزمون من-کندال مورد بررسی قرار دادند و روند کاهشی معنی‌دار در بارندگی سالانه و روند افزایشی دما را در فصل‌های تابستان و بهار گزارش نمودند (Yang et al., 2012). مارتینز و همکاران تغییرات روند متوسط دما در ایالت فلوریدای آمریکا را در دو دوره زمانی (2009-1895) و (2009-1970) با استفاده از آزمون من-کندال مورد بررسی قرار دادند. نتایج این پژوهش نشان داد که در هر دو دوره مورد مطالعه، دما روند صعودی را در این ایالت تجربه کرده است (Martinez et al., 2012). روند تغییرت سالانه دما و بارش را در طی پنجاه سال برای منطقه لوئس پلاتیو در کشور چین مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که در پنجاه سال گذشته میانگین سالانه درجه حرارت منطقه مورد مطالعه 1/19°C افزایش و میزان بارندگی ($29/11(mm/50year$ کاهش یافته است (Wang et al., 2012).

بوکولاری و ملموسی روند کمینه، بیشینه و متوسط درجه حرارت را در منطقه مودنا در ایتالیا بررسی کرده و نشان دادند که درجه حرارت کمینه و بیشینه روند معنی‌داری نداشته و به ترتیب در هر دهه 0/1 درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است (Boccolari and Malmusi., 2013). گوجیک و تراجکویچ روند تغییرات دمای فصلی و سالانه سیبری را با استفاده از آزمون من-کندال مورد مطالعه قرار دادند. نتایج به دست آمده بیانگر آن است که درجه حرارت فصلی و سالانه از روند صعودی معنی‌دار برخوردار است (Gocic and Trajkovic., 2013). تغییرات درجه حرارت بیشینه را در 32 ایستگاه سینوپتیک ایران در خلال سال‌های 2005-1960مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاکی از آن است که در ماه‌ها و فصل‌های گرم سال درجه حرارت بیشینه روند افزایشی معنی‌دار در کل کشور تجربه کرده است و به طور کلی در مقیاس سالانه تقریبا پنجاه درصد ایستگاه‌ها دارای روند افزایشی بودند (Kousari et al., 2013).

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 (Dinpashoh et al., 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 می-شود. در حالی‌که حقیقت این است که فرض صفر نباید رد شود (میرعباسی و دین‌پژوه، 1389). از طرفی بررسی منابع موجود هم نشان می‌دهد که تاکنون مطالعه جامعی برروی تغییرات روند دما و بارش شمال‌غرب کشور با در نظر گرفتن اثر ضرایب خودهمبستگی صورت نگرفته است. بنابراین با توجه به اهمیت موضوع، هدف این مطالعه بررسی روند متوسط درجه حرارت و بارش ماهانه، فصلی و سالانه شمال‌غرب کشور با در نظر گرفتن اثر ضرایب خودهمبستگی و تحلیل ارتباط بین این دو متغییر می‌باشد.

مواد و روش‌ها

داده‌ها و منطقه مورد مطالعه

در این مطالعه روند تغییرات متوسط دمای هوا و بارش در سه مقیاس ماهانه، فصلی و سالانه در شمال‌غرب کشور شامل استان‌های آذربایجان غربی و شرقی، تهران، زنجان، قزوین، کردستان، کرمانشاه و گیلان مورد بررسی قرار گرفت. در هر استان، ایستگاه‌های سینوپتیک موجود بررسی شده و ایستگاه‌هایی که طول دوره آماری آن‌ها حداقل پنجاه سال (2010-1961) بودند، برای انجام تحلیل روند انتخاب شده‌اند. داده‌های هر ایستگاه از نظر همگنی بررسی شده و از روش نسبت‌ها و تفاضل برای تکمیل داده‌های ایستگاه‌هایی که در برخی از سال‌ها خلا آماری داشتند، استفاده شد. مشخصات ایستگاه-های منتخب در جدول 1 آورده شده است. شکل 1 نیز موقعیت مکانی ایستگاه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

تحلیل روند

هدف از آزمون روند این است که وجود و یا عدم وجود سیر

Archive of SID

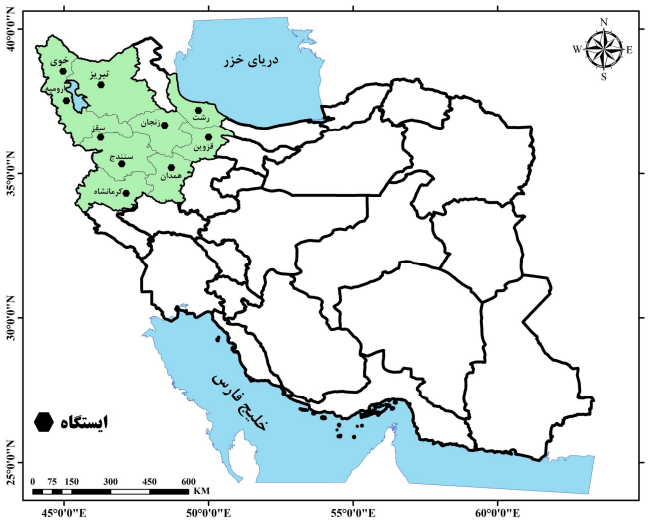
www.SID.ir

صعودی یا نزولی در سری داده‌ها مشخص گردد. به این دلیل که در روش‌های پارامتری فرضیاتی نظیر نرمال بودن، ایستایی و مستقل بودن متغیرها وجود دارد 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. از جمله دلایل اصلی کاربرد آزمون‌های ناپارامتری عبارتند از:

1) آزمون‌های ناپارامتری برای سری داده‌هایی که توزیع آماری آن‌ها نرمال نیست و یا دارای داده‌های بریده شده باشند، مناسب‌تر هستند. 2) از دیگر مزایای روش‌های ناپارامتری این است که از حساسیت کم‌تری نسبت به مقادیر حدی برخوردار هستند. 3) همچنین آزمون ناپارامتری را می‌توان برای سری‌های زمانی، بدون در نظر گرفتن خطی یا غیرخطی بودن روند به کار برد (خلیلی و همکاران، 1391). آزمون من-کندال (MK) یکی از پرکاربردترین روش‌های ناپارامتری برای تحلیل روند داده‌ها است (میرعباسی و دین‌پژوه، 1389). در این مطالعه برای بررسی روند متوسط درجه حرارت و بارش ماهانه، فصلی و سالانه ایستگاه‌های منتخب شمال‌غرب ایران از ویرایش سوم آزمون من-کندال استفاده گردید. شرط لازم برای استفاده از این آزمون عدم وجود ضریب خودهمبستگی معنی‌دار در سری‌زمانی داده‌هاست. این آزمون در ادامه شرح داده می‌شود.

جدول 1- مشخصات ایستگاه‌های منتخب

ردیف	ایستگاه	دوره آماری	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ردیف	ایستگاه	دوره آماری	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
1	ارومیه	1961-2010	45-05	37-32	6	سقز	1961-2010	46-16	36-15
2	تبریز	1961-2010	46-17	38-05	7	سنندج	1961-2010	47-00	35-20
3	خوی	1961-2010	44-58	38-33	8	قزوین	1961-2010	50-30	36-15
4	رشت	1961-2010	49-39	37-12	9	کرمانشاه	1961-2010	47-09	34-19
5	زنجان	1961-2010	29-48	36-41	10	همدان	1961-2010	48-43	35-12



شکل 1- موقعیت مکانی ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه

آزمون من-کندال مرسوم (MK1)

این روش، که فرم کلاسیک آزمون من-کندال می‌باشد در بسیاری از مطالعات مورد استفاده قرار گرفته است. اگر تعداد داده‌های سری‌زمانی در دوره مورد مطالعه n باشد، ابتدا آماره S به شرح رابطه 1 محاسبه می‌شود:

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

که در آن x_j مقدار داده j ام، n طول دوره آماری و $\operatorname{sgn}(\theta)$ تابع علامت می‌باشد که به صورت رابطه 2 تعریف می‌گردد:

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

به ازای $n\geq 8$ آماره S دارای توزیع نرمال بوده و میانگین و واریانس آن به شرح رابطه 3 و 4 می‌باشد:

$$E(s)=0 \qquad (3)$$

www.SID.ir

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

که در آن C عاملی مربوط به تصحیح پراکندگی است و در صورتی‌که داده‌های تکراری در سری مورد بررسی وجود داشته باشد، از رابطه 5 محاسبه شده و در واریانس اعمال می‌شود.

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

که در آن t_i تعداد داده‌های یکسان در دسته i ام می‌باشد. در نهایت آماره آزمون MK یا Z به شکل رابطه 6 محاسبه می‌شود:

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

فرض صفر (عدم وجود روند) به شرط $-Z_{1-\alpha/2}\le Z\le Z_{1-\alpha/2}$ پذیرفته می‌شود و در غیر این صورت، H_0رد و فرض مخالف آن یعنی وجود روند پذیرفته می‌شود (اسماعیل‌پور و دین‌پژوه، 1391).

آزمون MK2

این روش توسط کومار و همکاران شرح داده شده است (Kumar et al., 2009). در این روش اثر ضریب خودهمبستگی مرتبه اول (r_1) محاسبه و در صورتی که معنی‌دار باشد، از سری داده‌ها حذف می‌گردد. برای این کار مراحل زیر انجام می‌شود (میرعباسی و دین-پژوه، 1389):

1- ضریب خودهمبستگی مرتبه اول، r_1، از رابطه 7 محاسبه می‌شود:

$$r_k=\frac{\frac{1}{n-k}\sum_{i=1}^{n-k}(x_i-\bar{x})(x_{i+k}-\bar{x})}{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})^2} \quad (7)$$

2- داده‌ها در صورتی در سطح معنی‌داری 10 درصد مستقل فرض می‌شوند که شرط $\frac{-1-1.645\sqrt{n-2}}{n-2}\le r_1\le\frac{-1+1.645\sqrt{n-2}}{n-2}$ برقرار باشد که در این حالت آزمون MK با روش کلاسیک یا MK1 انجام می‌شود در غیر این صورت خودهمبستگی داده‌ها به صورت زیر حذف خواهد شد.

3- شیب خط روند یا β برای سری داده‌ها از رابطه 13 محاسبه و سری جدیدی به شرحرابطه 8 به دست می‌آید.

$$x'_i=x_i-(\beta\times i) \quad (8)$$

4- ضریب r_1 داده‌های سری جدید مجددا محاسبه می‌شود.

5- مولفه خودهمبستگی مرتبه اول AR(1)، از سری جدید به شرح رابطه 9 حذف و سری باقیمانده‌ها (y'_i) از رابطه 9 به دست می‌آید:

$$y'_i=x'_i-r_1\times x'_{i-1} \quad (9)$$

6- مقدار روند $(\beta\times i)$ به سری باقیمانده‌ها افزوده می‌شود و سری نهایی (y_i) به شرح رابطه 10 به دست می‌آید:

$$y_i=y'_i+(\beta\times i) \quad (10)$$

آزمون MK بر سری‌داده‌های جدید (y_i) اعمال می‌شود و معنی‌داری روند آن مورد آزمون قرار می‌گیرد.

آزمون من-کندال اصلاح شده (MK3)

آزمون اصلاح شده من-کندال توسط حامد و رائو ارائه و توسط کومار و همکاران برای تحلیل روند رودخانه‌های هند به کار رفته است(Hamed and Rao, 2009; Kumar et al., 2009). 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 $V(S)^*$، من-کندال به شرح رابطه 11 و 12 محاسبه می‌شود:

$$V(S)^*=V(S)\frac{n}{n^*} \quad (11)$$

$$\frac{n}{n^*}=1+\frac{2}{n(n-1)(n-2)}*\sum_{i=1}^{n-1}(n-i)(n-i-1)(n-i-2)r_i \quad (12)$$

که در آن r_i ضریب خودهمبستگی با تاخیر i بوده و $V(S)$ از رابطه (4) تخمین زده می‌شود. برای محاسبه آماره Z من-کندال اصلاح شده در رابطه (6) $V(S)$ با $V(S)^*$ جایگزین می‌گردد. مقدار آماره Z به دست آمده از رابطه فوق با Z استاندارد نرمال در سطح معنی‌داری α مقایسه می‌شود.

محاسبه شیب خط روند با روش برآوردگر سن[1]

در آزمون من-کندال شیب خط روند سری داد ها با روش تخمین‌گر سن از رابطه ناپارامتری 13 محاسبه می‌گردد:

$$\beta=Median\left[\frac{X_j-X_i}{j-i}\right](\forall j>i) \quad (13)$$

که در آن β برآوردگر شیب خط روند و X_j, X_i به ترتیب مقادیر مشاهداتی i ام و j ام می‌باشند. مقادیر مثبت (منفی) β نشان دهنده روند افزایشی (کاهشی) در سری داده‌ها است (میرعباسی و دین‌پژوه، 1389).

1 - Sen's Slope Estimator

Archive of SID

www.SID.ir

نتایج

جداول 2 و 3 نتایج بررسی روند تغییرات متوسط دما و بارش ماهانه، فصلی و سالانه شمال‌غرب کشور را (شامل 12 سری ماهانه، 4 سری فصلی و یک سری سالانه) برای هریک از ایستگاه‌های مورد مطالعه پس از حذف اثر همه ضرایب خودهمبستگی معنی‌دار نشان می‌دهند. لازم به ذکر است که در این جداول ارقام پررنگ نشان دهنده 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 دمای هر یک از ایستگاه‌ها به تفکیک ارائه می‌شود.

ایستگاه سینوپتیک ارومیه

نتایج آزمون من-کندال اصلاح شده برای ایستگاه سینوپتیک ارومیه در جدول 2 ارائه شده است. باتوجه به این جدول روند مثبت معنی‌دار دما در سطح 10 درصد برای ماه‌های اسفند و اردیبهشت مشاهده شده و مقدار افزایش دما نیز در این ماه‌ها به ترتیب برابر با 3/10(°C) و 1/00(°C) در پنجاه سال گذشته بدست آمده است. ماه‌های بهمن، فروردین، تیر و آبان روند افزایشی غیرمعنی‌دار و ماه‌های خرداد، مرداد، شهریور، مهر، آذر و دی روند کاهشی غیرمعنی‌دار داشتند. در فصول بهار، تابستان و زمستان نیز افزایش غیرمعنی‌دار دما در این ایستگاه مشهود است. در مقیاس سالانه نیز با توجه به آماره Z من-کندال محاسبه شده برای ایستگاه سینوپتیک ارومیه، روند صعودی خفیفی مشاهده می‌شود که معنی‌دار نیست. روند بارش در این ایستگاه نیز به دلیل افزایش دما، کاهشی می‌باشد. به طوری که در ماه‌های بهمن، اسفند، اردیبهشت، می، تیر، مهر، آبان و دی (8 ماه از سال) روند نزولی وجود دارد. بیش‌ترین کاهش بارندگی نیز در ماه بهمن مشاهده شده و براساس شیب سن معادل (mm/50years) 15/60 می‌باشد. 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 نیز در فصل زمستان برابر با (mm/50years) 51/65 محاسبه شد. همچنین در مقیاس سالانه، روند بارش نزولی معنی‌دار بوده و کاهشی معادل (mm) 99/70 را در پنجاه سال گذشته نشان می‌دهد.

ایستگاه سینوپتیک تبریز

براساس نتایج آزمون من-کندال اصلاح شده برای ایستگاه سینوپتیک تبریز در جدول 2، می‌توان نتیجه گرفت که ماه‌های بهمن، اسفند، فروردین، اردیبهشت، خرداد، تیر، شهریور، مهر و آبان روند معنی‌دار افزایش دما را در دوره مورد مطالعه داشته‌اند. در سایر ماه‌ها نیز روند صعودی دما وجود دارد، اما معنی‌دار نیست. در مقیاس ماهانه، بیش‌ترین افزایش دما مربوط به ماه اسفند و برابر با (°C/50years) 3/05 می‌باشد. همچنین ماه خرداد با (°C/50years) 1/25 افزایش دما، کم‌ترین مقدار صعود را در این ایستگاه داشته است. این ایستگاه در تمامی فصول روند افزایشی معنی‌دار را تجربه کرده است. بیش‌ترین مقدار افزایش دما در فصل بهار و معادل (°C/50years) 2/05 محاسبه شد. در مقیاس سالانه نیز روند افزایشی دما معنی‌دار بوده و میزان افزایش آن با توجه به شیب سن در پنجاه سال گذشته، برابر با (°C) 2/15 به دست آمده است. در ایستگاه سینوپتیک تبریز ماه‌های بهمن، اسفند، فروردین، و اردیبهشت روند کاهشی معنی‌دار و ماه‌های خرداد، تیر، شهریور، مهر، آبان، آذر و دی روند نزولی غیرمعنی‌دار را در بارش تجربه کرده‌اند. بیش‌ترین مقدار کاهش در بارندگی مربوط به ماه اسفند و برابر با (mm/50years)18/20 می‌باشد. روند بارش در فصل‌های بهار، پاییز و زمستان نیز کاهشی معنی‌دار است. همچنین در مقیاس سالانه روند بارش، نزولی معنی‌دار بوده و در نیم قرن اخیر مقدار کاهش بارندگی معادل (mm) 145/90 محاسبه گردید.

ایستگاه سینوپتیک خوی

جدول 2 نتایج مربوط به آزمون من-کندال را برای ایستگاه سینوپتیک خوی ارائه می‌دهد. نتایج حاکی از آن است که در ماه‌های اردیبهشت، تیر، مهر و آبان دما با روند معنی‌داری افزایش پیدا کرده است به طوری‌که بیش‌ترین مقدار افزایش دما در ماه آبان بوده و معادل (°C) 2/45 در پنجاه سال گذشته می‌باشد. کم‌ترین مقدار افزایش دما مربوط به ماه اردیبهشت و برابر با (°C/50years) 1/65 می‌باشد. در مقیاس سالانه نیز روند صعودی دما با توجه به آماره Z من-کندال معنی‌دار بوده و در نیم قرن اخیر به میزان (°C) 1/75 افزایش یافته است. ایستگاه سینوپتیک خوی در ماه‌های اسفند، فروردین، اردیبهشت، خرداد، تیر، شهریور، آبان و دی روند کاهشی غیرمعنی‌دار و در ماه بهمن روند کاهشی معنی‌دار را در بارش داشته است. ماه‌های مرداد، مهر و آذر نیز روند افزایشی غیرمعنی‌دار را در بارش نشان می‌دهند. بیش‌ترین مقدار کاهش بارندگی در ماه بهمن و معادل (mm) 16/35 در پنجاه سال گذشته می‌باشد. فصل زمستان در این ایستگاه روند نزولی معنی‌دار داشته و براساس شیب سن، کاهشی برابر با (mm/50years) 40 در بارش تجربه کرده است. سایر فصل‌ها روند کاهشی غیرمعنی‌دار در بارندگی را نشان می‌دهند. در مقیاس سالانه روند بارش نزولی معنی‌دار بوده و در پنجاه سال گذشته مقدار کاهش بارندگی معادل (mm) 145/90 محاسبه گردید.

ایستگاه سینوپتیک رشت

در جدول 2 نتایج آزمون من-کندال برای ایستگاه سینوپتیک رشت ارائه شده است. با توجه به نتایج این جدول مشاهده می‌شود که در مقیاس ماهانه روند افزایشی دما در تمامی ماه‌ها وجود دارد. اما در ماه‌های فروردین، مرداد، شهریور، مهر و آبان دما در این ایستگاه روند افزایشی معنی‌دار را تجربه کرده و با توجه به شیب سن می‌توان دریافت که در ماه‌های مذکور در پنج دهه گذشته به ترتیب، مقدار دما (°C) 1/55، (°C) 1/30، (°C) 2/45، (°C) 1/75 و (°C) 2/20 افزایش داشته است.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۲- نتایج آزمون من-کندال اصلاح شده برای ایستگاه‌های ارومیه، تبریز، خوی، رشت و زنجان در دوره آماری ۲۰۱۰-۱۹۶۱

ایستگاه	متغیر	آماره	مقیاس زمانی												
			بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهار	تابستان	پاییز	زمستان	سالانه
ارومیه	دما	Z	۱/۲	۱/۹**	۰/۶	۱/۸*	-۰/۵	۰/۶	-۰/۵	-۰/۱	-۰/۸	۰/۱	-۱/۸*	-۰/۱	۰/۶	۰/۱	-۰/۵	۱/۱	۱/۰
		شیب	۰/۰۴۷	۰/۰۶۲	۰/۰۱۷	۰/۰۲۰	-۰/۰۱۱	-۰/۰۱۳	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	-۰/۰۱۳	۰/۰۰۰	-۰/۰۲۷	۰/۰۰۰	۰/۰۱۰	۰/۰۰۳	-۰/۰۰۸	۰/۰۳۱	۰/۰۱۷
	بارش	Z	-۲/۱***	-۱/۱	۰/۰۷	-۱/۴	-۰/۳	-۱/۶	۰/۱	۰/۴	-۰/۹	-۱/۱	۰/۶	-۱/۶	-۱/۱	-۰/۷	-۰/۷	-۳/۱***	-۱/۸*
		شیب	-۰/۳۱۲	-۰/۲۵۰	-۰/۱۲	-۰/۲۲۰	-۰/۱۰۰	-۰/۱۶۷	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	-۰/۱۷۸	۰/۱۳۹	-۰/۲۵۸	-۰/۷۶۰	-۰/۱۱۴	-۰/۳۲۲	-۰/۰۳۳	-۱/۹۴۴
تبریز	دما	Z	۱/۷*	۲/۱**	۱/۵	۲/۸***	۲/۱**	۲/۹***	۱/۵	۲/۶***	۳/۱***	۲/۹***	۱/۰	۱/۱	۲/۵***	۲/۵***	۳/۴***	۱/۷*	۲/۲**
		شیب	۰/۰۵۶	۰/۰۶۱	۰/۰۵۰	۰/۰۵۲	۰/۰۲۵	۰/۰۴۶	۰/۰۲۲	۰/۰۳۷	۰/۰۳۸	۰/۰۴۸	۰/۰۱۱	۰/۰۳۰	۰/۰۴۱	۰/۰۳۹	۰/۰۳۰	۰/۰۴۸	۰/۰۴۳
	بارش	Z	-۲/۵***	-۲/۵***	-۲/۲**	-۱/۶	-۰/۵	-۰/۴۶	۰/۱	-۰/۱	-۰/۷	-۱/۵	-۰/۶	-۰/۱	-۲/۲**	-۰/۶	-۲/۵***	-۳/۵***	-۲/۹***
		شیب	-۰/۳۶۲	-۰/۳۶۴	-۰/۴۴۳	-۰/۴۴۸	-۰/۱۴۱	-۰/۱۴۱	۰/۰۰۷	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	-۰/۲۹۳	-۰/۰۹۲	۰/۱۰۰	۰/۱۰۷۲	-۰/۱۱۸	-۰/۶۶۸	-۰/۹۵۹	-۲/۹۱۸
خوی	دما	Z	۰/۶	۱/۳	۱/۵	۱/۹*	۱/۳	۱/۹*	۱/۴	۱/۵	۱/۸*	۲/۴***	۱/۴	-۰/۱	۲/۱※	۱/۹*	۲/۱**	۰/۷	۲/۱**
		شیب	۰/۰۲۳	۰/۰۵۶	۰/۰۳۵	۰/۰۳۳	۰/۰۱۷	۰/۰۴۱	۰/۰۲۰	۰/۰۴۰	۰/۰۳۶	۰/۰۴۹	۰/۰۱۹	۰/۰۰۰	۰/۰۳۳	۰/۰۳۵	۰/۰۳۹	۰/۰۲۳	۰/۰۳۵
	بارش	Z	-۲/۸***	-۱/۴	-۰/۴	-۰/۴	-۱/۴	-۰/۶	۰/۵	-۰/۳	۰/۵	-۱/۲	۰/۱	-۱/۴	-۱/۴	-۰/۲	-۰/۲	-۲/۷***	-۲/۰۴۵
		شیب	-۰/۳۲۷	-۰/۱۴۶	-۰/۸۳	-۰/۷۰	-۰/۵۰۰	-۰/۱۱۲	-۰/۰۱۹	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	-۰/۱۷۸	-۰/۰۵۱	-۰/۱۷۱	-۰/۹۰۵	-۰/۰۲۱	-۰/۰۴۶	-۰/۸۰۰	-۰/۰۴۵
رشت	دما	Z	۰/۹	۰/۷	۱/۸*	۱/۶	۰/۸	۱/۵	۱/۹*	۲/۷***	۳/۳***	۳/۳***	۰/۳	۰/۶	۲/۳**	۲/۱**	۳/۴***	۱/۱	۲/۱**
		شیب	۰/۰۱۶	۰/۰۱۲	۰/۰۳۱	۰/۰۲۷	۰/۰۰۷	۰/۰۲۵	۰/۰۲۶	۰/۰۴۹	۰/۰۳۵	۰/۰۴۴	۰/۰۰۴	۰/۰۱۲	۰/۰۲۱	۰/۰۳۲	۰/۰۲۸	۰/۰۱۹	۰/۰۲۳
	بارش	Z	-۱/۱	-۰/۴	-۰/۶	۰/۵	-۰/۵	-۰/۳	۰/۱	-۰/۹	-۰/۲	-۰/۵	۱/۶	-۰/۲	-۰/۴	-۱/۲	-۰/۱	-۰/۳	-۰/۵
		شیب	-۰/۷۸۷	-۰/۱۳۹	-۰/۳۲۷	۰/۱۹۶	-۰/۱۳۶	-۰/۱۱۱	۰/۰۲۶	-۰/۴۱۵	-۰/۲۱۸	-۰/۴۸۷	۱/۲۳۸	-۰/۱۵۰	-۰/۳۰۰	-۰/۷۲۳	-۰/۱۰۰	-۰/۶۲۸	-۱/۴۱۸
زنجان	دما	Z	۰/۵	۱/۱	۰/۵	۰/۸	-۰/۷	-۰/۴	-۰/۶	۰/۲	۰/۱	۰/۷	-۱/۸*	۰/۱	۰/۱	-۰/۳	-۰/۵	۰/۶	۰/۵
		شیب	۰/۰۲۰	۰/۰۳۳	۰/۰۱۷	۰/۰۲۸	-۰/۰۰۸	-۰/۰۰۵	-۰/۰۱۲	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۱۳	-۰/۰۲۷	-۰/۰۰۳	۰/۰۱۴	-۰/۰۰۲	-۰/۰۰۴	-۰/۰۱۴	۰/۰۰۸
	بارش	Z	-۲/۷***	-۰/۸	-۱/۰	-۰/۸	-۰/۶	۰/۹	۱/۴	۰/۱	-۰/۳	-۰/۲	۰/۰	-۰/۵	-۱/۳	۱/۳	-۰/۵	-۲/۰***	-۱/۹**
		شیب	-۰/۹۴	-۰/۳۶۴	-۰/۲۴۸	-۰/۱۶۸	-۰/۱۷۸	-۰/۲۳	۰/۰۲۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	-۰/۰۲۰	-۰/۰۰۹	-۰/۰۷۱	-۰/۱۰۱۱	۰/۱۸۳	-۰/۱۶۳	-۰/۵۵۰	-۱/۵۲۰

※روندهای معنی‌دار در سطوح ۱۰، ۵ و ۱ درصد به ترتیب با یک، دو و سه ستاره به صورت پررنگ مشخص شده‌اند.

※واحد شیب سن برای دما درجه سانتی‌گراد در سال است.

www.SID.ir

جدول ۳- نتایج آزمون من-کندال اصلاح شده برای ایستگاه‌های سقز، سنندج، قزوین، کرمانشاه و همدان در دوره آماری ۲۰۱۰-۱۹۶۱

ایستگاه	متغیر	آماره	مقیاس زمانی												
			بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهار	تابستان	پاییز	زمستان	سالانه
سقز	دما	Z	۰/۴	۰/۴	-۰/۷	-۰/۳	-۲/۳***	-۱/۵	-۱/۹	-۰/۹	-۰/۵	-۰/۷	-۱/۷	۰/۱	-۱/۶	-۱/۳	-۱/۳	۰/۳	-۰/۹
		شیب	۰/۰۱۵	۰/۰۲۲	-۰/۰۲۱	-۰/۰۰۳	-۰/۰۴۵	-۰/۰۴۱	-۰/۰۴۱	-۰/۰۲۰	-۰/۰۱۲	-۰/۰۱۱	-۰/۰۲۹	۰/۰۰۲	-۰/۰۲۳	-۰/۰۳۳	-۰/۰۱۷	-۰/۰۱۱	-۰/۰۱۲
	بارش	Z	-۱/۵	-۰/۶	۰/۳	۳/۰	-۱/۲	۰/۳	۱/۵	۱/۰	۰/۴	۰/۶	۰/۴	-۲/۵	۰/۸	-۲/۴	۰/۸	۰/۴	-۱/۳	-۱/۷*
		شیب	-۰/۳۶۷	-۰/۱۴۹	-۰/۱۲۳	-۰/۹۴۵	-۰/۳۸۷	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۶۳	۰/۱۵۶	-۰/۳۳۸	-۰/۷۵۴	-۰/۰۷۱	۰/۲۱۷	-۰/۷۴۱	-۲/۰۵۱
سنندج	دما	Z	۱/۵	۲/۶***	۱/۹**	۳/۲***	۱/۹**	۱/۳	۱/۴	۱/۵	۰/۵	۱/۳	۰/۶	۰/۳	۲/۵***	۱/۰	۰/۲	۱/۸*	۲/۱**
		شیب	۰/۰۳۵	۰/۰۶۲	۰/۰۴۶	۰/۰۴۷	۰/۰۲۳	۰/۰۳۳	۰/۰۱۸	۰/۰۱۶	۰/۰۰۹	۰/۰۲۷	۰/۰۰۶	۰/۰۲۵	۰/۰۴۲	۰/۰۲۲	۰/۰۱۷	۰/۰۴۰	۰/۰۳۳
	بارش	Z	-۲/۶	-۱/۵	-۱/۵	-۱/۰	-۱/۵	۰/۳	۱/۹	-۱/۲	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	-۲/۳	-۲/۳	۰/۳	۰/۰	-۱/۷	-۱/۷
		شیب	-۰/۸۰۰	-۰/۴۳۵	-۰/۵۳۶	-۰/۴۷۵	-۰/۴۱۶	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	-۰/۲۱۶	-۰/۴۹۲	-۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	-۰/۶۳۵	-۲/۶۰۴
قزوین	دما	Z	۰/۴	۱/۰	۰/۲	۰/۸	-۰/۹	-۰/۱	-۱/۳	۰/۲	۰/۳	۰/۹	-۱/۳	-۱/۳	-۰/۳	-۰/۳	-۰/۳	۰/۱	۰/۵
		شیب	۰/۰۱۲	۰/۰۲۶	۰/۰۰۶	۰/۰۱۲	-۰/۰۲۰	۰/۰۰۰	-۰/۰۱۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۳	۰/۰۲۱	-۰/۰۱۷	-۰/۰۰۱	-۰/۰۰۶	-۰/۰۰۳	۰/۰	۰/۱۷	۰/۰۱۰
	بارش	Z	-۰/۹	۰/۵	۰/۵	۱/۱	-۰/۹	-۱/۶	۱/۸*	-۰/۷	۰/۰	۰/۶	۱/۱	-۰/۳	۰/۱	۰/۲	۰/۸	۰/۱	۰/۷	۰/۵
		شیب	-۰/۱۳۶	۰/۱۲۵	۰/۱۴۸	۰/۳۸۶	-۰/۱۹۱	-۰/۰۳۴	-۰/۰۰۷	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۴۲	۰/۲۵۰	-۰/۰۹۴	۰/۱۲۰	-۰/۰۵۰	۰/۳۰۶	-۰/۲۴۲	-۰/۳۴۸
کرمانشاه	دما	Z	۱/۱	۱/۴	۲/۳	۴/۱***	۳/۴***	۱/۹*	۱/۹*	۱/۷*	۲/۶***	۱/۹*	۲/۱**	۲/۸**	۱/۸*	۱/۸*	۱/۹*	۲/۷***	۱/۹*
		شیب	۰/۰۳۰	۰/۰۴۳	۰/۰۳۹	۰/۰۵۴	۰/۰۵۰	۰/۰۶۸	۰/۰۴۶	۰/۰۵۴	۰/۰۴۵	۰/۰۵۸	۰/۰۲۵	۰/۰۴۷	۰/۰۴۷	۰/۰۵۷	۰/۰۴۲	۰/۰۴۱	۰/۰۵۰
	بارش	Z	-۱/۶	۰/۰	-۰/۷	-۱/۷*	-۱/۶	۰/۸	۰/۷	-۰/۴	۰/۳	۰/۱	۰/۴	-۱/۹*	-۱/۳	۱/۵	۰/۰	-۱/۴	-۲/۳**
		شیب	-۰/۵۰۰	۰/۰۰۰	-۰/۲۳۲	-۰/۷۵۴	-۰/۲۲۴	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۱۵۵	-۰/۴۷۰	-۰/۶۱۵	۰/۰۰۰	-۰/۰۲۰	-۰/۹۳۵	-۲/۸۸۱
همدان	دما	Z	۱/۳	۰/۳	۰/۳	۲/۷	-۰/۸	۰/۷	۰/۱	۱/۸*	۲/۷***	۱/۵	۰/۰	۱/۱	۱/۴	۱/۲	۲/۴***	۱/۳	۲/۲**
		شیب	۰/۰۵۷	۰/۰۱۵	۰/۰۰۵	۰/۰۳۵	-۰/۰۰۹	-۰/۰۰۷	۰/۰۰۰	۰/۰۱۷	۰/۰۲۵	۰/۰۲۴	۰/۰۰۰	۰/۰۲۴	۰/۰۱۲	۰/۰۱۰	۰/۰۱۸	۰/۰۳۶	۰/۰۲۷
	بارش	Z	۰/۲	-۰/۸	۰/۴	۰/۱	-۱/۲	۰/۳	۰/۶	۰/۴	۰/۶	-۰/۲	۰/۴	-۰/۴	-۰/۷	۱/۰	۰/۰	-۰/۶	-۰/۷
		شیب	۰/۰۱۲	-۰/۱۸۵	۰/۱۱۲	۰/۰۱۹	-۰/۲۳	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۴۲	-۰/۰۷۴	-۰/۴۳۷	-۰/۳۰	۰/۰۰۰	-۰/۲۰۰	-۰/۷۴۳

*روندهای معنی‌دار در سطوح ۱۰، ۵ و ۱ درصد به ترتیب با یک، دو و سه ستاره به صورت پررنگ مشخص شده‌اند.

**واحد شیب سن برای دما درجه سانتی‌گراد در سال است.

www.SID.ir

در این ایستگاه سه فصل بهار، تابستان و پاییز (زمستان) روند افزایشی معنی‌دار (غیرمعنی‌دار) را نشان می‌دهند. در مقیاس سالانه نیز روند صعودی معنی‌دار دما قابل مشاهده است و (°C) 1/15 به میانگین سالانه ایستگاه سینوپتیک رشت در پنجاه سال گذشته افزوده شده است. همچنین این ایستگاه روند کاهشی در بارش را تجربه کرده و در ماه‌های بهمن، اسفند، فروردین، خرداد، تیر، شهریور، مهر، آبان و دی روند کاهشی غیرمعنی‌دار (8 ماه از سال) و در ماه‌های اردیبهشت، مرداد و آذر روند افزایشی غیرمعنی‌دار داشته است. در مقیاس فصلی نیز روند کاهشی غیرمعنی‌دار بارش در همه فصل‌ها وجود دارد. سری سالانه ایستگاه رشت، روند کاهشی را برای بارش نشان می‌دهد.

ایستگاه سینوپتیک زنجان

نتایج آزمون من-کندال ارائه شده در جدول 2 نشان می‌دهد که دما در ایستگاه سینوپتیک زنجان در ماه‌های بهمن، اسفند، فروردین، اردیبهشت، خرداد، شهریور، مهر، آبان و دی (سایر ماه‌ها) روند مثبت (منفی) غیرمعنی‌دار را تجربه کرده است. همچنین فصل‌های بهار و زمستان روند افزایشی معنی‌دار و پاییز و تابستان روند کاهشی غیر معنی‌دار در دما را نشان می‌دهند. در سری سالانه نیز به دلیل عدم وجود روند در مقیاس ماهانه و فصلی، روند معنی‌داری در دمای سالانه وجود ندارد. از نقطه نظر بارش، ایستگاه سینوپتیک زنجان در ماه‌های اسفند، فروردین، اردیبهشت، خرداد، مهر، آبان و دی روند کاهشی غیرمعنی‌دار (7 ماه از سال)، در ماه‌های تیر، مرداد و شهریور روند افزایشی غیرمعنی‌دار و در ماه آذر بدون روند می‌باشد. همچنین این ایستگاه در ماه اردیبهشت کاهش معنی‌دار در بارش را تجربه کرده و به مقدار (mm) 18/70 در پنجاه سال اخیر کاهش داشته است. در مقیاس فصلی، روند غالب بارش، کاهشی بوده و در فصل‌های بهار و زمستان روند، نزولی معنی‌دار است. سری سالانه ایستگاه سینوپتیک زنجان نیز با روند نزولی معنی‌دار در بارش مواجه بوده و کاهشی معادل با (mm) 76 در نیم‌قرن اخیر داشته است.

ایستگاه سینوپتیک سقز

نتایج آزمون من-کندال اصلاح شده (MK3) ارائه شده در جدول 3 نشان می‌دهد که ایستگاه سینوپتیک سقز در ماه‌های خرداد، مرداد و آذر با روند کاهشی معنی‌دار دما مواجه بوده و با توجه به شیب سن، برای ماه‌های مذکور در پنجاه سال گذشته میزان رشد منفی دما به ترتیب، (°C) 2/25، (°C) 2/05 و (°C) 1/45 محاسبه شد. همچنین فصل‌های بهار، تابستان و پاییز (زمستان) روند کاهشی (افزایشی) غیرمعنی‌دار را نشان می‌دهند. در مقیاس سالانه نیز روند تغییرات دما برای ایستگاه سینوپتیک سقز کاهشی و غیرمعنی‌دار می‌باشد. همچنین بارش این ایستگاه در ماه‌های بهمن، اسفند، اردیبهشت، خرداد و دی روند کاهشی غیرمعنی‌دار و در سایر ماه‌ها روند افزایشی غیرمعنی‌دار داشته است. در مقیاس فصلی نیز فصل‌های تابستان و پاییز روند افزایشی غیرمعنی‌دار بارش را نشان می‌دهند و در فصل بهار روند نزولی معنی‌دار می‌باشد. سری سالانه بارش برای ایستگاه مورد مطالعه روند نزولی معنی‌داری داشته و کاهشی برابر با (mm) 102/55 در نیم قرن اخیر داشته است.

ایستگاه سینوپتیک سنندج

در جدول 3 نتایج آزمون من-کندال اصلاح شده برای ایستگاه سینوپتیک سنندج ارائه شده است. نتایج این جدول حاکی از آن است که، در ماه‌های اسفند، فروردین، اردیبهشت و خرداد روند افزایشی معنی‌دار دما وجود دارد و در ماه‌های بهمن، تیر، مرداد، شهریور، مهر، آبان، آذر و دی روند صعودی موجود، غیرمعنی‌دار است. در این ایستگاه نیز با توجه به شیب سن، بیش‌ترین و کم‌ترین افزایش دما مربوط به ماه‌های اسفند و خرداد می‌باشد که به ترتیب (°C) 3/10 و (°C) 1/15 رشد را در پنجاه سال گذشته تجربه کرده است. همچنین فصل‌های بهار و تابستان نیز افزایش معنی‌دار دما را نشان می‌دهند. در مقیاس سالانه، ایستگاه سینوپتیک سنندج با آماره Z معادل 2/09 و شیب سن 0/033 روند معنی‌دار افزایش دما را تجربه کرده و در دوره آماری مورد مطالعه (°C) 1/65 به دمای سالانه افزوده شده است. روند بارش ایستگاه مذکور در هفت ماه از سال کاهشی بوده و در ماه بهمن روند نزولی بارش معنی‌دار است. همچنین فصل‌های بهار و زمستان نیز روند کاهشی معنی‌دار در بارش را نشان می‌دهند. علاوه بر آن سری سالانه، روند کاهشی معنی‌داری را در بارش تجربه کرده و در پنجاه سال گذشته کاهشی معادل با (mm) 130/20 داشته است.

ایستگاه سینوپتیک قزوین

نتایج آزمون MK3 ارائه شده در جدول 3 نشان می‌دهد که این ایستگاه در مقیاس ماهانه روند معنی‌دار افزیشی یا کاهشی دما را در هیچ‌کدام از ماه‌ها تجربه نکرده است. در ماه‌های بهمن، اسفند، فروردین، اردیبهشت، شهریور، مهر و آبان روند مثبت غیرمعنی‌دار و در سایر ماه‌ها روند منفی غیرمعنی‌دار در دما مشاهده گردید. در مقیاس فصلی و سالانه نیز به دلیل عدم وجود روند در مقیاس ماهانه، روند معنی‌داری در دما مشاهده نمی‌شود. بارش این ایستگاه نیز به دلیل عدم وجود روند در دما، تقریبا بودن تغییر بوده است. روند بارش در ماه تیر (مرداد) کاهشی (افزایشی) معنی‌دار است. در سایر ماه‌ها نیز روند تغییرات تلفیقی از کاهش و افزایش غیرمعنی‌دار می‌باشد. در سری-

Archive of SID

www.SID.ir

های فصلی و سالانه نیز روند معنی‌داری وجود ندارند.

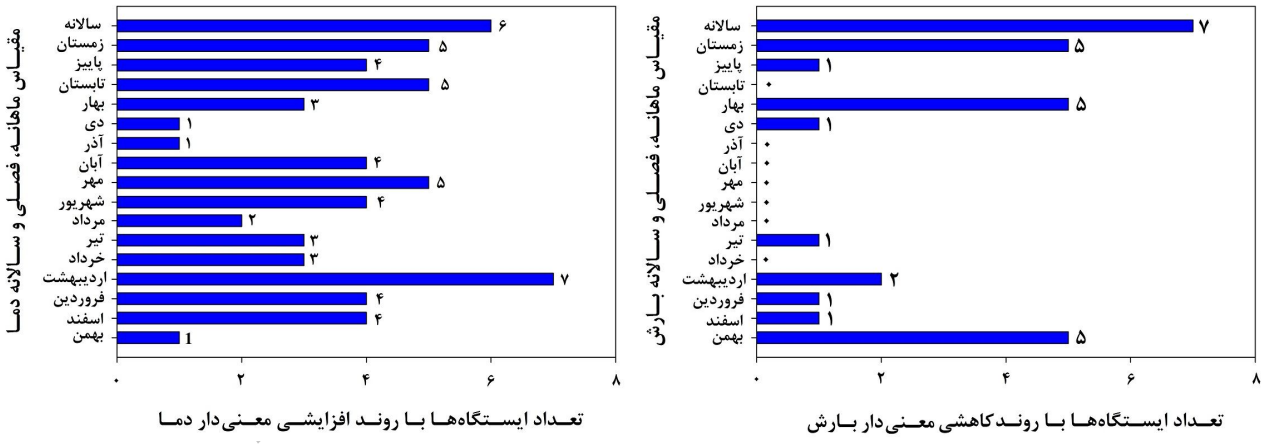
ایستگاه سینوپتیک کرمانشاه

نتایج آزمون من-کندال اصلاح شده (MK3) برای ایستگاه سینوپتیک کرمانشاه در جدول 3 ارائه شده است. براساس نتایج به دست آمده مشاهده می‌شود که به جز ماه‌های بهمن و اسفند (که روند تغییرات دما در آن‌ها معنی‌دار نیست) سایر ماه‌ها روند افزایشی معنی-دار دارند. بیش‌ترین مقدار افزایش دما در ماه تیر و برابر با (°C/50years) 3/40 به وقوع پیوسته و کم‌ترین میزان افزایش دما مربوط به ماه آذر و معادل (°C/50years) 1/25 می‌باشد. در مقیاس فصلی و سالانه نیز روند افزایشی دما معنی‌دار بوده و سری سالانه دما در دوره آماری مورد مطالعه به میزان (°C) 2/50 افزایش یافته است. روند بارش ایستگاه مورد بررسی در ماه‌های بهمن، اردیبهشت و خرداد کاهشی معنی‌دار می‌باشد. همچنین نتایج به دست آمده روند کاهشی معنی‌دار بارش را در فصل بهار نشان می‌دهد. در مقیاس سالانه نیز روند تغییرات بارش منفی و معنی‌دار بوده و کاهشی معادل با (mm/50year) 144 را نشان می‌دهد.

ایستگاه سینوپتیک همدان

نتایج آزمون من-کندال اصلاح شده برای ایستگاه سینوپتیک همدان در جدول 3 ارائه شده است. با توجه به نتایج این جدول مشاهده می‌شود که ماه‌های اردیبهشت، شهریور و مهر روند افزایشی معنی‌دار دما را تجربه کرده‌اند و براساس شیب سن، مقدار رشد دما برای ماه‌های مذکور در پنجاه سال گذشته به ترتیب برابر با (°C) 1/75، (°C) 0/85 و (°C) 1/25 بوده است. در این بین نیز ماه خرداد روند منفی غیرمعنی‌دار و ماه‌های بهمن، اسفند، فروردین، تیر، مرداد، آبان و دی روند مثبت غیرمعنی‌دار دما را نشان می‌دهند. همچنین در فصل تابستان روند افزایشی معنی‌دار دما مشاهده شده و سایر فصل‌ها روند افزایشی غیر معنی‌دار دارند. در مقیاس سالانه، ایستگاه سینوپتیک همدان با آماره Z، معادل 2/23 روند افزایشی معنی‌دار در دما داشته است. علاوه بر آن روند بارش در این ایستگاه تغییرات معنی‌داری را نشان نمی‌دهد. همچنین در مقیاس فصلی و سالانه نیز روند کاهشی خفیفی وجود دارد که معنی‌دار نیست.

با توجه به نتایج به دست آمده از این مطالعه می‌توان افزایش دما و متعاقب با آن، روند کاهشی بارش را مشاهده کرد. شکل 2 به صورت موثرتری می‌تواند این ارتباط را بیان کند. با توجه به این شکل مشاهده می‌شود که در مقایس سالانه 6 ایستگاه از 10 ایستگاه مورد مطالعه، روند افزایشی دما را تجربه کرده و این امر مستقیما با پاسخ متغییر هیدرولوژیکی بارش همراه بوده و 7 ایستگاه کاهش معنی‌دار بارش را نشان داده‌اند.



شکل 2- تعداد ایستگاه‌های دارای روند معنی دار

در مقیاس فصلی، به همراه افزایش دما، کاهش بارندگی به وقوع پیوسته است. کاهش بارندگی و افزایش دما بیش‌تر در فصل‌های زمستان و بهار رخ داده است که در واقع ماه‌های پر بارش در شمال-غرب ایران محسوب می‌شوند. بنابراین، این امر می‌تواند بر منابع آب شمال‌غرب ایران به شدت تاثیر گذار باشد.

قبل از مطالعه تغییرات الگوی بارش، ابتدا باید منشا بارش منطقه را بررسی کرد. در پاره‌ای از ایستگاه‌ها، منشا بارش، عوامل محلی و میان مقیاس است، ولی در اغلب ایستگاه‌ها، وقوع بارش ناشی از عبور سامانه‌های بزرگ مقیاسی است که از ایران عبور می‌کنند. از عوامل اصلی بارش‌های غرب، شمال‌غرب، نواحی مرکزی، شرق و شما شرق ایران، سامانه‌های کم فشار مدیترانه‌ای است (کتیرایی و همکاران، 1386). در منطقه شمال‌غرب کشور اکثر بارش‌ها در فصل‌های زمستان و بهار رخ می‌دهد و با توجه به نتایج به دست آمده بیش‌ترین نرخ افزایش دما در این دو فصل اتفاق افتاده است. با توجه به

www.SID.ir

توضیحات فوق می‌توان اثر تغییرات دما بر روند بارش را به این صورت در شمال‌غرب کشور توجیه کرد:

وجود رطوبت در هوا جزو ملزومات رخداد بارش بوده و تغییرات آن با عوامل دیگری همچون وجود آب در سطح زمین، وجود انرژی کافی جهت انجام فرآیند تبخیر، مکانیسم مناسب برای انتقال بخار آب 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 مکانیزمی برای سرد شدن هوا تا رسیدن به فشار بخار اشباع ضروری است. حال افزایش درجه حرارت در منطقه مورد مطالعه ظرفیت جو برای پذیرش و نگهداری رطوبت را افزایش داده و موجب شده است تا هوا به اندازه کافی برای فراهم شدن شرایط بارش سرد نشود. به عبارت دیگر، افزایش درجه حرارت شمال‌غرب کشور باعث ذخیره بیش‌تر رطوبت در جو شده و مانع گرد هم آمدن شرایط موردنیاز برای بارش می‌گردد.

میرعباسی و دین‌پژوه (1391) در پژوهشی، روند بارش‌های شمال‌غرب کشور را نزولی اعلام کرده و علت آن را با تغییرات دمایی منطقه بی ارتباط ندانستند. همچنین تغییرات بارش و دما می‌تواند تاثیر مهمی بر تغییرات فصلی جریان رودخانه‌های منطقه مورد مطالعه داشته باشد. در حوضه‌هایی که آب ناشی از ذوب برف بخش مهمی از رواناب سطحی را تشکیل می‌دهد، با افزایش درجه حرارت از مقدار ذخیره برفی حوضه کاسته شده و در نتیجه آبدهی حوضه کاهش می‌یابد (Lettenmaier et al., 1999). خلیلی و همکاران (1391) در مطالعه‌ای نشان دادند که افزایش دما سبب کاهش جریانات رودخانه شهرچای ارومیه شده و دلیل آن را کاهش بارش‌ها و ذخایر برفی حوضه اعلام کردند. علاوه بر آن، وجود روند در سری‌های هیدرولوژیکی سبب بروز ناایستایی می‌گردد، به طوری که در میانگین و واریانس سری‌ها، تغییرات محسوسی را اعمال می‌کند. وجود ناایستایی در سری‌های هیدرولوژیکی سبب خواهد شد تا در برنامه‌ریزی‌های آبی با عدم قطعیت مواجه شویم. به عبارت دیگر، رفتار هیدرولوژیکی حوضه متفشهریور از گذشته خواهد بود و انجام تحلیل‌ها و محاسبات آماری مطالعات مهندسی منابع آب با تکیه بر داده‌های تاریخی بدون در نظر گرفتن اثرات روند و ناایستایی چندان صحیح نخواهد بود. خلیلی و همکاران (1391) وجود ناایستایی و تغییرات در میانگین و واریانس سری‌های جریان رودخانه شهرچای را با استفاده از آزمون‌های ایستایی نشان دادند.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه روند تغییرات دراز مدت پنجاه ساله دما و بارش شمال‌غرب کشور در دوره آماری 2010- 1961 در مقیاس‌های زمانی ماهانه، فصلی و سالانه با استفاده از آزمون ناپارامتری من–کندال بررسی شده و بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار تغییرات دما و بارش و همچنین نرخ تغییرات این دو متغییر با استفاده از آزمون تخمین‌گر شیب سن به دست آمد. نتایج به دست آمده به طور کلی وجود روند کاهشی در بارش و روند افزایشی در دما را تایید کردند. مهم‌ترین یافته‌های این مطالعه عبارتند از:

- در ناحیه شمال‌غرب ایران در مقیاس سالانه از 10 ایستگاه مورد مطالعه 6 ایستگاه روند معنی‌دار افزایش دما را نشان دادند. در این بین 3 ایستگاه روند افزایشی معنی‌دار و یک ایستگاه روند کاهشی غیرمعنی‌دار داشته است. افزایش دما در منطقه، بارش را تحت تاثیر قرار داده و طبق نتایج به دست آمده 7 ایستگاه روند کاهشی معنی‌دار در بارش را تجربه کرده است. همچنین دو ایستگاه روند کاهشی و یک ایستگاه روند افزایشی غیرمعنی‌دار در بارش داشته است.
- بررسی روند دمای ماهانه منطقه مورد مطالعه نشان داد که تعداد ماه‌ها با روند افزایشی بیش‌تر از تعداد ماه‌ها با روند کاهشی بود. برای بارش نیز روند غالب کاهشی بوده (در 65 درصد مواقع) که نشان دهنده تاثیر افزایش دما بر کاهش بارش می‌باشد. در مقیاس فصلی نیز دما و بارش رفتاری مشابه با سری‌های ماهانه نشان دادند.
- بیش‌ترین تعداد ایستگاه با روند افزایشی معنی‌دار دما، در ماه اردیبهشت مشاهده شده و بعد از آن به ترتیب ماه‌های مهر، اسفند، فروردین، شهریور، آبان، تیر، مرداد، بهمن، آذر و دی دارای بیش‌ترین تعداد ایستگاه با روند افزایشی هستند. متغیر بارش نیز بیش‌ترین تعداد ایستگاه با روند کاهشی معنی‌دار را در ماه بهمن تجربه کرده است. تمام فصل‌های سال، دما با روند افزایشی روبه رو بوده و این امر سبب شده که فصل زمستان بیش‌ترین کاهش در بارندگی را داشته باشد.
- نتایج نشان داد که روند دما در اغلب ایستگاه‌های مورد مطالعه افزایشی است. این نتیجه با یافته‌های طبری و حسین زاده، صبوحی و سلطانی و زارع نیستانک و همکاران مطابقت دارد (Tabari and Hosseinzadeh, 2011; Saboohi and Soltani, 2008; Zarenistanak et al., 2013). نتیجه به دست آمده در مورد کاهش بارش‌های سالانه منطقه شمال‌غرب ایران با یافته‌های پارتال و کایا، مدرس و داسیلوا هم‌خوانی دارد (Partal and Kahya, 2006; Modarres and Da Silva, 2007). قهرمان و تقویان 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 (Ghahraman and Taghvaeian, 2008). فتحیان و مرید

Archive of SID

www.SID.ir

(1391) نیز وجود روند کاهشی بارش و افزایشی دما را در حوضه آبریز دریاچه ارومیه نشان دادند که کاملا در منطقه مورد مطالعه قرار گرفته و با نتایج موجود هماهنگی دارد.

منابع

اسماعیل‌پور،م و دین‌پژوه،ی. 1391. تحلیل بلندمدت تبخیر تعرق پتانسیل در حوضه جنوبی ارس. مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی. 47. 3: 193 - 210.

خلیلی،ک، احمدی،ف، بهمنش،ج، وردی‌نژاد،و. 1391. بررسی تاثیر 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. 35. 4: 97 - 108.

علیجانی،ب، محمودی،پ، سلیقه،م و ریگی جاهی،ا. 1390. بررسی تغییرات کمینه‌ها و بیشینه‌های سالانه دما در ایران. فصل‌نامه تحقیقات جغرافیایی. 26. 3: 101 - 122.

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. 43. 3: 259- 269.

میرعباسی،ر و دین‌پژوه،ی. 1389. تحلیل روند تغییرات آبدهی رودخانه‌های شمال‌غرب ایران در سه دهه اخیر. نشریه آب و خاک. 24. 4:757 - 768.

میرعباسی،ر و دین‌پژوه،ی. 1391. تحلیل بارش‌های شمال‌غرب ایران در نیم قرن گذشته. مجله علوم و مهندسی آبیاری. 35. 4: 59 - 73.

کتیرایی،س، حجام،س، ایران‌نژاد،پ. 1386. سهم تغییرات فراوانی و شدت بارش روزانه در روند بارش در ایران طی دوره 1960 تا 2001. مجله فیزیک زمین و فضا. 33. 1: 67 -83.

Boccolari,M and Malmusi,S. 2013. Changes in temperature and precipitation extremes observed in Modena, Italy. Atmospheric Research. 122:16-31.

Dinpashoh,Y., Mirabbasi,R., Jhajharia,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.

Ghahraman,B. and Taghvaeian,S. 2008. Investigation of annual rainfall trends in Iran. Journal of Agricultural Science and Technology. 10: 93-97.

Gocic,M and Trajkovic,S. 2013. Analysis of changes in meteorological variables using Mann-Kendall and Sen's slope estimator statistical tests in Serbia. Global and Planetary Change. 100:172-182.

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

Kousari,M.R and Asadi,M.A. 2010. Minimum, maximum, and mean annual temperatures, relative humidity, and precipitation trends in arid and semi-arid regions of Iran. Arabian Journal of Geosciences. 4.6: 907-914.

Kousari,M.R., Ahani,H., 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., Thurner,K. 2009. Streamflow trends in Indiana: Effects of long term persistence, precipitation and subsurface drains. Journal of Hydrology. 374: 171-183.

Lettenmaier,D.P., Wood,A.W., Palmer,R.N., Wood,E.F and Stakhiv,E.Z. 1999. Water resources implications of global warming, A U.S. regional prespective. Climate Change. 43: 537-579.

Martinez,C., Maleski,J. Miller,F. 2012. Trends in precipitation and temperature in Florida, USA. Journal of Hydrology. 453: 259-281.

Modarres,R and Da Silva,V.P.R. 2007. Rainfall trends in arid and semi-arid regions of Iran. Journal of Arid Environment. 70: 344-355.

Partal,T and Kahya,E. 2006. Trend analysis in Turkish precipitation data. Hydrological Processes. 20: 2011-2026.

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.

Sabohi,R and Soltani,S. 2008. Trend Analysis of Climatic Factors in Great Cities of Iran. Agriculture and natural resources. 12.46: 303-322.

Tabari,A and Hosseinzadeh-Talaee,P. 2011. Recent trends of mean maximum and minimum air temperatures in the western half of Iran. Journal of Meteorological Atmosphere Physics. 111: 121–131.

Tabari,H and Hosseinzadeh-Talaee.P. 2011. Analysis trends in temperature data in arid and semi-arid regions of Iran. Atmospheric Research. 79:1-10.

Wang,Q., Fan,X., Qin,Z., Wang,M. 2012. Change trends of temperature and precipitation in the Loess Plateau Region of China, 1961–2010. Global and Planetary Change.93: 138-147.

Yang,X.L., Xu,L.R., Li,C.h., Hu,J and Xia,X.H. 2012. Trends in temperature and precipitation in the Zhangweinan River basin during last 53 years. Procedia Environmental Sciences. 13: 1966-1974.

Archive of SID

www.SID.ir

Zarenistanak,M., Dhorde,A.G., Kripalani,R.H. 2013. Temperature analysis over southwest Iran: trends and projections. Theoretical and Applied Climatology. 116.2: 103-117.

Archive of SID

www.SID.ir

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 6, Vol. 10, Jan.-Feb. 2017, p. 797-809

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره 6، جلد 10، بهمن - اسفند 1395، ص. 809-797

Investigation of Precipitation and Temperature Trend Across the North West of Iran in Recent half of the Century

A. Amirrezaeieh*[1], J. Porhemmat[2] and F. Ahmadi[3]
Recived: Feb.18, 2016 Accepted: Oct.30, 2016

Abstract

Temperature and precipitation are two main factors of climate and their variation may lead to change the climate of every region. For this reason, investigation of rainfall and temperature trend, in different temporal and spatial scales, forms a large part of climatology and water resources engineering researches. In this study, trends of temperature and precipitation of the NW of Iran (10 synoptic stations) were examined in monthly, seasonal and annual time scales in the period of 1961-2010 using the Mann-Kendall method after the removal of the effect of all significant autocorrelation coefficients. The Sen's slope estimator was used for determining the slope of temperature and precipitation trend line. Results showed that there is a positive trend in the most of months for the NW of Iran's temperature. The most numbers of stations with significant positive trend were observed in April and September. In the case of precipitation, the monthly series showed a decreasing trend. In seasonal time scale, summer, winter and autumn seasons have experienced the highest increase in temperature, respectively, and spring and winter seasons have the highest negative rate in precipitation. In annual time scale, 60% of stations have experienced a significant positive trend in temperature which it led to a negative trend in precipitation of 70% of considered stations. In average, across the North West of Iran in the recent half of the century, the temperature increased about +1.20 °C and the precipitation decreased about -88.9 mm.

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

Archive of SID

1 - ph.D Candidate Professor of Water Resources Engineering, Science and Research branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
2 - Associate Prof. in Hydrology and Water Resources, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Tehran, Iran.
3 - ph.D Candidate of Water Resources Engineering, Shahid Chamran University, Ahvaz, Iran.
(*- Corresponding Author Email: a.amirrezaeieh@gmail.com)

www.SID.ir