

بررسی روند و زمان تغییر روند بارش حوضه دریاچه ارومیه

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

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۳/۱۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۸/۰۳

چکیده

تغییرات اقلیمی در عصر حاضر یکی از چالش‌های مهم زیست محیطی می‌باشد. درک ما از تأثیرات بشر روی محیط، به ویژه آن‌هایی که در ارتباط با گرم شدن ناشی از افزایش گازهای گلخانه‌ای هستند، نشان می‌دهد که تعدادی از پارامترها به احتمال زیاد در حال تغییر می‌باشند. بنابراین بررسی روند تغییرات زمانی بارش در برنامه‌ریزی و طراحی دقیق‌تر پروژه‌های آبی در آینده از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشد. در این مطالعه روند تغییرات بارش حوضه دریاچه ارومیه در دو مقیاس سالانه و ماهانه با استفاده از آزمون ناپارامتری من - کندال اصلاح شده با حذف کامل ساختار خودهمبستگی مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور ۴۲ ایستگاه بارانسنجی (۲۴ ایستگاه در استان آذربایجان غربی و ۱۸ ایستگاه در استان آذربایجان شرقی) در حوضه دریاچه ارومیه انتخاب و پس از تکمیل دوره آماری ۱۳۹۲-۱۳۶۳ مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج بررسی بارش حوضه دریاچه ارومیه نشان داد که حوضه دریاچه ارومیه در طی سال‌های مورد بررسی ترکیبی از روند کاهشی و افزایشی را تجربه کرده است. روند کاهشی بارش اغلب در ایستگاه‌های مناطق غربی حوضه و مناطق غرب و جنوب غرب دریاچه ارومیه دیده شد. روند افزایشی بارش نیز در مناطق جنوبی و شمال شرقی حوضه دریاچه ارومیه مشاهده گردید. نتایج بررسی زمان تغییر روند در سری بارش حوضه دریاچه ارومیه نشان داد که شکست در سری بارش در اکثر ایستگاه‌هایی که کاهش روند بارش را تجربه کرده‌اند بین سال‌های ۱۳۷۱ تا ۱۳۷۷ بوده است. هم‌چنین نتایج پهنه‌بندی آماره Z آزمون من - کندال اصلاح شده نشان داد که در مقیاس سالانه مناطق تحت تأثیر توده هوای قطبی - قاره‌ای ورودی به ایران از روند کاهشی در بارش سالانه برخوردار هستند.

واژه‌های کلیدی: پهنه‌بندی، تست پتیت، تغییر اقلیم، من کندال اصلاح شده

مقدمه

تغییرپذیری را بصورت بخشی از اقلیم عادی خود در دوره‌های کوتاه مدت و بلند مدت تجربه می‌کنند تغییرات اقلیمی کوتاه مدت به دلیل تفاوت سالانه در مقادیر متغیرهای اقلیمی معین در دوره‌های متوسط مثل دوره‌های ۳۰ ساله می‌باشند (۲۴). دلایل و اثرات منطقه‌ای تغییر اقلیم در نقاط مختلف جهان به‌طور گسترده از جنبه‌های گوناگون مورد مطالعه قرار گرفته است. از بین متغیرهای هیدرولوژیکی، بارش مهم‌ترین پارامتر چرخه پیچیده هیدرولوژیکی می‌باشد. به دنبال پدیده گرم شدن هوای سطح زمین الگوی بارش جهانی دچار دگرگونی شده است. تغییر الگوی بارش متأثر از تغییر تبخیر در اثر گرم شدن هوا و دگرگونی الگوی گردش عمومی می‌باشد. به نظر می‌رسد به دنبال تغییر الگوی عمومی، برخی نواحی مرطوب‌تر و برخی خشک‌تر از گذشته خواهند شد. گذشته از تغییر مقدار ریزش‌های جوی، زمان وقوع بارش و نوع ریزش هم در معرض دگرگونی است. بررسی روند تغییرات پارامترهای تأثیرگذار بر خشکسالی یک منطقه نظیر بارش کمک بسزایی در شناخت اقلیم منطقه دارد. در سال‌های اخیر مطالعات گسترده‌ای در این زمینه در سراسر جهان انجام شده است. از این رو در سالیان اخیر مطالعات متعددی در زمینه تحلیل روند متغیرهای

با توجه به این که کشور ایران در مرکز خشک کره زمین جای دارد و از بیابان‌های آسیای میانه و صحراهای خشک و گرم عربستان و آفریقا سخت متأثر است، جزو یکی از خشک‌ترین و کم بارش‌ترین نواحی زمین محسوب می‌گردد. دریاچه ارومیه نیز که در شمال غرب ایران واقع شده است، در سال‌های اخیر دچار بحران کم آبی و خشکسالی شده است. لذا مدیریت صحیح منابع آبی کشور به خصوص در مناطق بحران‌زده از اهمیت بسزایی برخوردار می‌باشد. اولین گام در اعمال مدیریت صحیح منابع آب، مطالعه عوامل اثر گذار بر این منابع از جمله تغییرات اقلیمی می‌باشد. اقلیم فرایندی پویاست که در مقیاس زمانی و مکانی تغییر می‌کند. بخش‌های زیادی از کره زمین

۱- دانشجوی دکتری گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه بیرجند

*- نویسنده مسئول: (Email: m_nazeri2007@yahoo.com)

۲- دانشجوی دکتری گروه هیدرولوژی و منابع آب، دانشگاه شهید چمران اهواز

۳- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه ارومیه

راتنایاک (۱۰) روند بارش‌های سالانه سریلانکا را در طی سال‌های ۱۹۶۴ تا ۱۹۹۳ مورد بررسی قرار دادند. دلیمبا و همکاران (۵) روند بارش‌های ماهانه و سالانه ۱۰۷ ایستگاه هواشناسی کشور پرتغال را در دوره ۲۰۰۰-۱۹۴۱ با آزمون من - کندال مورد مطالعه قرار دادند. بیکر و همکاران (۲) روند بارش را در حوزه رودخانه یانگ تسه در چین با آزمون من - کندال تحلیل کردند. کایا و پارتال (۱۱) روند فصلی بارش‌های ترکیه را با استفاده از آزمون من - کندال مورد بررسی قرار دادند. پال و اتبای (۲۵) روند بارش‌های حدی فصلی را در فصول زمستان، بهار و پائیز منطقه کرایای در هندوستان را با استفاده از آزمون من - کندال مورد بررسی قرار دادند. دوهان و پاندی (۶) در پژوهشی به مطالعه تغییرات زمانی و مکانی بارش ۱۰۲ ساله منطقه مادها پارادش هندوستان پرداختند. آنها از آزمون من - کندال و تخمین گر شیب سن به منظور تعیین روند یکنواخت بارش و از آزمون پتیت برای تشخیص نقاط شکست استفاده کردند. چن و همکاران (۴) روند تغییرات بارش، دما و رواناب حوضه آبریز یانگتس چین را در دوره آماری ۱۹۵۵ تا ۲۰۱۱ با استفاده از آزمون من - کندال مورد بررسی قرار دادند. خلیلی و همکاران (۱۶) روند تغییرات بارش سالانه دو دهه اخیر ایران را با استفاده از آزمون من - کندال مورد بررسی قرار دادند. با توجه به مرور منابع مشاهده شد که جهت بررسی روند متغیرهای هیدرولوژیکی روش‌های پارامتری و ناپارامتری مختلفی وجود دارد که در این میان روش ناپارامتری من - کندال کاربرد گسترده‌ای داشته که برخی با در نظر گرفتن اثر خودهمبستگی اقدام به بررسی روند کرده‌اند و برخی بدون در نظر گرفتن اثر خودهمبستگی روند تغییرات پارامترهای هیدرولوژی را بررسی کرده‌اند. هم‌چنین از مرور منابع استنباط می‌شود که تحقیق‌های صورت گرفته در سطح ایران در زمینه بررسی روند تغییرات بارش‌ها از داده‌های بارش ثبت شده در ایستگاه سینوپتیک استفاده شده است در حالی که پوشش شبکه‌های باران-سنجی و ایستگاه‌های آن در سطح هر حوضه و یا هر منطقه‌ای گسترده‌تر می‌باشد و استفاده از داده‌های بارش ثبت شده در ایستگاه‌های باران‌سنجی تغییرات بارش‌ها را بهتر نمایش می‌دهد. با توجه به مطالب ارائه شده و هم‌چنین با توجه به تغییرات اقلیم و تغییرات آب و هوایی در سطح حوضه دریاچه ارومیه به نظر می‌رسد بررسی تغییرات روند بارش ماهانه و سالانه حوضه دریاچه ارومیه و هم‌چنین بررسی زمان تغییر روند آن از اهمیت ویژه‌ای برخوردار باشد. هدف از مطالعه حاضر بررسی روند و زمان تغییر روند داده‌های ماهانه و سالانه ایستگاه‌های باران‌سنجی حوضه دریاچه ارومیه با استفاده از آزمون من - کندال اصلاح شده و با در نظر گرفتن اثر خودهمبستگی می‌باشد.

هیدرولوژی در سراسر جهان صورت پذیرفته است که نشان از اهمیت بالای این مطالعات دارد. روش‌های بررسی روند تغییرات پارامترهای مختلف به دو دسته پارامتری و ناپارامتری تقسیم می‌شوند. از آنجایی که روش‌های ناپارامتری تعیین روند به مقادیر داده‌های پرت، داده‌های گم‌شده و فرض نرمال داده‌ها کمتر حساس بوده و هم‌چنین در این روش‌ها نیازی به تعیین خطی و یا غیرخطی بودن روند داده‌ها نیست، لذا روش‌های ناپارامتری همچون روش من - کندال در طی سال‌های اخیر استفاده گسترده‌ای در تعیین روند سری‌های هیدرولوژیکی داشته است (۸). بررسی روند تغییرات بارش در نقاط مختلف دنیا توسط محققین زیادی مورد بررسی قرار گرفته است. از جمله می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

فورلند و همکاران (۷) با بررسی روند بارش‌های منطقه اقیانوس اطلس شمالی نشان دادند که روند بارش در شمال اروپا مثبت و در جنوب این قاره منفی می‌باشد. مانتون و همکاران (۲۲) با استفاده از آزمون من - کندال روند داده‌های بارش حداکثر روزانه و دما در دوره آماری ۱۹۶۱ تا ۱۹۹۸ در جنوب شرقی آسیا و جنوب اقیانوس آرام را مورد بررسی قرار دادند. زو و همکاران (۳۲) نیز روند تغییرات بارش ژاپن را با استفاده از دو روش من - کندال و تی-تست^۱ بررسی کردند. در واقع دو آزمون پارامتری و ناپارامتری را مورد بررسی قرار دادند. در بررسی روند تغییرات بارش در هر منطقه از دو حالت آزمون من - کندال (با حذف اثر خودهمبستگی و بدون حذف اثر خودهمبستگی) استفاده شده است. فرض اصلی مطالعات تحلیل روند با استفاده از آزمون من - کندال مستقل بودن و عدم وجود خودهمبستگی معنی‌دار در داده‌های نمونه است. با این وجود ممکن است برخی سری‌های هیدرولوژیکی مانند بارش و یا دبی جریان دارای ضریب خودهمبستگی معنی‌دار باشند. در علم آمار، خودهمبستگی یک فرآیند تصادفی همبستگی بین مقادیرهای فرآیند در نقاط مختلف، زمان را به‌عنوان تابع دو زمانه یا تفاضل زمانی توصیف می‌کند. بنابراین برای حذف اثر خودهمبستگی روی آزمون من - کندال ضروری است قبل از انجام آزمون، اجزای خودهمبستگی از قبیل فرآیند خودهمبستگی مرتبه اول (AR(1)) از سری داده‌ها حذف گردد (۳۱). یو و هاشینو (۳۳) نیز روند بلند مدت بارش ماهانه و سالانه ژاپن را با آزمون من - کندال و با در نظر گرفتن اثر خودهمبستگی مورد بررسی قرار دادند. کارمشو (۱۲) روند تغییرات بارش و دمای سالانه شمال غرب ایالات متحده را در دوره آماری ۱۹۰۰ تا ۲۰۱۱ با استفاده از آزمون من - کندال اصلاح شده در سطح معنی‌داری ۵ درصد، بررسی کردند. خلیلی و همکاران (۱۶) نیز روند تغییرات بارش و الگوی بارش را در نیم قرن اخیر ایران با استفاده از آزمون من - کندال اصلاح شده مورد بررسی قرار دادند. هرس و

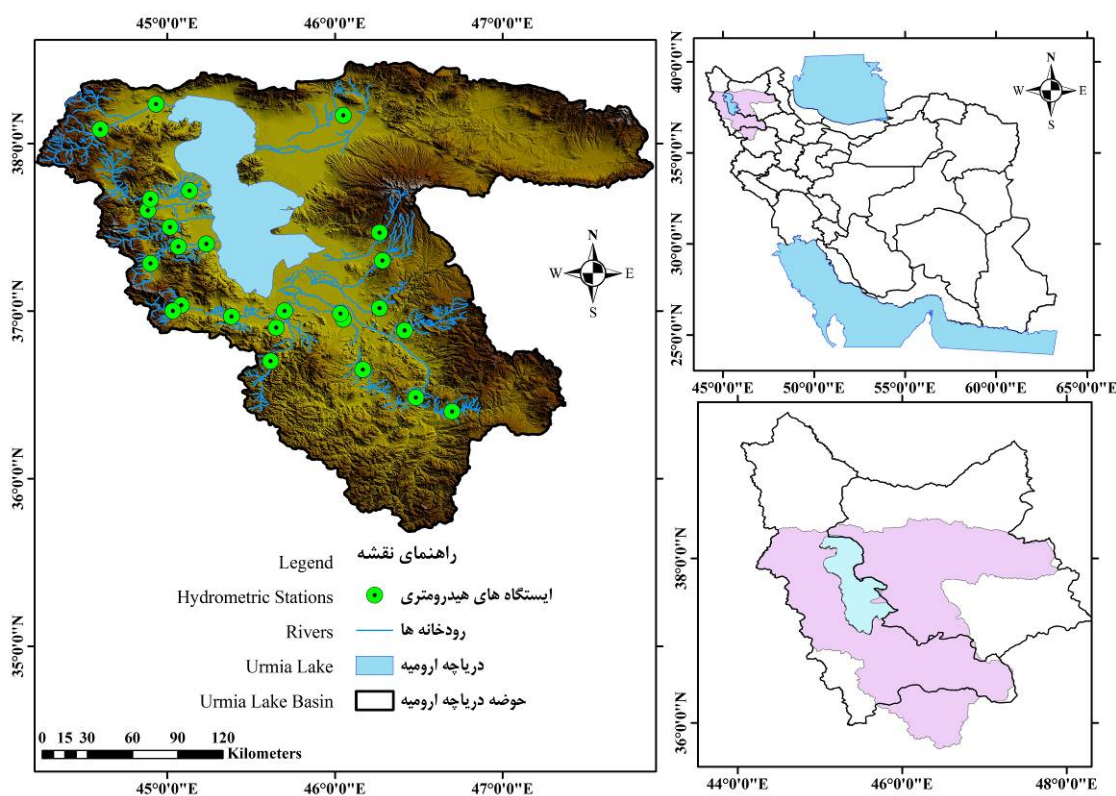
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه و داده‌های استفاده شده

دریاچه ارومیه که کانون تجمع جریان‌های سطحی مازاد بر مصرف کلیه رودخانه‌های حوضه بسته ارومیه می‌باشد، با وسعت تقریبی ۵۷۵۰ کیلومتر مربع و رقوم متوسط ۱۲۷۶ متر از سطح دریا و در میانه ناحیه شمالی حوضه قرار دارد. در اطراف دریاچه ارومیه تعداد ۱۶ تالاب با وسعت‌های ۵ تا ۱۲۰ هکتار (که بعضی خشک شده‌اند) وجود دارد که اکثراً دارای آب شیرین و یا شور و شیرین بوده و از ارزش اکوسیستمی بالائی برخوردار هستند. حوضه آبریز دریاچه ارومیه بین مختصات ۱۴-۴۴ تا ۵۳-۴۷ طول شرقی و ۳۵-۴۰ تا ۳۸-۳۰ عرض شمالی واقع شده است. تغییرات بارندگی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه ۲۲۰ تا ۹۰۰ میلی‌متر و متوسط بارش ۲۶۳ میلی‌متر می‌باشد و از مناطق مرکزی حوضه به سوی مناطق مرتفع پیرامونی بر مقدار بارندگی افزوده می‌شود. موقعیت دریاچه ارومیه، رودخانه‌ها و ایستگاه‌های بارانسنجی و هیدرومتری حوضه دریاچه ارومیه به شرح شکل ۱ ارائه گردید. در این مطالعه از داده‌های بارش سالانه و ماهانه ۴۲ ایستگاه بارانسنجی حوضه دریاچه ارومیه در دوره آماری ۹۲-

آزمون من-کندال

در این مطالعه روند تغییرات سری‌های زمانی بارش ایستگاه‌های بارانسنجی موجود در حوضه دریاچه ارومیه با آزمون ناپارامتری من-کندال مورد بررسی قرار می‌گیرد. این آزمون به‌طور وسیعی در مطالعات هیدرولوژی، کلیماتولوژی و متئورولوژی مورد استفاده قرار گرفته است. شرط لازم برای استفاده از این آزمون عدم وجود خودهمبستگی در سری زمانی داده‌ها می‌باشد، با این حال ممکن است داده‌ها دارای خود همبستگی معنی‌دار باشند. بنابراین باید ابتدا اثر خودهمبستگی داده‌ها حذف گردد تا بتوان از آزمون من-کندال استفاده نمود (۱۶). بدین منظور در مطالعه حاضر به جای آزمون من-کندال مرسوم (MK1) از ویرایش دیگر آن شامل آزمون من-کندال با حذف کامل ساختار خودهمبستگی (MK3) استفاده شد. در ادامه روش‌های آزمون من-کندال شرح داده می‌شود.



شکل ۱- ارتفاعات حوضه دریاچه ارومیه و ایستگاه‌های بارانسنجی مورد مطالعه.

Fig 1- Urmia Lake basin highland and studied rain gaging stations.

جدول ۱- خصوصیات آماری ایستگاه‌های بارسنجی حوضه دریاچه ارومیه در دوره آماری ۱۳۶۲-۱۳۹۲
Table 1- Statistical properties of hydrometric stations that located in Urmia Lake basin in period of 1984-2013

Station ایستگاه	Elevation (m) ارتفاع (متر)	Latitude (m) عرض جغرافیایی	Longitude (m) طول جغرافیایی	Station ایستگاه	Elevation (m) ارتفاع (متر)	Latitude (m) عرض جغرافیایی	Longitude (m) طول جغرافیایی	Station ایستگاه	Elevation (m) ارتفاع (متر)	Latitude (m) عرض جغرافیایی	Longitude (m) طول جغرافیایی
Shabestar شهبستر	1400	4226388	561305	Sero سرو	1628	4175117	468231	Afan افان	1620	404314	557052
Pardel پردل	1415	4230498	602129	Moshabad موش آباد	1281	417599	517436	Alasagel الاسقل	1700	403978	683041
Tasoj تسوج	1390	4241014	532053	Naçade نقده	1306	409099	534795	Urban اوربان	1840	424417	475445
Ghezleche قرلچه	1844	4219408	701672	Payam پام	1790	4244952	569903	Babarood بابارود	1282	413958	520490
Mehraban مهربان	1608	4217210	687099	Saray سرای	1545	4231622	669248	Badamloo باداملو	2119	408136	663820
Harris هریس	1690	4190307	721473	Zamaq زرق	1600	4217110	682713	Bagch باغچه میشه	1898	403901	658254
Ghoshchi قوشچی	1980	4184195	699604	Isfahlan اسفهان	1400	4204554	598064	Pey Ghala پی قلعه	1306	409428	502663
Aghekol آغچه کهل	1710	4127289	628538	Zenjanab ذینجاناب	2110	4189928	611483	Pole sorkhe پل سرخ	1350	406948	563126
Saeedabad سعید آباد	1950	4201449	639111	Basmanij باشمنج	1700	4206829	628772	Tapik تپیک	1398	417071	490988
Sari Ghamesh ساری قمیش	1391	4303843	633518	Bashsizojan باشسیزوچان	1850	4185094	655525	Tamar تمبر	1387	421856	489613
Ghezel-Ghaber قرل قبر	1657	4304935	647580	Zharabad ژارآباد	1569	411990	496768	Chehreq چهریق	1611	421451	464363
Ghezel Gonbad قرل گنبد	1374	4303110	586755	Ghoshkhana قوشخانه	2260	404350	705960	Chobchole چوبچوله	1361	408209	624549
Khoshelmehr خوشه مهر	1320	4130604	600422	Gerdeyaghob گردیعوب	1280	409459	563788	Dashband داسبند	1318	405698	604229
Zarneh زرینه	1390	4089831	593482	Khormazard خرمازرد	1556	4141734	603238	Zereshoran زره شوران	2100	406223	689112

آزمون من - کندال بدون در نظر گرفتن خودهمبستگی داده‌ها

در آزمون MK1 هر مقدار در سری زمانی بصورت پیوسته و پشت سرهم با بقیه مقادیر سری، مورد مقایسه قرار می‌گیرد. آماره S بصورت زیر در نظر گرفته شد:

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

که در آن x_j مقادیر داده‌های متوالی، n طول مجموعه داده‌ها و $\text{sgn}(\theta)$ تابع علامت بوده که بصورت زیر تعریف گردید:

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

من (۲۱) و کندال (۱۴) نشان دادند که وقتی $n \geq 8$ باشد، آماره S تقریباً به طور نرمال توزیع شده و میانگین و واریانس آن بصورت زیر می‌باشد:

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

$$V(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^m t_i(t_i-1)(2t_i+5)}{18} \quad (4)$$

که در آن t_i تعداد داده‌های یکسان در دسته i ام و m برابر با تعداد گروه‌های جفتی می‌باشند. آماره آزمون استاندارد شده Z بصورت زیر محاسبه می‌شود:

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & S > 0 \\ 0 & S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & S < 0 \end{cases} \quad (5)$$

آماره آزمون MK1 استاندارد شده Z از توزیع نرمال استاندارد با میانگین صفر و واریانس ۱ پیروی می‌کند. فرض صفر به شرطی پذیرفته می‌شود که $-Z_{1-\alpha/2} \leq Z \leq Z_{1-\alpha/2}$ قرار گیرد. لازم به ذکر است که α برابر با سطح معنی‌داری می‌باشد. در شرایطی که $s=0$ باشد داده‌ها فاقد روند بوده و هیچ روند معنی‌دار یا غیر معنی‌داری در داده‌ها وجود ندارد که این شرایط ایده آل برای داده‌های هیدرولوژیکی به ندرت ممکن است اتفاق بیفتد. اما برای داده‌هایی که روند افزایشی دارند مقدار S صفر نبوده و مقداری مثبت دارد و در رابطه ارائه شده توسط من - کندال آماره Z با کسر یک واحد از S مثبت تقسیم بر انحراف معیار S به دست می‌آید و برای داده‌هایی که

روند کاهشی دارند مقدار S صفر نبوده و مقداری منفی دارد و در رابطه ارائه شده توسط من - کندال آماره Z با اضافه کردن یک واحد به S منفی تقسیم بر انحراف معیار S حاصل می‌گردد.

تخمین گر شیب سن

یک شاخص بسیار مفید در آزمون من - کندال شیب خط روند یا به اصطلاح شیب Sen می‌باشد که بزرگی روند یکنواخت را نشان می‌دهد. مقدار شیب روند با استفاده از شیوه ارائه شده توسط تیل (۳۰) و سن (۲۸) با رابطه زیر برآورد شد:

$$\beta = \text{Median} \left(\frac{x_j - x_i}{j - i} \right) \quad \forall i < j \quad (6)$$

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 β نشان دهنده روند افزایشی و مقادیر منفی آن روند کاهشی را نشان می‌دهند. این روش در مطالعات هیدرولوژیکی به طور وسیعی استفاده شده است. لازم به ذکر است که برآورد مقدار شیب سن جهت محاسبات آزمون من - کندال اصلاح شده مورد نیاز می‌باشد.

آزمون من - کندال با حذف ضریب خودهمبستگی مرتبه اول (MK2)

این روش توسط کومار و همکاران (۱۹) شرح داده شده است. 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 شد:

۱- ضریب خودهمبستگی مرتبه اول، r_1 ، از رابطه زیر محاسبه گردید:

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

۲- سری داده‌ها در صورتی (در سطح معنی‌داری ۱۰ درصد) مستقل از هم فرض شد که در شرط $\frac{-1-1.645\sqrt{n-2}}{n-2} \leq r_1 \leq \frac{-1+1.645\sqrt{n-2}}{n-2}$ صدق می‌کرد که در این حالت آزمون MK با روش کلاسیک (یا MK1) انجام می‌شود در غیر این صورت اثر ضریب خودهمبستگی مرتبه اول داده‌ها بر روی روند آنها به صورت زیر حذف می‌شود. لازم به ذکر است در صورتی که r_k در رابطه صدق کند، داده‌ها مستقل از هم بوده و نیازی به حذف اثر خود همبستگی نخواهد بود اما در غیر این صورت بایستی برای تک تک مرتبه‌های خودهمبستگی (k) این شرط بررسی شود و

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

که در آن n^* اندازه مؤثر نمونه بوده و از طریق رابطه (۱۲) قابل محاسبه می‌باشد، $V(S)$ از رابطه (۴) و r_i ضریب خودهمبستگی با تأخیر i در سطح معنی‌داری ۱۰ درصد از رابطه (۷) محاسبه شدند. برای محاسبه Z من-کندال، در رابطه (۵) مقدار عبارت $V(S)$ با $V(S)^*$ جایگزین گردید. حامد و راتو (۹) نشان دادند که در این روش، معنی‌داری روند دقیق‌تر از روش من - کندال مرسوم بوده و اثری بر توان (قدرت) آزمون ندارد. این روش در تحقیقات زیادی مانند کومار و همکاران (۱۹) و خلیقی و همکاران (۱۷) به کار برده شده است.

آزمون پتیت

تست پتیت آزمونی ناپارامتری است که در سال ۱۹۷۹ توسط پتیت توسعه داده شد. این روش برای پیدا کردن نقاط تغییر در یک سری زمانی به کار برده می‌شود. 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 (۲۶):
ابتدا سری زمانی $U_{t,n}$ به صورت زیر به دست می‌آید:

$$U_{t,n} = \sum_{i=1}^t \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(x_j - x_i) \quad (13)$$

در رابطه فوق n تعداد داده‌ها و t شماره ترتیبی داده‌های سری زمانی تا نقطه تغییر و بعد از آن می‌باشد (۳۵). طول دوره آماری n تعداد داده در سری آماری است. تابع $\text{sgn}(\cdot)$ نیز به صورت رابطه ۲ محاسبه می‌شود. مقدار k از رابطه زیر محاسبه شده و در رابطه ۱۵ جایگزین شده و آماره P به دست می‌آید:

$$k = \max [U_{t,n}] \quad (14)$$

$$P = 2 \times e^{\frac{-6k^2}{n^3+n^2}} \quad (15)$$

در این آزمون، فرض H_0 : بیان‌گر همگنی داده‌ها و فرض H_1 نشان‌دهنده سال وقوع شکست در سری زمانی مورد مطالعه می‌باشد. در صورتی که مقدار P محاسبه شده کوچک‌تر از α یا مقدار سطح معنی‌داری (۰/۰۵) 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 آزمون پتیت با توجه به وجود ناهمگنی می‌توان به سال شکست رسید. در این مطالعه، آزمون

در صورت عدم برقراری شرط بالا، داده‌ها مستقل نبوده و بایستی اثر خودهمبستگی از داده‌ها حذف گردد (۹).

۳- شیب خط روند یا β برای سری داده‌ها از رابطه (۶) محاسبه و سری جدیدی به شرح زیر به دست آمد.

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

۴- ضریب r_1 داده‌های سری جدید مجدداً محاسبه شد.

۵- مؤلفه ضریب خودهمبستگی مرتبه اول $AR(1)$ ، از سری جدید به شرح زیر حذف و سری باقیمانده‌ها (y'_i) از رابطه زیر به دست آمد:

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

۶- بار دیگر مقدار روند $(\beta \times i)$ به سری اخیر افزوده شد و سری نهایی (y_i) به شرح زیر به دست آمد:

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

اکنون با اعمال آزمون من - کندال (MK1) به سری داده‌های ترکیبی، وجود روند در آنها بررسی می‌شود. این کار با محاسبه آماره Z من-کندال (رابطه ۵) برای سری اخیر انجام گرفت. اگر Z محاسبه شده بزرگ‌تر از رقم ۱/۶۴۵ می‌شد روند داده‌ها در سطح ۱۰ درصد معنی‌دار فرض می‌شد و اگر Z محاسبه شده بزرگ‌تر از ارقام ۱/۹۶ و ۲/۳۳ می‌شد روند داده‌ها به ترتیب در سطح ۵ درصد و ۱ درصد معنی‌دار فرض شد. در غیر این صورت فرض صفر مینی بر وجود روند در داده‌ها در سطح معنی‌داری مورد نظر رد شد. این روش توسط بورن و همکاران (۳)، لو و همکاران (۲۰) و باندیپادایا و همکاران (۱) نیز بکار برده شده است.

آزمون من-کندال با حذف اثر کامل ضرایب خودهمبستگی معنی‌دار (MK3)

همان‌طوری که در قسمت معنی‌داری ضرایب شرح داده شد (بخش مربوط به آزمون من کندال با حذف ضریب خودهمبستگی مرتبه اول (MK2)) اثر خودهمبستگی ضرایب در تأخیرهای مختلف بررسی شده و ممکن است در مرتبه اول یا مرتبه‌های دیگر داده‌ها مستقل نبوده و نیاز به حذف اثر خودهمبستگی در مرتبه اول یا برای باقی ضرایب صورت گیرد. آزمون من-کندال اصلاح شده به منظور حذف اثر کامل ضرایب خودهمبستگی معنی‌دار توسط حامد و راتو (۹) ارائه گردید. در این آزمون همه ساختار خودهمبستگی معنی‌دار در سری زمانی بررسی و حذف می‌گردد. ابتدا واریانس اصلاح شده که با $V(S)^*$ نشان داده می‌شود به شرح زیر حساب شد:

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

پیتیت بر اساس شبیه‌سازی ۱۰۰۰۰ تایی مونت کارلو انجام شد.

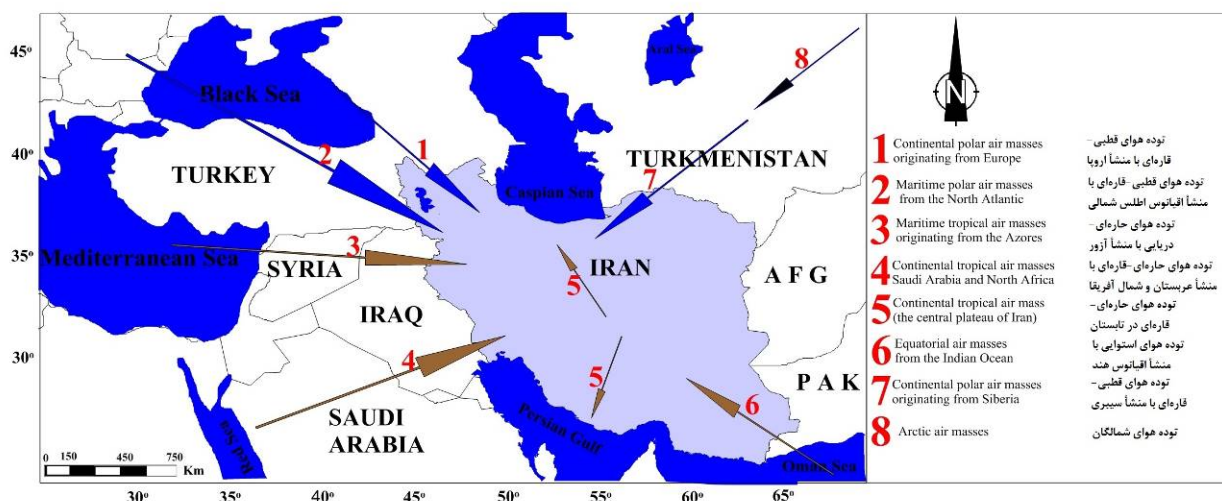
نتایج و بحث

در این مطالعه روند تغییرات داده‌های بارش ماهانه و سالانه ایستگاه‌های حوضه دریاچه ارومیه با استفاده از آزمون من-کندال اصلاح شده محاسبه گردید. جهت بررسی اثرات غیرمستقیم توده هوای ورودی به کشور ایران بر بارش حوضه دریاچه ارومیه از اطلس بلایای طبیعی که به صورت شکل ۲ ارائه شده است، کمک گرفته شد. مقادیر آماره Z بارش‌های حوضه دریاچه ارومیه در دو مقیاس زمانی ماهانه و سالانه محاسبه و نتایج به شرح شکل‌های ۳ تا ۵ ارائه گردید. شکل ۳ نیز موقعیت و اسامی این ایستگاه‌ها را نشان می‌دهد. با توجه به این شکل‌ها مشاهده می‌شود که روند غالب در سری‌های ماهانه و سالانه این حوضه کاهش است.

لازم به ذکر است در اشکال مربوط به پهنه‌بندی آماره Z من-کندال رنگ قرمز بیانگر روند افزایشی و معنی‌دار در سطح ۵ درصد، رنگ نارنجی بیانگر روند افزایشی و غیر معنی‌دار، رنگ پسته‌ای بیانگر روند کاهش و غیر معنی‌دار و رنگ سبز بیانگر روند کاهش و معنی‌دار در سطح ۵ درصد می‌باشد. نتایج بررسی روند تغییرات بارش ماهانه در شهریور نشان داد که روند کاهش معنی‌داری در این ماه مشاهده نمی‌شود. بیشترین تغییر در روند بارش در این ماه افزایش و غیر معنی‌دار می‌باشد. قسمت غربی دریاچه ارومیه در این ماه روند افزایشی نسبتاً معنی‌داری را مشاهده کرده است. تنها قسمت کوچکی در جنوب دریاچه ارومیه روند کاهش خفیفی را تجربه کرده است. نوارهای حاشیه شرقی حوضه دریاچه ارومیه نیز در این ماه

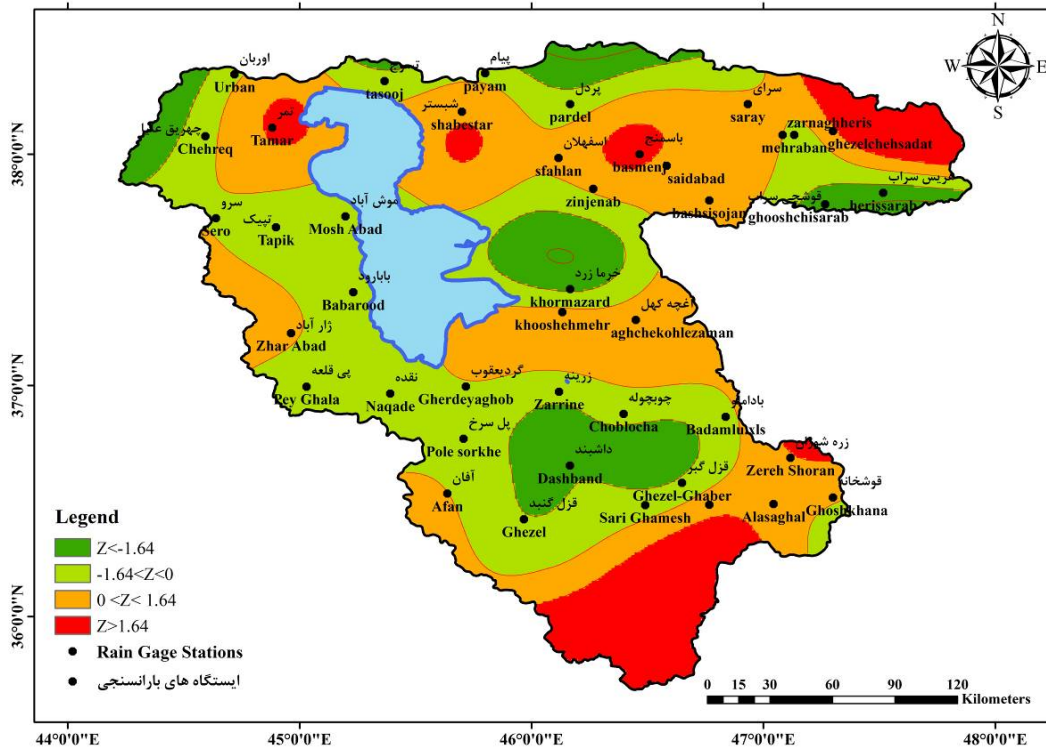
افزایشی و معنی‌دار می‌باشد. نتایج پهنه‌بندی آماره Z آزمون من-کندال اصلاح شده در روند بارش ماهانه مهر نشان داد که تقریباً تمام نواحی حوضه دریاچه ارومیه را روند کاهش بارش را در بر دارد. نواحی اطراف دریاچه ارومیه روند کاهش خفیف و هر چه از دریاچه ارومیه فاصله گرفته می‌شود روند کاهش بارش بیشتر و معنی‌دار می‌شود. دو ایستگاه در شمال غرب و شمال شرق دریاچه ارومیه در این ماه روندی افزایشی را در بارش‌ها نشان می‌دهند. قسمت کوچکی از شمال شرق حوضه نیز روندی افزایشی و معنی‌دار را نشان می‌دهد. در ماه آبان نیز بیشتر نواحی حوضه دریاچه ارومیه روندی کاهش را در بارش‌ها تجربه کرده است.

همان‌طور که از شکل ۵ قابل مشاهده است، نواحی شمال غرب و جنوبی دریاچه ارومیه و همچنین شمال شرق حوضه دریاچه ارومیه در این ماه روندی افزایشی را تجربه کرده است. قسمتی از شرق دریاچه ارومیه نیز در این ماه با روندی کاهش و معنی‌دار روبرو شده است. نتایج بررسی روند تغییرات بارش ماه آذر نشان داد که اکثر نواحی حوضه دریاچه ارومیه در این ماه از روندی کاهش برخوردار است که این روند در اطراف دریاچه ارومیه شدیدتر می‌شود. نواحی جنوبی حوضه دریاچه ارومیه روندی افزایشی را تجربه کرده‌اند. ماه دی نیز همانند اکثر ماه‌ها، روند غالب بر داده‌های بارش ماهانه کاهش می‌باشد. نسبت به ماه آذر روند افزایشی در نواحی مرکز حوضه دریاچه ارومیه افزایش یافته است. در این ماه روند کاهش بارش در شرق و غرب دریاچه ارومیه شدیدتر شده است. در ماه بهمن کم‌کم از روند کاهش کاسته شده و اغلب نواحی حوضه دریاچه ارومیه را روند افزایشی در بر رفته است.



شکل ۲- توده هوای ورودی به ایران (اطلس بلایای طبیعی) خلیلی و همکاران (۱۴).

Fig 2- Effective air masses upon Iran in the (Atlantis atmospheric and climatic disasters), Khalili et al (14)



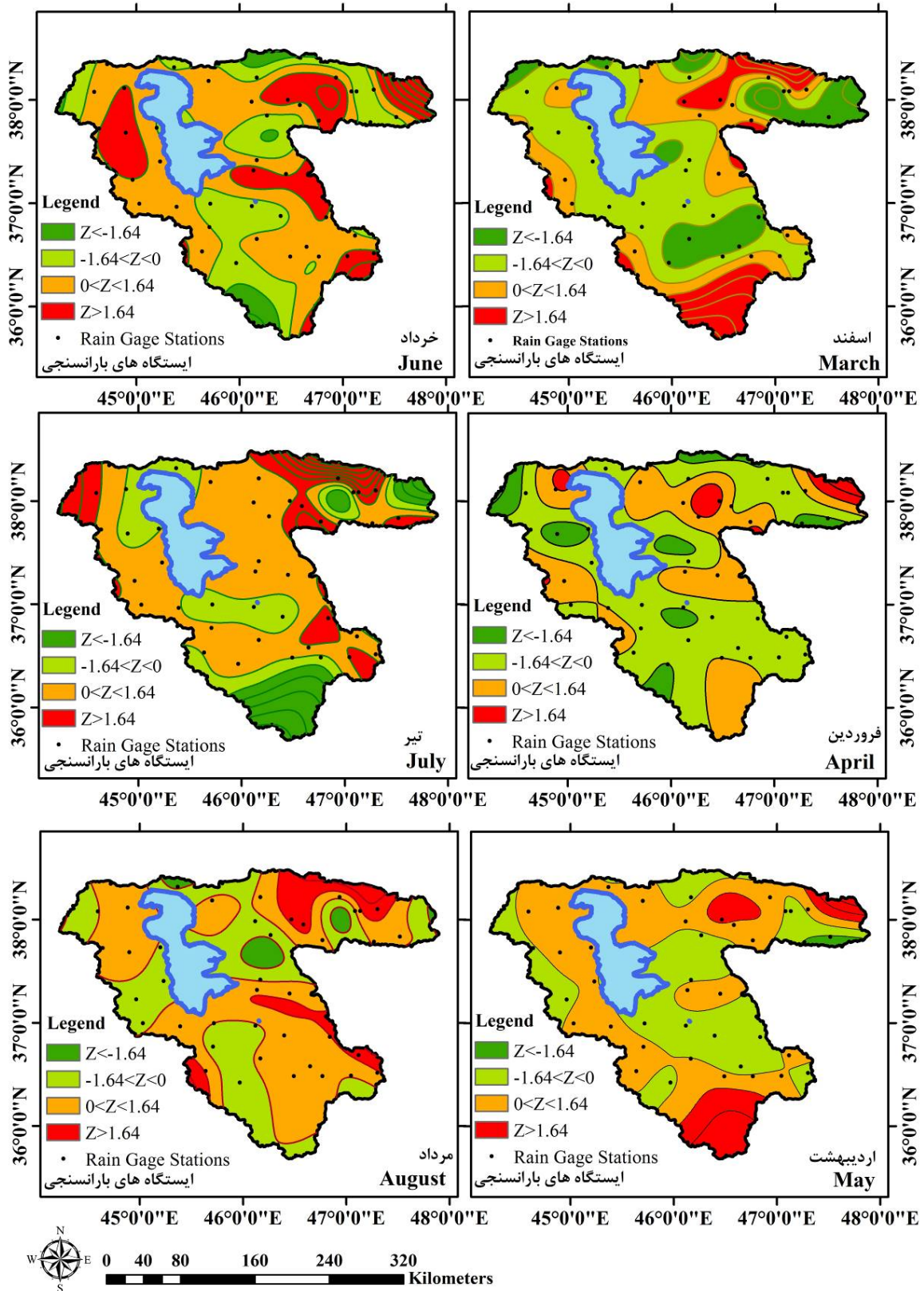
شکل ۳- نتایج آزمون من - کندال اصلاح شده در بررسی روند سالانه بارش

Fig 3- Results of modified Mann-Kendall test in evaluation the trend of annual precipitation

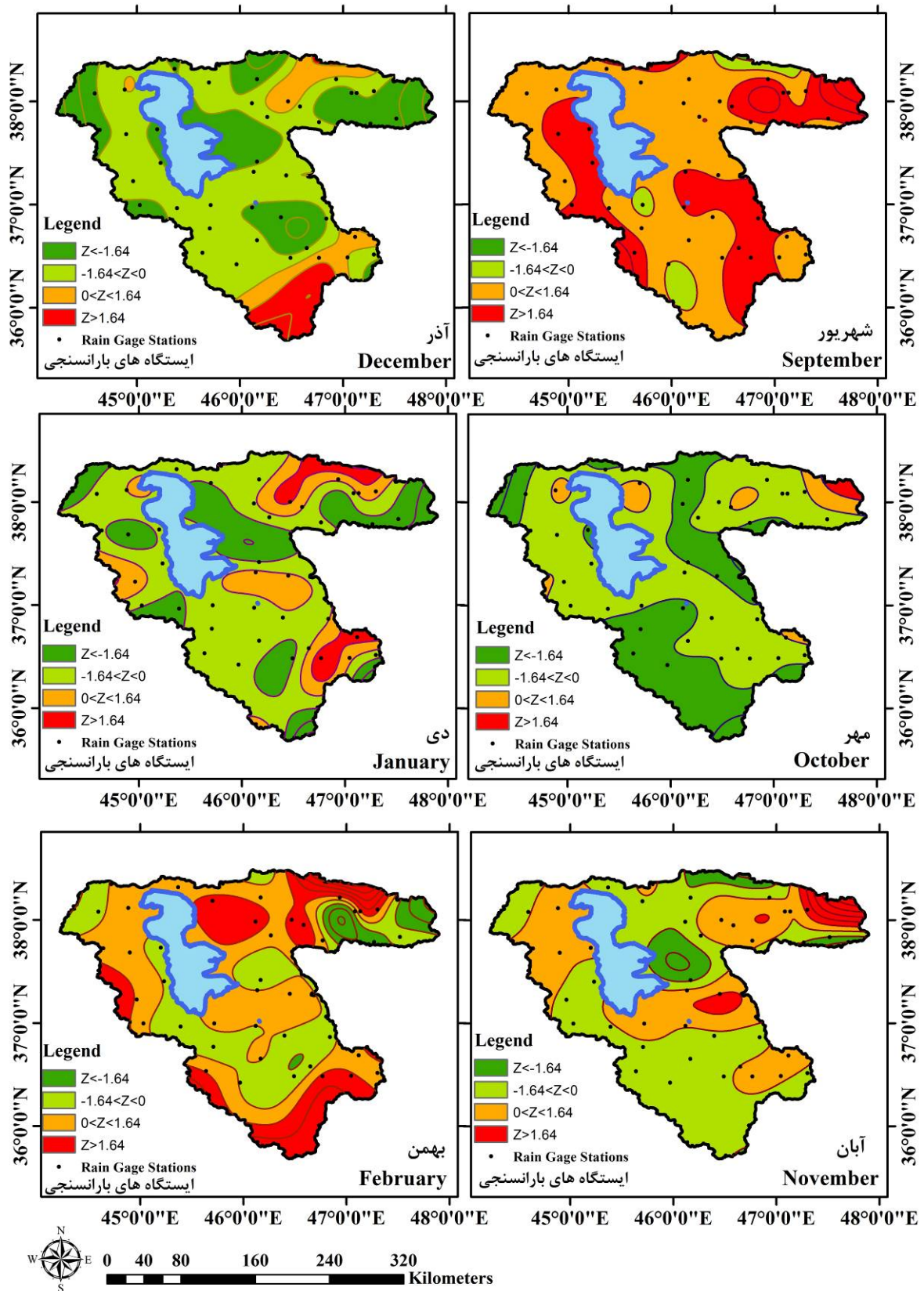
ماه تیر نیز این روند شدیدتر شده و اکثر ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه از روندی افزایشی برخوردار می‌باشد. در این ماه تنها مناطق جنوبی حوضه دریاچه ارومیه و قسمت‌های جنوبی و شمالی دریاچه ارومیه از روندی کاهشی برخوردار می‌باشد. سایر مناطق روندی افزایشی را شامل می‌شود. ماه مرداد ترکیبی از روند افزایشی و کاهشی را نشان می‌دهد. مناطق شمال شرقی، شرق و جنوب غرب دریاچه ارومیه روندی کاهشی و سایر نقاط با روندی افزایشی روبرو می‌باشد. شمال شرق حوضه نیز با روندی افزایشی و شدید برخوردار است. در مقیاس سالانه نیز نتایج نشان داد که ایستگاه‌های غربی و شرقی دریاچه ارومیه روندی کاهشی را شامل می‌شود. ایستگاه‌های شمال شرقی و جنوبی حوضه دریاچه ارومیه نیز با روندی افزایشی و شدید در بارش‌های سالانه مواجه هستند. سایر ایستگاه‌های موجود در حوضه دریاچه ارومیه نیز با روندی افزایشی روبرو هستند. به طور کلی نتایج نشان داد که ایستگاه‌های غربی حوضه دریاچه با روندی کاهشی و ایستگاه‌های شرقی حوضه با روندی افزایشی روبرو هستند. با توجه به شکل ۲ (اطلس بلایای طبیعی) می‌توان نتیجه گرفت که مناطق تحت تأثیر توده هوای قطبی - قاره‌ای با منشأ اروپا که از دریای سیاه منشأ می‌گیرد، روندی کاهشی در بارش‌های سالانه دارند و این توده هوا در طی سی سال دوره آماری دچار کاهش در بارش‌های ورودی شده است.

روند افزایشی بارش در نواحی جنوبی و شمال شرق حوضه دریاچه ارومیه شدیدتر می‌شود. قسمتی از جنوب غرب و غرب دریاچه نیز روندی کاهشی و خفیف را نشان می‌دهد. نتایج بررسی روند بارش ماهانه در ماه اسفند نشان داد که حوالی دریاچه ارومیه روندی کاهشی را شامل می‌شود و هر چه از دریاچه فاصله رفته می‌شود روند تغییرات بارش افزایشی می‌شود به طوری که در جنوب و قسمتی از شمال شرق حوضه دریاچه ارومیه افزایش شدید بارش‌ها را نشان می‌دهد. قسمتی از شمال شرق حوضه نیز روندی کاهشی و شدید را نشان می‌دهد. ماه فروردین ترکیبی از روند کاهشی و افزایش خفیف را نشان می‌دهد به طوری که نواحی اطراف دریاچه ارومیه به غیر از شمال غرب دریاچه روندی کاهشی و شمال غرب دریاچه روندی افزایشی را در بارش ماهانه نشان می‌دهد.

همانند سایر ماه‌ها، در این ماه نیز روندی افزایشی و معنی‌دار در قسمتی از شمال شرق حوضه دیده می‌شود. در ماه اردیبهشت کم‌کم از روند کاهشی بارش کاسته می‌شود به طوری که نوار مرزی شمال غرب و قسمتی از شمال شرق حوضه دریاچه ارومیه و منطقه جنوب شرق دریاچه روندی کاهشی و سایر نقاط حوضه دریاچه ارومیه با روندی افزایشی روبرو است. روند غالب بر بارش ماهانه خرداد در حوضه دریاچه ارومیه افزایشی بوده و تنها قسمتی از جنوب غرب حوضه دریاچه ارومیه روندی کاهشی را در بر داشت. نواحی مرزی دریاچه ارومیه نیز با روند افزایشی در بارش ماهانه روبرو بوده است. در



شکل ۴- پهنه‌بندی آماره Z من - کندال (بارش ماه‌های اسفند تا مرداد)
Fig 4- Mann-Kendall Z values zoning (March-August)



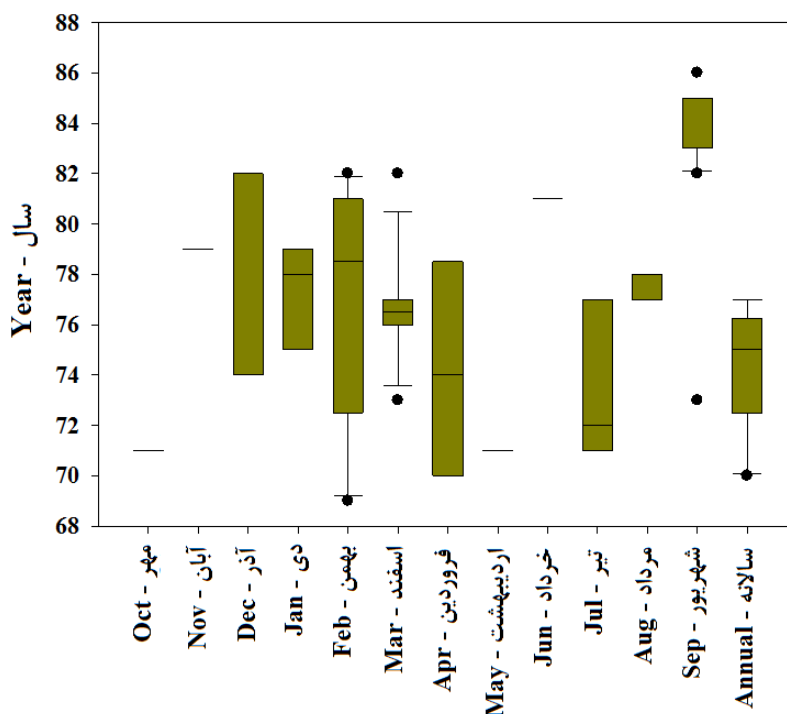
شکل ۵- پهنه‌بندی آماره Z من - کندال (بارش ماه‌های شهریور تا بهمن)
 Fig 5- Mann-Kendall Z values zoning (September-February)

ارومیه در مقیاس ماهانه و سالانه، نمودار جعبه‌ای آماره Z آزمون MMK در شکل ۷ ارائه شده است. در این شکل خط رسم شده در داخل مستطیل‌ها نشان دهنده میانه Z های ایستگاه‌ها می‌باشد. عرض مستطیل‌ها در قسمت فوقانی صدک ۷۵ و در قسمت تحتانی صدک ۲۵ را نشان می‌دهد. همچنین قسمت‌های انتهایی خطوط قائم در قسمت فوقانی و تحتانی به ترتیب حداکثر و حداقل مقدار آماره Z را نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۷ مشاهده می‌شود که در ماه‌های مهر، آذر، دی، اسفند و فروردین (۵ ماه از سال) روند غالب در بارش‌های حوضه آبریز دریاچه ارومیه کاهشی بوده و میانه Z ها نشان دهنده مقادیر کمتر از صفر می‌باشد. در ماه‌های آبان و اردیبهشت نیز تغییرات محسوسی در بارش‌ها رخ نداده است. در مقیاس سالانه نیز روند غالب کاهشی می‌باشد. نتایج زمان تغییر روند داده‌های بارش سالانه و ماهانه ایستگاه‌های بارانسنجی مورد مطالعه که با استفاده از آزمون پتیت محاسبه شده است، نیز به شرح شکل ۶ ارائه گردید. با توجه به شکل ۶ می‌توان نتیجه گرفت که ماه‌های فروردین، آبان و اردیبهشت کمترین میزان شکست و ماه‌های شهریور، بهمن، آذر و تیر بیشترین تعداد تغییر روند را در داده‌های بارش ماهانه دارند.

هنگامی که در یک منطقه معین، علامت روند یک ایستگاه با ایستگاه‌های دیگر متفاوت است، بیشترین احتمال می‌تواند به تغییرات عوامل محلی مربوط باشد. در این حالت به نظر می‌رسد که تغییر در شرایط محلی ایستگاه، مهم‌ترین علت باشد. این تغییر ممکن است ناشی از تغییر شرایط خرد اقلیمی در اطراف ایستگاه باشد و یا تغییراتی که به‌طور ناگهانی اتفاق افتاده‌اند. به‌طور مثال ایستگاه تغییر مکان یابد، پل یا سدی در اطراف آن احداث شود، دستگاه اندازه‌گیری یا دیده‌بان یا نوع ایستگاه تعویض شود. از طرفی ممکن است این تغییرات به‌صورت تدریجی باشد، مثلاً رشد درختان یا احداث تدریجی ساختمان در اطراف ایستگاه یا به‌طور کلی تغییر تدریجی محیط اطراف ایستگاه، عامل این امر باشد. برای تشخیص میزان روند واقعی، باید موارد زیادی از این قبیل را بررسی کرد (۱۳). این کار با مطالعه تفصیلی شناسه کاملاً دقیق داده‌ها و ترجیحاً مکتوب ایستگاه، میسر است. پس از مشخص شدن نوع روند می‌توان انتظار داشت که نتایج مدل‌سازی‌های اقلیمی نیز با نوع روند هماهنگی داشته باشد.

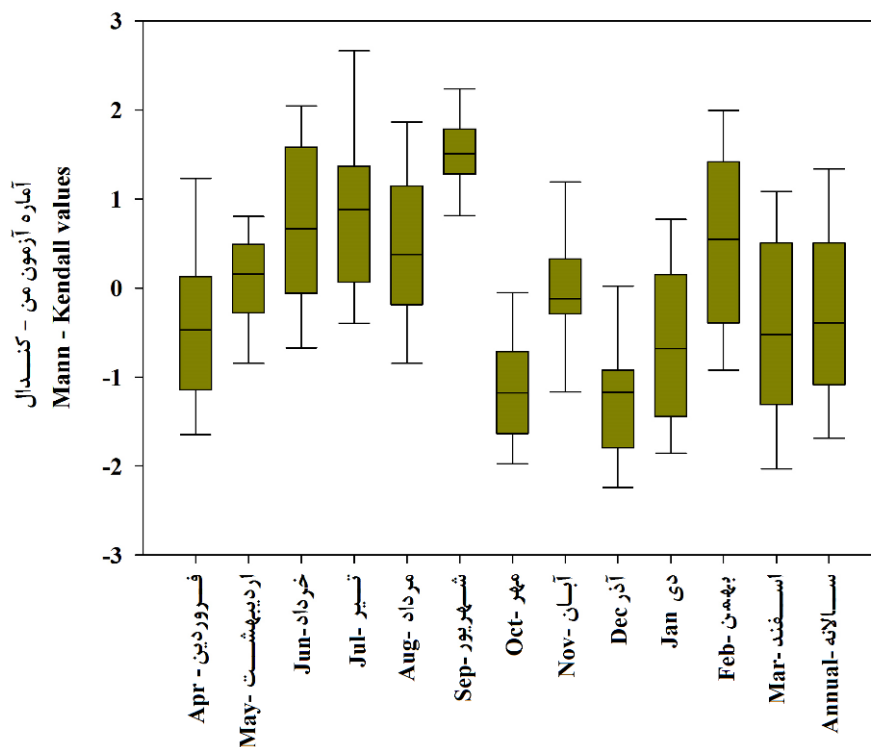
وضعیت تغییرات کلی بارش‌های حوضه آبریز دریاچه ارومیه

به منظور بررسی تغییرات کلی بارش‌های حوضه آبریز دریاچه



شکل ۶- نتایج بررسی زمان تغییر روند سری بارش سالانه و ماهانه ایستگاه‌های بارانسنجی مورد مطالعه

Fig 6- Results of evaluation the time of trend changing in annual and seasonal precipitation of studied rain gaging stations



شکل ۷- نمودار جعبه‌ای آماره Z من- کندال اصلاح شده (MMK) برای بارش‌های حوضه آبریز دریاچه ارومیه.
Fig 7- Box plot of Mann – Kendall Z values for Urmia Lake basin's precipitations

(۳۴) 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 به‌عنوان یکی از دلایل کاهش بارندگی در منطقه مورد مطالعه دانست. میرعباسی و دین‌پژوه (۲۳) نیز به یافته‌های مشابهی با مطالعه حاضر دست یافته و کاهش بارندگی در شمال غرب کشور را با تغییرات دمایی منطقه مرتبط دانستند. همچنین نتایج نشان داد که کاهش بارش‌ها در مسیر توده هوای قطبی - قاره‌ای با منشأ اروپا قرار دارد که این موضوع در تحقیقات خلیلی و همکاران (۱۶) نیز اشاره شده است.

نتیجه‌گیری کلی

در این مطالعه روند تغییرات دراز مدت (۳۰ ساله) مجموع بارش ماهانه و سالانه ایستگاه‌های منتخب در حوضه دریاچه ارومیه با استفاده از آزمون ناپارامتری من - کندال، پس از حذف اثر خودهمبستگی معنی‌دار، در دوره آماری ۱۳۹۲-۱۳۶۳ مورد بررسی قرار گرفت. به‌طور خلاصه نتایج حاصله به شرح زیر ارائه می‌گردد:

در مورد داده‌های ایستگاه‌های بارانسنجی نتایج نشان داد که مناطق تحت تأثیر توده هوای قطبی - قاره‌ای با منشأ اروپا که از دریای سیاه سرچشمه می‌گیرد، روندی کاهشی را شامل می‌شوند. اطراف دریاچه ارومیه در تمامی ماه‌ها و در مقیاس سالانه با روندی

با توجه به نتایج بررسی زمان تغییر روند داده‌های بارش ماهانه و سالانه ایستگاه‌های بارانسنجی مورد مطالعه (شکل ۶)، حدود ۶۰ درصد از زمان تغییر روند در سری بارش سالانه و ماهانه بین سال‌های ۱۳۷۱ تا ۱۳۷۷ رخ داده است. همچنین نتایج نشان داد که در دو ماه اردیبهشت و آبان در هیچ یک از ایستگاه‌های بارانسنجی موجود در غرب دریاچه ارومیه شکست رخ نداده است. در مقیاس سالانه نیز زمان تغییر روند داده‌های مورد بررسی بین سال‌های ۱۳۷۱ تا ۱۳۷۷ رخ داده است.

به‌طور کلی نتایج نشان داد که در مقیاس ایستگاهی حدود ۴۹ درصد ماه‌های مورد مطالعه در بارش ماهانه طی سی سال اخیر دارای روند کاهشی و ۴۹ درصد ماه‌های مورد مطالعه نیز روندی افزایشی و حدود ۲ درصد ماه‌های مورد مطالعه نیز روندی نزدیک به صفر داشته‌اند. افزایش بارش‌ها تقریباً در مناطق شمال شرق حوضه دریاچه ارومیه صورت گرفته است و بقیه نقاط با کاهش بارش در دوره آماری روبرو هستند. روندهای کاهشی تقریباً در تمام مناطق حوضه مورد مطالعه مشاهده شد و به وضوح می‌توان کاهش بارندگی را در تمام ایستگاه‌ها مشاهده کرد. خلیلی و همکاران (۱۶) نیز در تحقیقات خود روند کاهشی بارش را برای بیشتر مناطق ایران در دو دهه گذشته مشاهده کردند. از طرفی طبری و حسین‌زاده (۲۹)، صبوحی و همکاران (۲۷)، کوثری و همکاران (۱۸) و زارع نیستانک و همکاران

سال‌های بین ۱۳۷۱ تا ۱۳۷۷ دچار شکست در سری زمانی بارش ماهانه شده‌اند. در این بین دو ماه آبان و اردیبهشت کمترین میزان تعداد شکست در داده‌های بارش ماهانه را دارند. مهر ماه نیز در طول دوره آماری مورد بررسی تنها در سال ۱۳۷۱ دچار شکست شده‌اند و در سایر سال‌ها شکستی در داده‌های بارش ماهانه رخ نداده است.

سیاسگزاری

این مقاله برگرفته از طرح تحقیقاتی مصوب باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان با کد طرح ۹۴۰۳۵ و با عنوان بررسی روند تغییرات دبی و بارش حوضه دریاچه ارومیه می‌باشد. از این رو نویسندگان مقاله از باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان واحد دانشگاه آزاد ارومیه به خاطر تأمین هزینه‌های مالی کمال تشکر را دارند.

کاهش مواجه بوده است. بیشترین تغییرات کاهش در بارش ماهانه نیز در ماه شهریور مشاهده شد. در تمامی ماه‌ها روند افزایشی در شمال شرق حوضه دریاچه ارومیه مشاهده شد. به‌طور کلی نتایج بررسی روند تغییرات بارش نشان داد که در کل دوره آماری مورد بررسی نیمی از ماه‌های مورد بررسی روند کاهشی و نیمی روند افزایشی داشته است. در این بین ایستگاه‌های با روند کاهشی در غرب حوضه و ایستگاه‌های دارای روند افزایشی در شرق حوضه قرار دارند. به نظر می‌رسد تجمع گازهای گلخانه‌ای، تغییر کاربری اراضی و پدیده گرمایش جهانی در حوضه دریاچه ارومیه از جمله عواملی هستند که سبب کاهش بارش در منطقه می‌گردد.

نتایج حاصل از آزمون پتیت تأییدکننده وجود نقطه جهش کاهشی و افزایشی در بارش‌های ماهانه و سالانه حوضه دریاچه ارومیه است. نتایج آزمون پتیت در بررسی زمان تغییر روند داده‌های بارش سالانه و ماهانه ایستگاه‌های مورد بررسی نیز نشان داد که اکثر ایستگاه‌ها در

منابع

- 1- Bandyopadhyay A., Bhadra A., Raghuvanshi N.S., and Singh R. 2009. Temporal Trends in Estimates of Reference Evapotranspiration over India. *Journal of Hydrology Engineering*. 14(5):508–515.
- 2- Becker S., Gemmer M., and Jiang T. 2006. Spatiotemporal analysis of precipitation trends in the Yangtze River catchment. *Stochastic Environ and Research Risk Assessment*. 20:435–444.
- 3- Burn D.H., Cunderlik J.M., and Pietroniro A. 2004. Hydrological trends and variability in the Liard River basin. *Hydrological Sciences*. 49(1):53-67.
- 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- De Lima M.I.P., Marques A.C., De Lima J.L.M.P., and Coelho F.E.S. 2005. Precipitation Trends in Mainland Portugal in the period 1941-2000. *Water in Celtic Countries: Quantity, Quality and Climate Variability - Actas do Fourth Inter-Celtic Colloquium on Hydrology and Management of Water Resources*. Guimarães, 11-13 de Julho de 2005, 12 p.
- 6- 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.
- 7- Forland E.J., Van England A., Ashcroft J., Dahlstrom B., Damaree G., Frich P., Hanssen-Bauer I., Heino R., Jonsson T., Meitus M., Muller-Westemeier G., Palsdottir T., Tuomenvirta H., and Vedin H. 1996. Change in Normal Precipitation in the North Atlantic Region. (2nd edn.) DNMI Report 7/96 Klima.
- 8- Ghareh Chayi R., Salajegheh A., Noorolahi M., and Khosravi H. 2016. Effects excluding the effect of autocorrelation in analysis trend of hydro-climatic variables (Fars Province). *Desert Management*, 3(6): 13-24. (In Persian).
- 9- Hamed K.H., and Rao A.R. 1998. A modified Mann–Kendall trend test for autocorrelated data. *Journal of Hydrology*. 204:182–196.
- 10- Herath S., and Ratnayake U. 2004. Monitoring Rainfall Trends to Predict Adverse Impacts: A Case Study from Sri Lanka (1964- 1993). *Global Environ Change*. 14:71-79.
- 11- Kahya E., and Partal T. 2007. Is seasonal precipitation decreasing or increasing in Turkey?. *Online Journal of Earth Sciences*. 1(1): 43-46.
- 12- Karmeshu N. 2012. Trend Detection in Annual Temperature & Precipitation using the Mann Kendall Test–A Case Study to Assess Climate Change on Select States in the Northeastern United States.
- 13- Katiraie P. S., Hajjam S., and Iran Nezhad P. 2007. The share of changes in the frequency and intensity of daily rainfall precipitation trend in Iran over the period 1960 to 2001. *Journal of Physics of the Earth and Space*, 33(1): 67-83. (in Pesian).
- 14- Kendall M.G. 1975. Rank Correlation Measures, Charles Griffin, London.
- 15- Khalili K., Nazeri Tahrudi M., and Khanmohammadi N. 2014. Trend Analysis of Precipitation in Recent two Decades over Iran. *Journal of Applied Environment and Biological Science*. 4(1s):5-10.

- 16- Khalili K., Tahoudi M.N., Mirabbasi R., and Ahmadi F. 2016. Investigation of spatial and temporal variability of precipitation in Iran over the last half century. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*. 30(4):1205-1221.
- 17- Khaliq M.N., Ouarda T.B.M.J., and Gachon P. 2009. Identification of temporal trends in annual and seasonal low flows occurring in Canadian rivers: The effect of short- and long-term persistence. *Journal of Hydrology*. 369:183-197.
- 18- 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.
- 19- 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(1-2): 171-183.
- 20- Luo Y., Liu S., Fu S.L., Liu J.S., Wang G.Q., and Zhou G.Y. 2008. Trends of precipitation in Beijiang River Basin, Guangdong Province, China, *Hydrological Processes*. 22: 2377-2386.
- 21- Mann H.B. 1945. Non-parametric tests against trend. *Econometrica*, 13:245-259.
- 22- Manton M.J., Dellamartab P.M., Haylock M.R., Hennessy K.J., Nicholls N., Chambers L.E., Collins D.A., Daw G., Finet A., Gunawan D., Inape K., Isobe H., Kestin T.S., Lefale P., Leyu C.H., Lwin T., Maitrepierre L., Ouprasitwong N., Page C.M., Pahalad J., Plummer N., Salinger M.J., Suppiah R., Tran V.L., Trewin B., Tibig I., and Yee D. 2001. Trends in extreme daily rainfall and temperature in Southeast Asia and the South Pacific: 1961-1998. *International Journal of Climatology*. 21:269-284.
- 23- Mirabbasi R., and Dinpashoh Y. 2012. Trend Analysis of Precipitation of NW of Iran Over The Past Half of The Century. *Journal of Irrigation Science and Engineering*. 35(4):59-73. (In Persian).
- 24- Mirabbasi R. 2010. Evaluation the time's properties of precipitation trend (Case study: North-west of Iran). Research plan report, East Azarbaijan Regional Water Company. (in Peesian).
- 25- Pal Al-Tabbaa A. 2009. Trends in seasonal precipitation extremes an indicator of 'climate change' in Kerala, India. *Journal of Hydrology* 367:62-69.
- 26- Pettitt A.N. 1979. A non-parametric approach to the change-point problem. *Applied statistics*. 126-135.
- 27- Saboohi R., Soltani S., and khodagholi M. 2012. Trend analysis of temperature parameters in Iran. *Theatrical Applied Climatology*. 109:529-547.
- 28- Sen P.K. 1968. Estimates of the regression coefficients based on Kendall's tau. *Journal of the American Statistical Association*. 63(324):1379-1389.
- 29- Tabari H., and Hosseinzadeh-Talae P. 2011. Analysis trends in temperature data in arid and semi-arid regions of Iran. *Atmospheric Research*. 79:1-10.
- 30- Thiel H. 1950. A rank-invariant method of linear and polynomial analysis, part 3.
- 31- Torabi H., and Emamgholizadeh S. 2015. Analysis of stream flow and effect of autocorrelation coefficient watershed trend across Karkheh on the trend of flow. *Iranian Water Research*, 9(1): 143-151
- 32- Xu Z.X., Takeuchi K., and Ishidaira H. 2003. Monotonic trend and step changes in Japanese precipitation, *Journal of Hydrology*. 279:144-150.
- 33- Yue S., and Hashino M. 2003. Long term trends of annual and monthly precipitation in Japan. *J. of the American Water Resources Association (JAWRA)*, 39(3): 587-596.
- 34- Zarenistanak M., Dhorde AG., Kripalani RH. 2014. Temperature analysis over southwest Iran: trends and projections. *Theatrical Applied Climatology*. 116:103-117. DOI 10.1007/s00704-013-0913-1.
- 35- Zhang W., Yan Y., Zheng J., Li L., Dong X., and Cai H. 2009. Temporal and spatial variability of annual extreme water level in the Pearl River Delta region, China. *Global and Planetary Change*, 69, 35-47.

Evaluation the Trend and Trend Chang Point of Urmia Lake Basin Precipitation

M. Nazeri Tahroudi^{1*} - F. Ahmadi² - K. Khalili³

Received: 01-06-2016

Accepted: 24-10-2016

Introduction: Given the fact that Iran is located in the center of the dryland of earth and is significantly influenced by the deserts of Central Asia and hot dry deserts of Arabia and Africa, is one of the most arid and low rainfall land areas. So is the proper management of water resources is of critical importance. The first step in the proper management of water resources is studying the factors that affected these resources including climate change. In fact climate change is a dynamic process in terms of time and place. Large parts of the Earth's climate as part of their normal variability in short-term and long-term experience. Short-term climate changes due to the difference in terms of average annual values of specific climate variables in average periods such as 30 years. Causes and effects of regional climate change in several parts of the world have been widely studied from various aspects. Among hydrological parameters, precipitation is the most important parameter in the complex hydrologic cycle. Follow the phenomenon of global warming on the Earth's surface, the rainfall pattern has changed. Trends of rainfall in different parts of the world have been studied by many researchers. Due to climate change in Iran and climate change in the Basin of Urmia Lake it seems that evaluation the trend of monthly and annual precipitation and its time of change point in the basin of Urmia Lake changes is important. The goal of this study is evaluating the trend and time of the change point trend of monthly and annual precipitation of rain gage stations in Urmia Lake basin.

Material and methods: Lake Urmia is the focus of surplus accumulation of surface currents all the rivers of the basin, with an area of approximately 5750 square kilometers and the average elevation of 1276 m above sea level and is located in the middle of the northern basin. Around of Lake Urmia there are 16 wetlands with an area of 5 to 120 hectares (some have dried up) that mostly have sweet or salty and fresh water and a high value of ecosystems. Urmia Lake Basin is situated in eastern of 44-14 to 47-53 and north of 40-35 to 30-38 coordinates. Urmia Lake Basin rainfall changes is 220 to 900 mm and have mean precipitation about 263 mm that added in central parts of the basin to the highlands.

Trend analysis: The aim of process test is to specify whether an ascending or a descending trend exists in data series. Since parametric tests have some assumptions including normality, stability, and independence of variables, where most of these assumptions do not apply to hydrologic variables, the nonparametric methods are more preferred in meteorological and hydrological studies. The nonparametric methods are less sensitive to extreme values compared to parametric tests in the examination of trends. Nonparametric tests can also be utilized for data time series regardless of linearity or nonlinearity of the trend (Khalili et al. 2014). One of the most well-known nonparametric tests is Mann-Kendall test (Mann 1945; Kendall 1975).

The modified Mann-Kendall test (MMK): The main assumption of Mann-Kendall test is that the sample data has no significant autocorrelation. However, some hydrological series might have a significant autocorrelation coefficient. When a series has a positive autocorrelation coefficient, there is an increased chance for Mann-Kendall test to reveal the existence of a trend in this series. In this case, the null hypothesis i.e. lack of trend is rejected, yet this hypothesis should not actually be. The modified Mann-Kendall test was presented by Hamed and Rao (1998) and has been used by Kumar et al (2009) for the analysis of the trend of Indian rivers. In this method, the effect of all significant autocorrelation coefficients is removed from the time series and is applied to a series whose autocorrelation coefficients are significant in one or more cases.

Change point test: Pettitt test is a non-parametric test that was developed in 1979 by Pettit. The method is used in order to find change points in a time series (Salarijazi et al 2012). In this study, the statistic was used to find a sudden change in temperature data. This statistic is a test with rank basis and without a distribution in order to detect significant changes in the mean of the time series and it is important when there is no assumption about the

1 - Ph.D. Student, Department of Sciences and Water Engineering, Birjand University, Birjand, Iran

(* - Corresponding Author Email: m_nazeri2007@yahoo.com)

2 - Ph.D. Student, Department of Hydrology and Water Resources, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran

3 - Assistant Professor, Department of Water Engineering, Urmia University, Urmia, Iran

change time.

Results and discussion: In this study the trend of monthly and annual precipitation of rain gage stations that located in Urmia Lake basin were investigated using modified Mann-Kendall test. Z values of case study were calculated in two monthly and annual scales. The results of evaluation the trend of precipitation of rain gage stations of Urmia Lake basin showed that in October, December, January, February and March (five months of the year) the trend of precipitation is decreasing and the mean of Z values showed the less than zero values. In April and May there is no sensible changing in precipitation trend. Also the results showed that the March, April and May have a low failure rate and February, December and July have a most of change point of monthly precipitation data. About 60 percentages of the time of change point in precipitation trend are between 1992 and 1998. Also the results showed that two months of May and November there is no changing point in west Urmia Lake rain gage stations. In annual scale the time of changing trend is between 1992 and 1998.

Conclusion: The results of evaluation the trend of Lake Urmia precipitations showed that the Urmia Lake basin has a combination of decreasing and increasing trend in studied time period. The decreasing trend in precipitation often seen in west stations of the basin and west and south-west of Urmia Lake. The increasing trend also seen in south and north-east of Urmia Lake basin. Also the results of zoning the Z values of Mann-Kendall test showed that in annual scale the regions that influenced by polar-continental air mass that they entered Iran have a decreasing trend.

Keywords: Climate Change, Modified Mann-Kendall, Pettitt Test, Zoning