

## تحلیل روند تغییرات بارش‌های شمال غرب ایران در نیم قرن گذشته

رسول میرعباسی نجف آبادی<sup>۱\*</sup> و یعقوب دین پژوه<sup>۲</sup>

\*۱- دانشجوی دکتری منابع آب دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز.

۲- دانشیار گروه مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز.

تاریخ دریافت: ۹۰/۸/۲۱ تاریخ پذیرش: ۹۱/۷/۱۶

### چکیده

در این مطالعه روند بارش‌های منطقه شمال غرب ایران در مقیاس ماهانه، فصلی و سالانه با روش مان-کندال که در سه ویرایش مختلف به نام های MK1، MK2 و MK3 بسط داده شده است، مورد آزمون قرار گرفت. داده‌های مورد استفاده اطلاعات بارش ۱۶ ایستگاه منتخب در دوره آماری ۲۰۰۴-۱۹۵۵ می‌باشد. به منظور تعیین شیب خط روند بارش از روش تخمین گر شیب سن استفاده شد. نتایج نشان داد که در مقیاس سالانه بارش‌های شمال غرب ایران در اغلب ایستگاه‌ها (به جز آستارا، رشت و مهاباد) دارای روند نزولی می‌باشند. بیشترین شیب خط روند بارش‌های سالانه متعلق به ایستگاه آستارا و معادل ۶/۴۲ میلی متر در سال و کمترین آن متعلق به ایستگاه انزلی و برابر ۶/۱۸- میلی متر در سال بود. در مقیاس ماهانه تعداد ماه‌های با روند منفی بیشتر از تعداد ماه‌های با روند مثبت بود. به جز ایستگاه جلفا که در تمام ماه‌های سال روند بارش ماهانه آن منفی بود، در بقیه ایستگاه‌ها تلفیقی از روندهای مثبت و منفی تجربه شده است.

**کلید واژه‌ها:** روند، بارش، مان-کندال، آزمون سن، خودهمبستگی.

### مقدمه

بارش یکی از مولفه‌های مهم چرخه هیدرولوژی است که مقدار و شدت آن در مقیاس‌های زمانی و مکانی 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 مولفه‌های چرخه هیدرولوژی از جمله بارش در نقاط مختلف جهان شده است. به همین دلیل در دهه‌های اخیر مطالعات زیادی در رابطه با روند تغییرات متغیرهای مختلف هواشناسی و هیدرولوژیکی انجام شده است (۱)، (۱۳)، (۱۷)، (۱۹)، (۲۰)، (۲۷) (۳۱) و (۳۴).

برای بررسی وجود روند در سری‌های هیدرولوژیکی اغلب از روش‌های ناپارامتری استفاده شده است. شاید دلیل اصلی آن این است که آزمون‌های ناپارامتری برای سری داده‌هایی که توزیع آماری آنها نرمال نیست و یا دارای داده‌های مفقود و سانسور شده باشند، مناسب‌تر هستند. هرش و همکاران<sup>۱</sup> (۱۴) دلایل استفاده از آزمون‌های ناپارامتری را در مطالعات مربوط به روند بطور مبسوط شرح داده اند. شرط استفاده از این آزمون‌ها، عدم وجود ضریب خودهمبستگی معنی‌دار در سری زمانی داده‌ها می‌باشد. اثر وجود خودهمبستگی در داده‌های مورد استفاده در تحلیل روند با روش‌های ناپارامتری توسط حامد و راثو<sup>۲</sup> (۱۲) مورد ارزیابی قرار

گرفت. آنها روابطی تئوری برای حذف اثر خودهمبستگی در روند داده‌ها ارائه نمودند و روش پیشنهادی را برای داده‌های بارش و جریان بکار بردند. نتایج آنها نشان داد که در تحلیل روند استفاده از آزمون مان-کندال (MK) با حذف اثر خودهمبستگی نسبت به آزمون مان-کندال کلاسیک (۲۱) نه تنها از دقت بهتری برخوردار است، بلکه از توان آزمون<sup>۳</sup> نیز کاسته نمی‌شود.

در سال‌های اخیر، بسیاری از محققین از بین آزمون‌های ناپارامتری مختلف، آزمون MK را به عنوان بهترین گزینه برای بررسی وجود روند یکنواخت<sup>۴</sup> داده‌ها استفاده نموده‌اند (۵، ۱۵، ۱۶، ۱۷، ۱۹، ۲۱، ۲۲، ۳۲ و ۳۵).

روند تغییرات بلند مدت بارش، دمای هوا و دبی جریان رودخانه‌ها در قاره آمریکا با آزمون MK توسط لتنمایر و همکاران<sup>۵</sup> مطالعه شد (۲۲). آنها برای این منظور از داده‌های ۱۰۰۹ ایستگاه هیدرومتری و ۱۰۳۶ ایستگاه هواشناسی استفاده کردند. نتایج آنها نشان داد که روند افزایشی بارش در فصل پاییز در یک چهارم ایستگاه‌های مرکز قاره آمریکا تجربه شده است. فورلند و همکاران<sup>۶</sup> با بررسی روند بارش‌های منطقه اقیانوس اطلس شمالی

3- Power of Test

4- Monotonic

5- Lettenmaier, et al

6- Forland et al.

1- Hirsch et al.

2- Hamed and Rao

پال و الطباء<sup>۱۱</sup> روند بارش‌های حدی را در فصول زمستان، بهار و پائیز در منطقه کراالی هندوستان با استفاده از آزمون MK مورد بررسی قرار دادند. آنها به این نتیجه رسیدند که روند بارش‌های حدی در این منطقه در فصول زمستان و پاییز افزایشی و معنی‌دار است (۲۷).

در ایران نیز کم و بیش مطالعات مشابهی در خصوص روند بارش انجام شده است. روند بارش سالانه برای ۷۶ ایستگاه واقع در مناطق خشک و نیمه خشک ایران در طی ۳۶ سال با آزمون MK توسط رضیعی و همکاران<sup>۱۲</sup> مورد بررسی قرار گرفته است (۲۹). مدرس و داسیلوا<sup>۱۳</sup> روند تعداد روزهای بارانی در سال و بارش‌های ماهانه ۲۰ ایستگاه، در دوره‌های آماری ۳۰ ساله تا ۵۰ ساله، واقع در نواحی خشک و نیمه خشک ایران را با آزمون MK مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد شیب روند منفی روزهای بارانی در سال در کاشان معادل ۲/۸۱- روز در سال بود، بیشترین روند مثبت در تعداد روزهای بارانی در سال مربوط به ایستگاه تربت حیدریه به مقدار ۲/۱۹ روز در سال بود (۲۵). در مطالعه دیگر قهرمان و تقواییان<sup>۱۴</sup> روند بارش‌های سالانه ۳۰ ایستگاه ایران را، در دوره آماری ۵۰ ساله، با روش پارامتری تی‌تست مورد آزمون قرار دادند و شیب خط رگرسیون را محاسبه کردند.

از مطالعه پیشینه تحقیق چنین استنباط می‌شود که مطالعه جامعی روی روند بارش‌های شمال غرب ایران با در نظر گرفتن اثر خودهمبستگی داده‌ها انجام نشده است. هدف از این مطالعه بررسی روند بارش‌های ماهانه و سالانه منطقه شمال غرب ایران در یک دوره آماری مشترک (۲۰۰۴-۱۹۵۵) با روش MK در سه ویرایش مختلف (شامل آزمون مان-کندال بدون در نظر گرفتن خودهمبستگی داده‌ها (MK1)، آزمون مان-کندال با حذف اثر خودهمبستگی مرتبه اول (MK2) و آزمون مان-کندال با حذف کامل اثر ساختار خودهمبستگی داده‌ها (MK3)) می‌باشد.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه شمال غرب کشور شامل استان‌های گیلان، اردبیل، آذربایجان‌های شرقی و غربی، زنجان، کردستان، همدان و کرمانشاه است. گستردگی این منطقه از عرض جغرافیایی ۳۴ تا ۴۰ درجه شمالی و طول جغرافیایی ۴۵ تا ۵۰ درجه شرقی می‌باشد (شکل ۱). توپوگرافی این مناطق اغلب کوهستانی است. بیشترین (کمترین) مقدار بارش سالانه در ایستگاه بندرانزلی (جلفا) برابر ۱۸۵۱ (۲۱۴) میلی‌متر در سال می‌باشد. این منطقه یکی از نواحی مهم کشور از نظر تولید محصولات کشاورزی (به ویژه غلات دیم) می‌باشد.

نشان دادند که روند بارش در شمال اروپا مثبت و در جنوب این قاره منفی می‌باشد (۱۰). مانتون و همکاران<sup>۱</sup> طی مطالعه‌ای بر روی داده‌های بارش حداکثر روزانه و دما در دوره آماری ۱۹۶۱ تا ۱۹۹۸ در جنوب شرقی آسیا و جنوب اقیانوس آرام نشان دادند که بارش سالانه این مناطق دارای روند منفی می‌باشد (۲۴). زو و همکاران<sup>۲</sup> روند بارندگی‌های ژاپن را هم با روش MK و هم با روش پارامتری تی‌تست بررسی کردند (۳۲). یو و هاشینو<sup>۳</sup> نیز روند بلند مدت بارش ماهانه و سالانه ژاپن را با در نظر گرفتن اثر خودهمبستگی بین داده‌ها با آزمون MK مورد بررسی قرار دادند (۳۴). هراس و راتناپاک<sup>۴</sup> روند بارش‌های سالانه سریلانکا را در طی سال‌های ۱۹۶۴ تا ۱۹۹۳ مورد بررسی قرار دادند (۱۳). داسیلوا و سونادارا<sup>۵</sup> نیز روند تغییرات بلندمدت بارش و دمای هوای پنج ایستگاه در هیل کانتی سریلانکا را در خلال سال‌های ۲۰۰۶-۱۸۶۹ با آزمون MK مورد مطالعه قرار دادند (۹).

دلیما و همکاران<sup>۶</sup> روند بارش‌های ماهانه و سالانه ۱۰۷ ایستگاه هواشناسی کشور پرتغال را در دوره آماری ۲۰۰۰-۱۹۴۱ با آزمون MK مورد مطالعه قرار دادند. آنها نشان دادند که در طول دوره مذکور فصل پائیز مرطوب‌تر، فصل زمستان خشک‌تر، بارش‌های اوایل بهار کمتر و اواخر بهار بیشتر شده ولی این تغییرات حتی در سطح ۱۰ درصد معنی‌دار نیست (۸). بیکر و همکاران<sup>۷</sup> روند بارش‌ها را در حوزه رودخانه یانگ‌تسه در چین با آزمون MK مطالعه کردند. آنها ثابت کردند که بارندگی فصل تابستان بسیاری از ایستگاه‌ها دارای روند مثبت معنی‌دار است. این عامل باعث ایجاد سیل‌های شدید در فصل تابستان در منطقه شده است. آنها دلیل این روند مثبت را به تغییرات الگوی وزش باد منطقه نسبت دادند که باعث افزایش انتقال هوای گرم و مرطوب به حوزه رودخانه یانگ‌تسه در فصل تابستان می‌شود (۶). پارتال و کایا<sup>۸</sup> برای تحلیل روند بارش‌های ماهانه، فصلی و سالانه ۹۶ ایستگاه ترکیه از آزمون‌های MK و T سن<sup>۹</sup> استفاده نمودند. آنها به این نتیجه رسیدند که میانگین بارش‌های سالانه ترکیه به ویژه در قسمتهای جنوبی و غربی این کشور و نیز در راستای سواحل دریای سیاه کاهش قابل ملاحظه‌ای داشته است.

کایا و پارتال<sup>۱۰</sup> نیز روند بارش‌های فصلی ترکیه را مطالعه کردند. ایشان نتیجه گرفتند که بارش‌های فصل زمستان ترکیه در امتداد جنوب غربی-شمال شرقی در خصوص ۲۳ ایستگاه روند کاهشی معنی‌دار را در سطح پنج درصد تجربه کرده است (۱۶).

- 1- Manton et al.
- 2- Xu et al.
- 3- Yue and Hashino
- 4- Herath and Ratnayake
- 5- De Silva and Sonnadara
- 6- De Lima et al.
- 7- Becker et al.
- 8- Partal and Kahya
- 9- Sen's T
- 10- Kahya and Partal

- 11- Pal and Al-Tabbaa
- 12- Raziei et al.
- 13- Modarres and Da Silva
- 14- Ghahraman and Taghvaeian

**داده‌های مورد استفاده**

در این مطالعه داده‌های بارش‌های ماهانه ۱۶ ایستگاه هواشناسی شمال غرب کشور با طول دوره آماری ۵۰ سال از ۱۹۵۵ تا ۲۰۰۴ جمع‌آوری، تکمیل و برای آزمون MK مورد استفاده قرار گرفت. دلیل انتخاب این ایستگاه‌ها کامل بودن داده‌ها و پراکنش مکانی قابل قبول آنها در سراسر منطقه مورد مطالعه می‌باشد.

همگنی داده‌ها با استفاده از روش منحنی جرم مضاعف انجام شد (۲۰). داده‌های گمشده ایستگاه‌ها با استفاده از اطلاعات سه ایستگاه مجاور با روش نسبت‌ها بازسازی شدند. مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه در جدول (۱) ارائه شده است.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه و آماره‌های سری بارش سالانه آنها (در دوره آماری ۲۰۰۴-۱۹۵۵).

ردیف	ایستگاه	Lat.		Long.		Alt.	Mean	SD	Cs
		دقیقه	درجه	دقیقه	درجه				
۱	اهر	۰۳	۴۷	۲۹	۳۸	۱۱۵۷	۳۱۱/۶	۷۳/۱۹	۰/۹۵
۲	انزلی	۲۸	۴۹	۲۸	۳۷	-۲۶/۲	۱۸۵۱	۴۲۰	۰/۹۲
۳	اردبیل	۱۷	۴۸	۱۵	۳۸	۱۳۳۲	۳۴۰/۳	۱۱۷/۲	۱/۴۹
۴	آستارا	۵۲	۴۸	۲۶	۳۸	-۲۵	۱۳۵۳	۴۸۱/۲	۳/۶۵
۵	همدان	۴۳	۴۸	۱۲	۳۵	۱۶۸۰	۳۲۷/۹	۸۹/۹	-۰/۱
۶	جلفا	۳۸	۴۵	۵۶	۳۸	۷۰۴	۲۱۴/۵	۵۵/۷۷	۰/۰۰۲
۷	کرمانشاه	۰۹	۴۷	۲۱	۳۴	۱۳۱۹	۴۵۳/۲	۱۳۴/۹	۰/۵۹
۸	مهاباد	۴۳	۴۵	۴۶	۳۶	۱۳۸۵	۴۲۸/۲	۲۰۵/۸	۱/۵۹
۹	مراغه	۱۶	۴۶	۲۴	۳۷	۱۴۷۷	۳۲۳/۵	۸۲/۱۷	۰/۳۸
۱۰	مشکین شهر	۴۰	۴۷	۲۸	۳۸	۱۴۵۰	۳۸۰/۲	۹۱/۲۸	-۰/۱۳
۱۱	ارومیه	۰۵	۴۵	۳۲	۳۷	۱۳۱۵	۳۳۷/۱	۹۴/۸۳	۰/۹۱
۱۲	پارس آباد	۰۱	۴۸	۳۹	۳۹	۴۴	۲۸۹/۸	۷۱/۷۶	-۰/۵۴
۱۳	رشت	۳۶	۴۹	۱۵	۳۷	-۶/۹	۱۳۵۱	۲۵۰/۵	۰/۶۵
۱۴	سنندج	۰۰	۴۷	۲۰	۳۵	۱۳۷۳	۴۵۱/۳	۱۲۶/۶	۰/۱۴
۱۵	تبریز	۱۷	۴۶	۰۵	۳۸	۱۳۶۱	۲۹۱	۸۶/۴۴	۰/۹۸
۱۶	زنجان	۲۹	۴۸	۴۱	۳۶	۱۶۶۳	۲۹۹/۱	۷۴/۶۷	۰/۰۳

Lat., Long., Alt., Mean, SD و Cs به ترتیب عرض جغرافیایی، طول جغرافیایی، ارتفاع (متر)، میانگین بارش سالانه (میلیمتر)، انحراف معیار بارش سالانه (میلیمتر) و ضریب چولگی بارش سالانه می‌باشند.

**روش‌های مورد استفاده**

در این مطالعه روند تغییرات سری زمانی بارش ماهانه، فصلی و سالانه هر یک از ایستگاه‌های مذکور با آزمون ناپارامتری MK مورد بررسی قرار گرفت. همان‌طور که قبلاً اشاره شد، شرط لازم برای استفاده از این آزمون عدم وجود ضریب خودهمبستگی معنی‌دار در سری زمانی داده‌ها می‌باشد، با این حال در اغلب مطالعات انجام شده در ایران، اثر خودهمبستگی در روند داده‌ها در نظر گرفته نشده است. وجود خودهمبستگی مثبت (منفی) باعث تخمین بیشتر (کمتر) از مقدار واقعی روند در داده‌ها می‌شود (۱۲)، ۲۱ و ۲۳). در مطالعه حاضر، علاوه بر روش MK1، دو روش MK2 و MK3 نیز استفاده شد.

این فرض رد و فرض مخالف (وجود روند در سطح معنی‌داری  $\alpha$ ) پذیرفته می‌شود.

**آزمون MK2**

این روش توسط کومار و همکاران<sup>۱</sup> شرح داده شده است (۲۱). 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:

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

$$r_k = \frac{\frac{1}{n-k} \sum_{i=1}^{n-k} (x_i - \bar{x})(x_{i+k} - \bar{x})}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (۶)$$

**آزمون MK1**

برای انجام آزمون MK1 ابتدا آماره  $S$ ، به شرح زیر محاسبه می‌شود:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(x_j - x_i) \quad (۱)$$

۲- داده‌ها در صورتی در سطح معنی‌داری ۱۰ درصد مستقل فرض می‌شوند که

$$\frac{-1 - 1.645\sqrt{n-2}}{n-2} \leq r_1 \leq \frac{-1 + 1.645\sqrt{n-2}}{n-2}$$

برقرار

که در آن  $x_j$ : مقدار داده  $j$ ام،  $n$ : طول سری داده‌ها و  $\text{sgn}(\theta)$ : تابع علامت بوده که به صورت زیر تعیین می‌شود:

$$\text{sgn}(\theta) = \begin{cases} 1 & \text{if } \theta > 0 \\ 0 & \text{if } \theta = 0 \\ -1 & \text{if } \theta < 0 \end{cases} \quad (۲)$$

باشد که در این حالت آزمون MK با روش کلاسیک یا MK1 انجام می‌شود در غیر این صورت اثر خودهمبستگی داده‌ها به شرح زیر حذف خواهد شد.

۳- شیب خط روند یا  $\beta$  برای سری داده‌ها (از رابطه ۱۲) محاسبه و سری جدیدی به شرح زیر به دست می‌آید:

$$x'_i = x_i - (\beta \times i) \quad (۷)$$

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

$$E(S) = 0 \quad (۳)$$

۴- ضریب  $r_1$  داده‌های سری جدید محاسبه می‌شود.

۵- مولفه خودهمبستگی مرتبه اول  $\text{AR}(1)$ ، از سری جدید به شرح زیر حذف و سری باقیمانده‌ها<sup>۲</sup> ( $y'_i$ ) به شرح زیر به دست می‌آید:

$$V(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^n t_i(t_i-1)(2t_i+5)}{18} \quad (۴)$$

$$y'_i = x'_i - r_1 \times x'_{i-1} \quad (۸)$$

که در آن  $t_i$  تعداد داده‌های یکسان در دسته  $i$ ام می‌باشند. آماره آزمون MK یا  $Z$  بشرح زیر محاسبه می‌شود:

۶- مقدار روند  $(\beta \times i)$  به سری باقیمانده‌ها افزوده می‌شود و سری نهایی ( $y_i$ ) بشرح زیر بدست می‌آید:

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & S > 0 \\ 0 & S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & S < 0 \end{cases} \quad (۵)$$

$$y_i = y'_i + (\beta \times i) \quad (۹)$$

آزمون MK به سری داده‌های جدید ( $y_i$ ) اعمال می‌شود و معنی‌داری روند آن مورد آزمون قرار می‌گیرد. این روش برای

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

1- Kumar et al.  
2- Lag-1 autoregressive component  
3- Residual

خودهمبستگی مرتبه اول،  $r_1$ ، داده‌ها نشان داد که غالب سری‌های مورد بررسی فاقد ضریب  $r_1$  معنی‌دار بودند. در مقیاس سالانه از کل ۱۶ ایستگاه مورد بررسی ۷ ایستگاه ضریب مثبت و معنی‌دار داشتند. در مقیاس ماهانه از کل (۱۶×۱۲=۱۹۲) سری بارش‌های ماهانه تعداد ۲۷ ایستگاه  $r_1$  معنی‌دار داشتند که از بین این ایستگاه‌ها تنها سه ایستگاه انزلی، رشت (در ماه ژانویه) و جلفا (در ماه اوت) ضریب  $r_1$  منفی معنی‌دار داشتند و بقیه آنها دارای علامت مثبت بودند. در برخی موارد ضرایب خودهمبستگی مراتب بالاتر نیز معنی‌دار می‌شد، بدون آنکه ضرایب مراتب قبل از آن معنی‌دار باشند. این نتیجه نشان می‌دهد که استفاده از طرح واردهایی که بتواند اثر  $r_i$  ها را روی آماره  $Z$  خنثی کند، مفید خواهد بود. در این قسمت برای ایجاز، بحث مربوط به آماره مان-کندال فقط بر اساس نتایج MK3 انجام شده است. با توجه به جدول (۲) می‌توان نتیجه گرفت که گرچه استفاده از روش‌های مبتنی بر حذف اثر  $r_1$  یا  $r_i$  با روش‌های MK1 و MK2 موجب کاهش مقدار آماره  $Z$  شده است (مانند مقدار آماره‌های  $Z$  در ماه آوریل برای اردبیل با سه ویرایش مختلف روش MK) ولیکن در مواردی نیز نتیجه عکس حاصل گردید (۲۱). این نتیجه با یافته‌های کومار و همکاران کاملاً همخوانی دارد.

### نتایج روند بارش

#### روند بارش در مقیاس سالانه

به طوریکه در جدول (۲) می‌توان مشاهده کرد از کل ۱۶ ایستگاه مورد مطالعه تعداد ۱۳ ایستگاه دارای علامت منفی برای آماره  $Z$  مان-کندال بودند. این نشان می‌دهد که بارش‌های شمال‌غرب ایران در حالت کلی دارای روند نزولی است. با این حال سه ایستگاه آستارا، مهاباد و رشت دارای علامت مثبت برای آماره مذکور بودند. شکل (۲) روند بارش‌های سالانه ایستگاه‌های منطقه شمال‌غرب ایران را نشان می‌دهد. در مقیاس سالانه بارش‌های چهار ایستگاه (اردبیل، جلفا، ارومیه و تبریز) دارای روند منفی معنی‌دار و دو ایستگاه (آستارا و مهاباد) دارای روند مثبت معنی‌دار (در سطح ۱۰ درصد یا کمتر) بود. با این حال ایستگاه اردبیل در ماه ژوئیه روند مثبت معنی‌دار (در سطح یک درصد) را تجربه کرده است. کاهش بارش در فصول پرباران و افزایش بارش در تابستان می‌تواند به عنوان عامل موثر در وقوع خشکسالی‌های متعدد از یک طرف و سیل‌های مخرب در تابستان از طرف دیگر در اردبیل باشد. این ایستگاه (همانند اکثر ایستگاه‌های شمال‌غرب ایران) در فصول زمستان و بهار که غالباً فصول بارانی منطقه شمال‌غرب ایران را تشکیل می‌دهند، خشک‌تر شده است. در خصوص ایستگاه‌های جلفا، ارومیه و تبریز روند صعودی بارش (در سطح معنی‌دار ۱۰ درصد یا کمتر) هرگز دیده نشد. نتیجه به دست آمده در مورد کاهش بارش‌های سالانه منطقه شمال‌غرب ایران با یافته‌های پارتال و کایا (۲۸) همخوانی دارد. مدرس و داسیلوا (۲۵) روند بارش‌های کاشان، زاهدان، خورت و کرمان را منفی گزارش

آزمون معنی‌داری روند در سری داده‌های هیدرولوژیکی توسط محققین مختلف در جهان به کار برده شده است (۳، ۷ و ۲۶).

#### آزمون MK3

این روش اولین بار توسط حامد و راثو (۱۲) ارائه و توسط کومار و همکاران (۲۱) شرح داده شده است. در این آزمون تأثیر همه ضرایب خودهمبستگی معنی‌دار از سری زمانی حذف می‌گردد. بدین منظور ابتدا واریانس اصلاح شده،  $V(S)^*$ ، به شرح زیر محاسبه می‌شود:

$$V(S)^* = V(S) \frac{n}{n^*} \quad (10)$$

که در آن مقدار کسر  $\frac{n}{n^*}$  از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$\frac{n}{n^*} = 1 + \frac{2}{n(n-1)(n-2)} \sum_{i=1}^{n-1} (n-i)(n-i-1)(n-i-2)r_i \quad (11)$$

که در آن  $r_i$  ضرایب خودهمبستگی با تأخیر  $i$  از رابطه (۷) و  $V(S)$  از رابطه (۴) محاسبه می‌شوند. برای محاسبه  $Z$  مان-کندال، در رابطه (۵) با  $V(S)^*$  جایگزین می‌گردد. حامد و راثو نشان دادند که این روش بسیار دقیق‌تر از آزمون MK1 است (۱۲).

#### شیب خط روند با روش تخمین گر سن

در آزمون MK شیب خط روند سری داده‌ها با روش تخمین-گر سن<sup>۱</sup> از رابطه ناپارامتری زیر برآورد می‌شود:

$$\beta = \text{Median} \left( \frac{x_j - x_l}{j - l} \right) \quad \forall l < j \quad (12)$$

که در آن  $\beta$  برآوردگر شیب خط روند و  $x_l$  مقدار مشاهده  $l$ ام می‌باشد. مقادیر مثبت (منفی)  $\beta$  نشان دهنده روند افزایشی (کاهشی) در سری داده‌ها است (۳۰).

#### بحث و نتایج

جدول (۲) نتایج بررسی روند بارش‌های شمال‌غرب ایران را (شامل ۱۲ سری در مقیاس ماهانه و یک سری در مقیاس سالانه) برای هر یک از ۱۶ ایستگاه مورد مطالعه با سه ویرایش MK1، MK2 و MK3 نشان می‌دهد. بررسی مقادیر ضریب

1- Sen's estimator

### روند بارش در مقیاس ماهانه

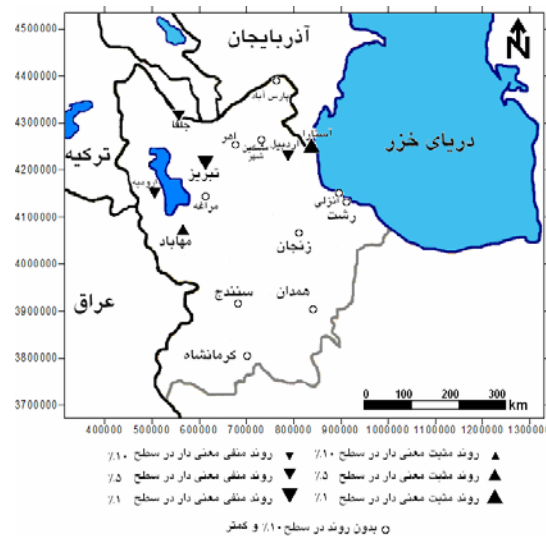
شکل (۴) روند تغییرات بارش را در هر یک از ماه‌های سال در منطقه شمال غرب ایران نشان می‌دهد. در مقیاس ماهانه بارش‌های اغلب ایستگاه‌ها دارای آماره  $Z$  با علامت منفی می‌باشند. این نشان می‌دهد که بارش‌های ماهانه در اکثر نقاط مربوط به شمال غرب ایران دارای روند نزولی است. تعداد سری‌های زمانی با روند نزولی معنی‌دار به مراتب بیشتر از سری‌های با روند صعودی معنی‌دار بود. این نتیجه به ویژه برای ماه‌های پر بارش مثل ماه‌های مربوط به بهار و زمستان محسوس بود. با استفاده از آزمون MK3 در سطح ۱۰ درصد، تعداد ۱۲ (هفت) سری از بارش‌های ماهانه روند نزولی (صعودی) داشتند. این رقم در سطح پنج درصد به عدد هفت (هشت) سری تغییر پیدا کرد و در سطح یک درصد از کل ۱۹۲ سری، سه (هشت) سری دارای روند نزولی (صعودی) معنی‌دار بود. به جز ایستگاه جلفا که در تمام ماه‌های سال روند بارش ماهانه آن منفی است، بقیه ایستگاه‌ها در برخی ماه‌ها روند مثبت و در برخی ماه‌ها روند منفی را تجربه کرده‌اند. لکن در جلفا تعداد ماه‌های با روند منفی بیشتر از تعداد ماه‌های با روند مثبت بود. متأسفانه در اغلب مطالعات روند بارش‌ها در ایران مقیاس ماهانه در نظر گرفته نشده و نیز اثر ضریب خودهمبستگی داده‌ها در تحلیل‌ها لحاظ نشده است (۱۱) و (۲۵).

### شیب خط روند بارش

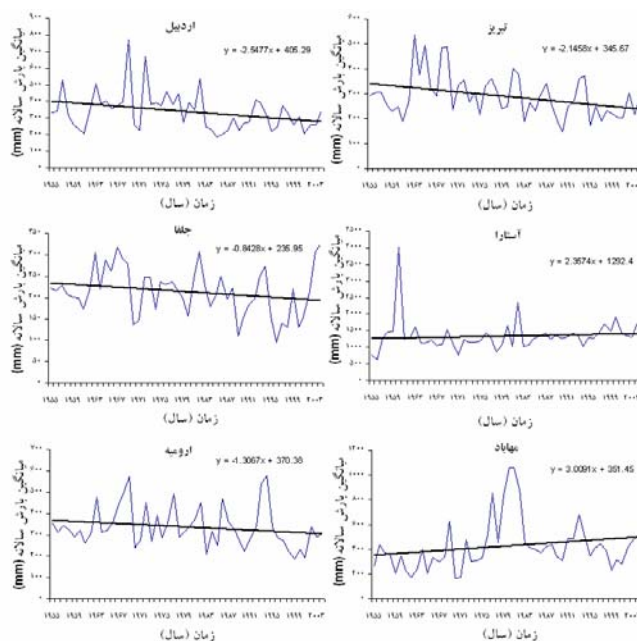
در جدول (۲) مقادیر شیب خط روند با روش ناپارامتری تخمین گر سن (۳۰) برای سری داده‌های بارش‌های ماهانه، فصلی و سالانه ایستگاه‌های مورد مطالعه ارائه شده است.

کرده‌اند، ولی روند منفی تنها برای ایستگاه زاهدان معنی‌دار بود. قهرمان و تقوائیان (۱۱) نیز در دوره آماری مشترک ۴۰ 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 این مطالعه همخوانی دارد. نامبردگان روند نزولی مربوط به ایستگاه‌های تبریز، خوی، اراک و گرگان را در سطح پنج درصد معنی‌دار گزارش کرده‌اند.

از کل ۱۶ ایستگاه مورد مطالعه فقط ایستگاه‌های آستارا و مهاباد دارای روند مثبت معنی‌دار در خصوص بارش‌های سالانه بودند. ایستگاه آستارا در سطح یک درصد و ایستگاه مهاباد در سطح پنج درصد روند رو به بالا از خود نشان دادند. به طوریکه از جدول (۲) می‌توان استنباط کرد افزایش بارش در ایستگاه آستارا معلول افزایش بارش‌های پاییز (به ویژه ماه‌های نوامبر و دسامبر) بوده است. با این حال در ایستگاه مهاباد روند افزایشی بارش در فصول زمستان، تابستان و پائیز مشاهده شد. در مهاباد و در فصل زمستان زیاد شدن بارش معلول افزایش بارش‌های ماه ژانویه بود، عامل اصلی افزایش بارش‌های تابستان در مهاباد وجود روند صعودی در بارش‌های ژوئیه و عامل افزایش بارش‌های پائیزه نیز وجود روند افزایشی در بارش‌های ماه‌های نوامبر و دسامبر بود. در شکل (۳) سری زمانی بارش سالانه ایستگاه‌های اردبیل، تبریز، جلفا، آستارا، ارومیه و مهاباد نشان داده شده است. ناظم السادات و همکاران (۲) نشان دادند که در تمام ایستگاه‌های ناحیه جنوب و جنوب غرب ایران بارش سالانه بعد از سال ۱۹۷۵ روند افزایشی نشان می‌دهد. این نتیجه با یافته‌های مطالعه حاضر همخوانی ندارد. در حالت کلی می‌توان نتیجه گرفت که بارش‌های سالانه بخش‌های زیادی از منطقه شمال غرب ایران روند نزولی داشته که به نوبه خود موجب تشدید بحران کمبود آب در این ناحیه شده است.



شکل ۲- روند تغییرات بارش سالانه در شمال غرب ایران (در دوره آماری ۲۰۰۴-۱۹۵۵).



شکل ۳- روند تغییرات بارش‌های سالانه ایستگاه‌های اردبیل، تبریز، جلفا، آستارا، ارومیه و مهاباد در دوره آماری ۲۰۰۴-۱۹۵۵.

روند صعودی معنی‌دار بود. در ماه فوریه بیشترین شیب خط روند با علامت مثبت متعلق به رشت برابر  $0/۴۲$  میلی‌متر در سال، معادل با افزایش بارش حدود ۲۱ میلی‌متر در پنج‌سال است. همچنین در این ماه کمترین شیب خط روند منفی مربوط به ایستگاه تبریز با شیب  $-0/۳۸$  میلی‌متر در سال، معادل کاهش ۱۹ میلی‌متر بارش ماه فوریه در نیم قرن گذشته می‌باشد. در این ماه ایستگاه‌های اهر، جلفا، ارومیه و تبریز دارای روند نزولی معنی‌دار بودند و هیچ ایستگاهی روند صعودی معنی‌دار را تجربه نکرده است. در ماه مارس بیشترین (کمترین) روند مثبت (منفی) متعلق به آستارا (نزولی) با شیب  $0/۵۵$  (منهای  $0/۹۵$ ) میلی‌متر در سال بود که حدود ۲۸ (۴۸) میلی‌متر در پنج‌سال گذشته افزایش (کاهش) باران را نشان می‌دهد. در این ماه هیچ ایستگاهی روند معنی‌داری را تجربه نکرده است.

در ماه آوریل همه ایستگاه‌ها (به جز آستارا و رشت) دارای شیب منفی برای خط روند بارش هستند. در این ماه بیشترین (کمترین) روند مثبت (منفی) متعلق به رشت (کرمانشاه) با شیب  $0/۱۱$  (منهای  $0/۸۷$ ) میلی‌متر در سال می‌باشد. این نشان می‌دهد که ایستگاه مذکور حدود  $۵/۵$  (۴۴) میلی‌متر در ۵۰ سال افزایش (کاهش) باران را تجربه کرده است. در این ماه بارش‌های ایستگاه‌های اردبیل و کرمانشاه روند منفی معنی‌دار داشتند. در ماه آوریل روند مثبت معنی‌دار در هیچ ایستگاهی مشاهده نشد. در ماه می بیشترین روند مثبت متعلق به آستارا (با شیب  $0/۴۸$  میلی‌متر در سال) بود که حدود ۲۴ میلی‌متر در پنج‌سال افزایش باران را تجربه کرده است. همچنین در این ماه کمترین شیب روند منفی

#### شیب خط روند بارش در مقیاس سالانه

در بین ایستگاه‌های با روند منفی کمترین شیب خط روند به ترتیب متعلق به بندر انزلی و اردبیل بود که به ترتیب دارای شیب‌های  $-۶/۱۸$  و  $-۲$  میلی‌متر در سال بودند. این نشان می‌دهد که در طی پنج‌سال گذشته کاهش بارشی معادل  $۳۰۹$  میلی‌متر در انزلی و  $۱۰۰$  میلی‌متر در اردبیل تجربه شده است. با این حال روند تغییرات انزلی معنی‌دار نبود ولی برای اردبیل در سطح  $۵\%$  معنی‌دار بود. در مقیاس سالانه بیشترین شیب خط روند مثبت متعلق به ایستگاه‌های آستارا، مهاباد و رشت به ترتیب برابر با  $۳۶/۴۲$  و  $۱/۷۲$  میلی‌متر در سال بود. به عبارت دیگر می‌توان نتیجه گرفت که در طول نیم قرن گذشته در این ایستگاه‌ها به ترتیب بیش از  $۳۲۰$ ،  $۱۵۰$  و  $۸۶$  میلی‌متر بارش سالانه افزایش یافته است. روند تغییرات بارش سالانه آستارا و مهاباد در سطح  $۱\%$  معنی‌دار بود ولی این روند برای رشت معنی‌دار نبود.

#### شیب خط روند بارش در مقیاس ماهانه

بررسی شیب خط روند در مقیاس ماهانه نشان داد که در ماه ژانویه بیشترین روند مثبت متعلق به ایستگاه مهاباد برابر با  $0/۹$  میلی‌متر در سال بود. این رقم نشان‌دهنده افزایش بارش در ماه مذکور به اندازه حدود ۴۵ میلی‌متر در پنج‌سال اخیر می‌باشد. همچنین در این ماه کمترین شیب خط روند مربوط به ایستگاه انزلی برابر با  $-0/۴۷$  میلی‌متر در سال، معادل کاهش ۲۴ میلی‌متر باران در پنج‌سال گذشته می‌باشد. در این ماه ایستگاه‌های جلفا و پارس‌آباد دارای روند نزولی معنی‌دار و تنها ایستگاه مهاباد دارای

جدول ۲- مقادیر آماره‌های Z مربوط به آزمون‌های MK1، MK2 و MK3<sup>†</sup> و مقدار شیب سن مربوط به خط روند برای بارش‌های شمال غرب ایران (۱۹۵۶-۲۰۰۴)

ردیف	مقیاس زمانی	اهر			انزلی			اردبیل			آستارا						
		شیب سن	MK3	MK2	MK1	شیب سن	MK3	MK2	MK1	شیب سن	MK3	MK2	MK1				
1	ژانویه	-0.12	-1.1	-1.1	-1.1	-0.47	-0.63	-0.63	-0.63	-0.16	-0.92	-0.92	-0.92	0.40	0.67	0.67	0.67
2	فوریه	-0.21	-1.7	-1.7	-1.7	-0.35	-0.79	-1.41	-0.52	-0.13	-0.90	-0.90	-0.90	-0.06	-0.20	-0.38	-0.25
3	مارس	0.03	0.23	0.23	0.23	-0.95	-1.53	-1.53	-1.53	-0.32	-1.59	-1.59	-1.59	0.55	1.34	1.34	1.34
4	آوریل	-0.03	-0.14	-0.14	-0.14	-0.33	-0.92	-0.92	-0.92	-0.67	-1.52	-1.57	-2.17*	0.09	0.18	0.18	0.18
5	می	-0.04	-0.22	-0.22	-0.22	0.02	0.07	0.07	0.07	-0.26	-0.95	-0.95	-0.95	0.48	1.46	1.46	1.46
6	ژوئن	-0.37	-1.44	-1.44	-1.44	-0.50	-1.35	-1.35	-1.35	-0.28	-2.14*	-2.14*	-2.14*	0.17	0.83	0.83	0.83
7	ژوئیه	0.00	0.26	0.26	0.26	-0.16	-0.52	-0.52	-0.52	0.05	2.39**	2.39**	2.39**	0.11	0.91	0.91	0.91
8	اوت	0.00	-0.72	-0.72	-0.72	-0.76	-0.89	-0.89	-0.89	0.00	0.56	0.56	0.56	0.19	0.39	0.39	0.39
9	سپتامبر	-0.03	-0.84	-0.84	-0.84	0.60	0.47	0.47	0.47	-0.13	-1.37	-1.37	-1.37	0.06	0.18	0.18	0.18
10	اکتبر	0.00	0.03	0.03	0.03	-2.09	-1.09	-1.09	-1.09	-0.06	-0.21	-0.21	-0.21	0.82	0.71	0.71	0.71
11	نوامبر	0.03	0.15	0.15	0.15	-0.47	-0.30	-0.30	-0.30	0.03	0.09	0.09	0.09	1.83	2.61**	2.61**	2.61**
12	دسامبر	-0.02	-0.21	-0.21	-0.21	0.39	0.49	0.49	0.49	-0.08	-0.58	-0.58	-0.58	0.99	2.24**	1.97*	2.69**
13	سالانه	-0.69	-1.14	-1.14	-1.14	-6.18	-1.34	-1.34	-1.34	-1.93	-2.03*	-2.03*	-2.03*	6.42	2.38**	2.38**	2.38**

روندهای معنی‌دار در سطوح ۱۰، پنج و یک درصد به ترتیب بدون ستاره، با یک ستاره و با دو ستاره با ارقام پررنگ مشخص شده‌اند.

† در آزمون‌های MK2 و MK3 سطح ۱۰ درصد برای ضریب خودهمبستگی در نظر گرفته شده است. واحد شیب سن میلی‌متر در سال است.



## ادامه جدول ۲

ردیف	مقیاس زمانی	همدان			جلفا			کرمانشاه			مهاباد			شیب سن	شیب سن	شیب سن	
		MK3	MK2	MK1	MK3	MK2	MK1	MK3	MK2	MK1	MK3	MK2	MK1				
1	ژانویه	-0.24	-0.24	-0.24	-0.05	-1.87	-1.39	-1.12	-0.16	0.53	0.53	0.53	0.14	2.74**	2.79**	1.49	0.90
2	فوریه	0.64	0.64	0.64	0.19	-1.82	-1.82	-1.82	-0.18	0.07	0.07	0.07	0.03	1.25	1.25	1.25	0.31
3	مارس	0.38	0.38	0.38	0.14	-0.28	-0.28	-0.28	-0.01	0.41	0.41	0.41	0.19	1.13	1.13	1.13	0.29
4	آوریل	-1.42	-1.00	-0.94	-0.52	-0.99	-0.99	-0.99	-0.14	-2.94**	-2.81**	-1.93*	-0.87	-0.53	-0.53	-0.53	-0.25
5	می	-1.05	-1.05	-1.05	-0.25	-0.87	-0.10	-0.71	-0.16	-1.10	-1.10	-1.10	-0.26	0.89	1.22	0.55	0.18
6	ژوئن	1.16	1.16	1.16	0.00	-1.01	-1.01	-1.01	-0.13	-1.32	0.52	-1.08	0.00	0.53	0.53	0.53	0.00
7	ژوئیه	1.53	1.53	1.53	0.00	-0.45	-0.45	-0.45	0.00	2.83**	1.24	2.38**	0.00	3.37**	3.37**	3.37**	0.00
8	اوت	1.49	1.49	1.49	0.00	-1.14	-2.28**	-1.78	-0.01	-1.5	-0.29	-1.13	0.00	1.53	1.53	1.53	0.00
9	سپتامبر	0.68	0.68	0.68	0.00	-1.39	-1.39	-1.39	-0.06	0.53	0.53	0.53	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00
10	اکتبر	1.23	1.23	1.23	0.12	-0.58	-0.58	-0.58	-0.06	0.87	0.87	0.87	0.01	1.70	1.70	1.70	0.30
11	نوامبر	0.63	0.63	0.63	0.09	-0.66	-0.66	-0.66	-0.09	0.48	0.48	0.48	0.19	2.78**	2.79**	2.34**	0.83
12	دسامبر	0.90	0.90	0.90	0.20	-0.46	-0.46	-0.46	-0.04	1.07	1.07	1.07	0.38	2.59**	2.59**	2.59**	0.59
13	سالانه	-0.38	-0.38	-0.38	-0.44	-1.66	-1.09	-1.23	-1.09	-0.09	-0.09	-0.09	-0.10	2.21*	2.19*	1.17	2.96

روندهای معنی دار در سطوح ۱۰، پنج و یک درصد به ترتیب بدون ستاره، با یک ستاره و با دو ستاره با ارقام پررنگ مشخص شده‌اند.  
 † در آزمون‌های MK2 و MK3 سطح ۱۰ درصد برای ضریب خودهمبستگی در نظر گرفته شده است. واحد شیب سن میلی متر در سال است.

ادامه جدول ۲

ردیف	مقیاس زمانی	مراغه			مشکین شهر			ارومیه			پارس آباد		
		شیب سن	MK3	MK2	MK1	شیب سن	MK3	MK2	MK1	شیب سن	MK3	MK2	MK1
1	ژانویه	-0.04	-0.16	-0.16	-0.16	0.00	0.08	0.08	0.08	-0.13	-0.74	-0.74	-0.74
2	فوریه	-0.16	-1.00	-1.00	-1.00	-0.10	-0.51	-0.51	-0.51	-0.24	-1.37	-1.91	-1.73
3	مارس	0.05	0.184	0.184	0.184	-0.09	-0.37	-0.37	-0.37	0.11	0.43	0.43	0.43
4	آوریل	-0.44	-1.02	-0.95	-1.22	-0.21	-0.9	-0.90	-0.90	-0.31	-0.69	-0.52	-0.85
5	می	-0.29	-1.15	-1.15	-1.15	-0.01	-0.05	-0.05	-0.05	-0.25	-0.90	-0.90	-0.90
6	ژوئن	-0.06	-1.21	-1.21	-1.21	-0.51	-1.43	-1.43	-1.43	-0.17	-1.85	-1.85	-1.85
7	ژوئیه	0.00	-0.34	-0.34	-0.34	0.00	0.13	0.13	0.13	0.00	-0.89	-0.89	-0.89
8	اوت	0.00	-1.61	-1.61	-1.61	-0.01	-0.64	-0.64	-0.64	0.00	-1.27	-1.27	-1.27
9	سپتامبر	-0.01	-1.74	-1.74	-1.74	-0.15	-1.49	-1.49	-1.49	-0.03	-2.13*	-2.13*	-2.13*
10	اکتبر	-0.11	-0.82	-0.82	-0.82	-0.14	-0.74	-0.74	-0.74	-0.08	-0.47	-0.64	-0.56
11	نوامبر	0.06	0.25	1.39	0.33	-0.04	-0.27	-0.27	-0.27	0.04	0.16	0.16	0.16
12	دسامبر	0.04	0.24	0.24	0.24	-0.03	-0.40	-0.40	-0.26	-0.02	-0.07	-0.07	-0.07
13	سالانه	-0.60	-0.53	-0.43	-0.70	-0.72	-0.99	-0.99	-0.99	-1.35	-1.39	-1.19	-1.72

روندهای معنی دار در سطوح ۱۰، ۵، پنج و یک درصد به ترتیب بدون ستاره، با یک ستاره و با دو ستاره با ارقام پررنگ مشخص شده‌اند.  
 † در آزمون‌های MK2 و MK3 سطح ۱۰ درصد برای ضریب خودهمبستگی در نظر گرفته شده است. واحد شیب سن میلی‌متر در سال است.

## ادامه جدول ۲

ردیف	مقیاس زمانی	زنجان			تبریز			سنندج			رشت			شیب سن	شیب سن	
		MK3	MK2	MK1	شیب سن	MK3	MK2	MK1	شیب سن	MK3	MK2	MK1	شیب سن			MK3
1	ژانویه	-1.11	-1.11	-1.11	-0.18	-1.18	-1.62	-1.45	-0.28	-0.76	-0.76	-0.76	0.32	0.52	0.52	0.52
2	فوریه	-1.15	-1.15	-1.15	-0.38	-2.79**	-2.79**	-2.79**	-0.10	-0.32	-0.32	-0.32	0.42	0.55	-0.42	0.53
3	مارس	0.25	0.25	0.25	-0.29	-1.52	-1.52	-1.52	-0.51	-1.28	-1.28	-1.28	-0.45	-0.67	-0.67	-0.67
4	آوریل	-1.48	-1.48	-1.48	-0.25	-1.00	-1.00	-1.00	-0.24	-0.48	0.12	-0.61	0.11	0.34	0.34	0.34
5	می	-1.13	-1.13	-1.13	-0.18	-0.68	-0.68	-0.68	-0.13	-0.63	-0.63	-0.63	0.18	0.73	0.73	0.73
6	ژوئن	0.03	0.03	0.03	-0.17	-1.54	-1.54	-1.54	0.00	-1.55	-1.55	-1.55	-0.26	-0.72	-0.50	-0.87
7	ژوئیه	0.31	0.31	0.31	0.00	0.93	0.93	0.93	0.00	1.41	1.41	1.41	0.04	0.10	0.10	0.10
8	اوت	-0.68	-0.68	-0.68	0.00	0.32	0.32	0.32	0.00	-1.44	0.02	-1.92	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03
9	سپتامبر	-2.12*	-2.12*	-2.12*	0.00	-1.44	-1.44	-1.44	0.00	-1.06	0.69	-1.33	0.13	0.17	0.17	0.17
10	اکتبر	0.22	0.22	0.22	-0.05	-0.29	-0.29	-0.29	0.00	0.24	0.24	0.24	-0.29	-0.27	-0.27	-0.27
11	نوامبر	-0.18	-0.18	-0.18	-0.06	-0.26	-0.26	-0.26	0.28	0.69	0.69	0.69	0.59	0.64	0.64	0.64
12	دسامبر	0.03	0.03	0.03	0.12	0.76	0.76	0.76	0.28	0.87	0.87	0.87	0.79	0.71	0.84	0.99
13	سالانه	-1.29	-1.29	-1.29	-1.85	-1.92	-1.89	-2.48**	-0.82	-0.56	-0.33	-0.79	1.72	0.85	0.85	0.85

روندهای معنی دار در سطوح ۱۰، پنج و یک درصد به ترتیب بدون ستاره، با یک ستاره و با دو ستاره با ارقام پررنگ مشخص شده‌اند.

† در آزمون‌های MK2 و MK3 سطح ۱۰ درصد برای ضریب خودهمبستگی در نظر گرفته شده است. واحد شیب سن میلی‌متر در سال است.

است (۳۱). همچنین روند مثبت برای درجه حرارت حداقل بیشتر از مقدار نظیر برای درجه حرارت حداکثر بود. افزایش درجه حرارت اتمسفر گنجایش رطوبتی هوا را افزایش می‌دهد. از طرف دیگر تغییرات رطوبت نسبی هوا که خود ناشی از درجه حرارت هوا و تغییرات فشار بخار واقعی هوا می‌باشد عاملی است که با متغیرهای هواشناسی دیگر نیز در ارتباط است. از جمله این متغیرها می‌توان به وجود آب در سطح زمین، فراهمی مکانیسم انتقال بخار آب، انرژی قابل دسترس برای تبخیر و باد را نام برد. مجموعه این عوامل در فرایندی پیچیده تغییرات فشار بخار هوا را در زمان و مکان دیکته می‌کند. برای نزول بارش نه تنها وجود بخار آب در هوا لازم است بلکه مکانیزمی برای سرد شدن هوا تا رسیدن به فشار بخار اشباع ضروری است. تغییرات هر یک از عوامل فوق می‌تواند روند بارش را تحت تأثیر قرار دهد. تغییرات میزان بارش در یک ایستگاه غالباً با تغییر مکان تشکیل مراکز کم فشار و پر فشار در ارتباط است. علیحده ثابت نمود که هر زمان زیانه کم فشار روی کشور سوریه تشکیل شود بارندگی نواحی کوهستانی شمال غرب کشور را تحت تأثیر قرار خواهد داد، برعکس در صورتی که زیانه کم فشار روی دریای خزر شکل بگیرد بارش‌های نواحی شرقی و مرکزی ایران از آن متاثر خواهد شد (۴). با توجه به اینکه این مقاله روند یکنواخت را در سری داده‌های بارش مورد مطالعه قرار داده است ممکن است در سری مشاهداتی نقاط شکست<sup>۱</sup> وجود داشته باشد. بررسی این نقاط با توجه به اینکه ممکن است شیب خط روند قبل و بعد از آن به طور معنی‌دار متفاوت باشد حائز اهمیت است. این مقوله برای مطالعات بعدی پیشنهاد می‌شود.

### نتیجه‌گیری

در این مطالعه روند تغییرات دراز مدت بارش در مقیاس‌های زمانی ماهانه و سالانه منطقه شمال غرب کشور در دوره آماری ۲۰۰۴-۱۹۵۵ با استفاده از آزمون ناپارامتری MK در سه ویرایش مختلف شامل MK1، MK2 و MK3 مورد بررسی قرار گرفت. همچنین شیب خط روند بارش برای تمام سری داده‌ها با روش ناپارامتری سن تعیین شد. نتایج نشان داد که روند بارش‌های اغلب ایستگاه‌های این منطقه نزولی است. با این حال روند تغییرات بارش اغلب ایستگاه‌ها از نظر آماری در سطح ۱۰ درصد (و کمتر) معنی‌دار نبودند. مهمترین یافته‌های این مطالعه عبارتند از:

- در ناحیه شمال غرب ایران در مقیاس سالانه تعداد ایستگاه‌های با روند بارش منفی بیش از تعداد متناظر با روند مثبت است. به طوری که از مجموع ۱۶ ایستگاه مورد بررسی، چهار ایستگاه دارای روند منفی و دو ایستگاه دارای روند مثبت در سطح معنی‌دار ۱۰ درصد و کمتر بودند.

منفی مربوط به ایستگاه زنجان با شیب  $-۰/۳۴$  میلی‌متر در سال، معادل کاهش باران ۱۷ میلی‌متر در ۵۰ سال می‌باشد. در این ماه بارش‌های هیچ ایستگاهی روند معنی‌دار نداشتند. در ماه ژوئن به جز ایستگاه آستارا، بقیه ایستگاه‌ها دارای شیب خط روند منفی و یا صفر می‌باشند. شیب خط روند بارش ژوئن ایستگاه آستارا برابر  $۰/۱۷$  میلی‌متر در سال (حدود ۹ میلی‌متر افزایش باران در ۵۰ سال) بود. همچنین در این ماه کمترین شیب خط روند منفی بارش مربوط به ایستگاه مشکین‌شهر برابر با  $-۰/۵۱$  میلی‌متر در سال (۲۶ میلی‌متر کاهش باران در ۵۰ سال گذشته) بود. در ماه ژوئن بارش‌های ایستگاه‌های اردبیل و ارومیه روند منفی معنی‌دار داشتند که با توجه به زمان دانه رفتن غلات دیم، زیان‌های اقتصادی را برای کشاورزان این منطقه به دنبال داشته است.

در ماه‌های ژوئیه، اوت و سپتامبر شیب خط روند بارش اغلب ایستگاه‌ها صفر یا نزدیک به صفر بود. در ماه اوت تنها ایستگاه انزلی دارای شیب خط روند  $-۰/۷۶$  میلی‌متر در سال (معادل کاهش باران ۳۸ میلی‌متر در نیم قرن گذشته) بود. در این ماه‌ها گرچه روند مثبت معنی‌دار برای برخی ایستگاه‌ها (مانند اردبیل، مهاباد و کرمانشاه در ژوئیه) مشاهده شده است، با این حال ایستگاه‌های ارومیه، زنجان و مراغه روند نزولی معنی‌داری را در ماه‌های تابستان تجربه کرده‌اند.

در ماه اکتبر بیشترین شیب خط روند مثبت متعلق به ایستگاه آستارا برابر با  $۰/۸۲$  میلی‌متر در سال (حدود ۴۱ میلی‌متر در ۵۰ سال افزایش باران) بود. همچنین در این ماه کمترین شیب خط روند منفی بارش مربوط به ایستگاه انزلی برابر با  $-۲/۰۹$  میلی‌متر در سال (معادل کاهش ۱۰۵ میلی‌متر باران در ۵۰ سال) بود.

در ماه نوامبر نیز بیشترین شیب خط روند مثبت متعلق به آستارا برابر با  $۱/۸۳$  میلی‌متر در سال (۹۲ میلی‌متر در ۵۰ سال) بود. در این ماه کمترین شیب خط روند منفی مربوط به ایستگاه انزلی برابر با  $-۰/۴۷$  میلی‌متر در سال (معادل کاهش ۲۴ میلی‌متر باران در ۵۰ سال گذشته) بود. در ماه دسامبر نیز بیشترین شیب خط روند مثبت متعلق به آستارا برابر با  $۰/۹۹$  میلی‌متر در سال (۵۰ میلی‌متر در ۵۰ سال) بود. همچنین در این ماه کمترین شیب خط روند منفی مربوط به ایستگاه اردبیل برابر با  $-۰/۰۸$  میلی‌متر در سال (معادل کاهش باران چهار میلی‌متر در ۵۰ سال) بود. در سه ماه آخر سال مهاباد دارای روند بارشی رو به بالا بود که در سطح ۱۰ درصد معنی‌دار بودند. در حالت کلی می‌توان نتیجه گرفت که بارش‌های ماه‌های مربوط به فصل زمستان و بهار در غالب ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه سیر نزولی داشته‌اند.

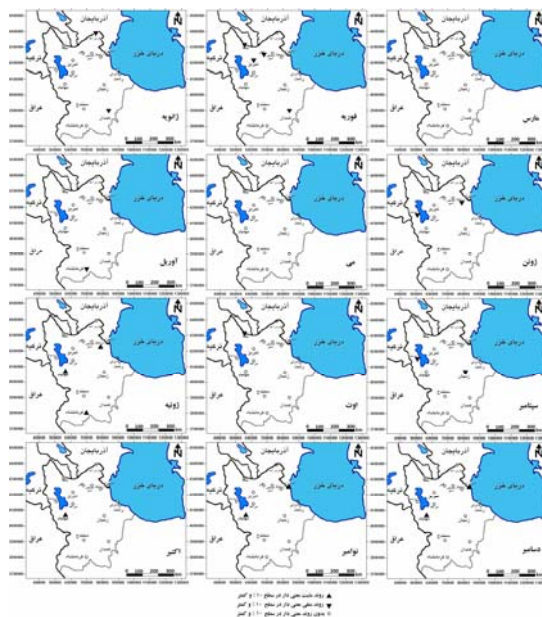
یکی از سوالات اساسی این است که چرا بارش در شمال غرب ایران روند منفی دارد؟ به نظر می‌رسد افزایش گازهای گلخانه‌ای اتمسفر اثر محسوسی در گرم شدن هوا دارد. تغییرات دما می‌تواند ساختار آب و هوایی هر محل را دگرگون کند. تباری و طلائی اثبات کرده‌اند که سری‌های زمانی درجه حرارت حداقل و حداکثر روند مثبت معنی در نواحی خشک و نیمه خشک ایران داشته

بررسی روند تغییرات بارش در منطقه شمال غرب ایران نشان داد که روند منفی بارش در بخش اعظم این منطقه، در طول سال و به ویژه در فصول زمستان و بهار تجربه شده است. این واقعیت موجب شده است که تولید محصولات کشاورزی تحت تأثیر کمبود آب ناشی از بارندگی قرار گیرد. افزون بر این روند مثبت در برخی از ماه‌های گرم سال و در برخی ایستگاه‌های این منطقه مشاهده شده است. به نظر می‌رسد که وقوع سیلاب‌های مخرب به ویژه در تابستان معلول تغییرات آب و هوایی در منطقه شمال غرب ایران است. افزایش تقاضا برای آب به دلیل افزایش جمعیت، کاهش عرضه آب به دلیل بروز خشکسالی‌ها و کمبود آب در این منطقه ایجاب می‌کند که به مدیریت صحیح منابع آبی این منطقه بیش از پیش توجه شود.

### سپاسگزاری

از داوران محترم این مقاله که در ارتقای کیفی آن نقش مهمی ایفا فرمودند تشکر می‌نماید.

- بررسی روند بارش‌ها در مقیاس ماهانه نشان داد که در غالب ایستگاه‌ها تعداد ماه‌های با روند منفی بیشتر از تعداد ماه‌های با روند مثبت بود.
- بیشترین روند منفی در سطح ۱۰ درصد (و کمتر) در ماه فوریه تجربه شده است. پس از آن به ترتیب ماه‌های سپتامبر، آوریل، ژانویه و اوت روند منفی معنی‌دار داشتند.
- بیشترین روند مثبت در سطح ۱۰ درصد (و کمتر) در ماه ژوئیه مشاهده شد و پس از آن ماه‌های نوامبر، دسامبر، ژانویه و اکتبر در اولویت‌های بعدی قرار داشتند.
- در ماه‌های مارس و می در هیچ‌یک از ایستگاه‌ها روند معنی‌دار مشاهده نشد.
- از بین ۱۶ ایستگاه مورد بررسی، به جز جلفا که در تمام ماه‌های سال روند بارش ماهانه آن نزولی بود، بقیه ایستگاه‌ها در برخی ماه‌ها روند مثبت و در برخی دیگر روند منفی را تجربه کرده‌اند.



شکل ۴- روند تغییرات بارش های ماهانه در شمال غرب ایران (۱۹۵۵-۲۰۰۴).

### منابع

- ۱- خلیلی، ع. و ج. بذرافشان. ۱۳۸۳. تحلیل روند تغییرات بارندگی‌های سالانه، فصلی و ماهانه پنج ایستگاه قدیمی ایران در یکصد و شانزده سال گذشته. مجله بیابان، جلد ۱، شماره ۹، صفحات ۲۵-۳۵.
- ۲- ناظم السادات، م. ج.، سامانی، ن. و م. مولایی نیکو. ۱۳۸۴. تغییرات اقلیم در جنوب و جنوب غرب ایران از دیدگاه مشاهدات بارش، برهمکنش با پدیده النینو نوسانات جنوبی. مجله علمی کشاورزی، جلد ۲۸، شماره ۲، صفحات ۹۲-۸۱.
- 3- Abdul-Aziz, O. I. and D. H. Burn. 2006. Trends and variability in the hydrological regime of the Mackenzie river basin. Journal of Hydrology, 319(1-4): 282-294.

- 4- Bandyopadhyay, A., Bhadra, A., Raghuwanshi, N. S. and R. Singh. 2009. Temporal Trends in estimates of reference evapotranspiration over India. *Journal of Hydrologic Engineering*, 14(5): 508-515.
- 5- Becker, S., Gemmer, M. and T. Jiang. 2006. Spatiotemporal analysis of precipitation trends in the Yangtze river catchment. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 20: 435-444.
- 6- Birsan, M.V., Molnar, P., Burlando, P. and M. Pfandler. 2005. Streamflow trends in Switzerland. *Journal of Hydrology*, 314 (1-4): 312-329.
- 7- De Lima, M. I. P., Marques, A. C., De Lima, J. L. M. P. and F. E. S. Coelho. 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, p.
- 8- De Silva, G. J. and D. U. J. Sonnadara. 2009. Climate change in the hill country of Sri Lanka. *Proceedings of the Technical Sessions*, 25 7-12, Institute of Physics – Sri Lanka.
- 9- 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 H. Vedin. 1996. Change in normal precipitation in the North Atlantic region. 2nd Edition. *DNMI Report 7/96 Klima*. 2pp.
- 10- Ghahraman, B. and S. Taghvaeian. 2008. Investigation of annual rainfall trends in Iran. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 10: 93-97.
- 11- Hamed, K. H., and A. R. Rao. 1998. A modified Mann-Kendall trend test for autocorrelated data. *Journal of Hydrology*, 204: 182-196.
- 12- Herath, S. and U. Ratnayake. 2004. Monitoring rainfall trends to predict adverse impacts: A case study from Sri Lanka (1964-1993). *Global Environmental Change*, 14: 71-79.
- 13- Hirsch, R. M., Slack, J. R. and R. A. Smith. 1984. Techniques of trend analysis for monthly water quality data. *Water Resources Research*, 18 (1):107-121.
- 14- Jhajharia, D., Shrivastava, S. K., Sarkar, D. and S. Sarkar. 2009. Temporal characteristics of Pan evaporation trends under the humid conditions of Northeast India. *Agricultural and Forest Meteorology*, 149: 763-779.
- 15- Kahya, E. and S. Kalayci. 2004. Trend analysis of streamflow in Turkey. *Journal of Hydrology*, 289: 128-144.
- 16- Kahya, E. and T. Partal. 2007. Is seasonal precipitation decreasing or increasing in Turkey? *Online Journal of Earth Sciences*, 1(1): 43-46.
- 17- Kendall, M. G. 1975. Rank correlation measures. Charles Griffin. London.
- 18- Khaliq, M. N., Ouarda, T. B. M. J. and P. Gachon. 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.
- 19- Kohler, M. A. 1949. Double-mass analysis for testing consistency of records and for making required adjustments. *Bulletin American Meteorological Society*, 30 (5): 188-189.
- 20- Kumar, S., Merwade, V., Kam, J. and K. Thurner. 2009. Streamflow trends in Indiana: Effects of long term persistence, precipitation and subsurface drains. *Journal of Hydrology*, 374(1-2): 171-183.

- 21- Lettenmaier, D. P., Wood, E. F. and J. R. Wallis. 1994. Hydro-climatological trends in the continental United States, 1948-88. *Journal of Climate*, 7: 586-607.
- 22- Mann, H. B. 1945. Non-parametric tests against trend. *Econometrica*. 13, MathSci Net, pp. 245-259.
- 23- 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 D. Yee. 2001. Trends in extreme daily rainfall and temperature in Southeast Asia and the South Pacific: 1961-1998. *International Journal of Climatology*, 21: 269-284.
- 24- Modarres, R. and V. P. R. Da Silva. 2007. Rainfall trends in arid and semi-arid regions of Iran. *Journal of Arid Environment*. 70: 344-355.
- 25- Novotny, E. V. and H. G. Stefan. 2007. Stream flow in Minnesota: indicator of climate change. *Journal of Hydrology*, 334 (3-4): 319-333.
- 26- Pal, I. and A. Al-Tabbaa. 2009. Trends in seasonal precipitation extremes—an indicator of climate change in Kerala, India. *Journal of Hydrology*, 367: 62-69.
- 27- Partal, T. and E. Kahya. 2006. Trend analysis in Turkish precipitation data. *Hydrological Processes*, 20: 2011-2026.
- 28- Razieli, T., Daneshkar Arasteh, P. and B. Saghfian. 2005. Annual rainfall trend in arid and semi-arid regions of Iran. ICID 21<sup>st</sup> European Regional Conference, Frankfurt (Oder) and Slubice - Germany and Poland.
- 29- Sen, P. K. 1968. Estimates of the regression coefficients based on Kendall's tau. *Journal of the American Statistical Association*, 63: 1379-1389.
- 30- Tabari, H. and P. Talaei, 2011. Analysis of trends in temperature data in arid and semi-arid regions of Iran. *Global and Planetary Change*, 79:1-10.
- 31- Xu, Z. X., Takeuchi, K. and H. Ishidaira. 2003. Monotonic trend and step changes in Japanese precipitation. *Journal of Hydrology*, 279: 144-150.
- 32- Yue, S. and C.Y. Wang. 2003. Applicability of prewhitening to eliminate the influence of serial correlation on the Mann-Kendall test. *Water Resources Research*, 38(6): 4-1\_4-7.
- 33- Yue, S. and M. Hashino. 2003. Long term trends of annual and monthly precipitation in Japan. *Journal of the American Water Resources Association (JAWRA)*, 39(3): 587-596.
- 34- Yu, Y. S., Zou, S. and D. Whittemore. 1993. Non-parametric trend analysis of water quality data of rivers in Kansas. *Journal of Hydrology*, 150: 61-80.