

تحلیل روند تغییرات بارندگیهای سالانه، فصلی و ماهانه پنج ایستگاه قدیمی ایران در یکصد و شانزده سال گذشته

علی خلیلی^۱، جواد بذرافشان^۲

۱- استاد دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران، ۲- دانشجوی دوره دکتری دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران

تاریخ وصول: ۱۳۸۲/۷/۲۷

چکیده

این بررسی بر مبنای آزمون‌های تحلیل روند (Trend analysis) که بر سری داده‌های بارندگیهای ماهانه، فصلی و سالانه ایستگاههای بوشهر، اصفهان، تهران، مشهد و جاسک طی دوره هیدرولوژی (۱۱۶±۸) ساله، در دوره اقلیمی (۲۰۰۱-۱۸۷۷) اعمال شده به انجام رسیده است. پنج سری آماری مورد استفاده، در طی سال‌های مصادف با جنگ‌های جهانی اول و دوم متضمن چند سال خلاء آماری همزمان می‌باشند که بازسازی مقادیر آن‌ها با استفاده از روش خود همبستگی (Auto-correlation) به تحقق پیوسته است. آزمون همگنی سری‌های حاصل نشان می‌دهد که داده‌های جاسک ناهمگن و کاربرد آنها برای تحلیل روند مناسب نمی‌باشد، متقابلاً چهار سری آماری دیگر قابل تحلیل هستند. پس از این مرحله، روش‌های روندیابی خطی در مجموعه ایستگاههای فوق برای سری‌های زمانی سالانه، فصلی و ماهانه به انجام رسیده است و حالات و فراوانی وجود روند (Trend) مورد بحث و تحلیل قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهند که در مقیاس ماهانه حالاتی که بتواند وجود روند و یا تغییر اقلیم بارندگی را مستند سازد بسیار محدود و برای نتیجه‌گیری ناکافی است و در مقیاس سالانه آزمون‌های انجام شده هیچگونه مؤلفه تغییر اقلیم در روند زمانی کمی بارندگی را تأیید نمی‌نمایند.

واژه‌های کلیدی: تحلیل روند، بارندگی، تغییر اقلیم، ایران

مقدمه

هدف آشکارسازی تغییر اقلیم طی یک دوره نسبتاً درازمدت اقلیمی انجام شده‌اند، از روشهای آمار کلاسیک سود جسته‌اند. در این مطالعه نیز که با هدف بررسی تغییرات اقلیم بارندگی ایران طی یکصد و شانزده سال گذشته به انجام رسیده است، از روش آماری کلاسیک استفاده شده است.

مواد و روشها

در این مطالعه، آمار بارندگی سالانه، فصلی و ماهانه یک دوره هیدرولوژی ۱۱۶۷۸ ساله مربوط به پنج ایستگاه کهن ایران مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. مشخصات ایستگاه‌های مورد بررسی در جدول ۱ منعکس شده است. با توجه به این جدول، مشاهده می‌شود که ایستگاه بوشهر با داشتن ۱۲۴ سال آمار بارندگی، واجد بیشینه طول دوره آماری در بین سایر ایستگاه‌ها می‌باشد.

بارندگی یکی از عوامل مهم هواشناسی است که، کمیت و پراکنش آن به نحو چشمگیری در نقاط مختلف کره زمین تغییر می‌یابد. یکی از روشهایی که به کمک آن می‌توان سیر تحولات بارندگی را در گذشته و حال بررسی نمود، آنالیز روند سریهای زمانی در مقیاسهای مختلف زمانی است. اصولاً، وجود روند در سریهای زمانی هیدرومتئورولوژی ممکن است ناشی از تغییرات تدریجی طبیعی و تغییر اقلیم یا اثر فعالیت‌های انسانی باشد [۱]. اثبات وجود روند در سریهای زمانی بارندگی دال بر وقوع تغییر اقلیم نیست بلکه، فرض رخداد آن را تقویت می‌کند [۲]، زیرا عوامل کنترل کننده سامانه اقلیم کره زمین متعدّدند.

تاکنون مطالعات بسیاری در زمینه ارزیابی تغییرات سامانه اقلیم بارش با استفاده از تحلیل روند بارندگی انجام شده است [۲، ۳ و ۴]. این مطالعات، که با

جدول ۱: مشخصات ایستگاه‌های تحت بررسی

نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع (متر)	دوره آماری (اقلیمی)	پوشش آماری (%)
جاسک	۵۷°-۴۶'	۲۵°-۳۸'	۴/۸	۱۸۹۳-۲۰۰۱	۷۳/۴
تهران-مهرآباد	۵۱°-۱۹'	۳۵°-۴۱'	۱۱۹۵/۸	۱۸۹۳-۲۰۰۱	۷۸
مشهد	۵۹°-۳۸'	۳۶°-۱۶'	۹۹۰	۱۸۹۳-۲۰۰۱	۸۸
اصفهان	۵۱°-۴۸'	۳۲°-۳۷'	۱۵۵۰/۴	۱۸۹۳-۲۰۰۱	۸۸
بوشهر	۵۰°-۵۰'	۲۸°-۵۹'	۱۹/۶	۱۸۷۷-۲۰۰۱	۸۸

شرح زیر است:

- مقایسه هر یک از جملات سری زمانی C_i با P_1, P_2, \dots, P_n جملات بعدی آن و محاسبه C_i که عبارتست از تعداد داده هایی که بعد از داده i ام قرار داشته و بزرگتر از آن باشند.
- با داشتن C_i برای هر یک از عناصر سری زمانی تا عنصر $n-1$ ، مجموع سری C_1, C_2, \dots, C_{n-1} یا آماره رتبه‌ای τ از رابطه زیر تعیین می‌شود:

$$\tau = \sum_{i=1}^{n-1} C_i \quad (3)$$

- تعیین امید ریاضی $E(\tau)$ و واریانس $V(\tau)$ از روابط زیر:

$$E(\tau) = \frac{n(n-1)}{4} \quad (4)$$

$$V(\tau) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{72} \quad (5)$$

محاسبه آماره آزمون Mann-Kendall یا MK از رابطه زیر:

$$MK = \frac{\tau - E(\tau)}{\sqrt{V(\tau)}} \quad (6)$$

فرض صفر آزمون (عدم وجود روند) در مقابل فرض یک (وجود روند) در صورتی رد می‌شود که در یک فاصله اطمینان $\alpha=95\%$ شرط زیر برقرار باشد:

$$P_r(|Z| < |MK|) > \alpha \quad (7)$$

آماره آزمون Mann-Kendall بر سریهای زمانی بارندگی سالانه، فصلی و ماهانه چهار ایستگاه منتخب اعمال گردید. نتایج آنالیز روند با استفاده از این روش در جدول ۲ تلخیص شده است. با توجه

سریهای آماری موجود واجد خلاءهای آماری در برخی از سال ها از جمله در خلال جنگ جهانی اول و دوم می‌باشند که به علت همزمان بودن، بازسازی آنها با استفاده از روش خود همبستگی (Auto-correlation) انجام شده است.

به منظور اطلاع از همگنی داده‌های بارندگی، آزمون دنباله (Run test) بر پنج سری زمانی اعمال و مشاهده گردید که داده‌های ایستگاه جاسک همگن نیستند و در نتیجه منحصراً چهار سری دیگر مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نمودارهای شکل ۱، تغییرات بارندگی سالانه در ایستگاههای مطالعاتی را نشان می‌دهند.

روشهای مختلفی برای تحلیل روند متغیرهای محیطی ارایه شده است. از بین این روشها می‌توان به آنالیز همبستگی و رگرسیون، آنالیز سریهای زمانی و آزمونهای ناپارامتری (Non-parametric tests) اشاره نمود. در این مطالعه، به منظور آنالیز روند بارندگی سالانه، فصلی و ماهانه در ایستگاههای مطالعاتی از روش رگرسیون خطی و آزمون ناپارامتری استفاده گردید.

۲-۱- آنالیز روند با استفاده از آزمون من-کندال (Mann-Kendall Test)

این آزمون ابتدا توسط Mann (۱۹۴۵) ارایه و سپس توسط Kendall (۱۹۴۸) توسعه یافت [۲] و کاربرد آن توسط سازمان جهانی هواشناسی (۱۹۶۶) توصیه گردید [۷]. از این آزمون برای تست فرض تصادفی بودن توالی داده‌ها در مقابل وجود روند استفاده می‌شود. مراحل محاسبه این آزمون به

منعکس شده است. ارزیابی و اعتمادسنجی شیب خطوط رگرسیون در سطح ۰.۵٪ حاکی از عدم وجود روند در سریهای زمانی بارندگی سالانه می‌باشد. در بین سریهای زمانی بارندگی فصلی، صرفاً یک مورد روند منفی معنی‌دار در سطح ۰.۵٪ در فصل پاییز و یک مورد روند مثبت معنی‌دار در سطح ۰.۵٪ در فصل زمستان در ایستگاه بوشهر رؤیت گردید. در سایر ایستگاههای مطالعاتی هیچگونه روند معنی‌داری در سریهای زمانی فصلی مشاهده نشد. در بُعد ماهانه نیز تنها وجود یک مورد روند مثبت معنی‌دار، طی ماه ژانویه، در ایستگاه بوشهر تأیید گردید. شکل‌های ۲ و ۳، به ترتیب، تصویر برآزش خطوط رگرسیون (با شیب معنی‌دار) را طی ماه ژانویه و فصول پاییز و زمستان در ایستگاه بوشهر به عنوان نمونه نشان می‌دهند.

بحث و نتیجه‌گیری

این آنالیز نشان می‌دهد که هیچ روند معنی‌داری در سریهای بارندگی سالانه (هم با استفاده از آزمون Mann-Kendall و هم روش مدل رگرسیون خطی) طی دوره اقلیمی مورد بررسی در ایستگاههای تحت مطالعه وجود ندارد. مطالعات قبلی با روش میانگین لغزان و میانگین‌های مقطعی در دوره صدساله بر اساس همین ایستگاهها نیز وجود هیچگونه مؤلفه تغییر اقلیم یا تغییر روند را در بارشهای سالانه نشان نداده است [۶]. در مقابل، بر اساس آزمون Mann-Kendall، مشخص شد که سریهای زمانی بارندگی فصلی در ۲۵٪ از موارد دارای روند منفی، ۸٪ از موارد روند مثبت و در بقیه

به این جدول، در مقیاس سالانه وجود روند در هیچ یک از ایستگاهها پذیرفته نشد. بررسی سریهای زمانی بارندگیهای فصلی نشان داد که باستثنای ایستگاه تهران - مهرآباد، در سه ایستگاه دیگر فرض وجود روند منفی در برخی فصول سال در سطح اعتماد ۰.۵٪ قابل تأیید است. صرفاً، یک مورد روند مثبت در سریهای زمانی فصلی یافت شد که طی فصل بهار و در ایستگاه مشهد اتفاق افتاده است. در مابقی فصلهای سال و در هیچیک از ایستگاهها فرض وجود روند از نظر آماری معنی‌دار نبود. در مقیاس ماهانه نیز، ۳۷/۵ درصد از سریها دارای روند منفی بوده و مابقی آنها، روند خاصی را در ایستگاههای مورد بررسی نشان ندادند.

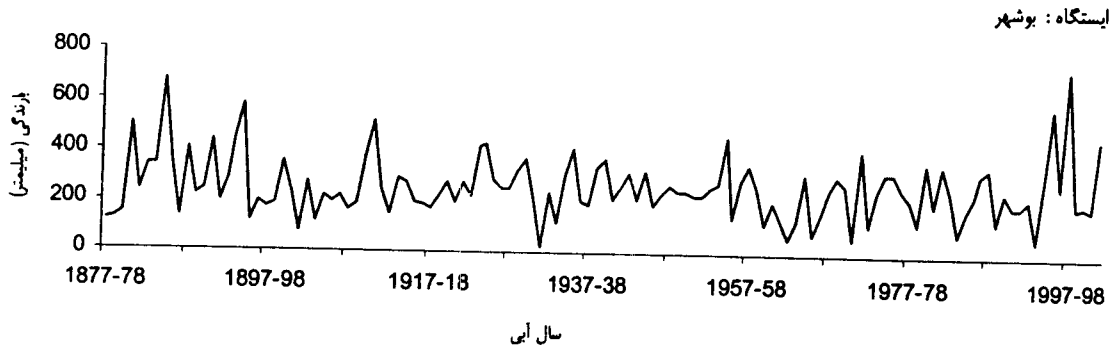
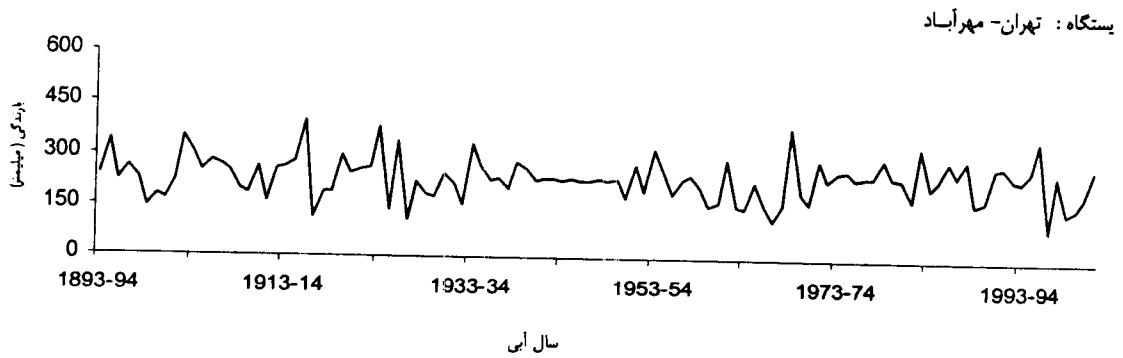
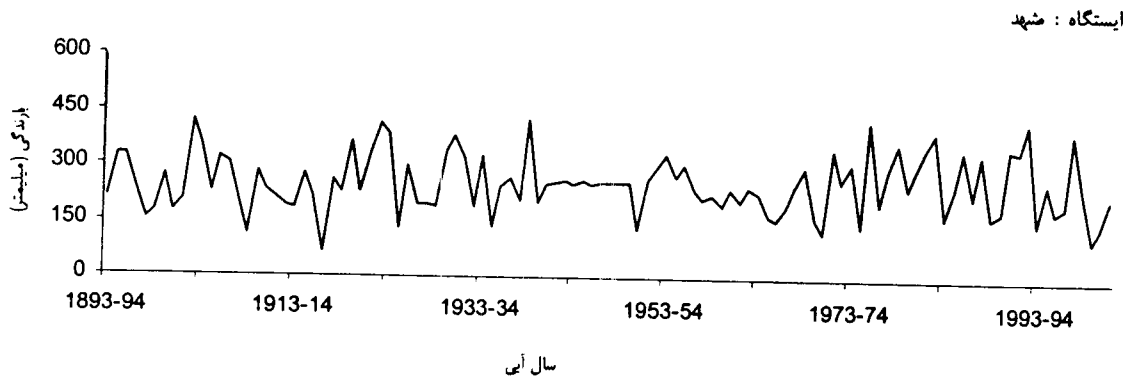
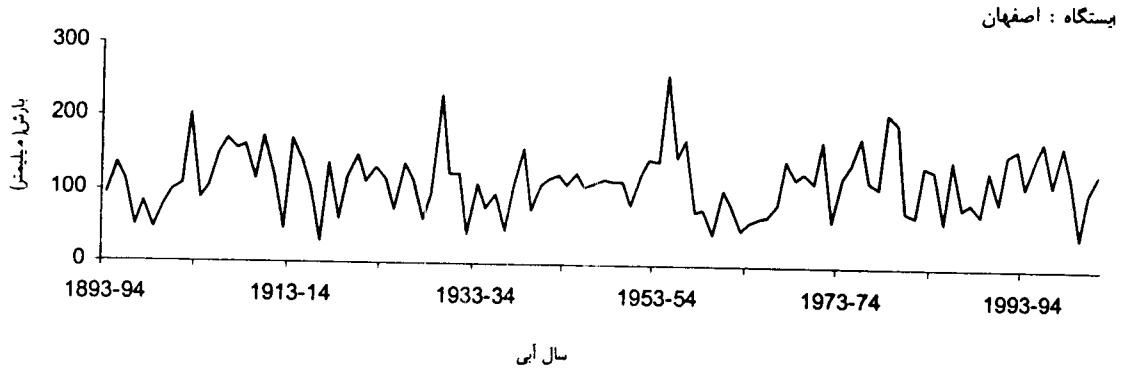
۲-۲- مدل رگرسیون خطی

علی‌رغم نا شناخته بودن شکل تابعی روند، یک مدل رگرسیون خطی (Linear Regression Model) با زمان، بر اساس اصل کمترین مربعات (Least squares) مطابق رابطه زیر بر سری زمانی بارندگی برآزش یافت و معنی‌دار بودن شیب آن با استفاده از آزمون دو دامنه t - استیودنت در سطح ۰.۵٪ به انجام رسید:

$$p = a + b\theta \quad (۸)$$

که در آن، a و b به ترتیب ثابت و شیب خط رگرسیون، θ ، زمان حسب سال یا ماه و p بارندگی سالانه یا ماهانه حسب میلیمتر است. چنانچه علامت شیب منفی باشد، روند نزولی و در صورت مثبت بودن علامت آن، روند صعودی خواهد بود.

مقادیر شیب خطوط رگرسیون و آماره t در جدول ۳



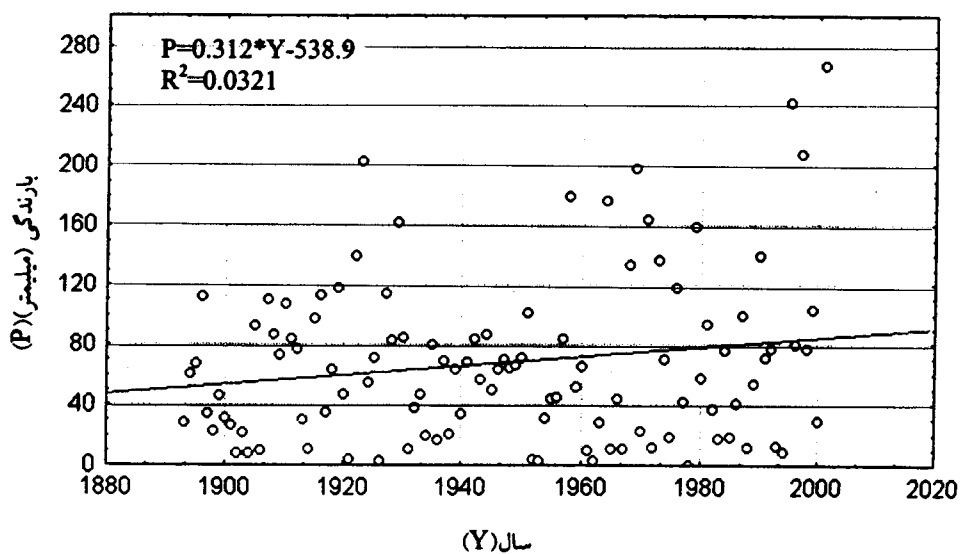
شکل ۱: تغییرات بارش های سالانه در چهار ایستگاه مطالعاتی بر حسب سال آبی (اکتبر تا سپتامبر)

علی خلیلی و جواد بذرافشان: تحلیل روند تغییرات بارندگیهای سالانه، فصلی و ماهانه پنج ایستگاه قدیمی ایران در یکصد و شانزده سال گذشته

جدول ۲: آنالیز روند زمانی بارندگی با استفاده از روش Mann-Kendall در ایستگاه های مورد مطالعه

سری زمانی	بوشهر	اصفهان	مشهد	تهران
اکتبر	-۷/۷۹۸*	-۳/۸۹۱*	-۰/۵۶۰	-۱/۸۶۴
نوامبر	۰/۰۳۷	-۰/۷۳۸	-۰/۱۴۷	۰/۴۹۲
دسامبر	۰/۱۰۰	-۱/۰۱۶	-۱/۶۲۹	-۰/۷۷۰
ژانویه	-۰/۷۰۲	-۰/۷۶۵	-۱/۵۸۷	۰/۳۸۸
فوریه	-۰/۶۴۹	-۱/۱۹۴	-۰/۷۶۵	۰/۶۷۶
مارس	-۱/۲۲۰	-۱/۲۷۸	۰/۸۸۵	۰/۸۸۵
آوریل	-۱/۹۲۲*	۰/۵۲۹	۱/۱۲۱	۱/۷۱۳
می	-۶/۵۲۵*	-۱/۳۹۳	۱/۶۱۸	-۰/۶۰۸
ژوئن	-۱۵/۲۹۲	-۶/۸۰۸	-۰/۶۹۷	-۲/۶۳۴*
ژولای	-۱۵/۳۰۸*	-۹/۵۰۵*	-۷/۶۴۶*	-۴/۱۹۰*
آگوست	-۱۲/۴۳۳	-۹/۹۶۱*	-۸/۵۸۴	-۵/۲۸۴*
سپتامبر	-۱۵/۴۱۳	-۹/۲۸۵	-۷/۶۹۳	-۵/۱۱۷*
پاییز	۰/۶۹۱	-۰/۳۹۳	-۰/۸۰۱	-۰/۴۵۶
زمستان	-۰/۴۴۰	-۰/۸۴۸	-۰/۸۴۸	۱/۱۰۰
بهار	-۱/۴۰۹	-۰/۲۳۰	۲/۱۸۹*	۰/۵۹۲
تابستان	-۱۲/۴۲۲*	-۵/۶۰۴*	-۳/۵۶۱*	-۰/۱۷۸
سال آبی	۰/۰۴۷	-۰/۹۱۱	۰/۱۰۰	۰/۳۰۴

* وجود روند در سطح ۵٪ پذیرفته شده است.



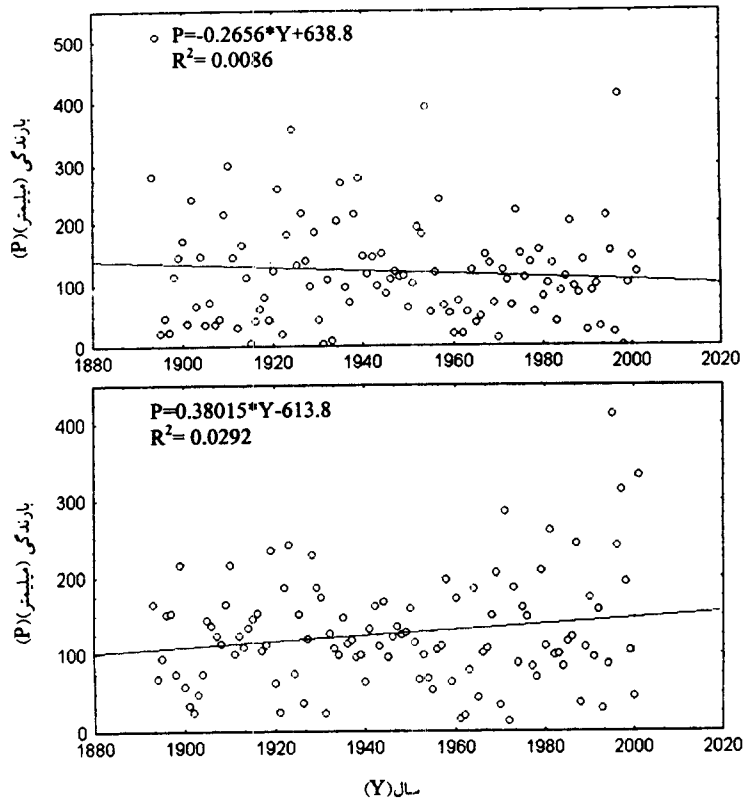
شکل ۲: برازش مدل رگرسیون خطی بر سری زمانی بارندگی ماه ژانویه در ایستگاه های بوشهر طی دوره آماری ۱۸۹۳-۲۰۰۱

جدول ۳: شیب خطوط برگشت (میلیمتر بر سال) و آماره آزمون t- استیودنت برای شیب تغییرات بارش حسب زمان در

ایستگاه های مطالعاتی

سری زمانی	بوشهر		اصفهان		مشهد		تهران	
	شیب خط (میلیمتر بر سال)	آماره t	شیب خط (میلیمتر بر سال)	آماره t	شیب خط (میلیمتر بر سال)	آماره t	شیب خط (میلیمتر بر سال)	آماره t
اکتبر	۰/۰۴۵	۰/۴۰۲	۰/۰۱۳	۰/۱۱۲	۰/۰۸۶	۰/۷۶۶	۰/۰۶۱	۰/۵۴۷
نوامبر	-۰/۱۳۸	-۱/۲۲۲	-۰/۰۴۶	-۰/۴۰۹	-۰/۰۰۷	-۰/۰۶۰	۰/۰۱۸	۰/۱۵۹
دسامبر	-۰/۱۷۳	-۱/۴۹۲	۰/۰۱۴	۰/۱۲۴	۰/۰۸۶	۰/۷۷۲	۰/۰۶۰	۰/۵۳۳
ژانویه	۰/۳۱۲	۲/۶۵۶*	۰/۰۱۶	۰/۱۳۹	۰/۱۱۷	۱/۰۵۸	-۰/۰۸۹	-۰/۷۹۸
فوریه	۰/۰۱۳	۰/۱۲۰	۰/۰۳۴	۰/۳۰۳	۰/۰۸۸	۰/۷۸۷	-۰/۰۳۶	-۰/۳۲۱
مارس	۰/۰۸۲	۰/۷۳۳	۰/۰۴۱	۰/۳۶۴	-۰/۰۶۸	-۰/۶۰۸	-۰/۰۱۹	-۰/۱۷۲
آوریل	۰/۰۰۴	۰/۰۳۶	۰/۰۰۶	۰/۰۵۴	-۰/۰۶۳	-۰/۵۶۸	-۰/۰۷۰	-۰/۶۲۳
می	۰/۰۰۸	۰/۰۶۸	۰/۰۲۹	۰/۲۶۲	-۰/۰۸۶	-۰/۷۷۲	۰/۰۱۹	۰/۱۷۱
ژوئن	۰/۰۰۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۷	۰/۰۶۰	-۰/۰۵۵	-۰/۴۹۱	۰/۰۰۵	۰/۰۴۸
ژولای	۰/۰۰۱	۰/۰۰۴	-۰/۰۰۳	-۰/۰۲۵	۰/۰۰۰	۰/۰۰۲	-۰/۰۱۷	-۰/۱۵۵
آگوست	۰/۰۰۷	۰/۰۶۳	۰/۰۰۰	-۰/۰۰۳	۰/۰۰۴	۰/۰۳۹	۰/۰۰۰	۰/۰۰۳
سپتامبر	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	-۰/۰۱۳	-۰/۱۱۳	۰/۰۲۴	۰/۲۱۳	-۰/۰۱۴	-۰/۱۲۷
سال آبی	۰/۰۹۴	۰/۸۰۰	۰/۱۰۲	۰/۹۱۴	۰/۰۵۰	۰/۴۴۵	-۰/۰۹۶	-۰/۸۵۱
پاییز	-۰/۲۶۶	-۱/۹۸۰*	-۰/۰۱۹	-۰/۱۷۲	۰/۰۶۶	۰/۵۹۴	۰/۱۳۸	۱/۲۴۷
زمستان	۰/۳۸۰	۲/۸۴۵*	۰/۰۹۰	۰/۸۰۴	۰/۱۳۷	۱/۲۲۷	-۰/۱۴۵	-۱/۲۹۷
بهار	۰/۰۰۴	۰/۰۳۳	-۰/۰۱۶	-۰/۱۴۲	۰/۰۲۹	۰/۲۵۳	-۰/۰۳۱	-۰/۲۷۹
تابستان	۰/۰۰۸	۰/۰۶۸	۰/۰۴۲	۰/۳۷۶	-۰/۲۰۴	-۱/۸۱۳	-۰/۰۴۵	-۰/۴۰۳

*: وجود روند در سطح ۰.۰۵٪ پذیرفته شده است.



شکل ۳: برازش مدل رگرسیون خطی بر سری زمانی بارندگی فصل پاییز (بالا) و زمستان (پایین) در ایستگاه بوشهر طی

دوره آماری ۱۸۹۳-۲۰۰۱

بارندگی ماههای تابستان می باشد چه، با افزایش داده های صفر در سریها، آماره آزمون به سمت ارقام منفی بزرگ تمایل می یابد. کمینه مقدار آماره آزمون زمانی اتفاق می افتد که کل سری بارندگی، صفر باشد. مثلاً، بعنوان نمونه در ایستگاه بوشهر، آماره آزمون در ماههای ژوئن، ژوئیه، اوت و سپتامبر از اعتبار لازم برخوردار نیست. متقابلاً، مدل خط رگرسیون به نحو مطلوبی توانسته است فقدان روند را در چنین ماههایی نشان دهد.

نتیجه کلی تأیید یافته های پیشین است [۶] که هیچیک از آزمونها وجود مؤلفه تغییر اقلیم بارندگی سالانه از نظر کمیت بارش را در ایستگاههای قدیمی ایران تأیید نمی نمایند.

تشکر و قدردانی

این بررسی در چارچوب طرح شماره ۷۱۱/۲/۵۱۵ شورای پژوهشی دانشگاه تهران به انجام رسیده است که بدینوسیله تشکر می شود.

موارد از روند خاصی تبعیت نمی کنند. برآزش مدل رگرسیون خطی بر سریهای فصلی، حاکی از برابری حالات وقوع روند منفی و مثبت (هر کدام ۰/۸) در ایستگاه بوشهر می باشد. در سایر ایستگاهها، وجود روند معنی داری در سریهای فصلی مشاهده نشد. در بین ۴۸ سری بارندگی ماهانه، با استفاده از آزمون Mann-Kendall مشخص شد که تنها ۱۸ سری دارای روند منفی معنی دار بوده و سایر سریها، روند خاصی را در ایستگاههای تحت بررسی نشان ندادند. با استفاده از مدل رگرسیون خطی نیز تنها یک مورد روند مثبت معنی دار طی ماه ژانویه و در ایستگاه بوشهر مشاهده شد. با مقایسه دو روش تحلیل روند، می توان نتیجه گرفت که بدلیل متفاوت بودن نتایج حاصله نمی توان بطور قطع در مورد وجود روند در سریهای زمانی اظهار نظر نمود.

از نتایج دیگر این مطالعه، آشکار شدن ضعف آزمون Mann-Kendall برای تحلیل روند سریهای زمانی

منابع

- 1- Brooks, C. E. P. and Carrthers, N., 1953. Handbook of statistical methods in meteorology. London, H.M.S.O., 412pp.
- 2- Serrano, A., Mateos, V. L., and Garcia, J. A., 1999. Trend analysis of monthly precipitation over the Iberian Peninsula for the period 1921-1995. Phys. Chem. Earth (B), Vol. 24, No. 1-2: 85-90.
- 3- Garrido, J., and Garcia, J. A., 1992. Periodic signals in Spanish monthly precipitation data. Theor. Appl. Climatol., No. 45: 97-106.
- 4- Kiely, G., Albertson, J.D., Parlange, M.B., 1998 Recent trends in diurnal variation of precipitation at Valentia on the west coast of Ireland. Journal of Hydrology. Vol.207, No.3-4:270-279.
- 5- Wilks, D.S., 1995. Statistical methods in the atmospheric sciences: an introduction. Academic Press.
- 6- Khalili, A., 1996. Statistical evaluation of climate change and PDF, based on secular data in five Iranian old stations. Proc. Summary of the First Regional Conference of Climate Change. Tehran, pp: 14 and 25.
- 7- Mitchell, J. M., Dzerdzeevskii. B., Flohn. H., Hofmeyr. W. L, Lamb, H. H., Rao, K. N., and Wallen, C.C, 1966. Climatic Change, WMO Technical Note No. 79, World Meteorological Organization, 79pp.

A Trend Analysis of Annual, Seasonal and Monthly Precipitation over Iran during the Last 116 Years

A. Khalili¹, J. Bazrafshan²

1- Professor Irr. & Recl. Engineering Dept., Faculty of Agriculture, Univ. of Tehran, Karaj-Iran, 2- PhD. Student, Irr. and Recl. Engineering Dept., Faculty of Agriculture, Univ. of Tehran, Karaj - Iran

Received : 19/10/2003

ABSTRACT

Monthly, seasonal, and annual total precipitation records of five oldest meteorological stations in Iran over the climatic period 1877-2001 are analyzed to assess the existence of a trend. These stations consisted of Bushehr, Esfahan, Tehran, Mashhad and Jask. During the First and Second World Wars, no observations in any of the above mentioned stations have been recorded. To reconstruct the lacuna in annual total precipitation series, the method of auto-correlation was used. The homogeneity tests for series showed that the records of the Jask station are heterogeneous and hence its data were eliminated from the trend analysis. On the other hand, the data of the other stations could be analyzed for trend. In the next stage, some methods of trend analysis were applied to the annual, seasonal and monthly series. These methods included the Mann-Kendall test and Linear Regression Model. The obtained results indicated very limited support for the existence of trend or precipitation climate change.

Key word: Trend analysis, Precipitation, Climate change, Iran.

