دکتر بهروز ساری صراف، دانشگاه تبریز
جاوید جامعی، دانشجوی دورهٔ دکترای اقلیم‌شناسی دانشگاه تبریز
شماره مقاله: ۵۹۵

B. Sari- Sarraf, Ph.D
J. Jama'ee

تحلیل و برآورد خشکسالی در غرب ایران

چکیده

اقلیم و پارامترهای مربوط به آن- ازجمله بارش، دما، رطوبت و ... - و تغییرات احتمالی این عناصر در طول دورهٔ زمانی نقش بسزایی در محیط زندگی انسان دارد. لذا شناخت عناصر مذکور و تغییرات مربوط از طریق به کمی درآوردن و مدل‌بندی آماری پارامترها و فراسنجهای اقلیمی، امکان بهره‌وری بهینه از طبیعت و امکانات خدادادی آن را فراهم می‌سازد. در مقالهٔ حاضر، به منظور تجزیه و تحلیل سری زمانی بارش ماهانه ایستگاههای منتخب غرب کشور و پیش‌بینی مقادیر آتی برای شناسایی خشکسالی، از روش ساریما[1] استفاده شده است. برای تعیین خشکسالی، دو شاخص توزیع استاندارد و درصد بارش نرمال به‌کارگرفته شده و در نهایت معناداری تغییرات بارش در طول دورهٔ آماری مورد مطالعه، از طریق آزمون F بررسی گردیده است. در خاتمه خشکسالی ضعیف خشکسالی غالب بوده و بارش ایستگاههای منتخب تغییرات معناداری نداشته است.

کلید واژه‌ها: تجزیه و تحلیل خشکسالی، Zscore، درصد از بارش نرمال، مدلهای تصادفی، مدل ساریما، تغییرات اقلیمی، سنندج و میاندوآب.

مقدمه

اساس آمایش سرزمین و برنامه‌ریزی محیطی، مطالعات جغرافیایی می‌باشد. بنابراین، شناخت جغرافیای یک منطقه، اتخاذ تدابیر اساسی و منطقی را در قالب یک برنامه محیطی میسر می‌سازد. از میان عوامل و عناصر جغرافیایی تأثیرگذار، اقلیم یکی از جلوه‌های بارز طبیعت به شمار می‌آید.

1. SARIMA.

خشکسالی یکی از نوسانهای اقلیمی است که عدم شناخت اصولی این پدیده، زیانهای سنگین بر اقتصاد و طبیعت یک منطقه وارد می‌سازد به خصوص در ایران که در کمربند بیابانی کره زمین واقع است و زیربنای اقتصادی آن پس از فراورده‌های نفتی، محصولات کشاورزی است. یکی از مناطق مهم کشاورزی ازحیث کشت محصولات استراتژیکی (گندم و جو) به روش دیم، ناحیهٔ غرب و شمال غربی کشور است. منطقهٔ مورد مطالعه ازحیث وجود جنگلهای وسیع و مراتع عظیم گیاهی، وابستگی زیادی به بارش نشان می‌دهد و نوسانهای زمانی بارش باعث به هم خوردن نظم حاکم بر این اکوسیستمهای گیاهی می‌گردد. در این میان، یک سؤال قابل طرح است و آن اینکه: وقوع مجدد خشکسالی و یا ترسالی در ایستگاههای منتخب برمبنای چه قانونمندی آماری (مدل آماری) استوار است و مناسب‌ترین راه‌حل برای پیش‌بینی و مقابله با آن چیست؟

فرضیه‌های مد نظر برای انجام تحقیق، عبارتند از: ۱. بارش ایستگاههای منتخب (سنندج، میاندوآب) در طول دورهٔ آماری تغییرات خاصی را نداشته‌اند. ۲. در هر دو ایستگاه شاهد خشکسالی در سالهای آتی خواهیم بود.

پیشینهٔ تحقیق

تا نیمهٔ اول قرن بیستم، وقایع جوی به ویژه خشکسالیها، به‌طور پراکنده در گوشه و کنار جهان ثبت و بررسی شده و به تدریج با پیشرفت علم آب و هواشناسی، این موضوع بیشتر مورد توجه قرار گرفته است. از مهمترین کارهایی که در دههٔ ۱۹۶۰ به بعد صورت گرفته، اقدام پالمر (*Palmer,1965*) را می‌توان نام برد. وی جزء نخستین کسانی است که خشکسالی را به طور علمی مورد بررسی قرار داده است. اسمیت، تغیرات بارش اسکاتلند را از ۱۷۵۷ تا ۱۹۹۲ مورد بررسی قرار داد و در نهایت افزایش بارش متوسط سالیانه و تغیرات فصلی آن را غیر عادی ارزیابی نمود. (*Mohan & Vedula, 1995, 115*) مدل آریما[2] را برای پیش‌بینی دبی‌های ماهانهٔ رودخانهٔ بهاردرا واقع در جنوب هندوستان، به‌کار بردند. آنها نتیجه گرفتند که مدل پیشنهادی برای پیش‌بینی‌های بلند مدت دبی ماهانهٔ رودخانه‌هایی که دارای روند فصلی هستند، بسیار مناسب و کارآمد است.

در تحقیقی دیگر، لایت (*Leite, 1996, 1165*) دما و بارش سالانهٔ کشور پرتغال را به کمک مدلهای اتورگرسیو پیش‌بینی کرد و نتیجه گرفت که دما و بارش سالانه، علاوه بر اینکه از سالی

2. ARIMA.

نسبت به سال دیگر متفاوت است، از یک دهه به دههٔ دیگر نیز تغییر می‌کند. به عبارت دیگر، دارای نوسانهای سالانه و دهه‌ای است. در همان سال، تایکو و سان، (*Taikuo & Sun, 1996*) مدل اتورگرسیو را برای پیش‌بینی بارشهای رگباری رودخانهٔ تانشیو به‌کار بردند.

ترابی در رسالهٔ دکترای خود، تغییرات دما و بارش ایران را با استفاده از داده‌های ۴۵ ایستگاه هواشناسی طی سالهای ۱۹۶۶ تا ۱۹۹۵ مورد تحقیق قرار داده است (*ترابی،۱۳۸۰،۲۵۰*). نخست از طریق تکنیک تحلیل خوشه‌ای پنج منطقهٔ اقلیمی را تعیین و سپس از هر منطقه یک ایستگاه را به عنوان نماینده انتخاب کرد. در ادامه، با استفاده از مدل احتمالاتی ساریما تغییرات حداقل و حداکثر درجه حرارت و میانگین بارش را مورد ارزیابی قرار داد. نتایج تحقیق حاکی از آن است که تغییرات حداقل درجه حرارت و بارش در اکثر ایستگاه معنادار نبوده، تغییرات حداکثر دما بجز ایستگاه بندر لنگه، در بقیهٔ ایستگاهها معنادار می‌باشد.

از دیگر تحقیقات انجام گرفته در این زمینه، پایان‌نامهٔ پروین (*پروین،۱۳۸۰،۱۸۵*) می‌باشد. ایشان نخست با استفاده از مدل آریما به پیش‌بینی بارش چهار ایستگاه حوضهٔ آبریز دریاچهٔ ارومیه پرداخته، سپس بارش حوضهٔ مذکور را با استفاده از شاخص Z-score طبقه‌بندی نموده است. نتیجهٔ حاصل، نشانگر وضعیت تقریباً نرمال همراه با روند صعودی بارندگی در سالهای ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۱ می‌باشد. از دیگر تحقیقات انجام گرفتهٔ داخلی در زمینهٔ خشکسالی، می‌توان به کارهای *براتیان (۱۳۸۲)*، *طیب رضیئی و همکاران (۱۳۸۲)*، *مهران لشنی زند (۱۳۸۲)*، *صفر معروفی (۱۳۸۲)*، *محمدی و همکاران (۱۳۸۲)* اشاره کرد.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

مواد و روشها

در این تحقیق، آمار ۴۱ سالهٔ بارش ماهانهٔ ایستگاههای سنندج و میاندوآب به عنوان ایستگاههای منتخب غرب کشور جهت تعیین خشکسالی و برآورد بارش سالهای آتی از طریق مدل آماری ساریما مورد بررسی قرار گرفته است. مشخصات آماری ایستگاههای مورد مطالعه، همچنین آزمون نرمال بودن داده‌ها، در جدول ۱ و ۲ آمده است.

نقصان داده‌های آماری در ایستگاههای مورد مطالعه بجز چند مورد کمتر دیده شد که موارد موجود نیز با استفاده از روشهای کمی تفاضلها و روش همبستگی خطی (معادلهٔ رگرسیون) بازسازی گردید. برای تحقق این امر، ایستگاههای سقز و مهاباد به عنوان ایستگاه پایه و دارای کمترین فاصله مکانی انتخاب گردید.

جدول ۱ مشخصات آماری ایستگاههای سنندج و میاندوآب

ایستگاه	ارتفاع	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	دورهٔ آماری بارش
سنندج	۱۳۷۳,۴	۳۵,۲۰N	۴۷,۰E	(۱۹۶۱-۲۰۰۱)
میاندوآب	۱۳۱۴	۳۶,۵۸N	۴۶,۶E	(۱۹۶۱-۲۰۰۱)

جدول ۲ آزمون نرمال بودن دادهها (ران تست)

مشخصات آزمون ران تست	بارش میاندوآب	بارش سنندج
Test Value	۱۵,۰۰	۲۷,۶۰
Cases < Test Value	۲۴۵	۲۴۶
Cases >= Test Value	۲۴۷	۲۴۶
Total Cases	۴۹۲	۴۹۲
Runs Number of	۱۴۳	۱۲۱
Z	-۹,۳۸	-۱۱,۳۷
Asymp. Sig. (2-tailed)	,۰۰۰	,۰۰۰

بارش

نزولات جوی - اعم از باران، برف و ... - جهت ایجاد و شکل‌گیری به دو عامل رطوبت و سردی هوا (دمای نقطه شبنم) نیازمندند. در نواحیی که شرایط مناسب موجود باشد (همانند استوا) میزان بارش، چشمگیر خواهد بود. جدول ۳ نشانگر تجزیه و تحلیل اولیهٔ بارشهای منطقه است. برای توصیف و پیش‌بینی بارش، از ۴۹۲ مشاهده (۲۰۰۱- ۱۹۶۱) استفاده شده است. ایستگاه سنندج با بارش کل ۱۹۲۹۰ میلی‌متر، نسبت به ایستگاه میاندوآب، بارش بیشتری را داراست (۱۱۳۳۵). قرارگرفتن سنندج در مسیر ورودی سیکلونهای مدیترانه‌ای (*علیجانی، ۱۳۷۱*) دلیل اصلی افزایش میزان بارش است. انحراف استاندارد بالای بارش سنندج، پراکندگی و تغییرات بیشتر رژیم بارشی این ایستگاه را نمایان می‌سازد.

جدول ۳ مشخصات آماری بارش ایستگاههای سنندج و میاندوآب

ایستگاه	تعداد	دامنه تغییرات	حداقل	حداکثر	مجموع	میانگین	انحراف استاندارد	واریانس	چولگی
سنندج	۴۹۲	۱۲۸	۰	۱۲۸	۱۱۳۳۵	۲۳	۲۶	۷۰۷	۱/۴
میاندوآب	۴۹۲	۲۰۴	۰	۲۰۴	۱۹۲۹۰	۳۹	۴۱	۱۷۵۶	۰/۹

به منظور تجزیهٔ فصلی بارش ماهانه، میزان و ضریب تغییرات بارش ماهانه جدولهای ۳ و ۴ ورده شده است. در هر دو ایستگاه، بیشترین میزان بارش دریافتی به مارس و آوریل و کمترین

میزان آن به اگوست و سپتامبر تعلق دارد. در واقع، به علت رژیم مدیترانه‌ای حاکم بر منطقه، زمستان، فصل مرطوب و تابستان، فصل خشک می‌باشد. ضریب تغییرات ماههای دورهٔ گرم به مراتب از سایر ماهها بیشتر است که خود دلیلی بر اتفاقی و نامنظم بودن بارش دورهٔ گرم است. پس از زمستان، بیشترین بارش فصلی ایستگاه سنندج در پاییز رخ می‌دهد، اما فصل دوم رژیم بارشی میاندوآب، بهار است که علت آن ویژگی اصلی اقلیم آذربایجان، یعنی همرفت دامنه‌ای است. ضریب تغییرات دومین فصل بارش ایستگاههای مذکور، برعکس نسبت بارش دریافتی است. (جدولهای ۴ و ۵).

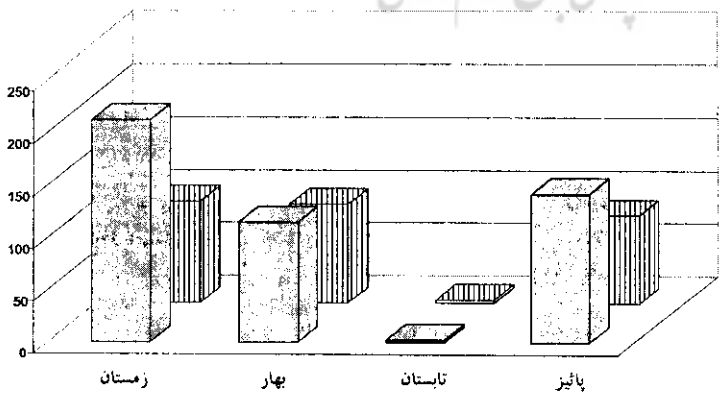
شکل ۱ نمودار ستونی بارش فصلی ایستگاههای مورد مطالعه را نشان می‌دهد. حداکثر بارش زمستانه به پس‌روی STHP و پیش‌روی سیستمهای جوی غربی (موج بلند وکوتاه سیکلون و ...) مربوط می گردد. حداقل بارش تابستانه نیز به استقرار STHP و عدم وجود حرکتهای صعودی هوا ربط دارد.

جدول ۴ میانگین ماهانهٔ بارش ایستگاههای سنندج و میاندوآب (برحسب میلی‌متر)

ایستگاه	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	سالانه
سنندج	۶۶	۶۱	۸۱	۷۳	۳۸	۲۳	۰/۹	۰/۵	۰/۹	۲۶	۵۷	۵۷	۴۶۳/۵
میاندوآب	۳۱	۲۳/۸	۴۳/۶	۵۶/۲	۳۵/۵	۵۵	۰/۷	۰/۵	۱/۴	۲۰/۳	۳۳/۱	۳۲/۱	۲۸۳/۷

جدول ۵ ضریب تغییرات بارش ماهانهٔ ایستگاههای سنندج و میاندوآب

ایستگاه	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
سنندج	۵۳	۴۴	۴۵	۵۱	۹۱	۲۰۴	۳۱۳	۲۷۹	۲۵۵	۱۲۱	۸۳	۵۵
میاندوآب	۶۳	۶۵	۵۸	۵۴	۸۷	۲۰۱	۵۶۲	۳۲۵	۲۷۶	۱۲۳	۸۶	۷۷



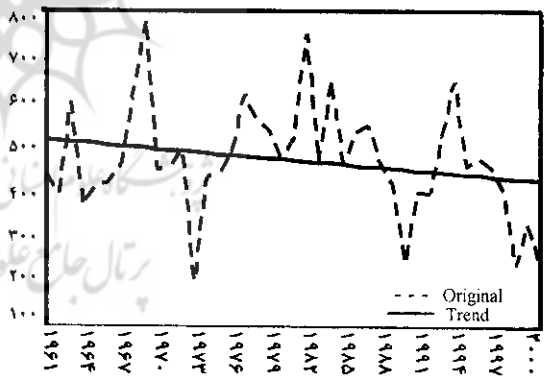
شکل ۱ بارش فصلی ایستگاههای سنندج و میاندوآب (برحسب میلی‌متر)

روند[3] بارش

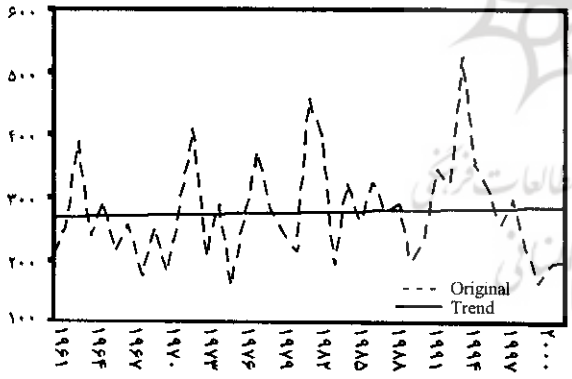
برای ارزیابی و شناخت تغییرات بارشی ایستگاههای مورد مطالعه، بررسی روند بارش ایستگاههای منتخب طبق روش کمترین توانهای دوم (کمترین مربعات[4]) در دستور کار قرار گرفته است و هدف شناخت وجود یا عدم وجود تغییرات بارش در ناحیهٔ مورد مطالعه است. هر سری زمانی دارای چهار مؤلفه است که اولین مؤلفه، تغییرات نوسانی یا همان روند عددی است. در روش کمترین مربعات، متوسط بارش سالیانه برای تعیین روند بارش مورد محاسبه قرار گرفته است. سپس با استفاده از معادله $y = a+bx$، x و y محاسبه شده‌اند. معادلهٔ خط روند بارش ایستگاههای مورد مطالعه، به شرح زیر است:

سنندج: $y = 468.05-2.30\ x$ میاندوآب: $y = 276.27+0.4\ x$

شکلهای ۲ و ۳، نشان‌دهندهٔ پراکنش سری زمانی بارش و بهترین خط متناسب با نقاط پراکنش (خط روند) می‌باشد. با تجزیه و تحلیل این شکلها می‌توان دریافت که میانگین درازمدت ایستگاه سنندج در طول دورهٔ آماری (۲۰۰۱- ۱۹۶۱) ۴۶۸/۰۵ میلی‌متر و مقدار تغییرات این ایستگاه ۲/۳۰ میلی‌متراست که کاهش قابل ملاحظه‌ای به‌شمار می‌آید. ایستگاه میاندوآب با میانگین بارش ۲۷۶/۲۷ میلی‌متر نیز شاهد افزایش ۰/۴ میلی‌متر بارش بوده که در واقع می‌توان آن را بدون روند به شمار آورد.



شکل ۲ روند بارش ایستگاه سنندج طی ۲۰۰۱-۱۹۶۱



شکل ۳ روند باش ایستگاه میاندوآب طی ۲۰۰۱-۱۹۶۱

تغییرات فصلی بارش

به منظور تعیین تغییرات فصلی بارش ایستگاههای سنندج و میاندوآب، از روش درصد از متوسط استفاده شده است. اساس کار بدین شرح است: داده‌های هر ماه به صورت متوسط سالیانه

3. Trend.
4. Least of square

محاسبه و سپس درصدهای حاصل هر ماه را در سالهای مختلف در نظر گرفته و میانگین آنها محاسبه می‌گردد. میانگین داده‌ها به عنوان شاخص فصلی تلقی می‌شود و مجموع میانگین (شاخص فصلی) باید ۱۲۰۰ باشد (مجموع سالیانه درصد ماهانه). جدولهای ۶ و ۷ به ترتیب تغییرات فصلی بارش ایستگاههای سنندج و میاندوآب را نشان می‌دهند. در هر دو ایستگاه، مجموع شاخص فصلی ۱۲۰۰ است؛ از این رو به تصحیح شاخص نیازی نیست. با توجه به جدول ۶، بیشترین فراوانی شاخص فصلی ایستگاه سنندج به فصل زمستان (۵۵۳) و کمترین این شاخص به فصل تابستان (۷) تعلق دارد که نشانگر رژیم حرارتی زمستانهٔ ایستگاه می‌باشد. بیشترین بارش دریافتی ماهانه در ماه مارس (۲۱۸) و کمترین در ماه اگوست (۱) رخ داده است. دومین فصل بارشی ایستگاه سنندج، فصل پاییز است.

جدول ۶ تغییرات فصلی بارش ایستگاه سنندج

سال	Jan	fab	mar	apr	may	Jun	jul	aug	sep	oct	nov	dec
۱۹۶۱	۲۷۲	۲۱۴	۱۵۱	۳۲۱	۷	۳	۰	۰	۰	۰	۱۲۹	۱۰۳
۱۹۶۲	۲۳۲	۱۹۸	۶۷	۲۲۴	۴۲	۰	۰	۱	۰	۳۴	۱۸۷	۲۱۵
۱۹۶۳	۲۷۹	۶۹	۱۲۲	۲۳۴	۲۴۷	۶	۰	۰	۰	۴۷	۳۲	۱۶۴
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
۱۹۹۶	۲۵۰	۲۹۸	۱۱۷	۱۳۳	۱۷	۰	۳۷	۰	۰	۶۸	۱۵۴	۱۲۷
۱۹۹۷	۲۵۰	۷۱	۳۰۷	۱۵۹	۱۴	۰	۰	۰	۱۳	۱۰۵	۱۰۴	۱۷۵
۱۹۹۸	۱۳۵	۸۴	۱۷۱	۲۲۵	۶۸	۰	۵۲	۰	۱۵	۴۰	۱۵۲	۲۵۸
جمع	۶۹۸۸	۶۸۳۸	۸۶۴۲	۷۷۰۵	۳۹۱۴	۲۲۶	۱۳۷	۵۸	۱۱۲	۲۶۳۱	۵۷۸۵	۶۰۶۳
میانگین	۱۷۵	۱۶۷	۲۱۱	۱۸۸	۹۵	۵	۳	۱	۳	۶۴	۱۴۱	۱۴۸

جدول ۷ تغییرات فصلی بارش ایستگاه میاندوآب

سال	Jan	fab	mar	apr	may	jun	Jul	aug	sep	oct	nov	dec
۱۹۶۱	۲۲۵	۱۱۵	۹۲	۵۸۴	۴۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱۲۷	۵۲
۱۹۶۲	۱۴۹	۱۲۵	۱۰۶	۳۸۴	۲۴	۰	۰	۳۷	۰	۲۴۰	۷۷	۶۲
۱۹۶۳	۱۶۱	۱۹۵	۳۹	۲۱۳	۲۴۴	۰	۰	۰	۰	۹۰	۱۴۸	۱۱۱
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
۱۹۹۹	۱۹۱	۱۰۵	۱۴۴	۲۰۷	۲۸	۱۱۹	۴۹	۱۵	۰	۷۱	۱۳۹	۱۳۰
۲۰۰۰	۱۷۸	۱۳۹	۲۶۶	۲۷۵	۲۷	۰	۰	۰	۰	۱۳۴	۷۹	۱۰۱
۲۰۰۱	۱۱۱	۵۷	۲۴۵	۲۳۰	۸۸	۰	۰	۰	۰	۵۰	۱۴۶	۲۷۲
جمع	۵۶۳۷	۴۱۳۶	۷۸۱۱	۹۸۴۸	۵۶۳۷	۸۴۶	۱۶۵	۹۱	۲۵۶	۳۴۲۸	۵۳۸۰	۵۹۶۳
میانگین	۱۳۷	۱۰۱	۱۹۰	۲۴۰	۱۳۷	۲۱	۴	۲	۶	۸۴	۱۳۱	۱۴۵

جدول ۷ تغییرات فصلی بارش میاندوآب را شامل می‌شود. در این ایستگاه نیز زمستان (۴۲۸) بیشترین فراوانی و تابستان (۱۲) کمترین فراوانی را دارا هستند. بهار با شاخص فصلی ۳۹۸، دومین فصل بارشی تلقی می‌گردد. بیشترین فراوانی بارش ماهانه در ماه آوریل وکمترین آن در ماه آگوست رخ داده است.

شاخصهای منتخب تعیین خشکسالی

در تحقیق حاضر، به منظور تعیین خشکسالی ایستگاههای مذکور، دو شاخص توزیع استاندارد و درصد از بارش نرمال به کار گرفته شده است. فرج‌زاده (۱۳۷۴) در تحقیقی تحت عنوان خشکسالی در ایران، از این دو شاخص همراه با چندکها و شاخص انحراف معیار استفاده کرده است که در نهایت، درصد از بارش نرمال را برای طبقه‌بندی خشکسالی در ایران بهتر از شاخصهای دیگر ارزیابی نموده است. در این‌جا فقط به تجزیه وتحلیل بارش سنندج پرداخته می شود.

جدول ۸ تقسیم‌بندی شاخصهای منتخب خشکسالی

ویژگی	خشکسالی ضعیف	خشکسالی متوسط	خشکسالی شدید	خشکسالی بسیار شدید
کد مربوط	۱	۲	۳	۴
توزیع استاندارد	۱->	۱/۱-تا۲-	۲/۱-تا۳-	۳-<
درصد از بارش نرمال	۷۰تا۸۰	۵۵تا۷۰	۴۰تا۵۵	۴۰>

وقوع زمان خشکسالی

شاخص توزیع استاندارد

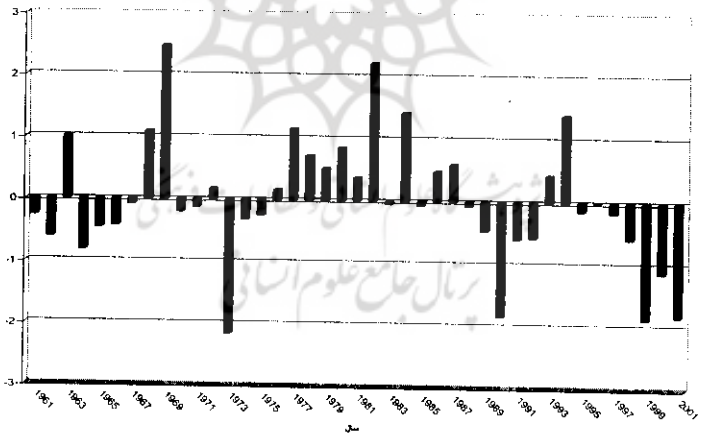
اولین شاخص که به منظور تجزیه و تحلیل بارش ایستگاههای مورد مطالعه به کار گرفته شده، توزیع استاندارد است. بدین منظور، نمرات Zscore بارش سالیانه ایستگاهها تعیین گردید. برحسب این شاخص، شدیدترین خشکسالی ایستگاه میاندوآب در سال ۱۹۷۵ با بارش ۱۵۷ میلی‌متر و نمره استاندارد ۱/۴- بوده است، درحالی‌که ایستگاه سنندج این خشکسالی را در سال ۱۹۷۳ با بارش ۲۰۰ میلی‌متر و نمره Zscore ۲/۱- تجربه کرده است.

از نکات قابل توجه، وقوع خشکسالیهای ممتد در سالهای اخیر است. به‌طوری‌که از سال ۱۹۹۷ تا ۲۰۰۱ به‌طور متوالی خشکسالی با درجه‌های متفاوت به قوع پیوسته و از آنجا که احتمال غیرعادی بودن پنج سال خشکسالی ممتد ضعیف است، برای ریشه‌یابی علت آن تحقیق و بررسی بیشتری باید صورت گیرد.

با مشاهدهٔ جدول ۹ و با نظر به شاخص توزیع استاندارد، می‌توان دریافت که بیشترین فراوانی در بین انواع خشکسالی، متعلق به خشکسالی ضعیف است؛ که ایستگاههای سنندج و میاندوآب به ترتیب ۷۹٪ و۷۷ ٪ خشکسالی‌هایشان ضعیف بوده است خشکسالی متوسط با ۱۷٪ و ۲۳٪ در درجه دوم قرار دارد. خشکسالی بسیار شدید در بین ایستگاهها موجود نیست. خشکسالی شدید نیز فقط یک مورد با ۴٪ در سنندج اتفاق افتاده است. شکل۴، نمرات Zscore ایستگاه سنندج را نشان می‌دهد.

جدول ۹ فراوانی و درصد دوره‌های خشک ایستگاههای سنندج و میاندوآب

	ویژگی	خشکسالی ضعیف		خشکسالی‌متوسط		خشکسالی شدید		خشکسالی بسیار شدید	
	شاخص	فراوانی	درصد	فراوانی	درصد	فراوانی	درصد	فراوانی	درصد
سنندج	توزیع استاندارد	۱۹	۷۹	۴	۱۷	۱	۴	---	---
	درصد از بارش میانگین	۲	۳۳	---	---	۴	۶۷	---	---
میاندوآب	توزیع استاندارد	۱۷	۷۷	۵	۲۳	---	---	---	---
	درصد از بارش میانگین	۸	۶۱	۵	۳۹	---	---	---	---



شکل ۴ نمره استاندارد بارش ایستگاه سنندج (۲۰۰۱-۱۹۶۱)

جدول ۱۰، خشکسالی را در مقیاس زمانی دهه‌ای نشان می‌دهد. در طول دورهٔ زمانی مورد مطالعه، سنندج در دههٔ ۱۹۹۰ و میاندوآب در دههٔ ۱۹۶۰ بیشترین خشکسالی را تجربه کرده‌اند. ایستگاه سنندج ۱۹۷۰ (پنج سال اول)، ۱۹۹۰ (نیمه دوم) با چهار مورد و میاندوآب ۱۹۶۰ (نیمه دوم) با چهار مورد بیشترین فراوانی خشکسالی را دارا هستند.

جدول ۱۰ فراوانی خشکسالیهای ایستگاههای سنندج و میاندوآب طی ۲۰۰۱-۱۹۶۱

ایستگاه	دهه	۱۹۶۰		۱۹۷۰		۱۹۸۰		۱۹۹۰		۲۰۰۰
	نیمه	اول	دوم	اول	دوم	اول	دوم	اول	دوم	اول
سنندج	توزیع استاندارد	۳	۳	۴	۱	۱	۳	۳	۴	۲
میاندوآب		۳	۴	۲	۳	۲	۲	۱	۳	۲
سنندج	درصد از بارش میانگین	۱	۰	۱	۰	۰	۰	۱	۱	۲
میاندوآب		۱	۲	۲	۱	۲	۱	۰	۲	۲

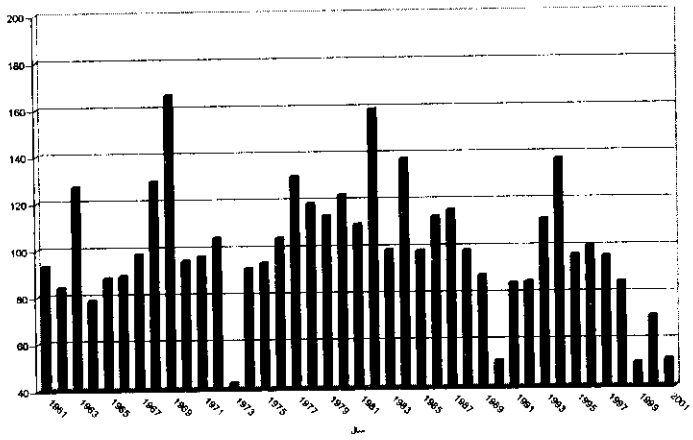
شاخص درصد از بارش میانگین

دومین شاخص به منظور تعیین خشکسالی، درصد از بارش میانگین (نرمال) می‌باشد. بر اساس شاخص مذکور، سنندج در سال ۱۹۷۳ با ۲۰۰ میلی‌متر بارش و ۴۲/۵ درصد از بارش میانگین، شدیدترین خشکسالی و میاندوآب در سال ۱۹۷۵ با ۱۵۷/۵ میلی‌متر بارش و ۵۷ ٪ از بارش نرمال، بزرگترین خشکسالی را داشته‌اند.

جدول ۹، با نظر به شاخص درصد از بارش میانگین، فراوانی انواع خشکسالی را نمایش می‌دهد. خشکسالی شدید با ۴ مورد و ۶۷٪ بیشترین فراوانی و خشکسالی ضعیف با ۲ مورد و ۳۳٪ دومین فراوانی را دارا می‌باشند. در ایستگاه میاندوآب، خشکسالی ضعیف با ۸ مورد و ۶۱٪ بیشترین فراوانی و خشکسالی متوسط با ۵ مورد فراوانی و ۳۹٪ در ردیف دوم قرار دارد. از نکات بارز جدول ۹ که قابلیت تحلیل و بررسی بیشتری را می‌طلبد تفاوت بین دو شاخص در تحلیل خشکسالی است که این تفاوت در سنندج بسیار مشهود می‌باشد؛ به‌طوری که ۱۹ مورد خشکسالی ضعیف توزیع استاندارد به ۲ مورد کاهش یافته و ۱ نمونه خشکسالی شدید به ۴ مورد افزایش یافته است.

این مطلب حساسیت بیشتر شاخص درصد از بارش نرمال را به درجات بیشتر خشکسالی و عدم حساسیت به درجات ضعیف تر را نشان می‌دهد. این مسأله ناشی از عدم توجه درصد از بارش نرمال به ۲۰٪ اولیه کمتر از میانگین است (۸۰ تا ۱۰۰). شکل ۵، نمرات درصد از بارش نرمال ایستگاه سنندج را نشان می‌دهد.

با مشاهدهٔ جدول ۱۰، بیشترین خشکسالی سنندج در دههٔ ۱۹۹۰ و ۲۰۰۰ به وقوع پیوسته، درحالی‌که میاندوآب از خشکسالی در سه دههٔ اول به یک اندازه و در دههٔ ۱۹۹۰ کمتر متأثر بوده است. سالهای ۲۰۰۰ و۲۰۰۱ از حیث وجود خشکسالی، ۱۰۰٪ خشک به شمار می‌آیند.



شکل ۵ درصد از بارش نرمال ایستگاه سنندج (۲۰۰۱-۱۹۶۱)

تداوم خشکسالی

به منظور تعیین دوره‌های خشک ایستگاههای مورد مطالعه، ابتدا بهتر است معیاری برای تعیین فصل خشک ارائه شود. بدین منظور، سالهایی که نمرهٔ Zscore آنها کمتر از صفر باشد، به عنوان سال خشک در نظر گرفته می‌شود. براساس نمرات Z ایستگاه سنندج در طی سالهای ۲۰۰۱- ۱۹۶۱ ، ابتدا تک تک سالهایی که نمره Zscore آنها کمتر از صفر است شمارش می‌گردد، که بالغ بر ۲۴ مورد می‌باشد (جدول ۱۱). سپس سالهایی که به طور زوج متوالی خشک بود شمارش و تعداد آنها ۱۵ مورد تعیین گردید و به همین ترتیب دوره‌هایی که ۳ تا ۵ سال خشک متوالی را دارند، محاسبه می‌گردند. روش کار برای ایستگاه میاندوآب نیز به همین ترتیب است.

در طول فاصلهٔ زمانی منتخب دورهٔ خشک ۵ ساله در ایستگاه سنندج ۲ مورد و در میاندوآب ۱ مورد مشاهده گردید. به منظور تحلیل دوره‌های خشک شاخص درصد از بارش نرمال نیز سالهایی که بارش آنها کمتر از ۸۰٪ باشد، به عنوان سال خشک در نظرگرفته می‌شوند. شیوهٔ تعیین دوره‌های خشک همانند شاخص توزیع استاندارد است.

جدول ۱۱ دوره‌های خشک ایستگاههای سنندج و میاندوآب

سالهای متوالی	دوره های خشک سنندج		دوره های خشک میاندوآب	
	توزیع استاندارد	درصد از بارش میانگین	توزیع استاندارد	درصد از بارش میانگین
۱	۲۴	۶	۲۲	۱۳
۲	۱۵	۲	۱۱	۳
۳	۹	۱	۵	۲
۴	۵	۰	۳	۱
۵	۲	۰	۱	۰

تحلیل سریهای زمانی

ایدهٔ استفاده از مدل ریاضی برای توصیف رفتار پدیده‌ای فیزیکی، به خوبی جا افتاده است. گاهی ممکن است بر پایهٔ قوانین فیزیکی، مدلی به‌دست آوریم که ما را قادر می‌سازد مقدار تقریباً دقیق کمیتی را محاسبه کنیم. اگر محاسبهٔ دقیق امکان‌پذیر باشد، چنین مدلی کاملاً قطعی و مدل موردنظر مدل جبری خواهد بود (مشکانی،۱۳۷۱،۱۴). مدلهای سریهای زمانی که برای پیش‌بینی و بررسی تغییرات زمانی پدیده‌ها در طول زمان به کار می‌روند، درحقیقت مدلهای تصادفی هستند (*ترابی*، ۱۳۸۰). بنابراین، یک سری زمانی، مجموعه‌ای از مشاهدات است که در طول زمان به دنبال هم از فرایند یا سیستم مورد مطالعه تولید می‌شوند. سری زمانی از چهار مؤلفه اصلی زیر شکل گرفته است:

الف) روند
ب) تغییرات فصلی[5]
ج) تغییرات دوره‌ای[6]
د) تغییرات نامنظم[7]

با توجه به مؤلفه‌های فوق، الگوی سری زمانی را به صورت زیر درنظر می‌گیریم:

$$Z_t=T+S+C+I \qquad (۱)$$

که درآن Z_t مقدار مشاهده شده در لحظهٔ t،T روند،S تغییرات فصلی، C تغییرات دوره‌ای و I تغییرات نامنظم سری است. اکنون، با توجه به این مؤلفه‌ها، به بررسی ویژگیهای مهم یک سری زمانی می‌پردازیم.

تابع تفاضلی (دیفرنس‌گیری)

اگر سری زمانی تعادل آماری نداشته باشد اما رفتاری همگن از خود نشان دهد، می‌توان با اعمال این تابع به تعداد دفعات لازم (حداکثر ۲ بار)، سری زمانی را به حالتی از تعادل آماری انتقال داد. اگر Z_t سری زمانی اصلی باشد، تفاضل‌گیری مرتبهٔ d آن با رابطهٔ کلی مشخص می‌شود.

$$Y_t=(1-B)z \qquad (۲)$$

که درآن B عملگر پسرونده با ضابطهٔ $B^dz_t=z_{t-d}$ می‌باشد. همچنین، تابع تفاضل‌گیری فصلی تنها برای مشاهداتی به کار می‌رود که دورهٔ تناوب برای آنها تعریف شده است و با رابطهٔ کلی بیان می‌شود:

$$Y=(1-B^s)^Dz_t \qquad (۳)$$

بسیاری از سری‌های زمانی مربوط به هواشناسی و اقتصاد، یک پدیدهٔ فصلی دارندکه پس از یک دورهٔ زمانی منظم تکرار می‌شوند. به طور قراردادی، سریهای زمانی ترکیبی از مؤلفه روند (T)،

5. Seasonal Varitions.
6. Circle Varitions.
7. Irregular Fluctutions.

مؤلفه فصلی (S)، مؤلفه نامنظم (Z_t) و مؤلفه‌های دوره‌ای است. اگر این مؤلفه‌ها را مستقل فرض کنیم، سری زمانی z_t را بدین صورت می‌توان نوشت:

$$Z_t=T_t+S_t+I_t+C_t \qquad (۴)$$

معادلهٔ ساریما سری زمانی، به شرح زیر می‌باشد:

$$Z_t \approx MA(p,d,q)(P,D,Q) \qquad (۵)$$

Z_t را یک سری ساریما می‌نامند. اگر، $Y_t=(1-B)^d(1-B^s)^D Z_t$ یک سری آریما باشد (در سری Y، روند و اثر فصلی با روش تفاضل‌گیری حذف شده است).

مدلهای فصلی ضربی (ساریما): از مدلهایی که در واقع از مدلهای کلی‌تر مشتق می‌شوند، مدلهای فصلی را می‌توان نام برد. به طور کلی، اگر در سری زمانی پس از هر S فاصلهٔ زمانی پایه، شباهتهایی پیدا شود، گوییم سری رفتار تناوبی با دورهٔ تناوب S از خود نشان می‌دهد. در سریهای زمانی که به تفصیل آورده خواهد شد، فاصلهٔ زمانی پایه یک ماه و دورهٔ تناوب S = ۱۲ ماه است.

$$\Theta_Q(B^S),\Phi_P(B^S),\theta_q(B),\phi_p(B) \qquad (۶)$$

در میان مدلهای تصادفی، توجه اغلب به مدلهای فصلی ضرب‌پذیر معطوف است که در عمل نتایج مناسبی را نشان داده و بر ساختار کلی مدلهای آریما هم منطبق است. این مدلها از سوی باکس ـ جنکینز به نام « مدل فصلی ضرب‌پذیر» خوانده شده و به صورت زیر بیان می‌شوند. این مدل با نماد SARIMA(p,d,q)(P,D,Q) نمایش داده می‌شود و جزء گروه کلی مدلهای آریما قرار دارد. به ترتیب، چند جمله‌ایهای خود بازگشت و میانگین متحرک مرتبهٔ p , q غیر فصلی و P, Q فصلی می‌باشند. بدین ترتیب، مشاهده می‌شود که در حالت بالا، مدل‌بندی حالتی دو بعدی پیدا می‌کند. در واقع، بخشی از تغییرات سری زمانی، به تغییرات درون هر فصل و بخشی از آن به تغییرات بین فصلهای مختلف برمی‌گردد.

مدل‌بندی و پیش‌بینی

اگر داده‌های سری زمانی دارای اثر فصلی یا روند بودند، باید آنها را درجهت ایستایی سوق داد؛ یعنی باید سعی کنیم سری مناسبی را که سطح ثابتی داشته باشد و همچنین ایستا باشد، بیابیم. این ایده با اختیار کردن تفاضل‌گیری مناسب فصلی یا غیر فصلی و یا هر دو با هم، تأمین می‌شود. در سریهای زمانی با اثر فصلی و روند (ساریما)، ابتدا باید طول دورهٔ فصل از روی نمودار سری زمانی اولیه مشخص شود. پس از یافتن مناسب‌ترین درجهٔ تفاضل‌گیری، با توجه به ویژگیهای مدلهای

تصادفی به‌ویژه با توجه به نمودارهای ضرایب خود همبستگی (ACF) و خود همبستگی جزئی (PACF)، مراتب d یا (MA) و p یا (AR) فصلی و غیر فصلی مدل تصادفی مناسب را می‌توان شناسایی کرد. برآوردهای اولیه برای پارامترهای آن فراهم خواهد شد. سپس، بر اساس این برآوردها، بهترین مدل برازش داده شده با توجه به ملاکهای زیر انتخاب خواهد شد:

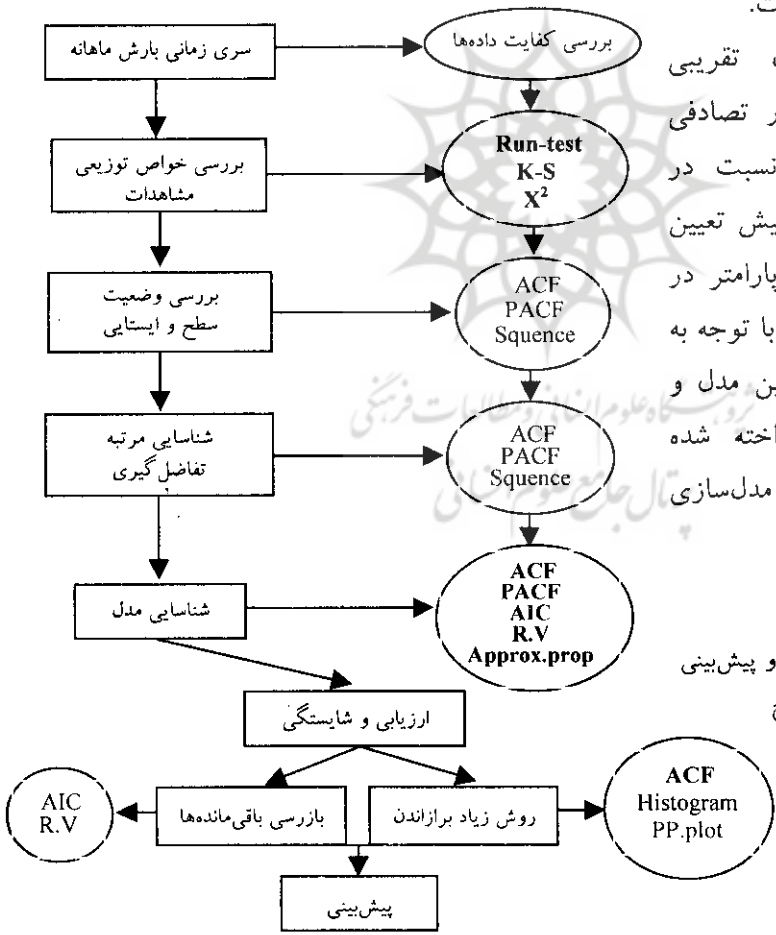
الف) ملاک AIC Akaike Information Criterion

ب) ملاک RV Residuals Variance

ج) Approx. Prob احتمال تقریبی مشاهدهٔ نسبت T

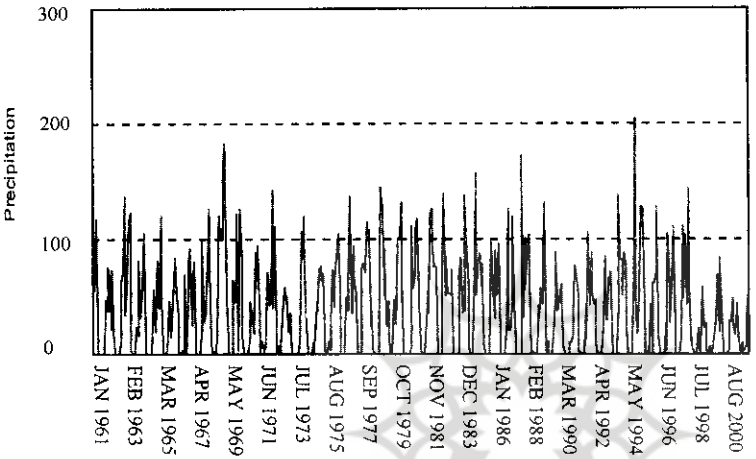
برازش با دو معیار اول (AIC و RV) فاصلهٔ دو توزیع را کم می‌کند؛ یعنی هرچه مقادیر این دو کمتر باشد، نشانگر این است که توزیع برازش داده شده، به توزیع داده‌های اولیهٔ سری زمانی نزدیکتر است و مدل بهتر است.

Approx.Prob احتمال تقریبی مشاهدهٔ نسبت T را به طور تصادفی نشان می‌دهد. هرچه این نسبت در مقایسه با احتمال خطای از پیش تعیین شده کوچکتر باشد، وجود پارامتر در مدل ضروری‌تر است. اکنون با توجه به توضیحات ارائه شده، به تعیین مدل و پیش‌بینی مقادیر آتی پرداخته شده است. شکل ۶، نمودار مراحل مدل‌سازی را نمایان می‌سازد.



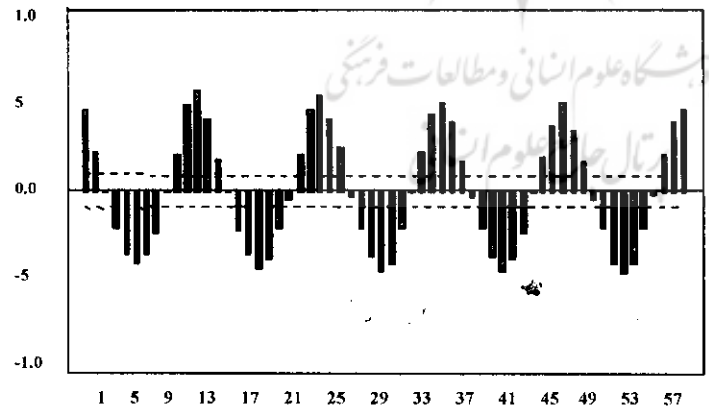
شکل ۶ نمودار مراحل مدل‌سازی و پیش‌بینی سری بارش ماهانهٔ سنندج

شکل ۷، نمودار پراکنش میزان بارش ماهانهٔ سری زمانی ایستگاه سنندج (X_t) را در فاصلهٔ زمانی ژانویهٔ ۱۹۶۱ تا دسامبر ۲۰۰۱ (۴۹۲ مشاهده) برحسب میلی‌متر نشان می‌دهد. با اندکی دقت، وجود یک الگوی تناوبی تقریباً یکسان میان سالهای متفاوت کاملاً واضح است. نمودار فوق نشان می‌دهد که سری، فصلی و ناایستاست؛ زیرا با هر ۱۲ مشاهده، الگوی تغییرات سری یک بار تکرار می‌شود. بنابراین، سری مورد نظر نشانه‌هایی از ناایستایی را در خود جای داده است.



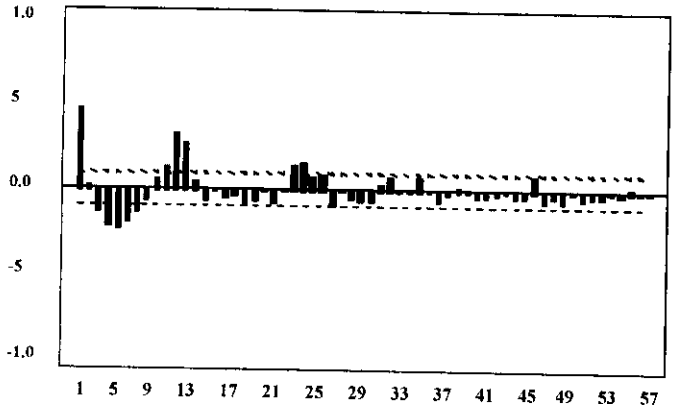
شکل ۷ نمودار سری زمانی داده‌های اصلی بارش سنندج (۲۰۰۱-۱۹۶۱)

شکل ۸، ضرایب خود همبستگی اولیهٔ سری بارش ماهانهٔ ایستگاه سنندج را نشان می‌دهد. این نمودار نیز همانند نمودار ۷، گویای وجود تغییرات تناوبی منظم در میان داده‌های بارش ماهانه است.



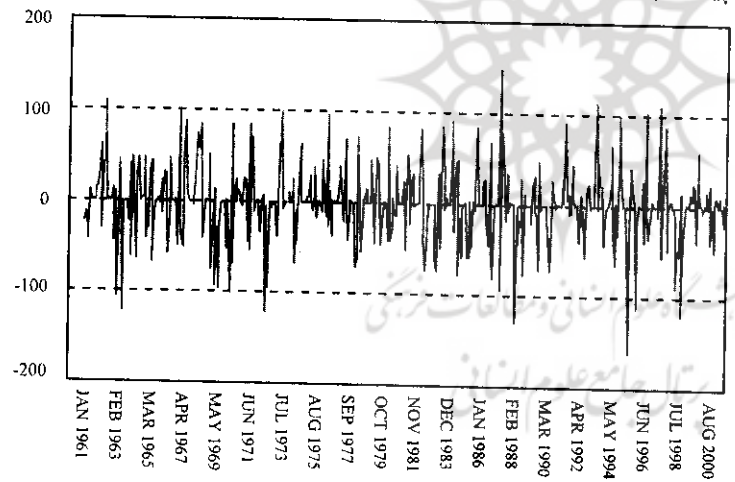
شکل ۸ نمودار تابع خودهمبستگی بارش سنندج (۲۰۰۱-۱۹۶۱)

شکل ۹، نمودار ۴۸ ضریب خود همبستگی جزئی سری بارش ماهانهٔ ایستگاه سنندج را نشان می‌دهد. چنانکه پیداست، این نمودار واقعیت مهمی را بازگو نمی‌کند؛ از این رو نمی‌توان از آن نتیجهٔ ویژه‌ای برای اقتباس یک مدل مناسب اتخاذ نمود.



شکل ۹ نمودار تابع خودهمبستگی جزئی بارش سنندج (۲۰۰۱-۱۹۶۱)

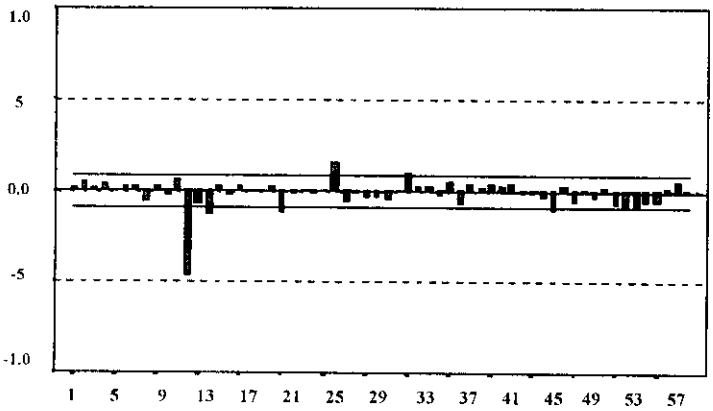
همچنین، مطابق نمودار پراکنش سری $\nabla_{12}(X_t)$ یا تفاضل‌گیری شده فصلی بارش ماهانه‌ایستگاه سنندج (شکل۱۰)، با یک‌بار تفاضل‌گیری فصلی (D=1)، سری فوق سطح ثابتی می‌یابد و از شرط ایستایی برخوردار خواهد شد؛ زیرا تنها تحت این شرایط(D=1) است که سری مذکور کمترین واریانس و ثابت‌ترین سطح را پیدا خواهد کرد.



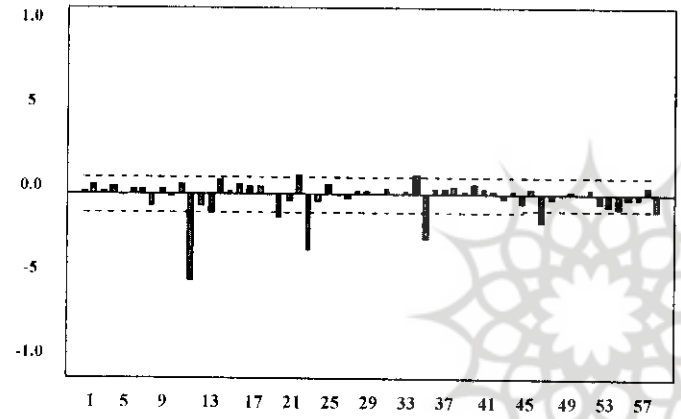
شکل۱۰ نمودار تغییرات سری بارش سنندج با یک‌بار تفاضل‌گیری فصلی

شکل۱۱، نمودار ضرایب خود همبستگی سری $\nabla_{12}(X_t)$ بارش ماهانهٔ ایستگاه سنندج را نشان می‌دهد. در این نمودار، تمام ضرایب خود همبستگی را می‌توان صفر فرض کرد.

شکل۱۲، ضرایب خودهمبستگی جزئی سری $\nabla_{12}(X_t)(D=1)$ بارش ماهانهٔ ایستگاه سنندج را نشان می‌دهد. در این نمودار نیز بسیاری از ضرایب، به ویژه ضرایب مربوط به تأخیرهای زمانی، مضارب ۱۲ غیر صفر می‌باشد.



شکل ۱۱ نمودار تابع خودهمبستگی بارش سنندج با یک‌بار تفاضل‌گیری فصلی



شکل ۱۲ نمودار تابع خودهمبستگی جزئی بارش سنندج با یک‌بار تفاضل‌گیری فصلی

اکنون، سری زمانی ایستا شدهٔ فوق را برای انتخاب مدل ساریما مناسب، به کار می‌بریم. هیچ ضریبی از ضرایب خود همبستگی و خود همبستگی جزئی غیر فصلی، در درون فصل اول معنادار نمی‌باشند. لذا پارامترهای بخش غیر فصلی مدل ساریما (ooo) فرض می‌شود.

منحنیهای ضرایب ACF وPACF به ترتیب، به صورت مقطعی و نمایی به سمت صفر میل می‌کند. بنابراین، پارامترهای مدل فصلی به صورت SARIMA (4,1,1) یعنی P=4,D=1,Q=1 خواهد بود. در نهایت، مدل کلی سری بارش ماهانهٔ ایستگاه سنندج با ترکیب دو جزء فصلی و غیرفصلی، به صورت SARIMA (0,0,0)(4,1,1) در خواهد آمد. برای دستیابی به مدلی مناسب‌تر، با توجه به معیارهای منتخب مدلهای مختلف برازش می‌گردد. ازجملهٔ این معیارها می‌توان به انحراف استاندارد، AIC و واریانس باقی‌مانده‌ها اشاره کرد. مدل انتخابی بارش ایستگاه سنندج براساس معیارهای منتخب (1,0,1)(1,1,2) می‌باشد. دلیل انتخاب چنین مدلی، کمینه بودن مقادیر معیارهای منتخب

است؛ به طوری‌که ۲۹/۳۲= انحراف استاندارد، ۴۶۴۸/۹۸ =AIC و واریانس باقی‌مانده‌ها مساوی ۸۵۹/۸۶ می‌باشد.

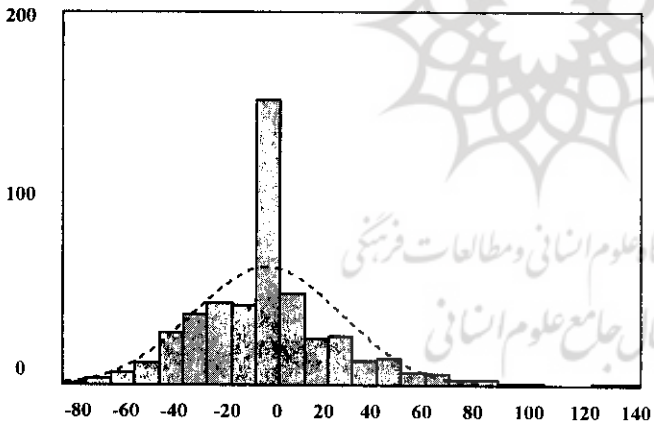
جدول ۱۲ برآورد نهایی پارامترهای فصلی و غیرفصلی مدل انتخابی بارش سنندج

شاخص	غیرفصلی	فصلی
خودبازگشت	۰/۹۷۴۵۳	۰/۹۲۲۱۵
میانگین متحرک	۰/۹۵۶۵۳	۱/۵۳۶۵۳ -۰/۵۳۶۹۵

پیش‌بینی‌ها از طریق معادلهٔ تفاضلی (کمینه کردن میانگین توان دوم خطا) صورت گرفته است:

$$Z_t = 0/9Z_{t-1} + 0/9Z_{t-12} - 0/8Z_{t-13} - Z_{t-1} + 0/9Z_{t-13} + 0/9Z_{t-24} - 0/8Z_{t-37} \quad (۷)$$
$$+ a_t - 0/9a_{t-1} - 1/5a_{t-12} + 0/5a_{t-24} + 1/4a_{t-13} - 0/5a_{t-25}$$

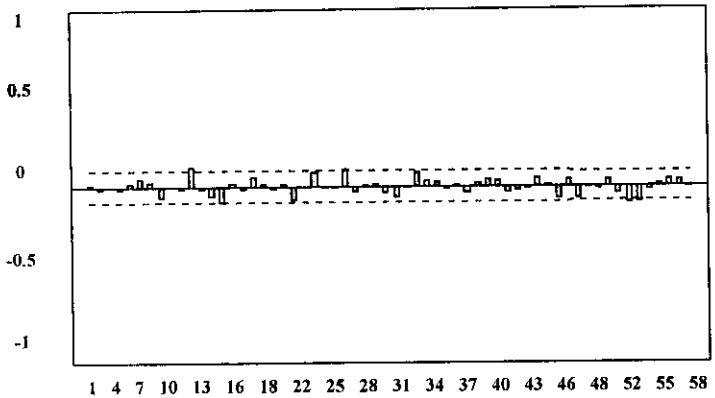
شکل ۱۳، بافت نگارمانده‌های مدل اصلی سری بارش ماهانهٔ ایستگاه سنندج را همراه با منحنی نرمال آن نشان می‌دهد. درجهٔ نزدیکی منحنی نرمال با توزیع فراوانی مشاهدات مانده‌ها، به طور تقریبی نرمال بودن سری مشاهدات مانده‌ها را نشان می‌دهد.



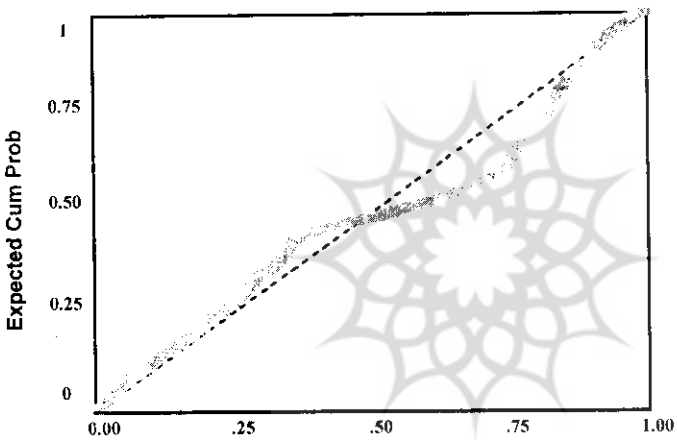
شکل ۱۳ نمودار هیستوگرام باقی‌مانده‌های بارش سنندج همراه با منحنی نرمال

شکل ۱۴، ضرایب خودهمبستگی مانده‌های مدل اصلی سری زمانی منتخب را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که ضرایب در داخل باند اطمینان واقع شده‌اند و مانده‌های سری مذکور کاملاً غیروابسته و مستقل از هم هستند.

شکل ۱۵، نیز نمودار خط نرمال مانده‌های اصلی بارش سنندج را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که در نمودار فوق، انحرافهای مشخصی از خط نرمال به چشم نمی‌خورد. پس فرض نرمال بودن مانده‌های مدل اصلی، رد نمی‌شود.

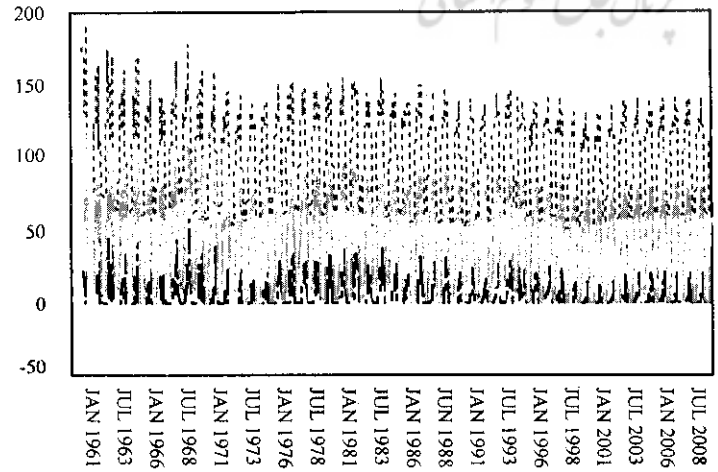


شکل ۱۴ نمودار تابع خود همبستگی باقی‌مانده‌های بارش سنندج



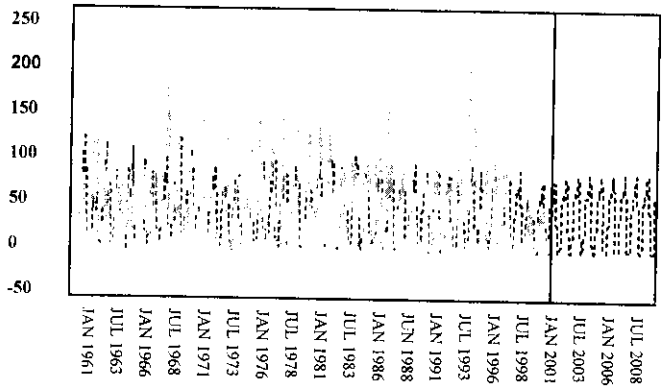
شکل ۱۵ نمودار کاغذ احتمال نرمال باقی‌مانده‌های بارش سنندج

شکل ۱۶، نمودار پراکنش مقادیر پیش‌بینی شده سری بارش ماهانه همراه با حدود اطمینان ۹۵٪ ایستگاه سنندج را نشان می‌دهد. نمودار مذکور مقادیر پیش‌بینی شدهٔ بارش ماهانه را تا سال ۲۰۱۰،



شکل ۱۶ نمودار مقادیر پیش‌بینی شده بارش سنندج با حدود اطمینان ۹۵٪

شکل ۱۷، نمودار مقایسه‌ای سری اصلی بارش ماهانهٔ ایستگاه سنندج و سری پیش‌بینی شده را نشان می‌دهد. با ملاحظه نمودار مذکور، شاهد تطابق دو سری در اکثر اوقات بوده و این انتخاب مدل مناسب را نوید می‌دهد.



شکل ۱۷ نمودار مقایسه‌ای مقادیر پیش‌بینی شده و مشاهدات بارش سنندج

جدول ۱۳، مقادیر پیش‌بینی شده سری بارش سنندج را همراه با میانگین ۴۱ ساله آورده است. در مقیاس ماهانه، نزدیکی زیادی بین آنها وجود دارد. مسأله قابل بحث، یکسان بودن مقادیر پیش‌بینی شده به ازای سالهای دور می‌باشد که این مسأله نشانگر عدم کارایی مدل آریما برای پیش‌بینیهای درازمدت است؛ بنابراین برای انجام پیش‌بینی درازمدت، به بهنگام کردن سری نیاز است. بررسی معناداری تغییرات سری، ازطریق نسبت F مورد آزمون قرارگرفت. ابتدا سری به دو زیردورهٔ مساوی تقسیم شد (۱۹۸۱-۱۹۶۲)(۲۰۰۱-۱۹۸۲). سپس به بررسی معناداری تغییرات سری پرداخته شد. سری بارش ماهانهٔ سنندج به دلیل پایین بودن نسبت محاسبه شده (۰/۳) در مقابل F جدول (۶/۷۰)، دارای تغییرات معناداری نبوده و با اطمینان ۹۹٪، فرض صفرتأیید می‌شود (جدول ۱۴).

جدول ۱۳ مقادیر پیش‌بینی شدهٔ بارش سنندج (۲۰۱۰-۲۰۰۲)

	۲۰۰۲	۲۰۰۳	۲۰۰۴	۲۰۰۵	۲۰۰۶	۲۰۰۷	۲۰۰۸	۲۰۰۹	۲۰۱۰	میانگین ۴۱ ساله
ژانویه	۵۸	۶۲	۶۴	۶۶	۶۶	۶۷	۶۷	۶۷	۶۷	۶۷
فوریه	۵۱	۵۵	۵۸	۶۰	۶۱	۶۱	۶۱	۶۲	۶۲	۶۲
مارس	۷۲	۷۶	۷۸	۷۹	۸۰	۸۰	۸۱	۸۱	۸۱	۸۲
آوریل	۶۴	۶۷	۶۹	۷۱	۷۱	۷۲	۷۲	۷۲	۷۲	۷۲
می	۳۰	۳۴	۳۶	۳۷	۳۸	۳۸	۳۹	۳۹	۳۹	۴۰
ژوئن	۰	۰	۱	۱	۲	۲	۲	۲	۲	۲
ژوئیه	۰	۰	۰	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱
اگوست	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱
سپتامبر	۰	۰	۰	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱
اکتبر	۲۱	۲۴	۲۵	۲۶	۲۶	۲۶	۲۶	۲۶	۲۶	۲۷
نوامبر	۵۰	۵۳	۵۵	۵۶	۵۷	۵۷	۵۷	۵۷	۵۷	۵۸
دسامبر	۵۲	۵۴	۵۵	۵۶	۵۶	۵۷	۵۷	۵۷	۵۷	۵۷

جدول ۱۴ بررسی معناداری تغییرات بارش سنندج (۱۹۸۱-۱۹۶۲) و (۲۰۰۱-۱۹۸۲)

دورهٔ زمانی	۱۹۸۱-۱۹۶۲	۲۰۰۱-۱۹۸۲
MSW (میانگین مجذورهای درون گروهی)	۱۷۵۹/۲۷	
MSB (میانگین مجذورهای بین گروهی)	۲۶۷۹۱۲/۳	
F	۰/۳	

از مقایسه نسبت F محاسبه شده و F برگرفته از جدول مخصوص آزمون F در مورد اثبات یارذ فرض صفر تصمیم نهایی گرفته می‌شود. مقدار محاسبه شده ۰/۳ به مراتب کمتر از نسبت جدول در سطح اطمینان ۹۹٪ (۶/۷۰) می‌باشد. لذا اختلاف بین میانگینهای دو دستهٔ زمانی از نظر آماری معنادار نیست.

نتیجه‌گیری

روند بارش میاندوآب صفر، در حالی‌که سنندج دارای روندکاهشی بارش بوده که احتمالاً کاهش بارش با افزایش درجه حرارت ایستگاه مذکور در ارتباط است. حداکثر تغییرات فصلی بارش ایستگاههای مدنظر، به زمستان و ماه مارس مربوط می‌باشد. به منظور تجزیه و تحلیل خشکسالی ایستگاهها، شاخصهای توزیع استاندارد و درصد از بارش نرمال به کار گرفته شدند. براساس شاخص توزیع استاندارد، بیشترین درصد خشکسالی، خشکسالی ضعیف با ۷۹ و ۷۷٪ به ترتیب در سنندج و میاندوآب بوده است. شاخص درصد از بارش نرمال فراوان‌ترین خشکسالی میاندوآب را ضعیف، با ۶۱٪ و از آن سنندج خشکسالی شدید با ۶۷٪ دانسته است. سالهای اخیر (۲۰۰۱-۱۹۹۵) در طول دورهٔ آماری به عنوان خشک‌ترین سالها به شمار می‌آیند. اختلاف میان شاخصهای منتخب در تحلیل خشکسالی ضعیف، به مرز بین شاخصها برمی‌گردد، به‌طوری‌که حد بالای شاخص توزیع استاندارد، نمره z صفر معادل ۱۰۰٪ از بارش نرمال می‌باشد، در حالی‌که حد بالای درصد از بارش نرمال ۸۰ ٪ بوده است. از این رو کاهش خشکسالی ضعیف براساس شاخص درصد از بارش نرمال، به این مسأله برمی‌گردد.

مقایسهٔ شاخصهای منتخب در تحلیل خشکسالی ایستگاههای مورد مطالعه نکات مهمی را در پی داشت. از جمله آنها، عدم هماهنگی شاخصهای منتخب در تحلیل خشکسالیهای ضعیف می‌باشد. به‌طوری‌که فراوانی خشکسالی ضعیف بر اساس شاخص توزیع استاندارد، به مراتب بیشتر از درصد از بارش نرمال است. از نکات بارز تحلیل خشکسالی، پنج سال خشکسالی ممتد سالهای اخیر ایستگاههای مورد مطالعه است که تحلیل سینوپتیکی اقلیم ایستگاههای مذکور را ضروری می‌سازد. بیشترین فراوانی دهه‌ای خشکسالی سنندج، دههٔ ۱۹۹۰ و میاندوآب دههٔ ۱۹۶۰ بوده است. علاوه بر

این دو دهه، سالهای ۲۰۰۲،۲۰۰۱ سالهای توأم با خشکسالی ارزیابی گردید. پیش‌بینی مقادیر آینده سری بر اساس روش ساریما صورت گرفت. به منظور ارزیابی روش ساریما مقادیر پیش‌بینی شدهٔ بارش شش ماههٔ اول ۲۰۰۲ میاندوآب را با مقادیر واقعی آن مقایسه کرده که ضریب همبستگی آنها ۹۴٪ محاسبه گردید. مقادیر پیش‌بینی شده برای سالهای دور ثابت و نزدیک به میانگین درازمدت ایستگاه بوده است. این نکته، عدم کارایی روش مورد مطالعه را برای پیش‌بینیهای درازمدت می‌رساند. نتایج پیش‌بینی، حکایت از عدم خشکسالی هر دو ایستگاه براساس شاخص درصد از بارش نرمال داشته،که البته این نتیجه با یافته‌های حاصل از توزیع استاندارد متفاوت است. طبق توزیع استاندارد، نمره استاندارد بارش ۲۰۰۲ سنندج ۱- بوده از این رو جزء خشکسالی ضعیف به شمار می‌آید. بقیهٔ سالها همانند درصد از بارش نرمال، با عدم خشکسالی همراه بوده است.

معنادار بودن تغییرات فراسنجهای اقلیمی مورد مطالعه، از طریق آزمون F (تحلیل واریانس یکطرفه) مورد بررسی قرارگرفته که بارش هر دو ایستگاه در سطح اطمینان ۹۹٪ تغییرات معناداری نداشته‌اند. در نهایت، فرض تحقیق شماره ۱ که عبارت بود از عدم تغییرات بارش ایستگاههای سنندج و میاندوآب، در طول دورهٔ آماری مورد تأیید واقع گردید. فرض شماره ۲ (وجود خشکسالی در سالهای آتی هر دو ایستگاه) رد می‌گردد.

پیشنهادها

۱. نتایج تحقیق حاضر، حاکی از عدم خشکسالی ایستگاه میاندوآب در سالهای آتی است. در مورد ایستگاه سنندج نیز بجز خشکسالی ضعیف سال ۲۰۰۲ سنندج براساس شاخص توزیع استاندارد، در بقیه سالها خشکسالی پیش‌بینی نشده است. پس برای تعیین نوع کشت، مدیریت منابع آب منطقه و... توجه به نتایج تحقیق از جانب مسؤولان ضروری است.

۲. با توجه به کلی‌نگری علم جغرافیا، پیشنهاد می‌شود تحقیقات سینوپتیکی در دستور کار جغرافیدانان، به خصوص اقلیم‌شناسان قرار گیرد. بایسته است در این راستا از روشهای آماری و ریاضی همانند تحلیل عاملی، تحلیل خوشه‌ای، سریهای زمانی، تحلیل طیفی، الگوی گردش عمومی جهانی و... استفاده گردد. در واقع، استفاده از روشهای کمی، نه تنها اصلیت جغرافیا را زیر سؤال نمی‌برد، بلکه " اقلیم شناس فقط از این طریق می‌تواند اصل جامعیت و کلیت جغرافیا را رعایت کند و روابط دقیق بین پدیده‌ها را کشف کند." (*علیجانی،۱۳۸۱،۱۷*).

۳. در اثنای تجزیه و تحلیل خشکسالی، شاهد خشکسالیهای ممتد سالهای اخیر بوده‌ایم، به‌گونه‌ای که در هفت سال از ۱۹۹۵ تا ۲۰۰۱ سنندج با ۶ سال خشکسالی و میاندوآب با ۵ سال

خشکسالی، بیشترین کم آبی را در طول دورهٔ آماری متحمل شده‌اند. رونق نداشتن کشاورزی در سالهای اخیر در منطقه غرب کشور، ناشی از همین پدیده است. پیشنهاد می‌شود به هنگام وقوع خشکسالی یا هر بلای طبیعی دیگر، بلافاصله شناسایی آن پدیده پرداخته، راهکارهای اتخاذ شده به اطلاع مردم برسد تا شاهد مشارکت مردمی برای مبارزه با بلایای طبیعی و تعیین سرنوشت خودشان باشیم.

منابع و مآخذ

۱- باکس، جی. ای. پی. و جی. ام، جنکینز، ترجمهٔ محمدرضا مشکانی (۱۳۷۱): « **تحلیل سریهای زمانی: پیش‌بینی و کنترل** »، جلد اول، چاپ اول، انتشارات دانشگاه شهید بهشتی.

۲- بزرگ‌نیا، ابولقاسم و حسینعلی نیرومند (۱۳۷۸)؛ « **سریهای زمانی** »، چاپ اول، انتشارات دانشگاه پیام نور.

۳- پروین، نادر (۱۳۸۰)؛ « **بررسی خشکسالی حوضه آبریز دریاچه ارومیه** »، (پایان‌نامه کارشناسی ارشد)، دانشکده ادبیات و. علوم انسانی، دانشگاه تربیت معلم تهران.

۴- ترابی، سیما (۱۳۸۱): « **بررسی و پیش‌بینی تغییرات دما و بارش در ایران** »، (رساله دکتری)، دانشکدهٔ علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه تبریز.

۵- جامعی، جاوید (۱۳۸۱): « **تحلیل خصوصیات آب و هوایی ایستگاههای سنندج و میاندوآب و برآورد خشکسالی به روش SARIMA**»، (پایان نامه کارشناسی ارشد)، دانشکده علوم انسانی و اجتماعی. دانشگاه تبریز.

۶- جامعی، جاوید (۱۳۸۲): « **پیش‌بینی درجهٔ حرارت ایستگاههای سنندج و میاندوآب** »، فصلنامهٔ فضای جغرافیایی، شمارهٔ ۸، دانشگاه آزاد اهر.

۷- رسولی، علی‌اکبر (۱۳۸۰): « **مدلسازی از عناصر اقلیمی شمال غرب کشور، پیش‌بینی مقادیر درجه حرارت ماهانه شهر تبریز به روش مدل آریما** »، ارسالی به مجله نیوار.

۸- ساری صراف، بهروز (۱۳۷۷): « **تحلیل رژیم بارش ماهانه درحوضه ارس و دریاچه ارومیه** »، (رساله دکتری)، دانشکدهٔ علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه تبریز.

۹- ساری صراف، بهروز و حسن ذوالفقاری (۱۳۷۷): « **مطالعه بارشهای شمال غرب ایران با تکیه بر تحلیل خوشه‌ای** »، مجله دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه فردوسی مشهد، سال سی ویکم، شماره ۲-۱.

۱۰- علیجانی، بهلول (۱۳۸۱): « **اقلیم شناسی سینوپتیک** »، چاپ اول، انتشارات سمت.

۱۱- فرج‌زاده اصل، منوچهر (۱۳۷۴): « **تحلیل و پیش‌بینی خشکسالی در ایران** »، (رساله دکتری)، دانشگاه تربیت مدرس تهران.

۱۲- مرکز آمار ایران (۱۳۷۴): «**spss6.0**»، انتشارات کاربران.

۱۳- مجموعه مقالات سومین کنفرانس منطقه‌ای و اولین کنفرانس ملی تغییر اقلیم (۱۳۸۲): دانشگاه اصفهان، ۲۹مهرتا اول آبان ماه.

14- Al-Awadhi, S. and Jolliffe, J. (1998): **"Time Series Modelling of surface pressure Data"**, International Journal of Climatology 18, 443-455.

15- Leite, S. M. (1996): **"The autoregressive model of climatological time series: An application to the longest time series in portugal"** , International Journal of Climatology 16, 1165-1173.

16- Mohan, S. and Vedula, S. (1995): **"Multiplicative seasonal ARIMA model for long term forecasting of Inflows"** , Water Resources Management 9, 115-126.

17- Palmer. **"Drought Indices, Palmer Drought Severity Index"** , http// ENSO.edu / Enigma / Indices .htm.

18- Prasad, K. D. and Singh, S. V. (1998): **"Forecasting the spatial variability of the Indian monsoon rainfall using canonical correlation model"** , International Journal of Climatology 16, 1379-1390.

19- Turkes, M. (1996b): **"Spatial and temporal analysis of annual rainfall variations in Turkey"** , International Journal of Climatology 16, 1057-1076.

20- Zelenhasic, E. and salvai, A. (1987): **"A method of streamflow drought analysis"** , Water Resources Management 23, 156-168.