



**Evaluation of Runoff Stochastic Models in
Different Spatial and Temporal Scales
Case Study: Basins of Southwestern Iran**

M. R. Ghanbarpour¹

Abstract

Like many other hydro-climatological data, runoff has seasonal variability incorporated with random processes. Previous research has shown that stochastic models are the most suitable simulation tool for random variables with seasonal variability. In this study, a time series analysis approach was utilized to obtain monthly, bimonthly, and seasonal runoff stochastic models in a few sub-basins in Dez and Karun Basin, in southwestern Iran. These sub-basins vary widely in area (from 37 to 9900 square kilometers) in order to study the models with respect to the different spatial scale. The results have shown that the kind of stochastic model in longer temporal scales is not correlated with the area of the basin. Therefore, this result could be generalized to other similar basins. On the other hand, the Monthly Autoregressive Integrated Moving Average model has different patterns regarding the spatial scale of the basin. It is shown that the autoregressive order of small basins could be greater than one. Extracted stochastic models in this research can be used for runoff forecasting in future studies and research.

Keywords: Time series, Stochastic, Autoregressive, Runoff.

**بررسی الگوهای استوکاستیک رواناب در مقیاس‌های
زمانی و مکانی مختلف در برخی حوضه‌های آبریز جنوب
غرب ایران**

محمد رضا قنبرپور^۱

چکیده

رواناب مانند بسیاری دیگر از متغیرهای هیدروکلیماتولوژیک از تغییرات فصلی که تحت تأثیر فرایندی تصادفی قرار دارد برخوردار می‌باشد. تحقیقات نشان داده است که مدل‌های استوکاستیک از مناسب‌ترین ابزارهای شبیه‌سازی متغیرهای تصادفی که دارای یک روند فصلی‌اند می‌باشد. در این مقاله ضمن تشریح نحوه توسعه مدل‌های سری زمانی، الگوهای استوکاستیک رواناب به صورت الگوی مرکب اتورگرسیو میانگین متحرک در مقاطع زمانی ماهانه، دوماهه و فصلی در تعدادی از زیر حوضه‌های آبریز دز و کارون در جنوب غرب ایران با مساحت متفاوت از ۳۷ تا ۹۹۰۰ کیلومتر مربع، شناسایی و استخراج شده است. حوضه‌های آبریز مورد تحقیق به نحوی انتخاب گردیده‌اند که دامنه وسیعی از مساحت را در بر گرفته تا بتوان الگوهای استوکاستیک رواناب را نسبت به ابعاد مختلف حوضه‌های آبریز مورد بررسی قرار داد. نتایج این تحقیق نشان داده است که نوع الگوی استوکاستیک در مقیاس زمانی دو ماهه و فصلی، وابستگی زیادی با مساحت حوضه‌های آبریز ندارد و در حوضه‌های دیگر نیز قابل تعمیم خواهد بود. از سوی دیگر الگوی مرکب اتورگرسیو میانگین متحرک در مقیاس ماهانه در حوضه‌های آبریز با مساحت مختلف از روند متفاوتی برخوردار بوده و در حوضه‌های آبریز با مساحت بسیار کوچک، احتمال افزایش تعداد مرتبه مدل اتورگرسیو وجود دارد. الگوهای استخراج شده در این تحقیق را می‌توان به منظور پیش بینی رواناب در مقاطع مختلف در حوضه‌های مورد بررسی بکاربرد.

کلمات کلیدی: سری زمانی، استوکاستیک، خود همبستگی، رواناب

1- Assistant Professor, Faculty of Natural Resources, University of Mazandaran, Sari.

۱- استادیار دانشکده منابع طبیعی دانشگاه مازندران، ساری.

حوضه‌های آبریز دز و کارون مورد استفاده قرار گرفته است. حوضه‌های آبریز مورد تحقیق به نحوی انتخاب گردیده‌اند که دامنه وسیعی از مساحت را در بر گرفته تا بتوان الگوهای استوکاستیک رواناب را نسبت به ابعاد مختلف حوضه‌های آبریز نیز مورد بررسی قرار داد. هدف اصلی این تحقیق استخراج الگوهای استوکاستیک رواناب در مقاطع مختلف زمانی شامل رواناب ماهیانه، دو ماهه و فصلی و بررسی ارتباط بین سطح حوضه آبریز با نوع الگوی استوکاستیک می‌باشد.

۲- استخراج الگوی استوکاستیک سری‌های زمانی

تحلیل سری‌های زمانی در ابتدا توسط Box & Jenkins (1976) روشی شامل سه مرحله پیوسته (Hipel & McLeod, 1994) ارائه شده که در این مقاله مورد استفاده قرار گرفته است. در مرحله اول از این روش، یک یا چند الگو سری زمانی بر اساس نحوه تغییرات داده‌های مورد بررسی و نتایج استخراج، تفسیر توابع خود همبستگی^۱ و خود همبستگی جزئی^۲ در نظر گرفته می‌شود. در انتخاب الگوی سری زمانی اصل امساک در نظر گرفته می‌شود، به نحوی که این الگو به کمترین تعداد ممکن پارامترها نیاز داشته باشد. فرایند اتورگرسیو^۳، فرایند میانگین متحرک^۴ و فرایند مرکب اتورگرسیو - میانگین متحرک^۵ از عمده ترین فرایندهای سری زمانی می‌باشد که توسط روش Box & Jenkins (1976) قابل شناسایی می‌باشد. در الگوی اتورگرسیو یک سری زمانی اگر فقط تعدادی متناهی از وزن‌های π مخالف صفر باشد، یعنی $\pi_1 = \phi_1$ ، $\pi_2 = \phi_2$ ، ...، $\pi_p = \phi_p$ و برای $K > P$ آنگاه فرایند حاصل یک فرایند اتورگرسیو از مرتبه P به صورت زیر می‌باشد:

$$Z_t = \phi_1 Z_{t-1} + \dots + \phi_p Z_{t-p} + a_t \quad (1)$$

در رابطه (۱) a_t یک فرایند تصادفی محض گوسی با میانگین صفر می‌باشد. مقدار فصلی سری Z_t ترکیبی است خطی از جدیدترین P مقدار گذشته خود بعلاوه یک فرایند تصادفی محض گوسی a_t با میانگین صفر که هر مقدار جدیدی در زمان t که بیان نشده توسط مقادیر گذشته را در سری منظور می‌کند. بنابر این فرض می‌شود a_t مستقل از Z_{t-1} و Z_{t-p} و ... است. به عنوان نمونه، یک الگوی اتورگرسیو مرتبه اول (AR(1)) به صورت رابطه (۲) نشان داده می‌شود:

$$Z_t = \phi_1 Z_{t-1} + a_t \quad (2)$$

در این رابطه با فرض این که Z_t باقیمانده‌های میانگین سری است دارای میانگین صفر می‌باشد. همانگونه که (Wei 1990) نشان داده

تحلیل سری‌های زمانی که از روشهای استوکاستیک مدل سازی داده‌های متغیر در زمان می‌باشد امروزه در بسیاری از رشته‌های علوم از جمله آمار، اقتصاد، مدیریت و نیز هواشناسی و منابع آب از کاربرد گسترده ای برخوردار است (Wei, 1990). استخراج الگوهای استوکاستیک برای مقادیر سری‌های زمانی در ابتدا توسط Box & Jenkins (1976) در یک روش سه مرحله‌ای ارائه گردیده است. مدل‌های سری زمانی برای شبیه‌سازی و پیش‌بینی متغیرهای اقلیمی از جمله میانگین دمای سالیانه و ماهانه، فشار جو و بارندگی در مطالعات متعددی مورد تحقیق قرار گرفته است که از آن جمله می‌توان به مطالعات Bloomfield, Nychka (1992)، Zekai (1998)، رحیم زاده (۱۳۷۲) و عساکره و خردمندیا (۱۳۸۱) اشاره نمود. McLeod et al. (1977) روش ارائه شده توسط Box & Jenkins (1976) را به منظور شبیه سازی رواناب ماهانه رودخانه St. Lawrence در ایالت نیویورک آمریکا بکار برده‌اند. Noakes et al. (1985) تحلیل سری‌های زمانی را در پیش‌بینی رواناب ماهانه در سی حوضه در آمریکای شمالی و جنوبی بکار برده‌اند. دقت نتایج پیش بینی رواناب ماهیانه در آن مطالعه به کمک معیارهای آماری متوسط مطلق خطا و مجذور متوسط مربع خطا مورد بررسی قرار گرفته است. Hipel (1993) اصول و مبانی توسعه الگوهای استوکاستیک را بر اساس تحلیل سری‌های زمانی با تأکید بر کاربرد در هیدرولوژی و شبیه سازی رواناب تشریح کرده است. Huang et al. (2004) کاربرد سری‌های زمانی در شبیه‌سازی و پیش بینی استوکاستیک رواناب را نشان داده است. آنها عملکرد شبکه عصبی را با مدل‌های استوکاستیک سری زمانی مورد مقایسه قرار داده‌اند. ابریشم چی و همکاران (۱۳۸۴) مدل‌های استوکاستیک منطقه‌ای جریان سالانه در حوضه‌های آبریز کرخه، دز و کارون را براساس روشهای سری‌های زمانی اتورگرسیو و کاربرد تحلیل رگرسیون چند متغیره ارائه کرده‌اند. در حوضه‌های یادشده مدل استوکاستیک مناسب، مدل اتورگرسیو مرتبه اول تشخیص داده شده است. همانگونه که (Noakes et al. 1985) و Huang et al. (2004) نشان داده‌اند الگوهای استوکاستیک رواناب از ابزارهای اساسی در پیش بینی جریان محسوب می‌شود که استخراج مدل‌های مذکور در حوضه‌های آبریز کشور از نظر کاربردی در مطالعات و تحقیقات آینده در ارتباط با پیش بینی جریان رودخانه‌ها حائز اهمیت خواهد بود.

در این تحقیق الگوی اتورگرسیو میانگین متحرک مرکب فصلی به منظور شناسایی الگوی استوکاستیک رواناب ماهانه، دوماهه و فصلی در ۱۲ حوضه آبریز در سطح وسیعی از جنوب غرب ایران شامل

محدوده ۹۵ درصد اطمینان قرار گیرد. در رابطه مذکور N تعداد داده‌های سری زمانی می‌باشد. بر اساس این آزمون نرمال بودن باقیمانده‌ها نیز مورد بررسی قرار می‌گیرد. معیار AIC که با رابطه (۵) نشان داده شده به عنوان یکی از مهمترین معیارهای ارزیابی و انتخاب بهترین الگو مورد استفاده قرار می‌گیرد. مقادیر اندک AIC به طور مقایسه‌ای بین الگوهای رقیب، نشان‌دهنده قابلیت بیشتر الگو می‌باشد (Akaike, 1974).

$$AIC = -2LN(ML) + 2K \quad (5)$$

که در آن ML بیشینه درست نمائی و K تعداد پارامترهای الگو می‌باشد. بررسی مستقل بودن باقیمانده‌ها بر اساس آزمون Portmanteau بوده که مقدار Q به عنوان مجموع مربعات ضرایب همبستگی باقیمانده‌ها بر اساس رابطه (۶) محاسبه می‌گردد.

$$Q = N \sum_{k=1}^L [r_k(\varepsilon)]^2 \quad (6)$$

در این آزمون مقدار X^2 را با درجه آزادی L-P-Q و با اطمینان ۹۵ درصد از جدول مربوط به آزمون X^2 که در کتب آماری ارائه شده است بدست آورده و با مقدار Q مقایسه می‌گردد. اگر مقدار حاصل از جدول بیشتر از Q محاسباتی باشد الگو آزمون را با موفقیت پشت سر گذاشته است و نشان‌دهنده مستقل بودن باقیمانده‌های الگو می‌باشد.

۳- منطقه مطالعاتی و داده‌های مورد استفاده

در این مطالعه ۱۲ ایستگاه هیدرومتری در زیر حوضه‌های حوضه آبریز دز و کارون در جنوب غرب ایران انتخاب گردیده است. مشخصات حوضه‌های مورد نظر شامل طول و عرض جغرافیایی، ارتفاع نقطه خروجی و نام ایستگاه هیدرومتری در جدول (۱) نشان داده شده است. زیر حوضه‌های مورد بررسی در این تحقیق بخشی از پنج استان کشور یعنی استان‌های چهارمحال بختیاری، اصفهان، کهگیلویه و بویراحمد، خوزستان و فارس را شامل می‌شود. آمار و اطلاعات مورد نیاز در این تحقیق شامل آمار رواناب ماهانه، دو ماهه و فصلی می‌باشد که در هر یک از ایستگاه‌های هیدرومتری مشخص شده در جدول (۱) از سازمان تحقیقات منابع آب دریافت و مورد استفاده قرار گرفته است. یکی از معیارهای انتخاب ۱۲ حوضه آبریز مذکور دسترسی به آمار رواناب در یک دوره آماری ۳۰ ساله بوده است تا نتایج تحقیق با اطمینان بیشتری ارائه گردد. بنابراین دوره آماری ۳۰ ساله رواناب از سال آماری ۴۹-۱۳۴۸ الی ۷۸-۱۳۷۷

است در الگوی میانگین متحرک یک سری زمانی اگر فقط تعدادی متناهی از وزن‌های ψ مخالف صفر باشد، یعنی $\psi_1 = -\theta_1$ ، $\psi_2 = -\theta_2$ ، ...، $\psi_q = -\theta_q$ و برای $K > q$ ، $\psi_k = 0$ باشد آنگاه فرایند حاصل یک فرایند میانگین متحرک از مرتبه q به صورت رابطه (۳) در می‌آید:

$$Z_t = a_t - \theta_1 a_{t-1} - \dots - \theta_q a_{t-q} \quad (3)$$

به منظور رعایت اختصار، از تشریح فرایند میانگین متحرک مرتبه اول در اینجا خودداری می‌شود. غیر از دو الگوی فوق الذکر، انتخاب الگوی مرکب اتورگرسیو میانگین متحرک نیز مناسب است در این الگو، نوع ساده تر آن را می‌توان در یک الگوی ترکیبی به صورت رابطه (۴) نشان داد:

$$Z_t - \phi_1 Z_{t-1} - \dots - \phi_p Z_{t-p} = a_t - \theta_1 a_{t-1} - \dots - \theta_q a_{t-q} \quad (4)$$

یک الگوی مرکب اتورگرسیو - میانگین متحرک عموماً به صورت $ARIMA(p, d, q)(P, D, Q)_s$ نشان داده می‌شود که در آن p, d, q و P, D, Q به ترتیب رتبه اتورگرسیو، تفاضل و رتبه میانگین متحرک غیر فصلی و p, P و D, Q به ترتیب رتبه اتورگرسیو، تفاضل و رتبه میانگین متحرک فصلی الگوی مورد نظر می‌باشد. s نیز فصل یا تعداد داده‌ها در یک سال از سری زمانی را نشان می‌دهد که در سری ماهانه، دو ماهه و فصلی به ترتیب برابر ۱۲، ۶ و ۴ می‌باشد.

در مرحله دوم از روش مذکور، پارامترهای انتخابی الگو بر اساس الگوریتم ماکزیمم درست نمائی^۶ و روش یول و والکر^۷ قابل محاسبه می‌باشد (Wei, 1990). برای تصمیم گیری در ارتباط با تعیین مقادیر پارامترهای الگو، با توجه به تخمین‌های اولیه، می‌بایست باقیمانده‌ها و مجموع مربعات آنها را محاسبه نمود. با روش بیشینه درست نمائی تخمین دقیق با محاسبه کمترین مجموع مربعات باقیمانده‌ها انجام می‌گیرد (نیرومند، ۱۳۷۶).

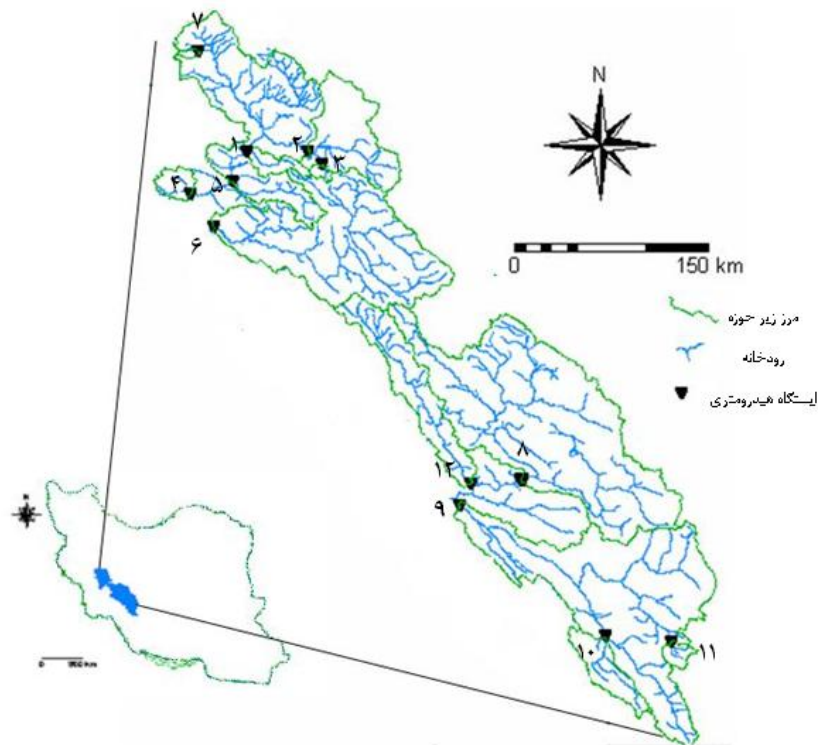
در مرحله سوم با استفاده از تعدادی از آزمون‌های آماری، درستی تشخیص کفایت الگوهای انتخاب شده مورد ارزیابی قرار گرفته و بهترین الگو از بین الگوهای مطرح به منظور کاربرد در پیش بینی انتخاب می‌شود. تابع خودهمبستگی باقیمانده‌ها^۸، معیار AIC^۹ و آزمون Portmanteau مهمترین آزمون‌های تشخیص کفایت الگوهای انتخابی بوده که به ترتیب معرفی می‌شود. تابع خود همبستگی باقیمانده‌ها را برای تاخیرهای متفاوت از صفر تا L بر اساس $L = (N/10) + p + q$ ترسیم که می‌بایست مقادیر تابع در

در کلیه ایستگاه‌های هیدرومتری مبنای تجزیه و تحلیل‌های آماری و استخراج مدل‌های استوکاستیک در این تحقیق می‌باشد. معیار دیگر انتخاب ایستگاه‌ها تنوع مساحتی بوده است. مشخصات حوضه‌های آبریز انتخابی و ایستگاه‌های هیدرومتری مربوطه در جدول (۱) آمده است.

۴- نتایج کاربرد الگو بر روی داده‌ها و بحث

پس از شناسایی و استخراج الگوهای استوکاستیک سری زمانی رواناب در مقاطع زمانی و مقیاس‌های مکانی مختلف، روش سه مرحله ای (Box & Jenkins, 1976) مورد استفاده قرار گرفت. در مرحله شناسایی الگوی استوکاستیک رواناب ماهانه در ایستگاه هیدرومتری چم‌چیت به عنوان نمونه با استخراج توابع خودهمبستگی، خودهمبستگی با تفاضل فصلی و خودهمبستگی جزئی با تفاضل فصلی و استفاده از اشکال (۲) تا (۵) انجام گرفت. شکل (۲) سری زمانی مقادیر رواناب ماهانه در ایستگاه هیدرومتری چم‌چیت در دوره آماری ۳۰ ساله را نشان می‌دهد. تابع خودهمبستگی رواناب ماهانه در این ایستگاه در شکل (۳) آمده است. براساس شکل (۳) ساختار فصلی در این سری زمانی کاملاً مشهود بوده به نحوی که در

تأخیرهای ۱۲ و ۲۴ مقادیر بالای خودهمبستگی مشاهده می‌گردد. در این تابع با توجه به مقادیر زیاد خود همبستگی، می‌توان عدم ایستایی را در این سری زمانی ملاحظه نمود (Hipel & McLead, 1994). بر این اساس انجام تفاضل فصلی از داده‌ها به منظور ایستایی نمودن سری زمانی ضروری می‌باشد. با این کار تابع خودهمبستگی با تفاضل فصلی مطابق شکل (۴) استخراج که با توجه به اندک بودن مقادیر خودهمبستگی پس از تأخیرهای اولیه، همانگونه که Hipel و McLead در سال ۱۹۹۴ نشان داده‌اند با انجام این کار ایستایی سری زمانی مورد تأیید قرار می‌گیرد. بررسی ایستایی و برطرف نمودن عدم ایستایی سری زمانی در کلیه ایستگاه‌های هیدرومتری در سه مقطع زمانی به صورت روش فوق‌الذکر مورد آزمون و اثبات قرار گرفت. با توجه به نزول مقادیر خودهمبستگی از تأخیرهای ابتدایی در شکل (۴) وجود یک الگوی اتورگرسیو را تأیید می‌گردد. شکل (۵) تابع خودهمبستگی جزئی تفاضلی فصلی را نشان می‌دهد که کاهش سریع آن در تأخیرهای اولیه، الگوی اتورگرسیو را مجدداً تأیید ولی مقادیر همبستگی در تأخیر ۱۲ موید مرتبه یک میانگین متحرک فصلی می‌باشد.



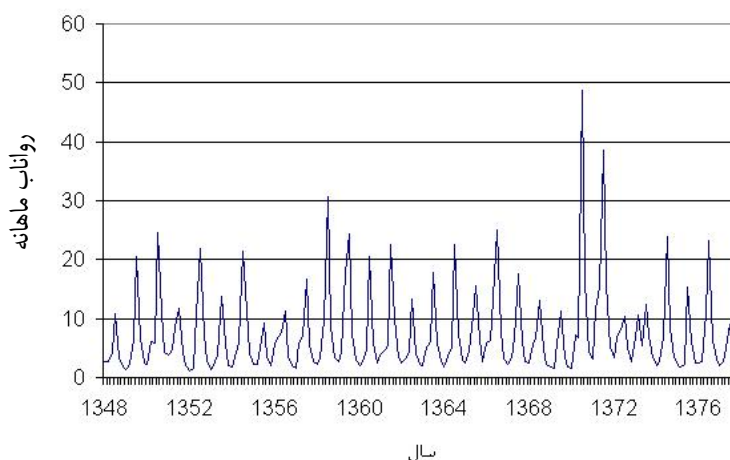
شکل ۱- موقعیت حوضه‌ها و ایستگاه‌های هیدرومتری مورد بررسی

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های هیدرومتری مورد استفاده در این تحقیق

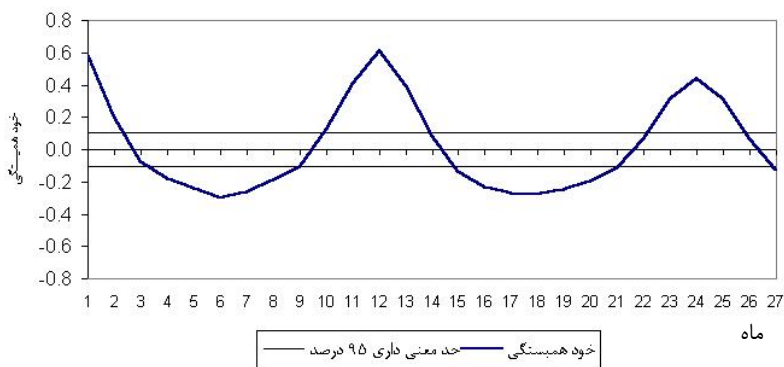
ردیف (شماره در نقشه)	حوضه اصلی	رودخانه	ایستگاه هیدرومتری	مساحت (کیلومتر مربع)	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (متر)
۱		سبزه	چم‌چیت	۳۴۵	۴۸ ۵۹	۳۳ ۲۳	۱۲۹۰
۲		ماربره	دره‌تخت	۲۱۸۵	۴۹ ۲۲	۳۳ ۲۳	۱۸۰۰
۳		کمندان	کمندان	۷۸	۴۹ ۲۶	۳۳ ۲۸	۲۰۸۰
۴	دز	سرخاب	کشور	۳۳۵	۴۸ ۳۷	۳۳ ۰۸	۷۷۰
۵		سزار	سپیددشت	۷۱۳۴	۴۸ ۵۳	۳۳ ۱۳	۹۷۰
۶		بختیاری	تنگ‌پنج	۶۳۹۰	۴۸ ۴۶	۳۲ ۵۶	۶۰۰
۷		گله‌رود	ونائی	۳۷	۴۸ ۳۸	۳۳ ۵۵	۲۰۰۰
۸		کارون	ارمند	۹۹۰۰	۵۰ ۴۵	۳۱ ۴۰	۱۰۵۰
۹		خرسان	بارزبختیاری	۸۹۰۰	۵۰ ۲۵	۳۱ ۳۲	۸۱۵
۱۰	کارون	کبکیان	بتاری	۸۸۵	۵۱ ۲۰	۳۰ ۵۲	۱۵۶۰
۱۱		ماربره	دهکده‌شهید	۲۰۰	۵۱ ۴۴	۳۰ ۵۱	۲۲۲۰
۱۲		بازفت	مرغک	۲۳۵۵	۵۰ ۲۸	۳۱ ۳۹	۸۶۰

توزیع نرمال نشان می‌دهد. با کاربرد آزمون Portmanteau، مقدار X^2 حاصله از جدول با درجه آزادی ۲۲ در سطح اطمینان ۹۵ درصد معادل ۳۳/۹ می‌باشد. با توجه به اینکه مقدار Q (رابطه ۶) ۱۵/۸۳ و مقدار X^2 حاصل از جدول از این مقدار بزرگتر است الگو با موفقیت این آزمون را پشت سر می‌گذارد. الگوهای استوکاستیک انتخابی برای هر یک از ایستگاه‌های هیدرومتری مورد بررسی در این تحقیق براساس روش فوق‌الذکر تعیین شده که نتایج آن در جدول (۲) آمده است.

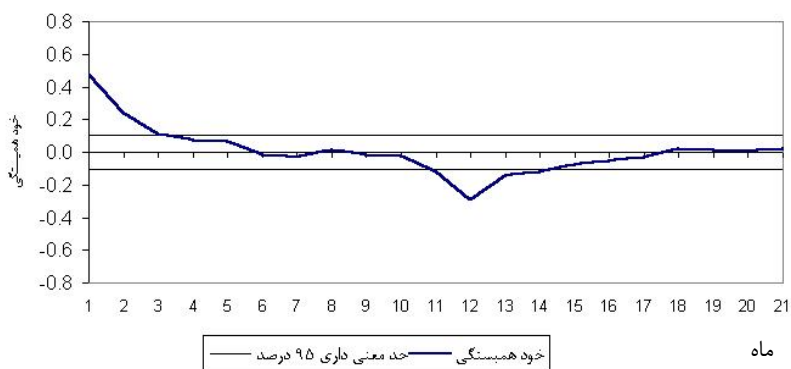
بر این اساس الگوی استوکاستیک اتورگرسیو - میانگین متحرک مرکب فصلی برای ایستگاه چم‌چیت به صورت $ARIMA(1,0,0)(0,1,1)_{12}$ انتخاب می‌شود. الگوی مذکور با توجه به تأیید در آزمون Portmanteau و نیز معنی‌دار بودن تابع خودهمبستگی باقیمانده‌ها براساس شکل (۶) به عنوان الگوی مناسب در ایستگاه مذکور انتخاب گردید زیرا مقادیر خودهمبستگی باقیمانده‌ها از محدوده ۹۵ درصد اطمینان خارج نشده و مطابق Hipel & McLead (1994) باقیمانده‌ها نیز نرمال بوده و مدل قابل قبول می‌باشد. شکل (۷) مطابقت باقیمانده‌های الگوی انتخابی را با



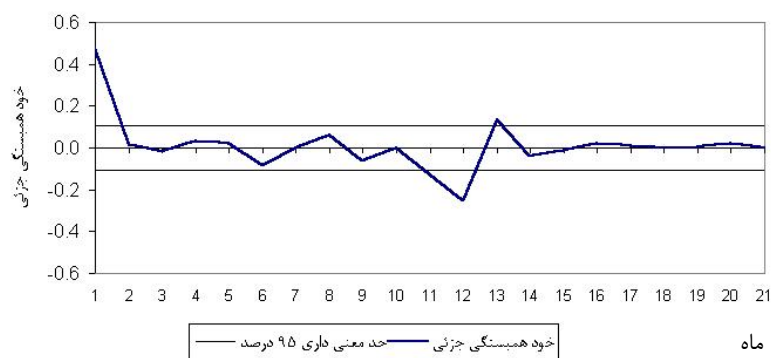
شکل ۲- سری زمانی رواناب ماهانه ایستگاه هیدرومتری چم‌چیت



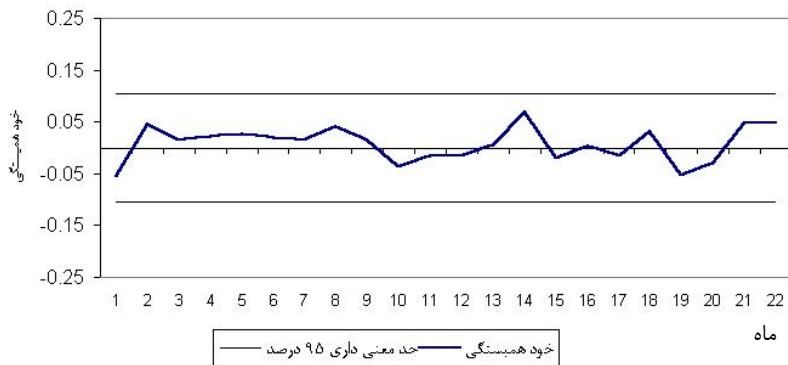
شکل ۳- تابع خود همبستگی رواناب ماهانه ایستگاه هیدرومتری چم چیت



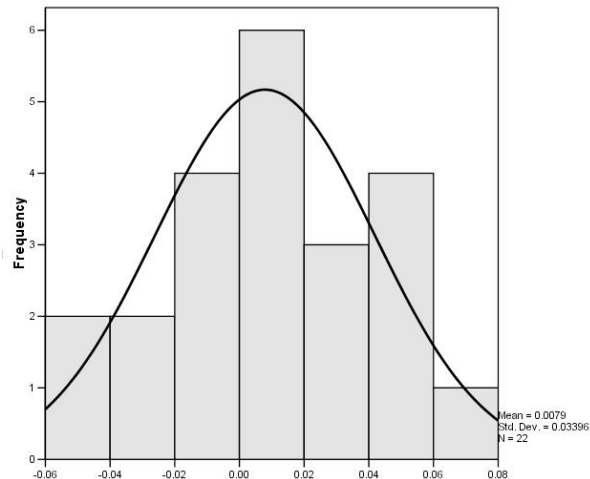
شکل ۴- تابع خود همبستگی تفاضلی فصلی رواناب ماهانه ایستگاه هیدرومتری چم چیت



شکل ۵- تابع خود همبستگی تفاضلی جزئی فصلی رواناب ماهانه ایستگاه هیدرومتری چم چیت



شکل ۶- خود همبستگی باقیمانده‌های الگوی $ARIMA(1,0,0)(0,1,1)_{12}$ در ایستگاه هیدرومتری چم چیت



شکل ۷- مطابقت باقیمانده‌های الگوی $ARIMA(1,0,0)(0,1,1)_{12}$ با توزیع آماری نرمال

جدول ۲- الگوهای نهائی انتخاب شده در هر یک از ایستگاه‌های هیدرومتری مورد بررسی

نوع الگوی استوکاستیک رواناب در مقاطع زمانی مختلف			ایستگاه هیدرومتری	حوضه اصلی	ردیف (شماره در نقشه)
رواناب فصلی	رواناب دوماهه	رواناب ماهانه			
$(1,0,0)(0,1,1)_4$	$(1,0,0)(0,1,1)_6$	$(1,0,0)(0,1,1)_{12}$	چم چیت	دز	۱
$(1,0,0)(0,1,1)_4$	$(1,0,0)(0,1,1)_6$	$(1,0,0)(0,1,1)_{12}$	دره تخت		۲
$(1,0,0)(0,1,1)_4$	$(1,0,0)(0,1,1)_6$	$(2,0,1)(0,1,1)_{12}$	کمدان		۳
$(1,0,0)(0,1,1)_4$	$(1,0,0)(0,1,1)_6$	$(1,0,0)(0,1,1)_{12}$	کشور		۴
$(1,0,0)(0,1,1)_4$	$(1,0,0)(0,1,1)_6$	$(1,0,1)(0,1,1)_{12}$	سپیددشت		۵
$(1,0,0)(0,1,1)_4$	$(1,0,1)(0,1,1)_6$	$(1,0,0)(0,1,1)_{12}$	تنگ پنج		۶
$(1,0,0)(0,1,1)_4$	$(1,0,0)(0,1,1)_6$	$(2,0,1)(0,1,1)_{12}$	ونائی		۷
$(1,0,0)(0,1,1)_4$	$(1,0,1)(0,1,1)_6$	$(1,0,1)(0,1,1)_{12}$	ارمند	کارون	۸
$(1,0,0)(0,1,1)_4$	$(1,0,1)(0,1,1)_6$	$(1,0,0)(0,1,1)_{12}$	بارز بختیاری		۹
$(1,0,0)(0,1,1)_4$	$(1,0,0)(0,1,1)_6$	$(1,0,0)(0,1,1)_{12}$	بتاری		۱۰
$(1,0,0)(0,1,1)_4$	$(1,0,0)(0,1,1)_6$	$(1,0,0)(0,1,1)_{12}$	دهکده شهید		۱۱
$(1,0,0)(0,1,1)_4$	$(1,0,0)(0,1,1)_6$	$(1,0,0)(0,1,1)_{12}$	مرغک		۱۲

در این ایستگاه از بین الگوهای تأیید شده با معیار حداقل مقدار معیار $ARIMA(2,0,1)(0,1,1)_{12}$ معادل $-۶۹۶/۴$ به صورت می‌باشد. با توجه به اختلاف اندک بین مقادیر معیار AIC برای الگوهای پیشنهادی (جدول ۳)، الگوهایی که کمترین تعداد پارامترها را دارا باشد مناسب تر خواهد بود. بنابراین الگوهای ردیف ۱ تا ۳ که در جدول (۳) نشان داده شده است می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

در برخی موارد بیش از یک الگو برای یک سری زمانی مورد تأیید قرار می‌گیرد که بر اساس معیار AIC، از بین آنها مناسبترین الگو انتخاب گردید. در اینجا به عنوان نمونه به الگوهای استوکاستیک ایستگاه هیدرومتری کمدان اشاره می‌شود. همانگونه که در جدول (۳) نشان داده شده است معیار AIC به عنوان یک آزمون مؤثر در انتخاب الگوی نهائی مورد استفاده قرار گرفته است. الگوی مناسب

جدول ۳- انتخاب الگوی نهائی بر اساس معیار AIC در ایستگاه هیدرومتری کمندان

ردیف	نوع الگو	معیار AIC	توضیحات
۱	$(1,0,0)(0,1,1)_{12}$	-۶۹۷/۴	
۲	$(1,0,1)(0,1,1)_{12}$	-۶۹۷/۲	
۳	$(2,0,0)(0,1,1)_{12}$	-۶۹۷/۱	
۴	$(2,0,1)(0,1,1)_{12}$	-۶۹۶/۴	
۵	$(2,0,2)(0,1,1)_{12}$	۶۹۴/۴	ضرایب الگو معنی دار نیست
۶	$(2,0,1)(1,1,1)_{12}$	-۶۹۳/۱	ضرایب الگو معنی دار نیست

۵- نتیجه گیری

استوکاستیک رواناب ماهانه در ایستگاه‌های هیدرومتری کمندان و ونائی بر اساس در نظر گرفتن معیار AIC به صورت $ARIMA(2,0,1)(0,1,1)_{12}$ انتخاب شده اند. علاوه بر این می توان گفت در حوضه‌های کوچک، مدل‌های اتورگرسیو با مرتبه کمتر بر اساس آزمون‌های بررسی صحت مدل‌ها به سختی شرایط لازم را احراز می‌کنند و اضافه شدن پارامترهای بیشتر به مدل، موجب افزایش صحت نتایج خواهد شد. همانگونه که قبلاً توضیح داده شد در صورتیکه اختلاف بین مقادیر معیار AIC اندک باشد و مدل استوکاستیک با تعداد پارامترهای کمتر مد نظر باشد می توان مدل‌های دیگر را نیز مورد استفاده قرار داد که نمونه‌ای از آن در جدول (۳) نشان داده شده است.

همانگونه که در این تحقیق نشان داده شده است الگوهای استوکاستیک را می‌توان به منظور مدل‌سازی سری‌های زمانی رواناب در مقاطع زمانی مختلف به کار برد. رواناب مانند بسیاری دیگر از متغیرهای هیدروکلیماتولوژیک از تغییرات فصلی که تحت تأثیر فرآیندی تصادفی است برخوردار می‌باشد. تحقیقات نشان داده است که مدل‌های استوکاستیک از مناسبترین ابزارهای شبیه‌سازی متغیرهای تصادفی که دارای یک روند فصلی اند می‌باشد (Hipel, 1993). در این مقاله ضمن تشریح نحوه توسعه مدل‌های سری زمانی، الگوهای استوکاستیک رواناب به صورت الگوی مرکب اتورگرسیو میانگین متحرک در مقاطع زمانی ماهانه، دوماهه و فصلی در ۱۲ حوضه آبریز در جنوب غرب ایران شناسائی و استخراج گردید. حوضه‌های آبریز مورد تحقیق به نحوی انتخاب گردیده‌اند که از یک سو از دوره آماری مناسب و کامل ۳۰ ساله برخوردار بوده و از سوی دیگر دامنه وسیعی از مساحت را در بر گرفته و از تنوع مساحتی برخوردار باشند.

این تحقیق نشان می‌دهد که الگوهای استوکاستیک فصلی رواناب در حوضه‌های آبریز با مساحت‌های مختلف در شرایط اقلیمی مشابه منطقه تحقیق یکسان و قابل تعمیم بوده در حالیکه الگوهای رواناب در مقاطع زمانی کوتاه تر (مدل‌های دو ماهه و ماهانه) از تنوع بیشتر برخوردار بوده و در حوضه‌های آبریز دیگر می‌بایست بر اساس داده‌های رواناب محلی مورد تحقیق قرار گیرد.

همانگونه که در جدول (۲) نشان داده شده است، نوع الگوی استوکاستیک در مقیاس زمانی فصلی (سه ماهه) با تغییرات مقیاس مکانی (مساحت حوضه) وابستگی نداشته و در کلیه حوضه‌های مورد بررسی الگوی استوکاستیک رواناب فصلی به صورت $ARIMA(1,0,0)(0,1,1)_4$ استخراج گردیده است. الگوهای استخراجی در مقطع زمانی دو ماهه در حوضه‌های کوچک و متوسط مقیاس به صورت $ARIMA(1,0,0)(0,1,1)_6$ مشاهده می‌شود. در حالیکه در ایستگاه‌های هیدرومتری با حوضه‌های آبریز وسیع نوع الگو به دو شکل $ARIMA(1,0,0)(0,1,1)_6$ و $ARIMA(1,0,1)(0,1,1)_6$ مشاهده گردیده است. از سوی دیگر الگوی مرکب اتورگرسیو میانگین متحرک در مقیاس ماهانه در حوضه‌های آبریز با تغییر در مقادیر مساحت از روند متفاوتی برخوردار بوده و در حوضه‌های آبریز با مساحت بسیار کوچک مانند زیر حوضه‌های کمندان و ونائی، تعداد مرتبه مدل اتورگرسیو می‌تواند بیشتر از یک باشد. الگوی

عساکره، ح. و م. خردمندنیا (۱۳۸۱) "مدل سازی SARIMA برای متوسط درجه حرارت ماهانه (مطالعه موردی الگوسازی متوسط درجه حرارت ماهانه جاسک)" نیوار، شماره ۴۴، صفحه ۵۴-۴۱. نیرومند، ح. (۱۳۷۶) "تحلیل سری‌های زمانی، روش‌های یک متغیری و چند متغیری" (ترجمه). انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، شماره ۲۲۸، ص ۵۸۶.

Akaike, H. (1974). "A new look at the statistical model identification", *IEEE Transactions on Automatic Control*, AC-19, pp. 716-723.

Bloomfield, P. and Nychka, D., (1992). "Climate spectra and detecting climate change", *Climate change*, 21, pp. 275-287.

Box, G.E.P. and Jenkins, G.M., (1976). "Time series analysis: forecasting and control", Holden-Day, San Francisco, CA.

Hipel, K.W. (1993). "Philosophy of model building", J.B. Marco et al. (eds.), *Stochastic hydrology and its use in water resources systems simulation and optimization*, pp. 25-45.

Hipel, K.W. and McLeod, A.I., (1994). "Time Series Modelling of Water Resources and Environmental Systems", Elsevier, Amsterdam, 1013p.

Zekai, S. (1998). "Small sample estimation of the variance of time averages in climate time series", *International Journal of Climatology*, Vol. 18, pp. 1725-1732.

Noakes, D.J., McLeod, A.I., and Hipel, K.W., (1985). "Forecasting monthly riverflow time series", *International Journal of Forecasting*, (1), pp. 179-190.

McLeod, A.I., Hipel, K.W., and Lennox, W.C., (1977). "Advances in Box-Jenkins Modeling", *Water Resources Research*, Vol. 13, No. 3, pp. 577-586.

Huang, W., Xu, B., and Chan-Hilton, A., (2004). "Forecasting flows in Apalachicola river using neural networks", *Hydrologic Engineering*, 18, pp. 2545-2564.

Wei, W. (1990). "Time Series Analysis: Univariate and Multivariate Methods", Addison-Wesley, Massachusetts.

Noakes et al. (1985) با بررسی سی حوضه آبریز در آمریکای شمالی و جنوبی نشان داده اند که عمده ترین مدل استوکاستیک مناسب به صورت $ARIMA(1,0,0)(0,1,1)_{12}$ تعیین شده است که با مدل‌های ارائه شده در اکثر حوضه‌های آبریز مورد بررسی در پژوهش حاضر مطابقت دارد. Hipel and McLeod در سال ۱۹۹۴ با ارائه مثالی از استخراج الگوی استوکاستیک ماهیانه رودخانه St. Lawrence مدل $ARIMA(1,0,1)(0,1,1)_{12}$ را مناسبتر از دیگر مدل‌های مورد بررسی تشخیص داده اند. مدل ارائه شده در حوضه فوق‌الذکر با مدل حاصله در تحقیق حاضر در ایستگاههای هیدرومتری سپید دشت و ارمند که مربوط به حوضه‌های بسیار بزرگ در جنوب غرب ایران هستند مشابه می‌باشد. الگوهای استوکاستیک میانگین متحرک اتورگرسیو مرکب رواناب ارائه شده در حوضه‌های آبریز مورد بررسی در این تحقیق را همانگونه که Noakes et al. (1985) و Huang et al. (2004) نشان داده اند می‌توان به منظور پیش بینی رواناب در مقاطع مختلف در حوضه‌های مورد بررسی بکار برد که به عنوان تحقیقات آینده پیشنهاد می‌گردد.

پی‌نوشت‌ها

- 1- ACF, Autocorrelation Function
- 2- PACF, Partial Autocorrelation Function
- 3- AR, Autoregressive
- 4- MA, Moving Average
- 5- ARIMA, Autoregressive Integrated Moving Average
- 6- Maximum Likelihood
- 7- Yule-Walker
- 8- Residual Autocorrelation Function
- 9- AIC: Akaike Information Criterion

۶- مراجع

ابریشم چی، ا.، م. تجریشی و ب. چهره نگار (۱۳۸۴)، "مدل‌های استوکاستیک منطقه ای جریان سالانه حوضه‌های آبریز غرب ایران" فصلنامه تحقیقات منابع آب ایران، سال یکم، شماره ۱، ۴۸-۵۷.

رحیم زاده، ف. (۱۳۷۲) "تجزیه و تحلیل سری زمانی فشار در ایستگاه تهران - مهرآباد" نیوار، شماره ۲۰-۱۷.

تاریخ دریافت مقاله: ۳ دی ۱۳۸۴

تاریخ اصلاح مقاله: ۱۹ خرداد ۱۳۸۶

تاریخ پذیرش مقاله: ۴ تیر ۱۳۸۶