ارزيابي مدل‌هاي پيش‌بيني دبي ماهانه بر پايه تحليل سري‌هاي زماني (بررسي موردي حوزه آبخيز كرخه)

محمدرضا قنبرپور*[1]، مريم اميري[2] و شعبانعلي غلامي[3]

[1] استاديار دانشكده منابع طبيعي، دانشگاه علوم كشاورزي و منابع طبيعي ساري، ايران

[2] دانش آموخته كارشناسي ارشد آبخيزداري، دانشكده منابع طبيعي، دانشگاه علوم كشاورزي و منابع طبيعي ساري، ايران

[3] عضو هيئت علمي پژوهشكده حفاظت خاك و آبخيزداري، وزارت جهادكشاورزي، ايران

(تاريخ دريافت: ۸۴/۹/۸، تاريخ تصويب: ۸۶/۸/۲۶)

چكيده

پيش‌بيني دقيق دبي جريان نكته كليدي در برنامه‌ريزي و مديريت بهينه منابع آب به شمارمي آيد. افزايش براي تقاضاي آب در منطقه هاي مختلف بويژه در ناحيه هاي خشك و نيمه خشك، نياز به مديريت بهينه منابع آب را بيش از پيش نشان مي‌دهد. بر اين پايه دستيابي به روش‌هاي مطمئن پيش‌بيني جريان رودخانه‌ها به منظور برنامه‌ريزي در بهره برداري به موقع از منابع آب از اهميت روزافزوني برخوردار است. در اين پژوهش حوزه آبخيز كرخه در جنوب غرب ايران با توجه به اهميت منابع آب اين حوزه و نيز ظرفيت بالاي توليد و ذخيره منابع آبي بدست آمده از آن به عنوان بررسي موردي گزينش شد. در اين مقاله روش استوكاستيك تحليل سري‌هاي زماني به منظور دوره مدل‌هاي پيش‌بيني دبي جريان ماهانه مورد بهره‌گيري قرار گرفت. ضمن تشريح چگونگي گسترش مدل‌هاي سري زماني، الگوي اتورگرسيو ميانگين متحرك مركب، الگوي اتورگرسيو ميانگين متحرك غير فصلي شده و نيز مدل توماس-فيرينگ مورد بهره‌گيري قرارگرفت. مدل‌هاي مذكور در پنج زير حوزه از حوزه كرخه توسعه و عملكرد آنها در پيش‌بيني دبي جريان بر پايه معيارهاي ميانگين مطلق خطا و مجذور ميانگين مربعات خطا مورد مقايسه قرار گرفت. نتايج اين پژوهش نشان مي‌دهد كه به ترتيب مدل‌هاي آريما و دارما از دقت بيشتري در پيش‌بيني دبي ماهانه برخوردار بوده و مدل توماس-فيرينگ نسبت به دو مدل ديگر ميزان بيشتر خطاي پيش‌بيني و عملكرد ضعيف تري را در منطقه مورد بررسي نشان مي‌دهد.

واژه‌هاي كليدي: دبي ماهانه، استوكاستيك، سري‌هاي زماني، حوزه كرخه

* نويسنده مسئول: تلفن: ۰۹۱۲-۲۲۴۲۸۹۲ فاكس: ۰۱۵۱-۴۲۲۲۹۸۲ Email: m_ghanbarpour@yahoo.com

مقدمه

افزايش براي تقاضاي آب در منطقه مختلف بويژه در نواحي خشك و نيمه خشك، نياز به مديريت بهينه منابع آب را بيش از پيش نشان مي‌دهد. پيش‌بيني دقيق و به موقع منابع آب در دسترس را مي‌توان نكته كليدي در برنامه‌ريزي، مديريت و بهره برداري بهينه از منابع آب قلمداد كرد. بر اين پايه دستيابي به روش‌هاي مطمئن پيش‌بيني جريان رودخانه‌ها به منظور برنامه‌ريزي در بهره برداري به موقع از منابع آب از اهميت روزافزوني برخوردار است.درمنطقه هاي بدون سدهاي مخزني ونيزدرمنطقه هايي كه جريان رودخانه با تاسيسات ويژه‌اي كنترل مي‌شود، مدل‌هاي پيش‌بيني جريان رودخانه‌ها به عنوان ابزار مناسبي در برنامه‌ريزي و مديريت منابع آب موردبهره‌گيري قرار مي‌گيرند (١٨). همان‌گونه كه تنگبورن و رسموسن (١٩٧٦)، مك كوئين (١٩٩٨) و هاملت و همكاران (٢٠٠٢) بيان كرده‌اند، پيش‌بيني رواناب و آگاهي پيش از موعد از ميزان آب در دسترس مي‌تواند در تقسيم بهنه منابع آب براي آبياري، توليد جريان برق، كنترل سيلاب، برنامه‌ريزي كاربرد آب در بخش‌هاي صنعت، كشاورزي و شرب، حفاظت زيستگاه‌هاي منطقه هاي طبيعي، كنترل آلودگي آب و نيز گسترش بهره‌گيري تفرجگاهي از منابع و اراضي مفيد بوده و منافع اقتصادي در بر داشته باشد. علاوه بر اين، بهبود مدل‌ها و افزايش دقت پيش‌بيني را با توجه به اثرگذاري يادشده مي‌توان به عنوان درآمد اقتصادي كه در اين راستا فراهم مي‌شود در نظر گرفت. در اين پژوهش حوزه آبخيز كرخه و تعدادي از زير حوزه‌هاي آن در جنوب غرب ايران با توجه به اهميت منابع آب اين حوزه و نيز ظرفيت بالاي توليد و ذخيره منابع آبي بدست آمده از آن به عنوان بررسي موردي گزينش شد.

در اين مقاله روش استوكاستيك تحليل سري هاي زماني به منظور توسعه مدل‌هاي پيش‌بيني رواناب مورد بهره‌گيري قرارگرفت.روش تحليل سري هاي زماني به طور گسترده‌اي در توسعه مدل‌هاي پيش‌بيني در رشته‌هاي مختلف علوم اقتصادي، اجتماعي و فني و زيست محيطي موردبهره‌گيري قرار گرفته است (٥). استخراج الگوهاي استوكاستيك براي سري هاي زماني در ابتدا توسط باكس و جنكينز (١٩٧٦) در يك روش سه مرحله‌اي ارائه شده است. مدل‌هاي سري زماني براي شبيه سازي و پيش‌بيني متغيرهاي اقليمي از جمله ميانگين دماي ساليانه و ماهيانه، فشار جو و بارندگي در پژوهشهاي بيشماري مورد بررسي قرار گرفته است كه از آن جمله مي‌توان به بررسي هاي بلومفيلد و نيچكا ١٩٩٢، سن زكايي ١٩٩٨، رحيم زاده ١٣٧٢ و عساكره و خردمندنيا ١٣٨١ اشاره نمود. مك لود و همكاران (١٩٧٧) روش ارائه شده توسط باكس و جنكينز را به منظور شبيه سازي رواناب ماهيانه رودخانه سنت لورنس در ايالت نيويورك آمريكا بكار برده‌اند. نواكس و همكاران (١٩٨٥) تحليل سري هاي زماني را در پيش‌بيني دبي ماهيانه در سي حوزه در آمريكاي شمالي و جنوبي بكار برده‌اند. نتايج پيش‌بيني در اين بررسي به كمك معيارهاي آماري ميانگين مطلق خطا و مجذور ميانگين مربع خطا مورد بررسي قرار گرفته است. همان‌گونه كه نواكس و همكاران (١٩٨٥) تاكيد كرده‌اند اين مدل‌ها به عنوان مدل هاي دقيق كه به كمترين داده‌هاي ورودي نياز دارند شناخته شده‌اند. هاپيل (١٩٩٣) اصول و مباني توسعه الگوهاي استوكاستيك را بر پايه تحليل سري هاي زماني باتاكيد بر كاربرد در هيدرولوژي و شبيه سازي دبي جريان تشريح كرده است. احمد و همكاران (٢٠٠١) سه نوع مدل استوكاستيك سري زماني را براي پيش‌بيني كيفيت جريان رودخانه گنگ در هند بكار برده و نتايج سه روش را مقايسه كرده‌اند. هوانگ و همكاران (٢٠٠٤) كاربرد سري هاي زماني در شبيه سازي و پيش‌بيني استوكاستيك دبي را نشان داده است. آنها عملكرد شبكه عصبي را با مدل‌هاي استوكاستيك سري زماني مورد مقايسه قرار داده‌اند. ابريشم چي و همكاران (١٣٨٤) مدل‌هاي استوكاستيك منطقه‌اي جريان سالانه در حوزه‌هاي آبريز كرخه، دز و كارون را بر پايه مدل اتورگرسيو و كاربرد تحليل رگرسيون چند متغيره ارائه كرده‌اند. در حوزه‌هاي ياد شده مدل استوكاستيك مناسب جريان سالانه، مدل اتورگرسيو مرتبه اول تشخيص داده شده است. قنبرپور(١٣٨٦) نقش پايه هاي زماني مختلف

جريان رودخانه و نيز مقياس مكاني حوزه هاي آبريز را در نوع الگوهاي استوكاستيك دبي در حوزه هاي جنوب غرب ايران مورد بررسي قرار داده است.

در اين مقاله ضمن تشريح چگونگي توسعه مدل‌هاي سري زماني، الگوي اتورگرسيو ميانگين متحرك مركب[1] يا به اصطلاح آريما، الگوي اتورگرسيو ميانگين متحرك غير فصلي شده[2] يا به اصطلاح دارما و نيز مدل توماس-فيرينگ[3] مورد بهره‌گيري قرارگرفت. مدل‌هاي يادشده در پنج زير حوزه از حوزه كرخه كه از طول دوره آماري مناسبي برخوردارند توسعه و عملكرد آنها در پيش‌بيني دبي بر پايه معيارهاي خطا مورد مقايسه قرار گرفت. هدف اصلي در اين بررسي گزينش مناسب ترين مدل پيش‌بيني دبي ماهانه در حوزه مورد بررسي بر پايه معيارهاي خطاي پيش‌بيني مي‌باشد. افزايش دقت نسبي برآورد و پيش‌بيني جريان رودخانه‌ها درفصول كم آبي به منظور مديريت دربهره‌گيري بهينه آب داراي ارزش اقتصادي ويژه‌اي مي‌باشد كه از ديگر هدف هاي اين بررسي به شمار مي‌آيد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد بررسي

در اين بررسي حوزه آبخيز كرخه در غرب ايران گزينش شده است. حوزه كرخه در محل سد كرخه داراي مساحت تقريبي ٤٣٠٠٠ كيلومتر مربع و حجم آورد سالانه ٥٢٠٠ ميليون متر مكعب مي‌باشد. اين حوزه از نظر تقسيم‌بندي جغرافيايي بخشي از استان‌هاي كردستان، همدان، ايلام و خرم آباد را شامل مي‌شود. شكل (۱) موقعيت حوزه آبخيز كرخه در نقشه‌ايران و زير حوزه‌هاي گزينش شده در اين بررسي را نشان مي‌دهد. ارتفاع در اين حوزه از ١٤٩متر در محل ايستگاه هيدرومتري پاي پل در خروجي حوزه، تا ارتفاع حدود ٣٦٠٠ متر در ارتفاعات آن تغيير مي‌كند ميانگين بارندگي ساليانه در اين حوزه ٤٣٠ ميليمتر برآورد شده است.

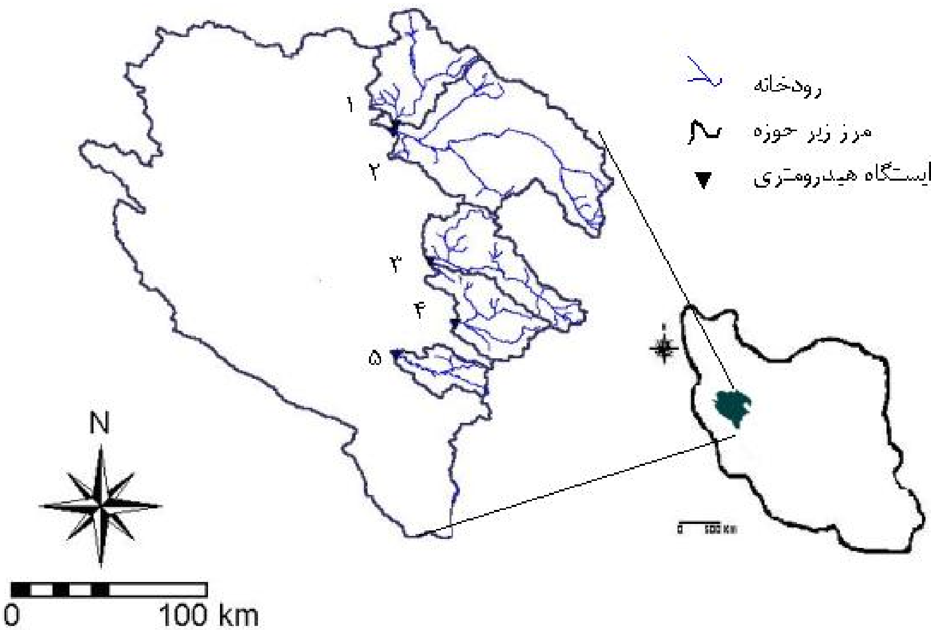
اطلاعات و آمار

دراين بررسي آمار دبي ماهانه در ايستگاه‌هاي هيدرومتري گزينش شده از سازمان تحقيقات منابع آب دريافت و مورد بهره‌گيري قرار گرفته است. جدول (۱) ويژگي هاي زير حوزه‌ها و ايستگاه‌هاي هيدرومتري مورد بهره‌گيري در اين بررسي را نشان مي‌دهد. معيار گزينش پنج حوزه آبخيز مذكور دسترسي به آمار دبي جريان در يك دوره آماري ۳۰ ساله بوده است تا نتايج بررسي با اطمينان بيشتري ارائه شود. بنابراين دوره آماري ۳۰ ساله از سال آماري ٤٩-١٣٤٨ الي ٧٨-١٣٧٧ در كليه ايستگاه‌ها مبناي تجزيه و تحليل آماري در اين بررسي قرارگرفته است. به منظور توسعه مدل‌ها و ارزيابي آنها آمار دبي جريان به دو بخش تقسيم شده است. بخش اول آمار دبي ماهانه از سال آماري ٤٩-١٣٤٨ الي ٧٣-١٣٧٢ به طول ٢٥ سال به منظور توسعه مدل‌ها مورد بهره‌گيري قرار گرفت. بخش دوم كه از سال آماري ٧٤-١٣٧٢ الي ٧٨-١٣٧٧ به طول ٥ سال آماري مي‌باشد به منظور ارزيابي عملكرد مدل‌ها و تعيين خطاي پيش‌بيني مورد بهره‌گيري قرار گرفت.

۱- Autoregressive integrated moving average (ARIMA)

۲- Deseasonalized autoregressive moving average (DARMA)

۳- Thomas-Fiering (TF)



شكل ۱- موقعيت حوزه كرخه، زير حوزه‌ها و ايستگاه‌هاي آبسنجي مورد بررسي

جدول ۱- ويژگي‌هاي حوزه‌هاي آبخيز مورد بهره‌گيري در اين بررسي

كد حوزه در نقشه	رودخانه	ايستگاه هيدرومتري	طول جغرافيايي	عرض جغرافيايي	مساحت (كيلومتر مربع)	ارتفاع (متر)
۱	خرم رود	آران	٤٧ ٥٥	٣٤ ٢٥	٢٣٢٠	١٤٤٠
٢	گاماسياب	دوآب	٤٧ ٥٤	٣٤ ٢٢	٧٧٧٠	١٤١٠
٣	هر رود	كاكارضا	٤٨ ١٦	٣٣ ٤٣	١١٣٠	١٥٣٠
٤	خرم آباد	چم انجير	٤٨ ١٤	٣٣ ٢٦	١٥٩٠	١١٤٠
٥	چولهول	آفرينه	٤٧ ٥٣	٣٣ ١٩	٨٠٠	٨٠٠

تحليل سري‌هاي زماني

روش سري هاي زماني روشي احتمالاتي است كه الگوي زماني يك متغير را به منظور پيش‌بيني مقادير آينده آن سري زماني تعميم مي‌دهد. در اين بررسي روش باكس و جنكينز (١٩٧٦) به منظور توسعه مدل‌هاي سري زماني در حوزه‌هاي مورد بررسي بكارگرفته شد. اين روش از سه مرحله جداگانه تشكيل شده است. در مرحله اول يك يا چند مدل سري زماني بر پايه چگونگي تغيير زماني رواناب و بررسي تابع خود همبستگي[١]، تابع خود همبستگي جزئي[٢] ارائه مي‌شود. فرايند اتورگرسيو، ميانگين متحرك و فرايند اتورگرسيو ميانگين متحرك مركب يا آريما ازعمده ترين فرايندهاي سري زماني مي‌باشد. در مرحله دوم ازاين روش،

١- Auto correlation function (ACF)

٢- Partial auto correlation function (PACF)

شاخص هاي مدل برپايه الگوريتم درست نمائي ماكزيمم[۱] محاسبه مي‌گردد (۵). در مرحله سوم با بهره‌گيري از شماري از آزمون‌هاي آماري، درستي و كفايت الگوهاي گزينش شده مورد ارزيابي قرار مي‌گيرند و بهترين مدل از بين مدل‌هاي ارائه شده به منظور كاربرد در پيش‌بيني انتخاب مي‌شود(٤). تابع خودهمبستگي باقي مانده‌ها[٤]، معيار آكائيك و آزمون پرت مانتيو از مهم ترين آزمون‌هاي تشخيص كفايت الگوهاي استخراجي مي‌باشد. تابع خود همبستگي باقي مانده‌ها را براي تاخيرهاي متفاوت از صفر تا L بر پايه $L=(N/10)+p+q$ ترسيم و در اينجا مي‌بايست اعداد در محدوده ۹۵ درصد اطمينان قرار گيرد. كه در اين صورت الگوي بدست آمده مورد تاييد خواهد بود. در رابطه مذكور p و q به ترتيب مرتبه اتورگرسيو و ميانگين متحرك الگوي مورد نظر مي‌باشد. آزمون ديگر كه مي‌بايست برروي مقادير باقي مانده‌هاي يك الگوي پيشنهادي انجام شود، انجام آزمون كاي اسكوئر[۵] مي‌باشد. بدين منظور مقدار Q كه مقدار مجموع مربعات ضريب همبستگي باقيمانده‌هاست بر پايه رابطه (۱) بدست مي‌آيد :(۱۹)

$$Q=N\sum_{k=1}^{L}[r_k(\varepsilon)]^2 \qquad (۱)$$

كه در اين رابطه $r_k(\varepsilon)$ مقادير خودهمبستگي در تاخيرهاي مختلف k را نشان مي‌دهد. مقدار كاي اسكوئر را با درجه آزادي L-P-Q و با اطمينان ۹۵ درصد از جدول مربوطه بدست آورده و آن را با مقدار Q مقايسه مي‌كنيم. اگر مقدار جدول از Q محاسباتي بيشتر باشد مدل آزمون را با موفقيت پشت سر گذاشته است. معيار آكائيك (١٩٧٤) به عنوان يكي از مهم ترين معيارهاي ارزيابي و گزينش بهترين الگو مورد بهره‌گيري قرار مي‌گيرد كه در رابطه (۲) نشان داده شده است. ميزان اندك AIC نشان دهنده قابليت بيشتر مدل مي‌باشد(۱۹):

۱- Maximum likelihood

۲- Residual ACF

۳- Chi-square

$$AIC=-2LN(ML)+2K \qquad (۲)$$

كه در آن:

ML: درست نمائي ماكزيمم

K: تعداد پارامتر مدل مي‌باشد.

در اين بررسي سه روش تحليل سري هاي زماني آريما، دارما و مدل توماس-فيرينگ به منظور توسعه مدل‌هاي پيش‌بيني دبي ماهانه مورد بهره‌گيري قرار گرفته كه در زير به اختصار شرح داده شده است.

مدل آريما

در يك مدل آريما هر دو فرايند اتورگرسيو و ميانگين متحرك به صورت تركيبي مورد بهره‌گيري قرار مي‌گيرند. در نمايش اتورگرسيو يك سري زماني اگر فقط شماري متناهي از وزن‌هاي π مخالف صفر باشند، يعني $\pi_1=\phi_1$، $\pi_2=\phi_2$، ... ، $\pi_p=\phi_p$ و براي $K>P$ آنگاه فرايند بدست آمده يك فرايند اتورگرسيو از مرتبه P به صورت زير مي‌باشد (۱۹):

$$Z_t=\phi_1Z_{t-1}+...+\phi_pZ_{t-p}+a_t \qquad (۳)$$

در رابطه (۳) a_t يك فرايند تصادفي محض گوسي با ميانگين صفر مي‌باشد. در نمايش ميانگين متحرك يك فرايند اگر فقط شماري متناهي از وزن‌هاي ψ مخالف صفر باشند، يعني $\psi_1=-\theta_1$، $\psi_2=-\theta_2$، ... ، $\psi_q=-\theta_q$ و براي $K>q$، $\psi_k=o$ آنگاه فرايند بدست آمده يك فرايند ميانگين متحرك از مرتبه q به صورت رابطه (٤) نشان داده مي‌شود:

$$Z_t=a_t-\theta_1a_{t-1}...-\theta_qa_{t-q} \qquad (٤)$$

در مقابل دو الگوي يادشده، الگوي مركب اتورگرسيو ميانگين متحرك راه مناسبي است براي كاربرد الگوي ساده‌تر همراه شاخص‌هاي اندك:

$$Z_t-\phi_1Z_{t-1}-...-\phi_pZ_{t-p}=a_t-\theta_1a_{t-1}...-\theta_qa_{t-q} \qquad (۵)$$

يك الگوي اتورگرسيو فرايندي را نشان مي‌دهد كه ميزان سري زماني با يك ضريب تصادفي به مقادير گذشته آن سري زماني همبستگي دارد. در حالي كه در فرايند ميانگين متحرك مقادير سري زماني تنها به ميزان تصادفي گذشته بستگي نشان مي‌دهد. يك مدل آريما تركيبي از هر دو فرايند را در برمي‌گيرد به طوركلي به صورت $ARIMA(p,d,q)(P,D,Q)_s$ نشان داده مي‌شود كه در آن p، d و q به ترتيب رتبه اتورگرسيو، تفاضل و ميانگين متحرك غير فصلي الگو و P، D و P به ترتيب رتبه اتورگرسيو، تفاضل و ميانگين متحرك فصلي الگوي مورد نظر مي‌باشد.

مدل دارما

مدل دارما بر پايه غير فصلي كردن يك سري زماني و برازش يك فرايند آرما غيرفصلي بر دوره زماني مذكور قابل توسعه و كاربرد در پيش‌بيني مي‌باشد. در اين حالت به طوركلي سري زماني فصلي با بهره‌گيري از روابط زير غير فصلي شده و سپس مدل سازي انجام مي‌گيرد(۱۲):

$$Z_t = X_t - \bar{X} \quad (٦)$$

$$Z_t = \frac{X_t - \bar{X}}{s} \quad (٧)$$

كه در آنها Z_t متغير غير فصلي شده و X_t داده مشاهداتي سري زماني و $\bar{X}$ ميانگين سري زماني مشاهداتي و s انحراف معيار سري زماني مشاهداتي است. در اين شرايط اگر بر يك سري زماني غيرفصلي بر پايه روش سه مرحله‌اي باكس و جنكينز (۱۹۷٦)، يك فرايند اتورگرسيو ميانگين متحرك غير فصلي برازش داده شود، يك فرايند دارما بدست مي‌آيد. يك مدل دارما به طوركلي به صورت $DARMA(p,d,q)$ نشان داده مي‌شود.

مدل توماس-فيرينگ

مدل توماس-فيرينگ به منظور محاسبه دبي ماهانه با در نظر گرفتن همبستگي ميزان دبي با ميزان مشابه در ماه قبل توسعه يافته است (٦ و ۱۰). در اين مدل چنين فرض مي‌شود كه به عنوان مثال دبي تير ماه همواره به ميزان دبي در خرداد ماه بستگي دارد. در توسعه مدل توماس-فيرينگ براي هر ماه يك معادله استخراج مي‌شود كه نمونه آن در رابطه (۸) نشان داده شده است:

$$Q_{P+J+1} = Q_{AVJ+1} + b_j(Q_{py} - Q_{av} + j) + t_p S_{j+1}\sqrt{1-r^2} \quad (۸)$$

كه در آن Q_{j+1} و Q_j به ترتيب ميزان دبي در ماه‌هاي (j+1) و زام، Q_{avj+1} و Q_{avj} به ترتيب ميانگين ميزان دبي در ماه‌هاي (j+1) و زام، S_{j+1} و S_j به ترتيب انحراف معيار ماه‌هاي (j+1) و زام، r_j ضريب همبستگي بين ماه‌هاي زام و (j+۱)، t_p متغيير مستقل تصادفي با ميانگين صفر و واريانس واحد، p سال و j ماه مورد نظر مي‌باشد.

در پايان به منظور بررسي عملكرد مدل‌هاي توسعه يافته در پيش‌بيني دبي، معيارهاي ميانگين مطلق خطا[۱] و مجذور ميانگين مربعات خطا[۲] به ترتيب بر پايه روابط (۹) و (۱۰) مورد بهره‌گيري قرار گرفت.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{1}^{n}(X_O - X_P)^2} \quad (۹)$$

$$MAE = \frac{1}{n}\sum_{1}^{n}\left|X_O - X_p\right| \quad (۱۰)$$

كه در آن: X_O : مقادير مشاهداتي

X_P : مقادير محاسباتي

n : تعداد مشاهدات

۱- Mean absolute error (MAE)

۲- Root mean square error (RMSE)

نتايج

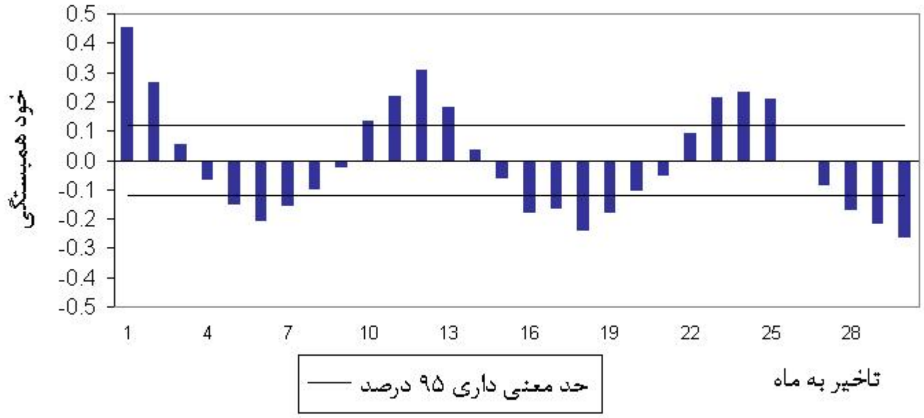
در اين بررسي به منظور توسعه مدل‌هاي پيش‌بيني دبي جريان از روش تحليل سري‌هاي زماني شامل مدل‌هاي آريما، دارما و توماس-فيرينگ بهره‌گيري شد. روش سه مرحله‌اي باكس و جنكينز (۱۹۷٦) در توسعه مدل‌هاي آريما و دارما در پنج زير حوزه از حوزه كرخه مورد بهره‌گيري قرارگرفت.

در اينجا به منظور رعايت اختصار، نتايج مدلسازي با جزئيات بيشتر تنها در يكي از ايستگاه‌هاي هيدرومتري (ايستگاه آفرينه) ارائه مي‌شود. با توجه به مرحله اول از روش يادشده توابع خود همبستگي و خودهمبستگي جزئي به منظور شناسائي اوليه مدل استخراج شد. شكل (۲) و (۳) به ترتيب توابع خود همبستگي و خود همبستگي جزئي دبي ماهانه در ايستگاه آفرينه را نشان مي‌دهد. شكل (۲) تغيير فصلي ميزان خود همبستگي را نشان مي‌دهد. بنابراين مي‌بايست تغيير فصلي از تابع خودهمبستگي حذف شود كه نتيجه آن در شكل (۳) نشان داده شده است. با توجه به شكل (۳) و وجودميزان زيادهمبستگي دردوره‌هاي زماني ۱ و ۱۲ ضرورت شاخص فصلي ميانگين متحرك را در مدل نشان مي‌دهد. شكل (٤) تابع خودهمبستگي جزئي در ايستگاه هيدرومتري آفرينه را نشان مي‌دهد كه پس از تاخير اول به سرعت سقوط مي‌كند و الگوي اتورگرسيو را تاييد مي‌كند. بنابراين الگوي آريما در ايستگاه هيدرومتري آفرينه به صورت $ARIMA(1,0,1)(0,1,1)_{12}$ گزينش شد.

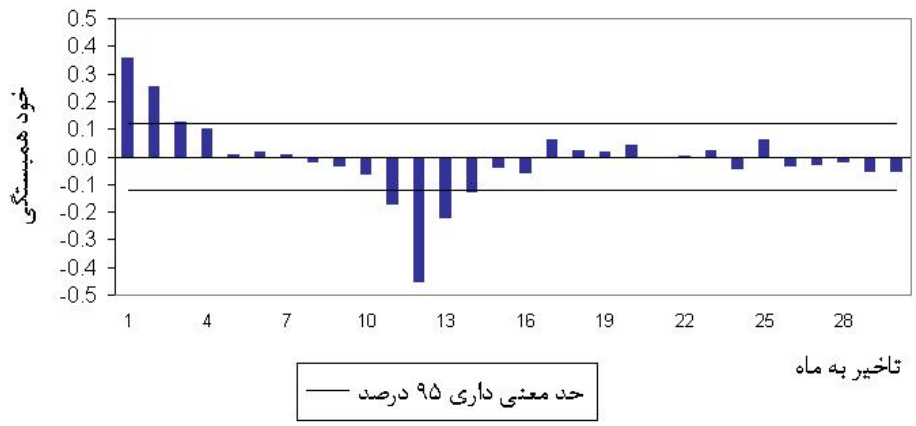
به منظور بررسي درستي و دقت مدل انتخاب شده آزمون پرت مانتو و نيز معني دار بودن تابع خودهمبستگي باقي مانده‌ها انجام گرفت. با كاربرد آزمون پرت مانتو، مقدار كاي اسكور بدست‌آمده از جدول با درجه آزادي ۲۱ در سطح اطمينان ۹۵ درصد از مقدار Q محاسباتي معادل ۱۸/۰۵ بزرگتر بوده بنابراين مدل با موفقيت اين آزمون را پشت سر مي‌گذارد. شكل (۵) تابع خودهمبستگي باقي‌مانده‌ها مدل انتخابي در ايستگاه هيدرومتري آفرينه را نشان مي‌دهد. شكل (۵) نشان مي‌دهد كه ميزان خودهمبستگي باقي مانده‌ها از محدوده ۹۵ درصد اطمينان خارج نشده و نرمال بودن باقي‌مانده‌ها را تاييد مي‌كند. جدول (۲) نيز تاييد مدل گزينش‌شده بر پايه مقايسه معيار آكائيك در مدل‌هاي محتمل ديگر را نشان مي‌دهد. بر پايه جدول (۲) مدل منتخب در ايستگاه هيدرومتري آفرينه در بين الگوهاي ديگر از كمترين مقدار معيار آكائيك معادل ۲۲۷/۲ برخوردار است. مدل‌هاي گزينش‌شده آريما و دارما براي هر يك از ايستگاه‌هاي هيدرومتري مورد بررسي در اين بررسي بر پايه روش يادشده تعيين شده كه نتايج آن در جدول (۳) نشان داده شده است. مراحل ياد شده به منظور توسعه مدل دارما نيز تكرار مي‌شود تنها با اين تفاوت كه ابتدا داده‌هاي دوره زماني دبي بر پايه روابط (٦) و (۷) غيرفصلي مي‌شود. مدل‌هاي گزينش شده از نوع دارما در هر يك از ايستگاه‌هاي هيدرومتري مورد بررسي نيز در جدول (۳) نشان داده شده است. به منظور گسترش مدل توماس-فيرينگ براي هر ماه از سال بر پايه رابطه (۸) يك معادله استخراج شد. رابطه (۱۱) نمونه‌اي از مدل توماس-فيرينگ در تير ماه در ايستگاه هيدرومتري آفرينه را نشان مي‌دهد.

(۱۱)

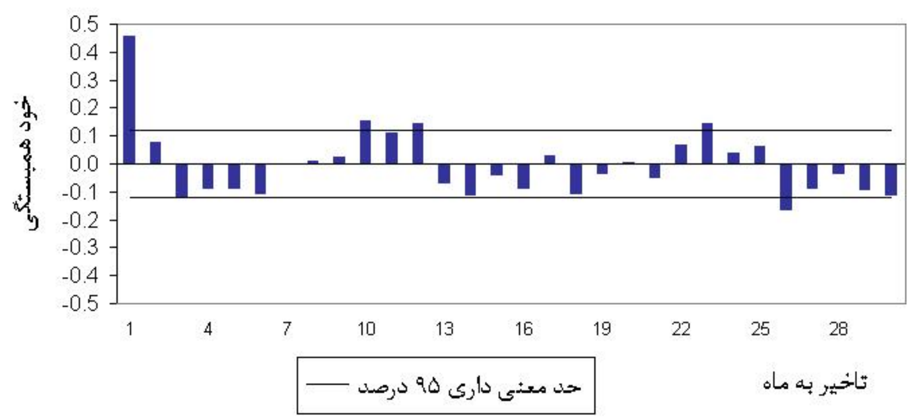
$$Q_{Tir} = ۲.۳۱ + ۰.۷۴(Q_{Khordad} - \bar{Q}_{Khordad}) + ۱۳۲\sqrt{۱ - (۰.۸۷^{۲})}$$



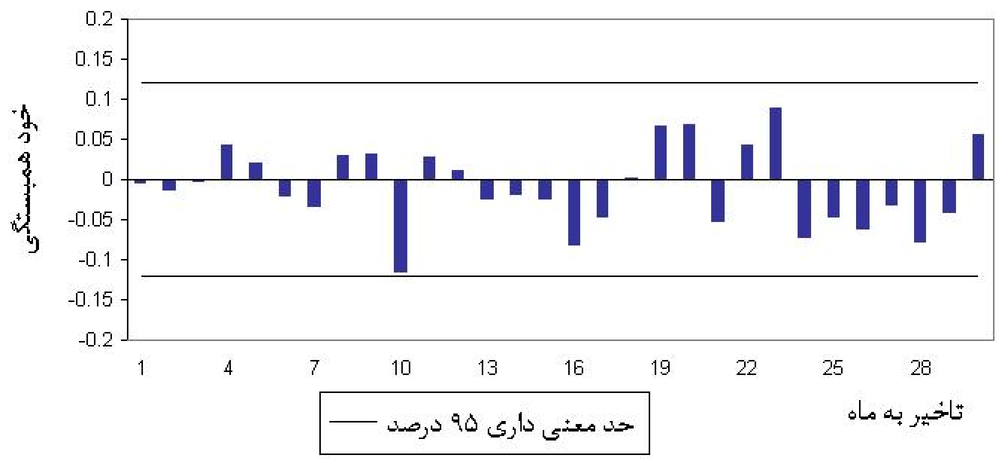
شكل ۲- تابع خود همبستگي دبي ماهانه‌ايستگاه هيدرومتري آفرينه



شكل ۳- تابع خود همبستگي دبي ماهانه‌ايستگاه هيدرومتري آفرينه بعد از حذف تغييرهاي فصلي



شكل ٤- تابع خود همبستگي جزئي دبي ماهانه‌ايستگاه هيدرومتري آفرينه پس از حذف تغييرهاي فصلي



شكل ٥- تابع خود همبستگي باقي‌مانده‌هاي الگوي گزينش‌شده در ايستگاه هيدرومتري آفرينه

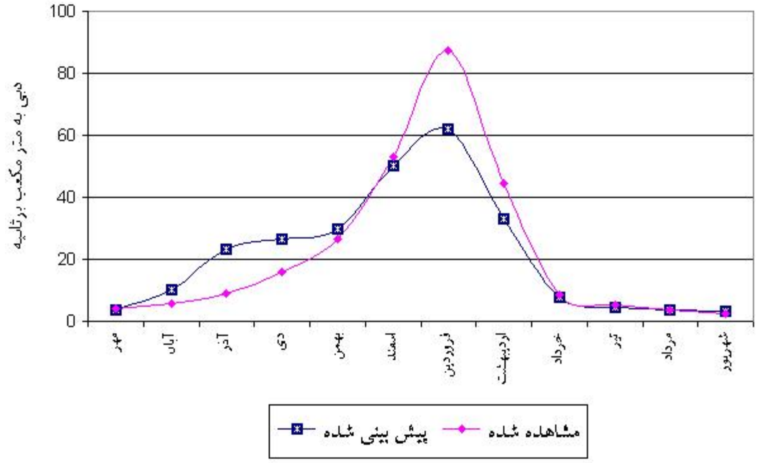
مدل‌هاي گزينش سري زماني شامل مدل آريما، دارما و توماس-فيرينگ در ايستگاه‌هاي هيدرومتري مورد بررسي به منظور پيش‌بيني دبي جريان در ۵ سال آماري از سال ٧٤-١٣٧٣ الي ٧٨-١٣٧٧ مورد بهره‌گيري قرار گرفتند. شكل (٦) تا (٨) به ترتيب مقايسه نتايج ميزان دبي ماهانه پيش‌بيني شده با ميزان مشاهداتي در ايستگاه هيدرومتري آفرينه در سال آماري ٧٥-١٣٧٤ با كاربرد مدل‌هاي ديده را نشان مي‌دهند. بر پايه شكل‌هاي يادشده مي‌شود كه دقت پيش‌بيني به‌طوركلي درپايان بهار و در طول تابستان از ديگر فصول بيشتر بوده كه‌اين نتيجه در ارتباط با پيش‌بيني منابع آب در فصل بهره برداري و كم آبي بسيار داراي اهميت مي‌باشد. به‌طوركلي در اين فصل به دليل كاهش ميزان بارندگي آگاهي از ميزان رواناب در مديريت مخازن سدها و برنامه‌ريزي تقسيم آب درمنطقه هاي پايين بسيار سودمند خواهد بود.

جدول ٢- مقايسه معيار آكائيك در گزينش‌نهايي مدل آريما در ايستگاه هيدرومتري آفرينه

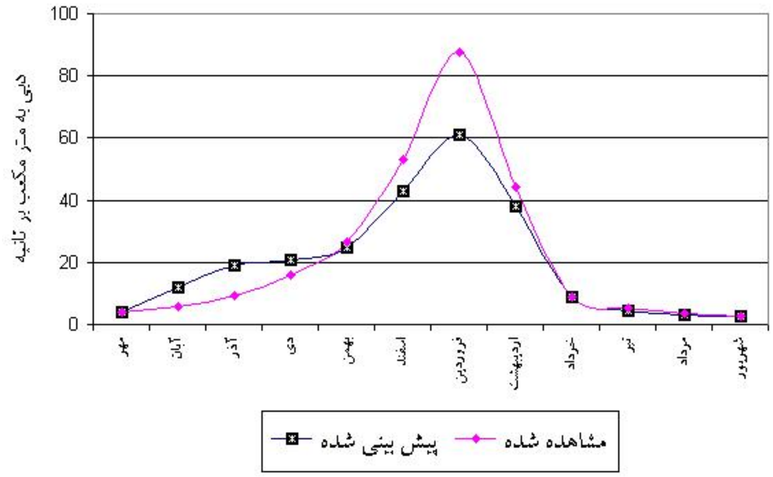
رديف	نوع الگو	معيار آكائيك
١	$(1,0,0)(0,1,1)_{12}$	٢٣٦/١
٢	$(1,0,1)(0,1,1)_{12}$	٢٢٧/٢
٣	$(2,0,0)(0,1,1)_{12}$	٢٢٨/٣
٤	$(2,0,1)(0,1,1)_{12}$	٢٢٩/١

جدول ٣- مدل‌هاي گزينش‌شده در هر يك از ايستگاه‌هاي هيدرومتري مورد بررسي

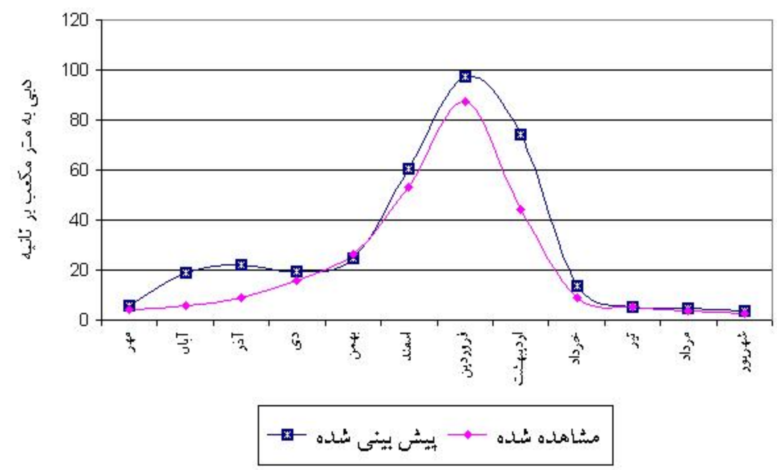
ايستگاه هيدرومتري	مدل آريما	مدل دارما
آران	$(1,0,0)(0,1,1)_{12}$	(1,0)
دوآب	$(1,0,1)(0,1,1)_{12}$	(1,0)
كاكارضا	$(1,0,0)(0,1,1)_{12}$	(1,1)
چم انجير	$(2,0,0)(0,1,1)_{12}$	(1,1)
آفرينه	$(1,0,1)(0,1,1)_{12}$	(1,1)



شکل ٦- مقايسه ميزان مشاهده شده و پيش‌بيني شده با مدل آريما در ايستگاه هيدرومتري دوآب در سال آماري ١٣٧٤-٧٥



شکل ٧- مقايسه ميزان مشاهده شده و پيش‌بيني شده با مدل دارما در ايستگاه هيدرومتري دوآب در سال آماري ١٣٧٤-٧٥



شکل ٨- مقايسه مقادير ميزان مشاهده شده و پيش‌بيني شده با مدل توماس-فيرينگ در ايستگاه هيدرومتري دوآب در سال آماري ١٣٧٤-٧٥

به منظور معرفي مناسب ترين مدل پيش‌بيني همان‌گونه كه در بخش مواد و روش‌ها بيان شد، معيارهاي ميانگين مطلق خطا و مجذور ميانگين مربع خطا مورد بهره‌گيري قرار گرفت. خطاي پيش‌بيني در هر يك از مدل‌ها در ايستگاه‌هاي هيدرومتري مورد بررسي در جدول (٤) نشان داده شده است. نتايج اين بررسي بر پايه جدول (٤) نشان مي‌دهد كه به ترتيب مدل‌هاي آريما و دارما از دقت بيشتري در پيش‌بيني دبي برخوردار مي‌باشد. به عنوان مثال ميانگين مطلق خطا و مجذور ميانگين مربع خطاي پيش‌بيني در ايستگاه هيدرومتري آران در مدل آريما به ترتيب ٢/٨٦ و ٥/٨٦ و در مدل دارما به ترتيب ٣/٢٥ و ٦/١١ مي‌باشد. در حالي‌كه در همين ايستگاه مدل توماس-فيرينگ نسبت به دو مدل ديگر ميزان بيشتر خطاي پيش‌بيني را در منطقه مورد بررسي نشان مي‌دهد. ميانگين مطلق خطا و مجذور ميانگين مربع خطاي پيش‌بيني در مدل توماس-فيرينگ در ايستگاه هيدرومتري آران به ترتيب ٣/٨٦ و ٦/٣٤ محاسبه شده است.

جدول ٤- مقايسه مدل‌هاي پيش‌بيني بر پايه خطاي پيش‌بيني بر پايه دوره آماري پنج ساله

ايستگاه هيدرومتري	مدل	ميانگين مطلق خطا	مجذور ميانگين مربعات خطا
	ARIMA	٢/٨٦	٥/٨٦
آران	DARMA	٣/٢٥	٦/١١
	TF	٣/٨٦	٦/٣٤
	ARIMA	١٠/٠٥	١٧/٣٥
دوآب	DARMA	١١/٥٨	١٨/٨٩
	TF	١٣/٦١	٢٠/٨٥
	ARIMA	٧/٥٨	١٣/٦٨
كاكارضا	DARMA	٦/٢٥	١١/١٥
	TF	٨/٥٦	١٣/٦٨
	ARIMA	٥/٥١	٧/٩٥
چم انجير	DARMA	٤/٧٤	٦/٧٧
	TF	٥/٥١	٨/١١
	ARIMA	٢/١١	٣/٣٦
آفرينه	DARMA	٢/١١	٣/٣٧
	TF	٣/٣٣	٤/٥٠

بحث

دبي جريان مانند بسياري ديگر از متغيرهاي هيدروكليماتولوژيك از تغييرات فصلي كه تحت تاثير فرايندي تصادفي قرار دارد برخوردار مي‌باشد. نتايج اين بررسي نشان داده است كه مدل‌هاي استوكاستيك سري هاي زماني ابزار مناسبي در شبيه سازي و پيش‌بيني دبي ماهانه در حوزه‌هاي آبخيز مي‌باشد. چنين نتيجه‌اي دربررسي ها و مطالعات گذشته توسط نواكس و همكاران (١٩٨٥)،هايپل (١٩٩٣) و هونگ و همكاران (٢٠٠٤) نشان داده شده است. با توجه به‌اينكه مدل‌هاي پيش‌بيني دبي در پروژه‌ها و مقاصد اجرائي از كاربرد وسيعي برخوردار هستند

مي‌بايست بر پايه اصول ساده استوار بوده و از نظر فيزيكي نيز واقع گرا باشند. مهم ترين ويژگي ديگر يك مدل پيش‌بيني مناسب اينست كه از يك روند تكرار پذير برخوردار بوده و امكان به روز كردن آن بر پايه فراهم شدن داده‌هاي جديد وجود داشته باشد. با توجه به كاربرد مدل‌هاي سري زماني در اين بررسي مي‌توان اذعان كرد كه مدل‌هاي استوكاستيك توسعه يافته ويژگي‌هاي يادشده را دارا بوده و همان‌گونه كه‌هايپل (۱۹۹۳) نشان داده است از اصول و بنيان علمي‌گسترش يافته‌اي برخوردار مي‌باشند. از برتري هاي ديگر اين مدل‌ها اينست كه تنها همبستگي داده‌هاي گذشته الگويي براي توليد داده در آينده مي‌باشد و متغير ديگري مورد بهره‌گيري قرار نمي‌گيرد.

در اين بررسي عملكرد مدل‌هاي سري زماني آريما، دارما و توماس-فيرينگ در پيش‌بيني دبي ماهانه بر پايه معيارهاي خطا مورد مقايسه قرار گرفته‌اند. در بيشتر موارد مدل آريما به عنوان مناسب‌ترين مدل از دقت بالاتري در پيش‌بيني برخوردار بوده است. در تعدادي از ايستگاه‌هاي هيدرومتري نيز مدل دارما به عنوان بهترين مدل شناخته شده است. بر اين پايه بررسي و مقايسه مدل‌هاي مذكور در بررسي ها آينده به منظور پيش‌بيني دبي پيشنهاد مي‌شود. اين بررسي ضعف مدل توماس-فيرينگ نسبت به دو مدل ديگر و عدم كفايت نسبي مدل يادشده را نسبت به ديگر روش‌ها نشان مي‌دهد. نواكس و همكاران در سال ۱۹۸۵ در مقايسه‌اي بين تعدادي از مدل‌هاي سري زماني نشان داده‌اند كه مدل‌هاي آريما و دارما از قابليت به نسبت يكساني برخوردار بوده‌اند. احمد و همكاران در سال ۲۰۰۱ در پژوهشي مشابه هر سه مدل آريما، دارما و توماس-فيرينگ را به منظور پيش‌بيني عامل هاي كيفي جريان بكار برده‌اند كه آن پژوهش برتري مدل دارما را نشان داده است.

با توجه به اشكال (٦) تا (٨) بيشترين اختلاف بين ميزان مشاهده شده و پيش‌بيني شده توسط مدل‌هاي سري زماني در ابتداي فصل بهار ديده مي‌شود. با توجه به‌اينكه حوزه كرخه به عنوان يك حوزه كوهستاني و مرتفع مي‌باشد، علت اين امر را مي‌توان چنين تحليل كرد كه در آغاز فصل بهار به دليل همزماني بارندگي‌هاي بهاره و ذوب ذخائر برفي حوزه روند پيچيده‌اي در توليد رواناب در حوزه ديده مي‌شود. به طوركلي بارندگي در فصل بهار به دو صورت نقش ايفا مي‌كند. در شرائطي كه سطح برف قابليت جذب باران را داشته باشد، بارندگي در سطوح پوشيده از برف در توده برف جذب مي‌شود. بارندگي جذب شده در توده برف در اثر تغيير سريع دما به همراه رواناب حاصل از ذوب توده برف از حوزه خارج مي‌شود. در برخي موارد بروز بارندگي گرم در سطوح پوشيده از برف در حوزه، ذوب سريع ذخائر برفي در حوزه را موجب مي‌شود. بنابر اين به دليل وجود شرائط متغير يادشده پيش‌بيني دبي در آغاز فصل ذوب برف از بيشترين خطا برخوردار است. خطاي پيش‌بيني در فصل بهار با كاربرد مدل توماس-فيرينگ به طوركلي به صورت برآورد بيش از ميزان مشاهداتي بوده در حاليكه مدل‌هاي آريما و دارما بيشتر تمايل به برآورد كمتر از مقادير واقعي نشان مي‌دهند. از سوي ديگر با كاهش احتمال رخداد بارندگي درپايان بهار و در طول فصل تابستان، ميزان مشاهداتي به ميزان قابل توجهي به مقادير دبي در ماه‌هاي قبل بستگي داشته و اثر ديگر عامل هاي هيدرواقليم در بروز رواناب كاهش مي‌يابد. در اين مقطع بيشترين دقت در پيش‌بيني دبي با توجه به اشكال (٦) تا (٨) مشاهده مي‌گردد. البته بروز بارندگي‌هاي تابستانه و غير معمول را مي‌توان مهم ترين منشاء خطا در برآورد رواناب در اواخر بهار و در طول فصل تابستان با بهره‌گيري از روش‌هاي سري زماني دانست.

منابع

۱- ابريشم چي، ا.، م. تجريشي و ب. چهره نگار (۱۳۸٤)، مدل‌هاي استوكاستيك منطقه‌اي جريان سالانه حوزه‌هاي آبريز غرب ايران، تحقيقات منابع آب ايران، سال يكم، شماره ۱، ۵۷-٤۸.

۲- رحيم زاده، ف. (۱۳۷۲)، تجزيه و تحليل سري زماني فشار در ايستگاه تهران – مهرآباد، مجله نيوار، سازمان هواشناسي كشور، شماره ۲۰-۱۷.

۳- عساكره، ح. و م. خردمندنيا (۱۳۸۱)، مدل سازي SARIMA براي متوسط درجه حرارت ماهانه (بررسي موردي الگوسازي متوسط درجه حرارت ماهانه جاسك)، مجله نيوار، سازمان هواشناسي كشور، شماره ٤٤: ٥٤-٤۱.

٤- قنبرپور، م.ر. (۱۳۸٦)بررسي الگوهاي استوكاستيك رواناب در مقياس هاي زماني و مكاني مختلف در برخي حوضه هاي آبريز جنوب غرب ايران، تحقيقات منابع آب ايزان، سال سوم، شماره ۱، ٤٤-۳٦.

۵- نيرومند، ح. (۱۳۷٦)، تحليل سري‌هاي زماني، روش‌هاي يك متغيري و چند متغيري (ترجمه). انتشارات دانشگاه فردوسي مشهد، شماره ۲۲۸، ٥٨٦ صفحه.

6- Ahmad S., I.H. Khan and B.P. Parida, (2001) Performance of stochastic approaches for forecasting river water quality. Water Research, Vol. 35, No. 18, pp. 4261-4266.

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

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

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

10- Clarke R.T. (1984) Mathematical Models in Hydrology. FAO, United Nation, Rome.

11- 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, 25-45.

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

13- Noakes, D.J., A. Ian Mcleod, and K.W. Hipel, (1985) Forecasting monthly riverflow time series, International Journal of Forecasting, (1), pp. 179-190.

14- McCuen, R.H., (1998) Hydrologic analysis and design. Second edition.

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

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

17- Tangborn, W. V., and L. A. Rasmussen (1976). Hydrology of the North Cascades Region, Washington: 2. A Proposed Hydrometeorological Streamflow Prediction Method. Water Resources Research, Vol. 12, No. 2, pp. 203-216.

18- US Army Corps of Engineers, (1956). Snow Hydrology. US Army Corps of Engineers, North Pacific Division, Portland, Oregon, 437 pp.

19- Wei, W. (1990). “Time Series Analysis: Univariate and Multivariate Methods” Addison-Wesley, Masachusetts.

Evaluation of monthly discharge forecasting models based on time series analysis (Case study: Karkheh basin)

M. R. Ghanbarpour*[1], M. Amiri[2] and Sh. Gholami[3]
[1] Assistant prof., Faculty of Natural Resources, University of Agricultural and Natural Resources of Sari, I. R. Iran
[2] M.Sc Graduate, Faculty of Natural Resources, University of Agricultural and Natural Resources of Sari, I. R. Iran
[3] Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Tehran, I. R. Iran
(Received 29 November 2005, Accepted 17 November 2007)

Abstract

The accurate prediction of discharge can be considered as a key aspect in an efficient water resources planning and management. As demands for additional water continue to increase, the need for efficient water resources management is evident more than before, especially in arid and semi arid regions. Thus developing of reliable river flow forecasting methods for on time operational water resources management becomes increasingly important. In this research Karkheh basin and some of its sub basins in southwest of Iran were selected as a case study, with respect to the importance of its high water supplies potential. In this paper stochastic time series analysis method was used to develop some river flow forecasting models. In this paper autoregressive integrated moving average (ARIMA), deseasonalized autoregressive moving average (DARMA) and Thomas-Fiering (TF) models were used, in addition to description of time series analysis procedure. The models were developed in five sub basins of Karkheh basin and their forecasting performance were compared based on mean absolute error and root mean square error of forecasting. The results have shown that ARIMA and DARMA models have more accurate result respectively. On the other hand, TF model has more error of forecasting and less accurate forecasting performance than two other models in the study area.

Keywords: Monthly discharge, Stochastic process, Time series, Karkheh basin

* Corresponding author: Tel: +98 912 2242892 , Fax: +98 151 4222982 , E-mail: m_ghanbarpour@yahoo.com