

تحلیل و پیش‌بینی نوسانات تراز آب دریای خزر با استفاده از مدل‌های استوکستیک سری زمانی

مسعود دهباشی^۱، سید علی آزرمتسا^{۲*} مهدی وفاخواه^۳

^۱ کارشناس ارشد فیزیک دریا، دانشکده علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس؛ masood.dehbashi@gmail.com

^۲ دانشیار گروه فیزیک دریا، دانشکده علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس؛ azarmsaa@modares.ac.ir

^۳ دانشیار گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس؛ vafakhah@modares.ac.ir

چکیده

اطلاعات مقاله

پیش‌بینی نوسانات تراز آب دریا ابزاری بسیار کارآمد به منظور مدیریت جامع دریا و حفاظت مناطق ساحلی است. از سوی دیگر استفاده از مفاهیم حاکم بر سری‌های زمانی در پیش‌بینی بسیار مناسب ارزیابی گردیده است. لذا در تحقیق حاضر، داده‌های اندازه‌گیری شده ماهانه تراز آب دریای خزر در دو ایستگاه ترازسنجی بندر انزلی و بندر نوشهر به ترتیب به مدت ۴۰ سال و ۱۴ سال در سواحل خزر جنوبی مورد استفاده قرار گرفت. وجود یا عدم وجود روند و بزرگی آن در داده‌ها با استفاده از آزمون ناپارامتری من-کندال بررسی شد. در گام بعدی، روش‌های مختلف پیش‌بینی و مدل‌سازی سری‌های زمانی شامل «خود همبسته با میانگین متحرک تفاضلی» و «آریمای مکرر» بر داده‌ها برازش داده شد. در ادامه، توانایی و دقت هر روش در پیش‌بینی مقادیر آتی تراز دریا توسط معیار اطلاعاتی آکاییکه ارزیابی شده و برای تعیین بهترین مدل سری زمانی مورد بررسی قرار داده شد. نتایج پیش‌بینی در مدل‌های نهایی نشان می‌دهد عملکرد روش آریمای مکرر بر پایه تجزیه و تحلیل سری‌های زمانی، در برآورد و شبیه‌سازی رفتار استوکستیک تراز دریای خزر قابل قبول می‌باشد. ضمن آنکه طول دوره پیش‌بینی در مدل‌ها نسبت به تحقیقات گذشته افزایش قابل ملاحظه‌ای داشته است.

ناریخچه مقاله:

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۰۵/۰۵

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۰۴/۰۸

کلمات کلیدی:

تراز آب

سری‌های زمانی

دریای خزر

مدل ARIMA

آزمون من-کندال

Water Level Fluctuation Analysis and Forecast in the Caspian Sea Using Stochastic Time Series models

Masoud Dehbashi¹, Seyed Ali Azarmsa^{2*}, Mehdi Vafakhah³

¹ M.Sc. in Physical Oceanography, Faculty of Marine Sciences, Tarbiat Modares University; masood.dehbashi@gmail.com

² Associate Professor, Physical Oceanography Dep., Tarbiat Modares University; azarmsaa@modares.ac.ir

³ Associate Professor, Watershed Management Engineering Dep., Tarbiat Modares University; vafakhah@modares.ac.ir

ARTICLE INFO

Article History:

Received: 26 Jul.2016

Accepted: 29 Jun.2017

Keywords:

Sea Level

Time Series

Caspian Sea

ARIMA model

Mann-Kendall Test

ABSTRACT

Forecasting of sea level fluctuations is a suitable tool for comprehensive management of the sea and the protection of coastal areas. On the other hand, application of time series analysis for forecasting purposes has been evaluated to be very appropriate. Therefore, two time series consisting monthly measured sea level data were used in the present research. The data have been recorded at two stations of Anzali and Noushahr in the southern part of the Caspian sea for time lengths of 40 and 14 years, respectively. The nonparametric Mann-Kendall test was employed to determine if measurements exhibit an increasing or decreasing trend. In the next step, different methods of forecasting and modeling of time series including Auto Regressive Integrated Moving Average and Multiplicative ARIMA method were fitted to the data. Then, Akaike Information Criterion was applied to assess the ability and accuracy of fitted methods in forecasting of sea level in future months and to determine the best time series model. The results of forecasting in the final models reveal that the performance of the Multiplicative ARIMA method based on time series analysis, to estimate and simulate the stochastic behavior of the Caspian sea level is acceptable. Meanwhile, the length of the forecast period in the models has increased significantly in comparison with previous researches.

۱- مقدمه

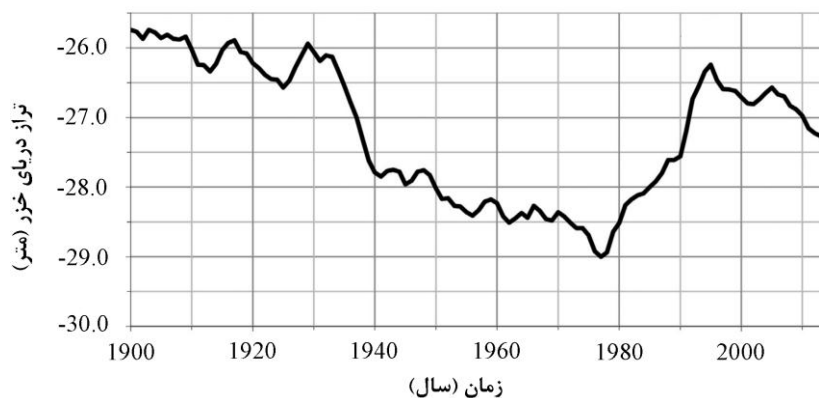
دریای خزر به عنوان بزرگترین بدنه آبی بسته در دنیا، دریاچه‌ای با تراز هیدرولوژیکی حساس و نوسانات دوره‌ای است [۱]. تراز کنونی آن بین ۲۶- و ۲۷- متر براساس سطح دریای بالتیک می‌باشد اما به لحاظ تاریخی در حدود ۳ متر افت و خیز را در طول قرن بیستم تجربه کرده است (شکل ۱) در حالیکه در همین دوره زمانی، تراز جهانی اقیانوس‌ها در حدود ۲ میلی‌متر در سال نوسان داشته است [۲]. تراز خزر بین سال‌های ۱۹۳۰ تا ۱۹۷۷ به طور ناگهانی بیش از ۳ متر کاهش پیدا می‌کند و به پایین‌ترین سطح خود طی ۴۰۰ سال اخیر، یعنی ۲۹- متر می‌رسد [۳] که بر اثر آن زمین‌های زیادی از سیطره آب خارج شده و زمینه برای پیشروی و توسعه بیشتر فعالیت‌های اقتصادی و اجتماعی و استحداث اراضی در جهت رو به دریای مناطق ساحلی فراهم می‌شود. با افزایش غیرمنتظره تراز دریا از سال ۱۹۷۷ تا ۱۹۹۵ به میزان ۲/۵ متر، این فرآیند معکوس شده و تراز دریا به حدود ۲۶/۵- متر می‌رسد [۴]. در نتیجه این امر بر زمین‌های ساحلی و تاسیسات شهری، بندری و صنعتی که بواسطه کاهش قبلی تراز و عقب نشینی دریا، در حریم ساحل توسعه یافته بودند، عواقب فاجعه باری تحمیل گردید که از جمله می‌توان به تخریب سازه‌های مهندسی (جاده‌ها، منازل مسکونی، تجاری، اداری، خطوط لوله نفت و ...) و به زیر آب رفتن زمین‌های مزروعی و تهدید تعداد زیادی از شهرهای ساحلی، به خصوص از نظر تصفیه فاضلاب شهر و بالآمدگی سفره آب زیرزمینی اشاره کرد [۵،۶]. در نهایت از سال ۱۹۹۶ تراز خزر سیر پسروری خود را شروع کرده است.

در مجموع تغییرات تراز آب دریای خزر در طول قرن گذشته گویای آن است که نوسانات سطح تراز آن در بازه زمانی خیلی کوتاه‌تری (۱۰۰ بار سریع‌تر) نسبت به اقیانوس‌های دنیا اتفاق می‌افتد [۷] و چنین تغییرپذیری بالا و سریعی در تراز، اثرات عظیم اقتصادی، اجتماعی، سیاسی و زیست‌محیطی بر کشورهای اطراف آن دارد [۸]. لذا به منظور کنترل آثار تخریبی نوسانات تراز دریا و توسعه

پایدار ساحلی ضرورت دارد که ضمن بررسی و دیدبانی تغییرات تراز آب، پیش‌بینی و تخمینی مناسب نسبت به آینده تحولات آن وجود داشته باشد. ضمن آنکه مدل‌سازی رفتار نوسانات سطح تراز دریا در طرح‌ریزی‌های مهندسی نظیر طراحی سازه‌های هیدرولیکی در امتداد سواحل دریاچه ضروری است [۹].

پیش‌بینی دراز مدت تراز دریای خزر تاکنون با رویکردهای مختلفی انجام گرفته است. در بسیاری از تحقیقات، نوسانات تراز خزر از برآورد اجزای تشکیل دهنده بیان آب (نظیر رواناب رودخانه‌ای، بارش و تبخیر) تحت سناریوها و مدل‌های مختلف آب و هوایی و گرمایش جهانی صورت پذیرفته است (مانند [۷، ۱۰، ۱۱، ۱۲]). با این حال اگرچه شبیه‌سازی نوسانات تراز آب با به‌کارگیری متغیرهای هیدرولوژیکی و آب و هواشناسی امکان‌پذیر است اما ساخت مدل با دقت مناسب و عدم قطعیت کم براساس سری زمانی^۱ داده‌های گذشته تراز، به‌جای مدلی با ورودی‌های زیاد برای مدیران و تصمیم‌گیرندگان حوزه آب ترجیح اقتصادی دارد [۱۳]. به دنبال کاربرد تجزیه و تحلیل سری‌های زمانی در هیدرولوژی و توسعه مدل‌های سری زمانی در دهه ۷۰ توسط باکس و جنکینز^۲ (۱۹۷۶) این امر محقق شده است. تحلیل سری‌های زمانی معمولاً دو هدف را دنبال می‌کنند، ابتدا درک یا مدل کردن مکانیسم تصادفی که منجر به مشاهده سری می‌شود و دوم پیش‌بینی مقادیر آینده سری که بر مبنای گذشته آن صورت می‌گیرد. در واقع مدل سری زمانی براساس داده‌های گذشته، سری مصنوعی و استوکستیک می‌کند که ممکن است در آینده رخ دهد را تولید می‌کند [۱۴].

در این میان، خودهمبسته میانگین متحرک تلفیق شده^۳ (ARIMA) یکی از مدل‌های خطی محبوب در پیش‌بینی سری‌های زمانی در طول چند دهه گذشته بوده است [۱۵]. در سال‌های اخیر مدل‌سازی سری‌های زمانی فرآیندهای هیدرولوژیکی به طور گسترده‌ای در طراحی و مدیریت منابع آبی بکار گرفته می‌شوند [۱۴]. با این حال استفاده از این روش در مطالعات مربوط به تراز



شکل ۱ - نمودار سری زمانی تراز متوسط سالانه دریای خزر (برحسب تراز دریای بالتیک) در دوره آماری ۱۹۰۰ تا ۲۰۱۴ میلادی [۲]

پیش‌بینی نحوه و میزان تغییرات آبی تراز آب داشته باشد، ساخته و ارائه شود. به این منظور از آزمون‌های آماری و تحلیل‌های سری زمانی استفاده شده و کارائی و دقت روش‌های مختلف پیش‌بینی و مدل‌سازی در سری‌های زمانی مورد بررسی و نتیجه‌گیری قرار می‌گیرد.

۲- مواد و روش

حوزه مورد مطالعه در این پژوهش دریای خزر و داده‌های مورد استفاده از دو ایستگاه مهم ترازسنجی منطقه واقع در بندر انزلی و بندر نوشهر استخراج شده است. داده‌های مذکور به ترتیب شامل آرشو ۴۰ ساله تراز ماهانه از سال‌های ۱۹۷۵ الی ۲۰۱۴ میلادی و آرشو ۱۴ ساله از سال‌های ۲۰۰۱ الی ۲۰۱۴ میلادی از مرکز ملی مطالعات و تحقیقات دریای خزر^۷ اخذ و مورد بازبینی قرار گرفت. جدول (۱) مشخصات این ایستگاه‌ها را نشان می‌دهد.

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌ها و داده‌های مورد مطالعه

ایستگاه	طول	عرض	دوره سری زمانی	دیتوم (متر)
نوشهر	۵۱° ۵۰'	۳۶° ۶۵'	۲۰۰۱-۲۰۱۴	-۲۶/۱۸۷
انزلی	۴۹° ۴۶'	۳۷° ۴۷'	۱۹۷۵-۲۰۱۴	-۲۶/۰۷۵

در اغلب روش‌های تخمین پارامترهای آماری فرض بر این است که سری زمانی مورد مطالعه از توزیع نرمال پیروی می‌کند اما در اغلب مسایل واقعی این فرض صادق نیست [۲۵]. بنابراین لازم است سری‌های زمانی قبل از مدل‌سازی نرمال شوند از این رو در گام نخست داده‌های تراز از حیث نرمال بودن، با توجه به حجم بالای نمونه‌ها توسط آزمون آماری کلموگروف اسمیرنوف^۸ در محیط نرم‌افزار SPSS مورد بررسی و تحلیل قرار داده شدند. در گام بعدی از مجموع ۴۰ سال داده موجود ایستگاه انزلی ۱۲ سال انتهایی (۱۴۴ ماه داده) جهت ارزیابی مدل کنار گذاشته شد و ۲۸ سال باقیمانده (۳۳۶ ماه داده) وارد مرحله آموزش و مدل‌سازی گردید. به همین ترتیب از مجموع ۱۴ سال داده ایستگاه نوشهر، ۴ سال (۴۸ ماه داده) برای اعتبارسنجی مدل و ۱۰ سال (۱۲۰ ماه داده) جهت آموزش مدل در نظر گرفته شد.

قبل از وارد شدن به مرحله مدل‌سازی، سری‌های زمانی به منظور ارزیابی وجود یا عدم وجود روند^۹ بوسیله آزمون ناپارامتری من-کندال^{۱۰} بررسی شدند. این آزمون که ابتدا توسط من (۱۹۴۵) ارائه و سپس توسط کندال (۱۹۷۵) توسعه یافت، جزو متداول‌ترین روش‌های ناپارامتریک تحلیل روند سری‌های زمانی به‌شمار می‌رود. استفاده از این روش به دو دلیل توصیه می‌شود: (۱) قابل کاربرد برای انواع داده‌های غیر نرمال، ناقص و فصلی است. (۲) دارای بیشترین توانایی ذاتی در تحلیل داده‌ها می‌باشد [۲۶]. همچنین این آزمون نسبت به دیگر آزمون‌های روند برای تعیین روند

خزر و بررسی نوسانات سطح آن در یک بازه زمانی بزرگ، کمتر مورد توجه قرار گرفته است. به عنوان نمونه می‌توان به موارد ذیل اشاره کرد.

وزیری [۸] جزء اولین افرادی بود که با بکارگیری مدل‌های مختلف آریمای ولیکن صرفاً با استفاده از داده‌های ترازسنجی یک ایستگاه (ایستگاه انزلی) به بررسی و پیش‌بینی میانگین نوسانات تراز ماهانه سطح آب دریای خزر در یک دوره هفت ساله (از ژوئن ۱۹۸۶ تا دسامبر ۱۹۹۳) همت گمارد. نتایج بررسی وی نشان داد که پیش‌بینی‌های انجام شده توسط این مدل در مقایسه با ترازهای ثبت شده در ایستگاه‌ها از تطابق معقول و مطلوبی برخوردار است و بنابراین روش مذکور، ابزار مناسبی برای پیش‌بینی کوتاه‌مدت تراز آب می‌باشد. ایمانی و همکاران [۱۶] براساس داده‌های ۱۵ ساله (۲۰۰۸ - ۱۹۹۳) ماهواره‌های تاپکس^۴ و جیسون-۱ و به کمک مدل آریمای موفقیت به تجزیه و تحلیل و پیش‌بینی الگوی آنومالی تراز دریای خزر پرداختند. آنها نشان دادند که مدل $ARIMA(1,1,0)(0,1,1)$ نمایانگر یک مدل منطقی و مطلوب جهت توصیف و پیش‌بینی کوتاه‌مدت الگوی ناهنجاری‌های تراز آب در دریای خزر است. مشایخ و همکاران [۱۷] با استفاده از داده‌های حداکثر ۱۰ ساله تراز آب و با بکارگیری مدل‌های AR^5 و $ARMA^6$ نوسانات تراز سواحل خزر جنوبی را مورد تحلیل قرار دادند. عزیزپور [۱۸] با سری‌های زمانی حاصل از داده‌های ارتفاع‌سنجی ماهواره‌ای (از سال ۱۹۹۲ تا ۲۰۰۷) نوسانات سالیانه و کوتاه‌مدت تراز خزر را بررسی و پیش‌بینی کرد. در سایر حوزه‌های آبی، پتاسیا و همکاران [۱۹] برای پیش‌بینی پدیده آبی بسیار خطرناک «آلتا» در ونیز ایتالیا که منجر به جاری شدن سیل شدید در اثر افزایش سطح تراز دریا می‌شود، از مدل آریمای غیرخطی استفاده کردند. نتایج آنها بطور رضایت‌بخشی نشان داد روش استفاده شده می‌تواند یک ابزار خوب برای پیش‌بینی و اهداف هشداردهی باشد. دومینیکو و همکاران [۲۰] با استفاده از داده‌های ترازسنجی و مدل آریمای سال‌های ۱۹۹۲ تا ۲۰۰۱ به پیش‌بینی و مدل‌سازی تراز دریا در جزایر کوکوس (سواحل کاستاریکا در آمریکای مرکزی) پرداختند. نیدیلزکی و کوزک [۲۱] از مدل‌های آریمای برای آنالیز و برآورد سطح دریا استفاده کردند، نتایج آنها نشان داد مدل آریمای از دقت بالایی برای مدل کردن نوسانات تراز دریا برخوردار است. از دیگر مطالعات در این زمینه می‌توان به کازانو و همکاران [۲۲]، مارکوس و همکاران [۲۳]، اوکویه و ایگیونگو [۲۴] اشاره کرد.

در این تحقیق، با استفاده از داده‌های ماهانه تراز آب که در یک دوره درازمدت ۴۰ و ۱۴ ساله منتهی به سال میلادی ۲۰۱۴ و به ترتیب در دو ایستگاه بندر انزلی و نوشهر ثبت شده‌اند، الگوی نوسانات تراز آب دریای خزر مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته و تلاش می‌شود تا مدل مناسبی که توانائی و دقت قابل قبولی در

مدل در قلمرو زمان می‌باشد [۲۹]. ضریب خود همبستگی براساس تابع اتوکوواریانس بین زوج $(x_t + x_{t+k})$ به صورت رابطه (۱) محاسبه می‌شود که در آن C_k ضریب اتوکوواریانس در تاخیر k و C_0 ضریب اتوکوواریانس در تاخیر صفر می‌باشد [۳۰]:

$$C_k = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (x_t - \bar{x})(x_{t+k} - x_t) \quad (1)$$

$$C_0 = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (x_t - \bar{x})^2 \Rightarrow r_k = \frac{C_k}{C_0}$$

از ترسیم مقادیر r_k در مقابل تاخیر k ، نمودار همبستگی نگار^{۱۲} حاصل می‌شود که این نمودار برای تعبیر و تفسیر مجموعه ضرایب خودهمبستگی داده‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد.

با در نظر گرفتن رفتار توابع خودهمبستگی (ACF) و تابع خودهمبستگی جزئی (PACF) در سری‌های ایستا و با بررسی نمودارهای آنها می‌توان برای تعیین مرتبه p مدل خودهمبسته از PACF و برای تعیین q در مدل میانگین متحرک از ACF استفاده کرد. شکل‌های (۲) تا (۵) نمودارهای خودهمبستگی و خودهمبستگی جزئی را در ایستگاه نوشهر و انزلی نشان می‌دهد.

پس از انجام مراحل ذکر شده بروی داده‌های تراز هر دو ایستگاه و با توجه به مرتبه‌های تعیین شده برای ضرایب مختلف مدل باکس و جنکینز در نهایت مدل‌های مختلف و محتمل آریما با ضرایب مختلف خودهمبسته و میانگین متحرک در محیط نرم‌افزار STATISTICA بر داده‌های سری زمانی تراز ایستگاه‌ها برازش گردید. در انتها برای مقایسه مدل‌های مذکور و انتخاب مدل مناسب برای پیش‌بینی مقادیر آینده سری زمانی از معیار اطلاعاتی آکاییکه^{۱۳} استفاده گردید که در مقایسه میان مدل‌های مختلف، مدل دارای حداقل مقدار در معیار ذکر شده و با پارامتر کمتر، ارجح‌تر می‌باشد. معادله مربوطه و پارامترهای آن در رابطه (۲) بیان گردیده است:

$$AIC = 2k + n[Ln(M.S)] \quad (2)$$

که در آن n تعداد اطلاعات سری زمانی، k مجموع تعداد پارامترهای بخش فصلی و غیرفصلی مدل، $M.S$ متوسط مربع خطای باقیمانده‌ها^{۱۴} می‌باشد.

مدلی که AIC کمتری داشته باشد بعنوان مدل برتر انتخاب می‌شود. همچنین برای آنکه یک مدل پیش‌بینی خوب باشد می‌بایست کفایت آن با بررسی سری زمانی باقیمانده‌های حاصل از مدل، کنترل شود، در واقع وقتی یک مدل مناسب است، انتظار داریم که باقیمانده‌های حاصل مستقل از یکدیگر باشند (فاقد همبستگی باشند) و نیز توزیع نرمال داشته باشند [۳۱]. آزمودن فرضیات فوق که اغلب به نام کنترل تشخیصی^{۱۵} شناخته می‌شود یک مرحله مهم و ضروری در ساخت مدل‌های آریما است [۱۶].

سری‌های زمانی هیدرولوژیک مناسب‌تر می‌باشد [۲۷]. فرض صفر این آزمون بر تصادفی بودن و عدم وجود روند در سری داده‌ها دلالت دارد و پذیرش فرض یک (رد فرض صفر) دال بر وجود روند در سری داده‌ها می‌باشد. بدین ترتیب ابتدا داده‌های تراز هر ایستگاه در سال‌های مختلف از قدیم به جدید پشت سرهم مرتب گردید و سپس با استفاده از آزمون من-کندال وجود روند کلی سالانه و ماهانه در داده‌های تراز هر یک از ایستگاه‌ها به طور جداگانه مورد ارزیابی قرار گرفت.

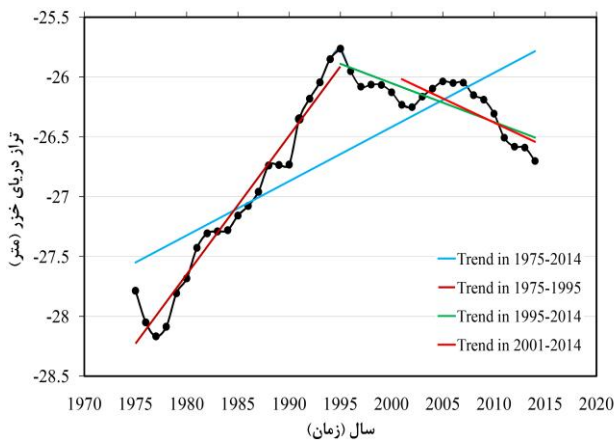
روش سری‌های زمانی روشی احتمالاتی است که الگوی زمانی یک متغیر را به منظور پیش‌بینی مقادیر آینده آن سری زمانی تعمیم می‌دهد [۲۸]. با توجه به توانایی‌های فنون سری زمانی، در این پژوهش سعی بر آن است تا با استفاده از داده‌های سری زمانی ایستگاه‌های ترازسنجی و مدل‌های باکس و جنکینز، وضعیت نوسانات تراز سطح آب در دریای خزر پیش‌بینی و کاربرد مدل‌های سری زمانی در مطالعات نوسانات تراز مورد بررسی قرار گیرد.

بطور کلی مولفه‌های سری‌های هیدرولوژی و هیدروژئولوژی به دو بخش تقسیم می‌شوند، بخشی از تغییرات سری زمانی مربوط به تغییرات فصلی بوده (بخش فصلی) و بخش دیگر که به تغییرات بین فصول برمی‌گردد (بخش غیرفصلی). در تحلیل سری‌های زمانی به نوسانات فصلی، غیر فصلی و تصادفی؛ مولفه‌های سری زمانی گویند. مدل‌سازی با استفاده از تحلیل سری‌های زمانی با چند روش انجام می‌شود که روش مورد مطالعه در این تحقیق مدل آریمای مکتب^{۱۱} (ساریما) به فرم کلی $ARIMA(p,d,q)(P,D,Q)_w$ طبق روش باکس و جنکینز می‌باشد. در این مدل به ترتیب ضرایب p و q مرتبه غیرفصلی و P و D مرتبه فصلی فرآیندهای خودهمبسته و میانگین متحرک می‌باشند. همچنین با توجه به وجود روند و تناوب در سری‌های زمانی تراز دریا و لزوم حذف این دو عامل برای ایستا شدن سری زمانی، ضرایب d و D (به ترتیب درجه تفاضل‌گیری غیرفصلی و فصلی) در مدل قرار دارند که اغلب این ضرایب از مقدار یک تجاوز نمی‌کنند.

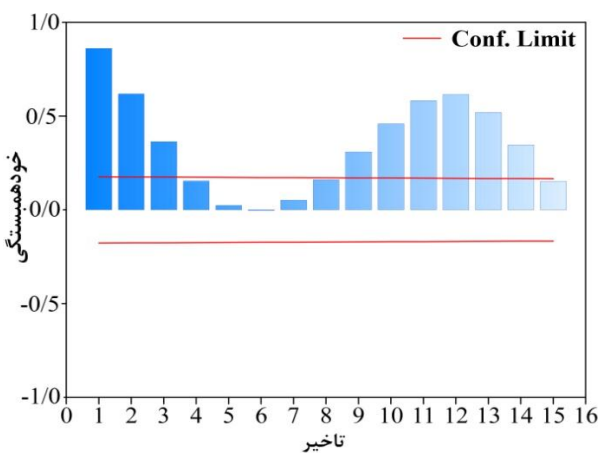
برای یافتن یک الگوی مناسب و مدل‌بندی یک سری زمانی، باکس و جنکینز یک استراتژی سه مرحله‌ای را ارائه می‌دهند که شامل؛ ۱- تشخیص مدل ۲- برازش مدل ۳- صحت‌سنجی و پیش‌بینی می‌باشد و تنها پس از طی این مراحل می‌توان گفت که مدل نهایی، صلاحیت پیش‌بینی سری‌زمانی را برای آینده دارد.

در مرحله تشخیص مدل، شناسایی مولفه‌های یک سری از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. بنابراین، در گام نخست باید با استفاده از روش‌های خودهمبستگی، مولفه‌های سری زمانی شناسایی شوند تا براساس وجود یا عدم وجود آنها، مدل قابل استفاده تعیین گردد. توابع خودهمبستگی ACF و خودهمبستگی جزئی PACF ابزار مفیدی برای تشخیص وابستگی مولفه‌های سری و تعیین ضرایب

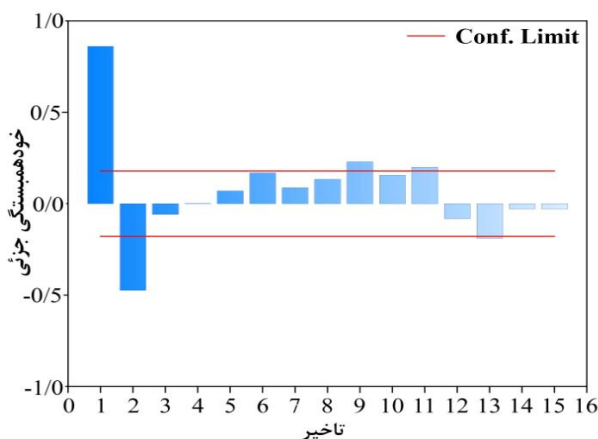
در نظر گرفته شد. به روش مشابه، عملیات فوق برای ایستگاه انزلی نیز تکرار شد. برای در نظر گرفتن اثر تناوب فصلی در مدل‌ها، مقدار پارامتر w نیز در هر دو ایستگاه برابر با ۱۲ در نظر گرفته شد.



شکل ۲- نمودار سری زمانی تراز متوسط سالانه دریای خزر (بر مبنای فاو) در ایستگاه انزلی و در دوره آماری ۱۹۷۵ تا ۲۰۱۴ میلادی (منحنی خط و نقطه سیاه) به همراه روندهای منتخب.



شکل ۳- نمودار خودهمبستگی تراز نوشهر



شکل ۴- نمودار خودهمبستگی جزئی تراز نوشهر

بدین منظور از روش‌های گرافیکی از جمله بررسی نمودارهای ACF و PACF سری باقیمانده^{۱۶} مدل و نمودار نرمال احتمال باقیمانده^{۱۷} در هر ایستگاه استفاده شد.

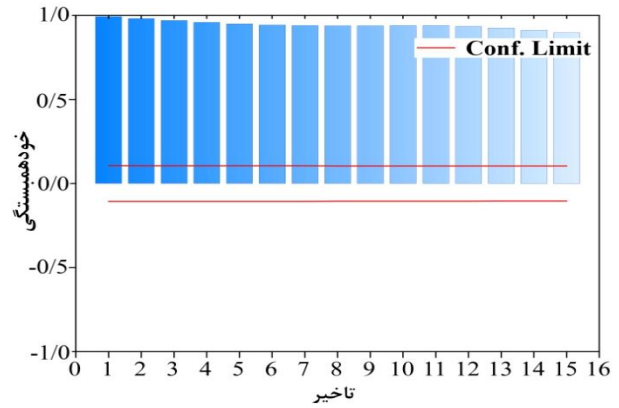
۳- نتایج و بحث

آزمون آماری کلموگروف اسمیرنوف در محیط نرم‌افزار SPSS نشان داد در تراز ایستگاه نوشهر و سطح خطای ۵ درصد، آماره آزمون (مقدار Sig) در داده‌ها برابر با $0/2 = \text{Sig}$ است لذا از مقدار $0/05$ بزرگتر می‌باشد که این نشان از نرمال بودن داده‌ها است. نتیجه آزمون فوق بر داده‌های ایستگاه انزلی مقدار $0 = \text{Sig}$ نشان داد از این رو جهت نرمال کردن داده‌ها در این ایستگاه با تبدیل لگاریتمی و تبدیل کاکس-باکس سعی در نرمال کردن داده‌ها شد و در نهایت با نتیجه نگرفتن از تبدیلات فوق، داده‌ها در این ایستگاه با همان شکل اولیه خود وارد مرحله مدل‌سازی گردید.

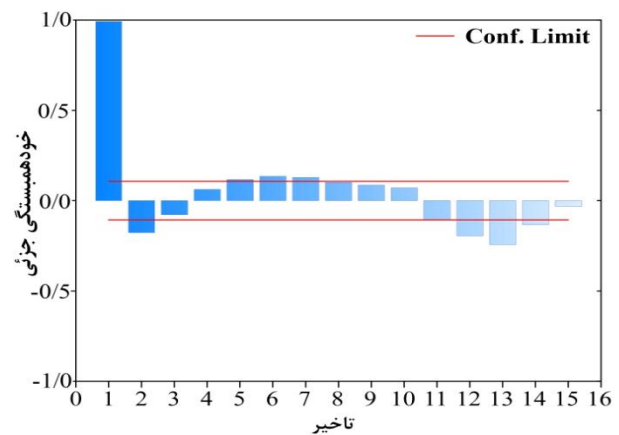
قبل از وارد شدن به مرحله مدل‌سازی، سری‌های زمانی به منظور ارزیابی وجود یا عدم وجود روند و همچنین میزان بزرگی آن بوسیله آزمون ناپارامتری من-کندال بررسی شدند. نتایج به دست آمده از آزمون فوق روند کلی سالانه به میزان $0/004$ - متر در ماه برای ایستگاه نوشهر و $0/004$ متر در ماه برای ایستگاه انزلی را در دوره‌های زمانی مربوط به هر ایستگاه نشان داد. شکل (۲) سری زمانی نوسانات تراز آب دریای خزر را در دوره آماری ۱۹۷۵ تا ۲۰۱۴ را به همراه خطوط روند مشخص شده در آن را نشان می‌دهد. شکل‌های (۳) تا (۶) نمودارهای خودهمبستگی و خودهمبستگی جزئی را در ایستگاه نوشهر و انزلی نشان می‌دهند. به عنوان نمونه، همانطور که از نمودار همبستگی نگار ایستگاه نوشهر مشخص است مقدار ACF به آرامی و به صورت سینوسی، بازه اطمینان را قطع کرده و نزول می‌کند که این نحوه نوسان به دلیل وجود روند و تناوب در سری می‌باشد. از سوی دیگر تجاوز مقادیر (r_k) از خطوط بازه اطمینان، عدم استقلال و تصادفی نبودن داده‌های سری زمانی را نشان می‌دهد. بدین ترتیب در سری زمانی تراز ایستگاه نوشهر دو مولفه نایستایی شامل روند و تناوب مشهود است، لذا برای حذف آن و ایستا کردن داده‌های سری زمانی فوق، مقدار پارامتر d و D (مرتبه تفاضل‌گیری غیرفصلی و فصلی) را برای شروع و به عنوان یک فرض اولیه، یک در نظر گرفته شد. از سوی دیگر، نمودار خودهمبستگی ایستگاه نوشهر در تاخیر اول، دوم و سوم معنادار می‌باشد لذا مقدار q (بالاترین مرتبه چندجمله‌ای میانگین متحرک) برابر ۳ می‌باشد اما برای بررسی بیشتر، مقدار آن در مدل‌ها بین ۱ تا ۳ مد نظر قرار گرفت. همچنین با توجه به معناداری نمودار خودهمبستگی جزئی در تاخیرهای اول و دوم، مقدار p (بالاترین مرتبه چندجمله‌ای خودهمبسته) برابر ۲ می‌باشد لیکن به منظور بررسی بیشتر، مقدار آن در این ایستگاه صفر تا ۲

میانگین متحرک برای ایستگاه نوشهر و ۱۰۴ مدل برای ایستگاه انزلی بر داده‌های سری زمانی تراز ایستگاه‌ها به روش سعی و خطا مورد ارزیابی و برازش گردید. در گام بعدی با مشاهده نمودارهای خروجی مدل‌ها و توانایی آنها در پیش‌بینی مقادیر داده‌های بخش آزمون، مدل‌های مناسب جدا شدند. در جدول (۲) و (۳) مدل‌های آریمای انتخاب شده در هر ایستگاه نشان داده شده است.

در نهایت با در نظر گرفتن و اعمال معیار آکاییکه بر هر کدام از این مدل‌ها، در هر ایستگاه یک مدل به عنوان مدل مطلوب انتخاب گردید. نتایج برازش مدل‌ها و مقایسه عملکرد آنها در پیش‌بینی تراز سطح آب بر پایه معیار اطلاعاتی آکاییکه (رابطه ۲) در کنار توجه به نمودارهای پیش‌بینی و خروجی مدل‌ها، نشان داد که در ایستگاه بندر نوشهر مدل $SARIMA(2,1,1)(1,0,2)_{12}$ با متوسط مربع خطای 0.00299 متر و کمترین میزان آکاییکه به مقدار $962/4969$ بهترین مدل است. نمودار پیش‌بینی سری تراز نوشهر (شکل ۸) به همراه نمودار پراکنش پیش‌بینی آن (شکل ۱۰) نیز نشان می‌دهد که مدل مذکور به خوبی توانسته است نوسانات موجود در سری تراز دریا را نزدیک به داده‌های واقعی، با همبستگی ۶۶ درصد و برای طول دوره ۴ ساله پیش‌بینی کند. به همین ترتیب در ایستگاه انزلی $SARIMA(1,1,1)(2,0,1)_{12}$ به عنوان مدل نهایی در مدل‌سازی سری زمانی تراز با متوسط مربع خطای 0.0026 متر و میزان آکاییکه $2845/0770$ انتخاب گردید. دوره پیش‌بینی برای ایستگاه انزلی ۱۲ سال و ضریب همبستگی ۶۱٪ می‌باشد (شکل ۷ و ۹).

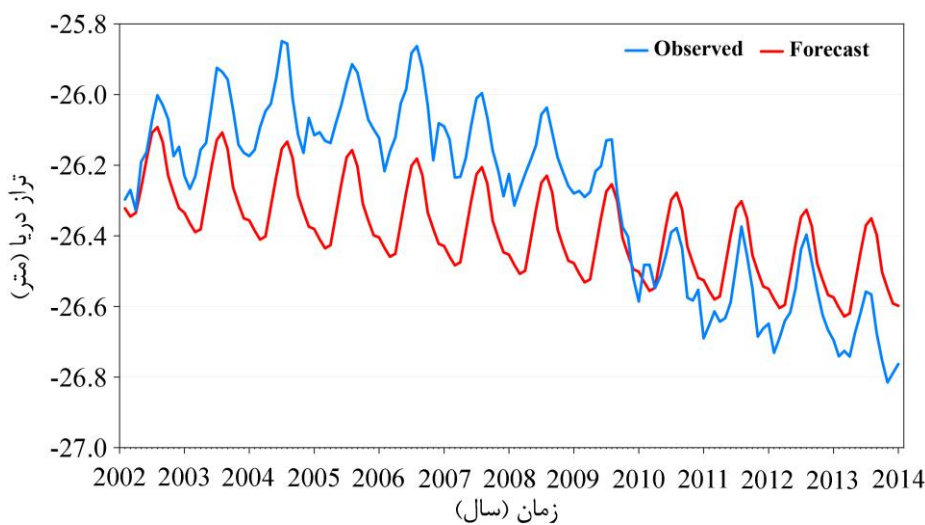


شکل ۵- نمودار خودهمبستگی تراز انزلی



شکل ۶- نمودار خودهمبستگی جزئی تراز انزلی

بدین ترتیب پس از تعیین ضرایب محتمل برای مولفه‌های مدل سری زمانی، ۴۲ مدل محتمل با ضرایب مختلف خودهمبسته و



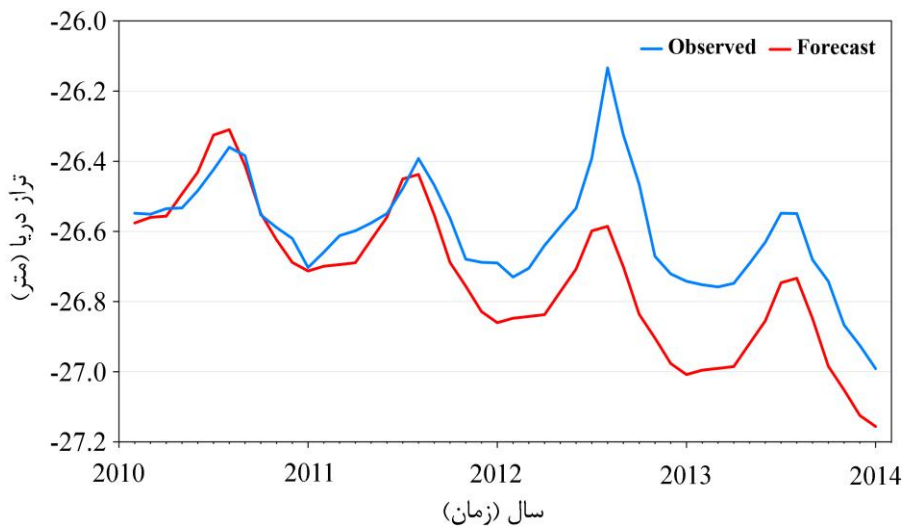
شکل ۷- مدل‌سازی سری زمانی، تراز دریای خزر در بخش آزمون، داده‌های ایستگاه انزلی، با استفاده از مدل $SARIMA(1,1,1)(2,0,1)_{12}$

جدول ۲- مدل‌های منتخب سری زمانی ایستگاه انزلی

شماره	مدل	متوسط خطای باقیمانده (متر)	معیار آکاییکه
۱	$(1,1,0)(1,0,1)_{12}$	۰/۰۰۲۴	۲۸۸۷/۴۹۷۵
۲	$(1,1,0)(1,0,2)_{12}$	۰/۰۰۲۴	۲۸۸۵/۴۹۷۵
۳	$(1,1,0)(2,0,1)_{12}$	۰/۰۰۲۵۴	۲۸۵۸/۲۸۳۷
۴	$(1,1,0)(2,0,2)_{12}$	۰/۰۰۲۴۱	۲۸۸۱/۵۰۱۶
۵	$(1,1,1)(1,0,1)_{12}$	۰/۰۰۲۴	۲۸۸۵/۴۹۷۵
۶	$(1,1,1)(1,0,2)_{12}$	۰/۰۰۲۴	۲۸۸۳/۴۹۷۵
۷	$(1,1,1)(2,0,1)_{12}$	۰/۰۰۲۶	۲۸۴۵/۰۷۷۰
۸	$(1,1,1)(2,0,2)_{12}$	۰/۰۰۲۴۲	۲۸۷۷/۵۱۴۱
۹	$(2,1,0)(1,0,1)_{12}$	۰/۰۰۲۴	۲۸۸۵/۴۹۷۵
۱۰	$(2,1,0)(1,0,2)_{12}$	۰/۰۰۲۴	۲۸۸۳/۴۹۷۵
۱۱	$(2,1,0)(2,0,1)_{12}$	۰/۰۰۲۵۴	۲۸۵۶/۲۸۳۷
۱۲	$(2,1,0)(2,0,2)_{12}$	۰/۰۰۲۴۱	۲۸۷۹/۵۰۱۶
۱۳	$(2,1,1)(1,0,1)_{12}$	۰/۰۰۲۴۱	۲۸۸۱/۵۰۱۶
۱۴	$(2,1,1)(1,0,2)_{12}$	۰/۰۰۲۵۷	۲۸۴۸/۶۴۷۷
۱۵	$(2,1,1)(2,0,1)_{12}$	۰/۰۰۲۴۱	۲۸۷۹/۵۰۱۶
۱۶	$(2,1,1)(2,0,2)_{12}$	۰/۰۰۲۴۲	۲۸۷۵/۵۱۴۱
۱۷	$(1,1,1)(1,1,1)_{12}$	۰/۰۰۲۵۱	۲۸۷۳/۹۸۶۸
۱۸	$(1,1,1)(1,1,2)_{12}$	۰/۰۰۲۶۳	۲۸۵۱/۵۷۰۲
۱۹	$(1,1,1)(2,1,1)_{12}$	۰/۰۰۲۵۸	۲۸۶۰/۷۸۳۶
۲۰	$(1,1,1)(2,1,2)_{12}$	۰/۰۰۲۵۶	۲۸۶۴/۵۱۹۰
۲۱	$(2,1,1)(1,1,1)_{12}$	۰/۰۰۲۵۱	۲۸۷۳/۹۸۶۸
۲۲	$(2,1,1)(2,1,1)_{12}$	۰/۰۰۲۵۲	۲۸۷۲/۰۷۸۲
۲۳	$(2,1,1)(2,1,2)_{12}$	۰/۰۰۲۵۸	۲۸۶۰/۷۸۳۶

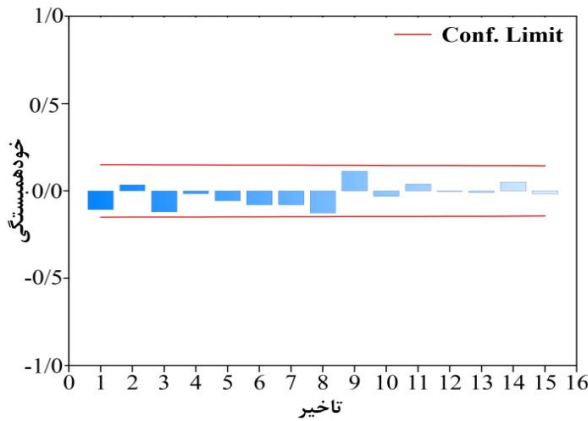
جدول ۳- مدل‌های منتخب سری زمانی ایستگاه نوشهر

شماره	مدل	متوسط خطای باقیمانده (متر)	معیار آکاییکه
۱	$(1,1,1)(1,0,1)_{12}$	۰/۰۰۲۸۴	۹۷۵/۱۴۳۸
۲	$(1,1,1)(1,0,2)_{12}$	۰/۰۰۲۹۳	۹۶۷/۹۰۲۴
۳	$(1,1,1)(1,0,3)_{12}$	۰/۰۰۲۸۴	۹۷۱/۱۴۳۸
۴	$(1,1,1)(2,0,1)_{12}$	۰/۰۰۲۸۹	۹۷۰/۲۱۱۷
۵	$(1,1,1)(2,0,2)_{12}$	۰/۰۰۲۹	۹۶۷/۶۳۱۴
۶	$(1,1,1)(2,0,3)_{12}$	۰/۰۰۲۷۱	۹۷۷/۰۱۵۵
۷	$(1,1,2)(1,0,1)_{12}$	۰/۰۰۲۸۸	۹۷۰/۷۹۴۱
۸	$(1,1,2)(1,0,2)_{12}$	۰/۰۰۲۹۸	۹۶۳/۰۵۹۷
۹	$(1,1,2)(1,0,3)_{12}$	۰/۰۰۲۹۱	۹۶۵/۰۵۳۱
۱۰	$(1,1,2)(2,0,1)_{12}$	۰/۰۰۲۹	۹۶۷/۶۳۱۴
۱۱	$(1,1,2)(2,0,2)_{12}$	۰/۰۰۲۹۱	۹۶۵/۰۵۳۱
۱۲	$(1,1,2)(2,0,3)_{12}$	۰/۰۰۲۸۹	۹۶۴/۲۱۱۷
۱۳	$(1,1,3)(1,0,1)_{12}$	۰/۰۰۲۷۷	۹۷۳/۳۳۶۵
۱۴	$(1,1,3)(1,0,2)_{12}$	۰/۰۰۲۷۷	۹۷۳/۳۳۶۵
۱۵	$(1,1,3)(1,0,3)_{12}$	۰/۰۰۲۷۷	۹۷۱/۳۳۶۵
۱۶	$(1,1,3)(2,0,1)_{12}$	۰/۰۰۲۷۶	۹۷۳/۹۴۴۱
۱۷	$(1,1,3)(2,0,2)_{12}$	۰/۰۰۲۸۱	۹۶۸/۹۲۷۸
۱۸	$(1,1,3)(2,0,3)_{12}$	۰/۰۰۲۸۲	۹۶۶/۳۳۱۰
۱۹	$(2,1,1)(1,0,1)_{12}$	۰/۰۰۲۸۳	۹۷۳/۷۳۶۳
۲۰	$(2,1,1)(1,0,2)_{12}$	۰/۰۰۲۹۹	۹۶۲/۴۹۶۹
۲۱	$(2,1,1)(1,0,3)_{12}$	۰/۰۰۲۸۸	۹۶۶/۷۹۴۱
۲۲	$(2,1,1)(2,0,1)_{12}$	۰/۰۰۲۹۱	۹۶۷/۰۵۳۱
۲۳	$(2,1,1)(2,0,2)_{12}$	۰/۰۰۲۹۱	۹۶۵/۰۵۳۱

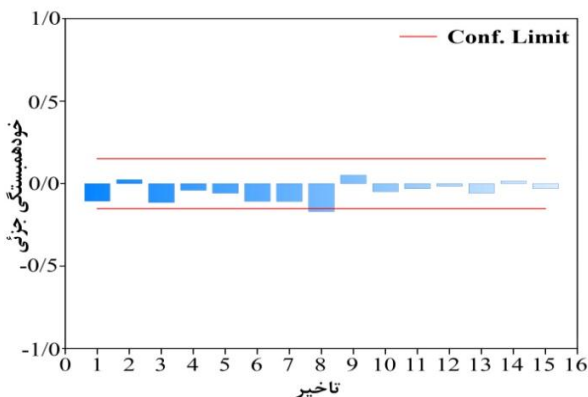


شکل ۸- مدل‌سازی سری زمانی تراز دریای خزر در بخش آزمون داده‌های ایستگاه نوشهر با استفاده از مدل SARIMA(2,1,1)(1,0,2)₁₂

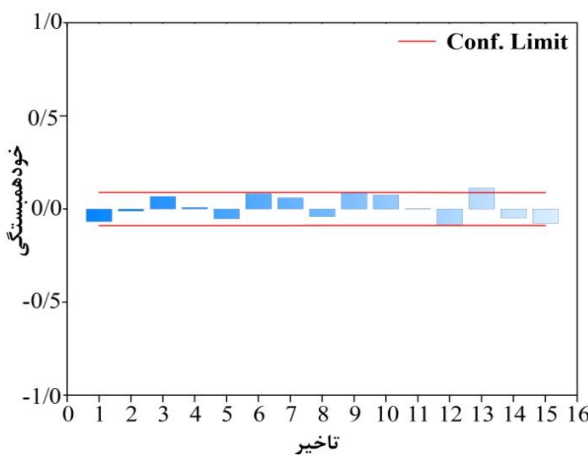
بوده و از کفایت لازم جهت پیش‌بینی تراز دریا برخوردار می‌باشند. یافته‌های فوق با نتایج Meshkani و همکاران (۱۹۹۷)، Imani و همکاران (۲۰۱۳)، قنبرپور و همکاران (۱۳۸۷)، ویسی‌پور و همکاران (۱۳۸۹) و بنی‌حیب و همکاران (۱۳۹۱) هم‌خوانی دارد [۳۳، ۳۲].



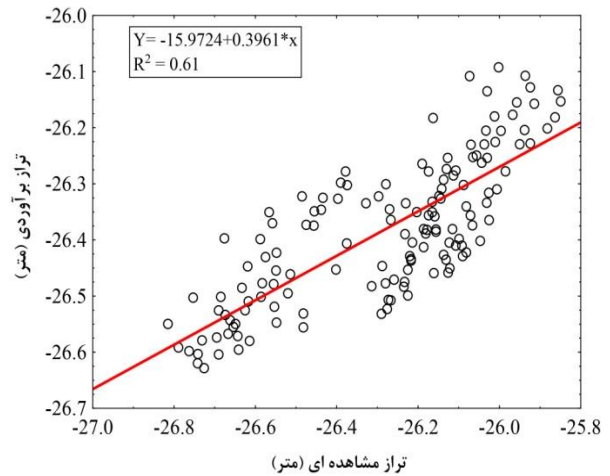
شکل ۱۰- خودهمبستگی برای باقیمانده‌های مدل نهایی نوشهر



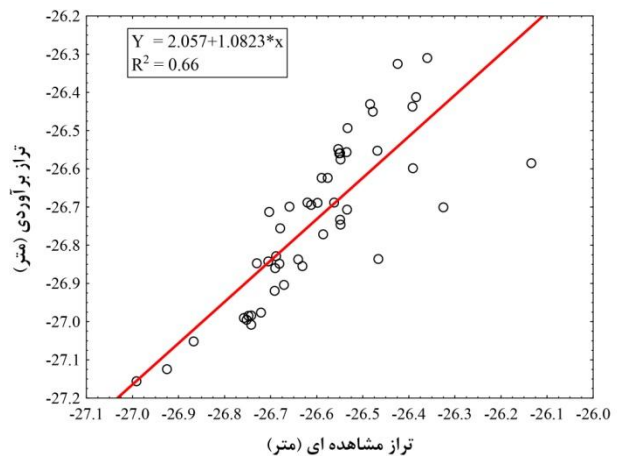
شکل ۱۱- خودهمبستگی جزئی برای باقیمانده‌های مدل نهایی نوشهر



شکل ۱۲- خودهمبستگی برای باقیمانده‌های مدل نهایی انزلی



شکل ۹- نمودار پراکنش پیش‌بینی مدل SARIMA در بخش آزمون داده‌های ایستگاه انزلی



شکل ۱۰- نمودار پراکنش پیش‌بینی مدل SARIMA در بخش آزمون داده‌های ایستگاه نوشهر

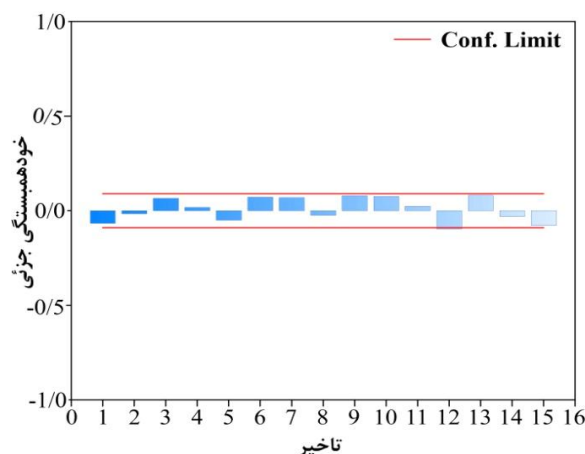
کفایت و اطمینان مدل‌های نهایی در هر ایستگاه (کنترل‌های تشخیصی) براساس خواص سری باقیمانده مدل‌های برازش داده شده منتخب و به کمک بررسی نمودارهای ACF و PACF سری باقیمانده مدل‌ها (شکل‌های ۱۱ تا ۱۴) و همچنین نمودار نرمال احتمال باقیمانده آن‌ها (شکل‌های ۱۵ و ۱۶) نیز نشان داد که: در نمودارهای ACF و PACF سری باقیمانده مدل، در هر دو ایستگاه، مقادیر همبستگی در محدوده مجاز (محدوده ۹۵ درصد اطمینان) قرار گرفته و در هیچ یک از تاخیرها تفاوت معناداری با صفر ندارند و نیز نمودارها فاقد هر گونه روند و الگوی خاصی هستند (فرض استقلال داده‌ها). لذا باقیمانده‌ها ایستا و بنابراین مدل‌های منتخب، پایدار هستند. همچنین با دقت در نمودارهای نرمال باقیمانده مدل‌های منتخب فوق، می‌توان برازش مناسب داده‌ها بر خط شاخص نرمال و منطبق بودن اکثر داده‌ها بر خط شاخص نرمال را تشخیص داد که این نشان از نرمال بودن توزیع داده‌های باقیمانده مدل دارد. بنابراین مدل‌های منتخب مناسب

در میان رودخانه‌های نه‌گانه این حوزه، سفیدرود در مجاورت ایستگاه ترازسنجی انزلی که بالاترین سهم را در آبدهی به خزر در این منطقه بر عهده دارد (به میزان آبدهی سالانه ۱۲۵/۹۹ مترمکعب در ثانیه) از تغییرپذیری بالا و رودخانه چالوس در مجاورت ایستگاه ترازسنجی نوشهر از کمترین تغییرپذیری در آبدهی برخوردارند. مجموع عوامل فوق در کنار این موضوع که رژیم بارش در منطقه خزر جنوبی از غرب به شرق دارای الگوی کاهشی است [۳۸] و میزان بارش نیز با رژیم آبدهی رودخانه‌های یادشده بخصوص سفیدرود انطباق زیادی دارد [۳۷]، باعث پایداری کمتر شرایط و تشدید رفتار غیرخطی در سری زمانی تراز آب ایستگاه انزلی نسبت به ایستگاه نوشهر می‌شود که این خود پیش‌بینی تراز در این ایستگاه را دشوارتر می‌کند. لذا، بالاتر بودن خطای استاندارد^{۱۸} و پایین‌تر بودن دقت پیش‌بینی دیده شده در ایستگاه انزلی نسبت به ایستگاه نوشهر دور از انتظار نیست (شکل‌های ۷ و ۸).

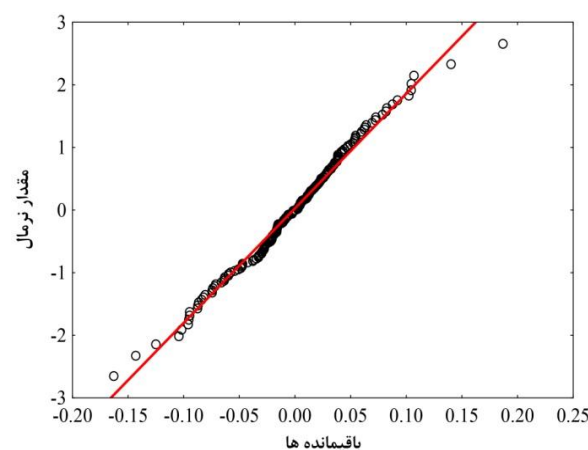
اگرچه با توجه به نمودارهای پیش‌بینی در ایستگاه‌ها و همچنین وجود همبستگی مناسب میان داده‌های مشاهده‌ای و برآوردی (شکل‌های ۹ و ۱۰)، الگوهای منتخب سری زمانی آریمای توانسته‌اند نوسانات تراز آب دریا را به صورت خطی پیش‌بینی نمایند اما افزایش صعودی میزان خطای استاندارد در هر دو ایستگاه با بالاتر شدن تعداد سال‌های پیش‌بینی نشان می‌دهد مدل‌های منتخب سری زمانی برای پیش‌بینی طولانی مدت و بیشتر از یکسال قابل توصیه نمی‌باشند. این نتیجه‌گیری با نتایج Vaziri (۱۹۹۷)، Domenico و همکاران (۲۰۱۲)، Imani و همکاران (۲۰۱۳)، بنی حبیب و همکاران (۱۳۹۱) همسو می‌باشد.

۴- نتیجه‌گیری

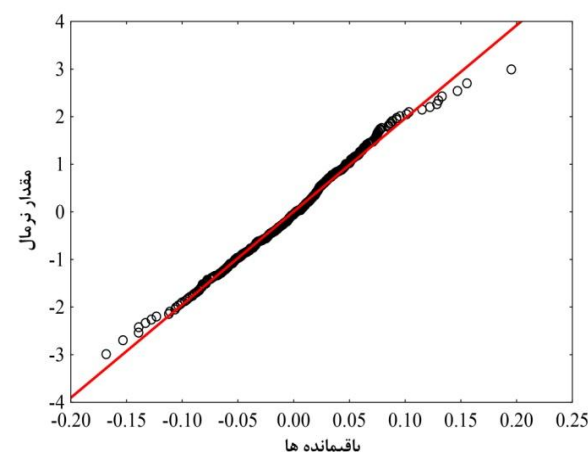
در این پژوهش جهت تحلیل و پیش‌بینی^{۱۹} الگوی نوسانات تراز سطح آب در حوزه دریای خزر از مدل‌های سری زمانی طبق روش توصیه شده توسط باکس و جنکینز و با بهره‌گیری از داده‌های ایستگاه‌های ترازسنجی بندر انزلی و بندر نوشهر در خلال سال‌های ۲۰۱۴ - ۱۹۷۵ میلادی، استفاده شد. نتایج این تحقیق نشان داد که مدل‌های استوکستیک سری‌های زمانی ابزار مناسبی در شبیه‌سازی و پیش‌بینی کوتاه‌مدت نوسانات تراز دریا می‌باشند. براساس تکنیک فوق و با لحاظ معیارهای ارزیابی مناسب نظیر معیار آکائیکه، دو مدل $SARIMA(2,1,1)(1,0,2)_{12}$ و $SARIMA(1,1,1)(2,0,1)_{12}$ به ترتیب برای ایستگاه‌های نوشهر و انزلی به عنوان مدل‌های نهایی که از کمترین میزان خطا و بیشترین همبستگی بین مقادیر مشاهده‌ای و پیش‌بینی شده برخوردارند، انتخاب گردیدند. ضمناً، با استفاده از این مدل‌ها امکان پیش‌بینی برای دوره‌های طولانی‌تر (نسبت به دوره‌های حداکثر ۲ ساله قابل پیش‌بینی در اکثر تحقیقات مشابه) فراهم شده است.



شکل ۱۴- خودهمبستگی جزئی برای باقیمانده‌های مدل نهایی انزلی



شکل ۱۵- نمودار احتمال نرمال برای باقیمانده‌های مدل نهایی نوشهر



شکل ۱۶- نمودار احتمال نرمال برای باقیمانده‌های مدل نهایی انزلی

تحقیقات نشان می‌دهند تغییرات تراز خزر در کنار سایر عوامل جانبی، عمدتاً تابع تغییرات ورودی رودخانه‌های منتهی به آن و شدت تبخیر است [۳۶، ۳۵، ۳۴، ۳]. که مشاهده همبستگی بالای تفاضل سالانه تراز آب دریای خزر با تغییرات دبی رودخانه‌های ایرانی این حوزه نیز، موید این موضوع است [۳۷]. از سوی دیگر

level change: A south Caspian Sea case study, Quaternary International, Vol.408, p.93-112.

3- Kosarev A., (2005), *Physico-Geographical Conditions of the Caspian sea*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Vol.5, p.5-31.

4- Panin G.N., (2007), *Caspian Sea Level Fluctuations as a consequence of regional Climatic Change*, Humburg, p.216-219.

5- Roshan, G.R., Moghabel, M. and Grab, S., (2012), *Modeling Caspian Sea water level oscillations under different scenarios of increasing atmospheric carbon dioxide concentrations*, Journal of Environmental Health Science and Engineering, Vol.9, p.24.

6- Ghanghermeh, A. and Ramesht, M.H., (1995), *Fluctuations in the Caspian Sea can be controlled?*, Journal of Geographical Research, Vol.35, p.121-130. (In Persian)

7- Arpe, K., Leroy, S.A.G., Wetterhall, F., Khan, V., Hagemann, S. and Lahijani, H., (2014), *Prediction of the Caspian Sea level using ECMWF seasonal forecasts and reanalysis*, Theoretical and Applied Climatology, Vol.117, p.41-60.

8- Vaziri, M., (1997), *Predicting Caspian Sea surface water level by ANN and ARIMA models*, Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, Vol.123, p.158-162.

9- Talebizadeh, M. and Moridnejad, A., (2011), *Uncertainty analysis for the forecast of lake level fluctuations using ensembles of ANN and ANFIS models*, Expert Systems with applications, Vol.38, p.4126-4135.

10- Elguindi, N. and Girogi, F., (2007), *Simulating future Caspian sea level changes using regional climate model outputs*, Climate Dynamics, Vol.28, p.365-379.

11- Elguindi, N. and Girogi, F., (2006), *Simulating multi-decadal variability of Caspian Sea level changes using regional climate model outputs*, Climate Dynamics, Vol.26, p.167-181.

12- Arpe, K. and Leroy, S.A.G., (2007), *The Caspian Sea Level forced by the atmospheric circulation, as observed and modelled*, Quaternary International, Vol.173-174, p.144-152.

13- Sen, Z., Kadioglu, M. and Batur, E., (2000), *Stochastic modeling of the Van Lake monthly fluctuation in Turkey*, Theor and Apple Climatol, Vol.65, p.99-110.

14- Sveinsson, O.G.B., (2014), *Handbook of Engineering Hydrology(chapter 27)*, CRC Press, p.553-574.

15- Zhang, G.P., (2003), *Time series forecasting using a hybrid ARIMA and neural network model*, Neurocomputing, Vol.50, p.159-175.

16- Imani, M., You, R. and Kuo, Ch., (2014), *Analysis and prediction of Caspian Sea level pattern anomalies observed by satellite altimetry using*

مدل‌های سری زمانی بر پایه اصول ساده‌ای استوار بوده و به لحاظ فیزیکی واقع‌گرا هستند. در این مدل‌ها تنها از همبستگی داده‌های گذشته الگویی برای تولید داده در آینده فراهم می‌آید و متغیر دیگری در این میان مورد استفاده قرار نمی‌گیرد. لذا در روند ساخت این مدل‌ها به داده‌های جانبی کمتری نیاز است، ضمن آنکه امکان بروز کردن آنها نیز بر پایه فراهم شدن داده‌های جدید وجود دارد. بر این اساس اگرچه مدل‌های توسعه یافته در این پژوهش بر سری زمانی تراز دریای خزر در سال‌های ذکر شده، برازش داده شدند لیکن روش و متدولوژی بکار رفته می‌تواند جهت نظارت و مانیتورینگ تغییرات تراز در هر بدنه آبی که سری‌های زمانی آن رفتار استوکستیک دارند، با ریسک قابل قبولی مورد استفاده قرار گیرد.

۵- تشکر و قدردانی

از مرکز ملی مطالعات و تحقیقات دریای خزر برای تامین داده‌های تراز آب دریا، قدردانی می‌شود.

کلید واژگان

- 1- Time Series
- 2- Box and Jenkins
- 3- Auto Regressive Integrated Moving Average
- 4- TOPEX/Poseidon and Jason-1
- 5- Auto Regressive
- 6- Auto Regressive Moving Average
- 7- Caspian Sea National Research Center
- 8- Kolmogorov-Smirnov Test
- 9- Trend
- 10- Mann-Kendall Test
- 11- Multiplicative ARIMA (SARIMA: Seasonal Auto Regressive Integrated Moving Average)
- 12- Correlogram
- 13- Akaike Information Criterion
- 14- Residual Mean-Square Error
- 15- Diagnostic Check
- 16- ACF plot of residual and PACF plot of residual
- 17- Normal Probability plot of residual
- 18- Standard Error (SE)
- 19- Analyzing and Forecasting

۶- مراجع

- 1- Kazenci, N., Gulbabazadeh, T., Leroy, S.A.G. and Ileri, O., (2004), *Sedimentary and environmental characteristics of the Gilan-Mazenderan plain, northern Iran: influence of long- and short-term Caspian water level fluctuations on geomorphology*, journal of Marine System, Vol.46, p.145-168.
- 2- Haghani, S., Leroy, S.A.G., Wesselingh, F. and Rose, N., (2016), *Rapid evolution of coastal lagoons in response to human interference under rapid sea*

Hydrology and Earth System Sciences, Vol.3, p.3183-3209.

28- Ghanbarpour, M.R., Amiri, M. and Gholami, Sh., (2008), *Evaluating prediction models monthly discharge based on time series analysis (Case study Kharkheh watershed)*, Iranian Journal of Natural Resources, Vol.2, p.43-56. (In Persian)

29- D. Cryer, J. and Chan, K.S., (2008), *Time Series Analysis*, Springer-Verlag New York Press, 491 p.

30- Yevjevich, V., (1972), *Stochastic processes in hydrology*, Water Resource Publications, 276p.

31- Meshkani M.R. and Meshkani A., (1997), *Stochastic Modelling of the Caspian Sea Level Fluctuations*, Theoretical and Applied Climatology, Vol.58, p.189-195.

32- Vaysipour, H., Samakosh, J. Sahneh, B. and Yousefi, Y., (2010), *Analysis of temperature and precipitation forecasting using time series models (ARIMA)*, Geography, Vol.12, p.63-77. (In Persian)

33- Banihabib, M.E., Bandari, R. and Mosavinadoshani, S.S., (2012), *Analysis Ability of the Autoregressive Integrated Moving Average Model for Forecasting of Reservoir Daily Inflow of Dez Reservoir with Two-year lead Time*, Irrigation and Water engineering, Vol.7, p.46-57. (In Persian)

34- Shiklomanove I.A., Georgievski V. and Kopalian Z.D., (1995), *Water balance of the Caspian sea and reasons of water-level rise in the Caspian sea*, Paris, UNESCO, Intergovernmental Oceanographic Commission, Workshop Report 28, p.1-27.

35- Ozyavas A., Khan S.D. and Casey J.F., (2010), *A possible connection of Caspian Sea level fluctuation with meteorological factors and seismicity*, Earth and Planetary Science Letters, Vol.299, p.150-158.

36- Ghanghermeh, A. and Malek, J., (2007), *Peaceful coexistence with Fluctuations of the Caspian Sea water for sustainable development Iranian coast (Case Study: Southeast coast)*, Geographical Research, Vol.3, p.1-11. (In Persian)

37- Ghanghermeh, A. and Beyroudian, N., (2012), *Climate change and fluctuations in the discharge of large rivers the southern coast of the Caspian Sea*, Journal of Golestan University, Vol.4, p.43-55. (In Persian)

38- Eghtesadi, sh. and Zahedi, R., (2010), *Study of Factors affecting the Southern Caspian Sea level fluctuations*, Marine Sciences and Technology, Vol.3, p.4-13. (In Persian)

autoregressive integrated moving average models, Arabian Journal of Geosciences, Vol.7, p.3339-3348.

17- Mashayekh, E., Torabiazad, M., Lari, K. and Frahadiamiri, A., (2009), *South Caspian frequency analysis and prediction of changes in water level using altimetry data field*, Marine Sciences and Technology, Vol.51, p.59-66. (In Persian)

18- A.Mehmandari, J., B.Mahani, M.R. and M.Drodi, M., (2008), *Time series analysis of the Caspian Sea level using satellite altimetry data*, Marine Sciences and Technology, Vol.1-2, p.87-98. (In Persian)

19- Petaccia, S., Serravall, R. and Pellicano, F., (2006), *Improved method of sea level forecasting at Venice (Northern Adriatic Sea)*, Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation, Vol 11, p.281-296.

20- D.Domenico, M., Ghorbani, M. A., Makarynsky, O., Makarynska, D. and Asadi, H., (2012), *Chaos and reproduction in sea level*, Applied Mathematical Modelling, Vol.37, p. 3687-3697.

21- Niedzielski, T. and Kosek, W., (2010), *An application of low-order ARMA and GARCH models for sea level fluctuations*, Artificial Satellites, Vol.45, p.27-39.

22- Cazenave, A., Dominh, K., Ponchaut, F., Soudarin, L., Cretaux, J. F. and Le Provost, C., (1999), *Sea level changes from Topex-Poseidon altimetry and tide gauges, and vertical crustal motions from DORIS*, Geophysical Research Letters, Vol.26, p.2077-2080.

23- Marcos, M., Wöppelmann, G., Bosch, W. and Savcenko, R., (2007), *Decadal sea level trends in the Bay of Biscay from tide gauges, GPS and TOPEX*, Journal of Marine Systems, Vol.68, p.529-536.

24- Okoye, C. and Igboanugo, A.C., (2013), *Predicting Water Levels at Kainji Dam Using Artificial Neural Networks*, Nigerian Journal of Technology, Vol.32, p.129-136.

25- Chatfield, C., (1993), *The Analysis of Time Series: An Introduction, Sixth Edition*, CRC Press, 352 p.

26- Xu, Z., Liu, Zh., Fu, G. and Yaning, Ch., (2010), *Trends of major hydroclimatic variables in the Tarim River basin during the past 50 years*, Journal of Arid Environments, Vol.74, p. 256-267.

27- McBean, E. and Motiee, H., (2006), *Assessment of impacts of climate change on water resources: a long term analysis of the Great Lakes of North America*,