

## Prediction of Iran's Water Resources by Singular Spectrum Analysis Approach

Ramin Khochiani\* and Reza Maaboudi

Assistant Professor of Economics, Ayatullah Boroujerdi University, Boroujerd, Iran.

\* Corresponding Author, Email: khochiany@abru.ac.ir

Received: 25/07/2018

Revised: 8/11/2018

Accepted: 10/11/2018

### Abstract

According to the severe shortage of water resources in Iran, water resources forecast is one of the most important issues in the national policies. The purpose of this study was to evaluate the efficiency of the Singular Spectrum Analysis model in forecasting the amount of groundwater resources in Iran versus ARIMA model. Singular spectrum analysis is a method which is suitable for analysis of nonlinear and stationary time series. For this purpose, water resources time series from 1983 to 2015 were used annually and the short-term and medium-term forecasts obtained from the two models were compared. According to the results, the SSA method was able to perform better in short and medium term predictions compared to the ARIMA model. Correspondingly the results showed 70% improvement in prediction of one step ahead up to 88% improvement in prediction of 3 steps ahead.

**Keywords:** ARIMA Model, Forecast, Groundwater, Single Spectrum Analysis.

## پیش‌بینی میزان منابع آب ایران با رویکرد تحلیل طیف تکین

رامین خوجیانی\* و رضا معبودی

استادیار اقتصاد دانشگاه آیت الله العظمی بروجردی (ره)، بروجرد، ایران.

\* نویسنده مسئول، ایمیل: khochiany@abru.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۵/۰۳

تاریخ اصلاح: ۱۳۹۷/۰۸/۱۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۸/۱۹

### چکیده

با توجه به کمبود شدید منابع آبی در ایران، پیش‌بینی میزان منابع آب از جمله مهم‌ترین بحث‌های سیاست‌گذاری کلان کشور است. هدف از پژوهش حاضر، ارزیابی کارایی روش تحلیل طیف تکین در پیش‌بینی میزان منابع آب زیرزمینی در ایران در مقابل روش سری زمانی خطی ARIMA است. تحلیل طیف تکین روشی است که برای تحلیل سری‌های زمانی غیر خطی و ناماننا، مناسب است. به همین منظور از سری زمانی منابع آب از ۱۳۶۲ تا ۱۳۹۴ به صورت سالانه استفاده و پیش‌بینی‌های کوتاه مدت و میان‌مدت به دست آمده از دو مدل با یکدیگر مقایسه شد. با توجه به نتایج ارائه شده روش SSA توانسته عملکرد بهتری در پیش‌بینی‌های کوتاه‌مدت و میان‌مدت در مقایسه با مدل ARIMA داشته باشد. به طوری که از ۷۰ درصد بهبود در پیش‌بینی یک گام به جلو تا ۸۸ درصد بهبود در پیش‌بینی ۳ گام به جلو مشاهده می‌شود.

**کلیدواژه:** تحلیل طیف تکین، مدل ARIMA، پیش‌بینی، منابع آب زیرزمینی

و در پی آن کاهش سطح آب‌های زیرزمینی و خشک شدن آب‌های سطحی رقابت بر سر استفاده از منابع آب شدیدتر و تخصیص بهینه آب بین متقاضیان متعدد بسیار پیچیده شده‌است. در سال ۲۰۰۷ برای اولین بار مقدار برداشت منابع آب برای کل کره زمین بیش از توانایی ارائه آب از طریق منابع تجدیدپذیر شد (Gorbachev, 2009).

هدف از پژوهش حاضر، استفاده از روش تحلیل طیف تکین (SSA) برای پیش‌بینی میزان منابع آب در ایران و مقایسه این روش با مدل ARIMA به‌عنوان یک مدل رقیب است. لازم به ذکر است که این روش در مطالعه‌های اقتصادی و زیست محیطی در ایران بسیار کم مورد استفاده قرار گرفته است. روشی نسبتاً جدید برای تحلیل و پیش‌بینی سری زمانی است و نسبت به برخی از روش‌های پیش‌بینی دارای مزایایی است که کتاب‌ها و مقالات مختلفی تاکنون به آن پرداخته‌اند (Elsner and Tsonis, 1996; Golyandina et al., 2001; Golyandina and Zhigljavsky, 2013). حوزه کاربردهای SSA بسیار گسترده است. از ریاضیات و فیزیک تا اقتصاد و ریاضیات مالی، از هواشناسی و اقیانوس‌شناسی تا علوم اجتماعی و تحقیقات بازار، از تجزیه ناپارامتریک سری زمانی تا تخمین پارامترها و پیش‌بینی سری‌های زمانی. ساختار این پژوهش به این ترتیب خواهد بود که در بخش دوم پیشینه پژوهش ارائه می‌شود. بخش سوم به مبانی نظری پژوهش اختصاص دارد. مدل‌سازی اقتصادسنجی در بخش چهارم صورت خواهد گرفت. برآورد مدل در بخش پنجم ارائه خواهد شد و در نهایت نتیجه‌گیری و پیشنهادات سیاستی ارائه می‌شود.

## ۲- پیشینه پژوهش

تاکنون روش‌های بسیار زیادی برای پیش‌بینی میزان منابع آب زیرزمینی استفاده شده است. این روش‌ها هم پارامتریک و هم ناپارامتریک هستند، از جمله مدل‌های سری زمانی خطی و غیرخطی، مدل‌های تصادفی و ... اما در این پژوهش از روش تحلیل طیف تکین (SSA) برای پیش‌بینی میزان منابع آب زیرزمینی در ایران استفاده شده است. روشی است که برای تحلیل سری‌های زمانی غیرخطی و نامانا، مناسب است. این روش در ابتدا توسط (Broomhead and King 1986) مطرح شد. SSA در مطالعات و پیشبرد اهداف زیر موفق عمل

پیش‌بینی میزان منابع آب در ایران از جمله مهم‌ترین بحث‌های سیاست‌گذاری کلان کشور است. چرا که مسئله کم آبی و تخصیص بهینه آن در ایران و مخصوصاً در فلات مرکزی ایران بسیار پیچیده است. منابع آب شیرین کره زمین بخش کوچکی از کل ذخایر آب سطح کره زمین را تشکیل می‌دهد (حدود ۲/۵ درصد). در این میان، بدون یخچال‌های قطبی، تنها حدود ۰/۸ درصد (کمتر از یک درصد) از کل منابع آب موجود در کره زمین، شیرین و قابل استفاده است که عمده آن را منابع آب زیرزمینی تشکیل می‌دهد (Foster and Loucks, 2006). حجم منابع آب زیرزمینی شیرین کره زمین حدود ۱۰ میلیون کیلومتر مکعب است، یعنی دو برابر آب تجدیدپذیر سالانه کره زمین که از بارش‌ها حاصل می‌شود (اندیشکده تدبیر آب ایران، ۱۳۹۳). با توجه به رشد جمعیت در ایران سرانه منابع آب تجدید شونده سالانه که در سال ۱۳۳۵، ۷۰۰۰ مترمکعب بوده، در سال ۱۳۷۵ به ۲۰۰۰ مترمکعب، در سال ۱۳۹۰ به ۱۷۰۰ مترمکعب و پیش‌بینی می‌شود که تا سال ۱۴۰۰ به حدود ۸۰۰ مترمکعب کاهش یابد که پایین‌تر از مرز کم آبی ۱۰۰۰ مترمکعب است (جفره و علیزاده، ۱۳۸۹).

مصرف سرانه منابع آب زیرزمینی در مقایسه با سایر منابع بسیار بیشتر است. میانگین بارش سالانه در ایران با یک توزیع غیریکنواخت گسترده، ۲۵۰ میلی‌متر است که یک سوم میانگین جهانی است (وزارت نیرو، ۱۳۹۲). در ایالات متحده ارزش هر مترمکعب آب زیرزمینی دو برابر ارزش آب سطحی است (جلیلی، ۱۳۹۶). آب زیرزمینی تجدیدپذیر حدود ده هزار کیلومتر مکعب در سال است (نزدیک به یک چهارم کل آب تجدید شونده) که ۲۰ درصد آن با منشاء نفوذ مستقیم بارش و ۸۰ درصد حاصل نفوذ جریان‌ات آب سطحی است. این منابع که بخشی از چرخه آب در زمان حاضر را تشکیل می‌دهد نسبت به حجم آب زیرزمینی که در یک دوره طولانی در اعماق چند هزارمتری سطح زمین ذخیره شده‌اند، بسیار اندک است (یعنی ۰/۱ درصد کل ذخایر آب زیرزمینی). بنابراین، فقط بخش بسیار کوچکی از حجم کل ذخایر آب زیرزمینی در هر سال تجدید می‌شود. این موضوع سراسرترین پاسخی است که به معمای منابع آب زیرزمینی "عظیم اما محدود"، می‌توان داد (اندیشکده آب ایران، ۱۳۹۳). در دهه اخیر با ریزش‌های جوی

کرده است. هموارسازی داده‌های طولی و سری‌های زمانی، استخراج روند تغییرات سری‌های زمانی، پیش‌بینی سری‌های زمانی، برآورد داده‌های گمشده و تشخیص نقطه تغییر در سری زمانی.

(2014) Beneki and Yarmohammadi با استفاده از SSA، جزء روند و نوسانات اقتصادی را استخراج کرده و آن را در بررسی سری‌های زمانی درآمد گردشگری در بریتانیا استفاده کردند. همچنین (2014) Fenghua et al. در مقاله‌ای با عنوان پیش‌بینی قیمت سهام بر پایه مدل SVM-SSA نشان دادند که ترکیب مدل‌های تحلیل طیف تکین و ماشین بردار پشتیبان می‌تواند عملکرد بهتری در پیش‌بینی قیمت سهام نسبت به سایر مدل‌های رقیبی همچون EEMD-SVM داشته باشد.

(2007) Hassani عملکرد روش SSA را با پیش‌بینی مرگ و میر تصادفی ماهانه در آمریکا بررسی کرد. نتایج به دست آمده با نتایج روش‌های SARIMA باکس-جنکینز، الگوریتم ARIMA و الگوریتم هولت و نیستر مقایسه کرده است. نتایج نشان می‌دهد که روش SSA پیش‌بینی بسیار دقیق‌تری را نسبت به دیگر روش‌های ذکر شده ارائه می‌دهد.

دهنوی و همکاران (۱۳۹۰) با استفاده از دو روش SSA و ARIMA به پیش‌بینی مصرف حامل‌های انرژی در خلال سال‌های پس از اجرای قانون هدفمندی یارانه‌ها پرداخته و نتیجه گرفتند که دقت پیش‌بینی SSA به مراتب بیشتر از ARIMA است. میرزاجانی بجستانی و ارمز (۱۳۹۳) در مقاله‌ای با عنوان تحلیل مجموعه مقادیر تکین: مطالعه موردی بهای سکه، به پیش‌بینی قیمت سکه در بازه فروردین ۱۳۹۱ تا آبان ۱۳۹۲، با استفاده از SSA پرداختند. در این مقاله، این روش، تشریح و ویژگی‌های آن مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. یارمحمدی و محمودوند (۱۳۹۵) در مقاله‌ای با عنوان پیش‌بینی نرخ ارز با استفاده از روش تحلیل مجموعه مقادیر تکین، از روش SSA برای پیش‌بینی نرخ روزانه دلار به ریال در بازه زمانی تیر ۱۳۹۲ تا شهریور ۱۳۹۴ استفاده کردند. برای ارزیابی کیفیت مدل ارائه شده از مدل ARIMA به‌عنوان یک مدل رقیب استفاده شد. نتایج نشان می‌دهد که SSA می‌تواند به‌عنوان یک روش توانمند برای این منظور به کار گرفته شود.

روش SSA یا روش تحلیل طیف تکین جزء روش‌های مبتنی بر برون‌یابی و از نوع ناپارامتری است. می‌توان به ویژگی‌های این تحلیل در مقایسه با سایر روش‌های پیش‌بینی پارامتریک و

ناپارامتریک، به شرح زیر اشاره کرد:

الف) نیازی به مانایی سری زمانی نیست؛

ب) برای اندازه‌های نمونه کوچک نیز به‌خوبی کار می‌کند؛

ج) دقت آن در پیش‌بینی‌های کوتاه‌مدت و بلندمدت مطلوب است؛

د) سری‌های زمانی واقعی اغلب با داده‌های گمشده توأم هستند که می‌توانند مانع تحلیل شده و نتایج را تورش‌دار کنند. با استفاده از روش SSA روش‌های مختلفی برای جایگزین کردن داده‌های گمشده مورد استفاده قرار می‌گیرند.

### ۳- روش پژوهش

در این بخش برای آشنایی مختصر، روش تحلیل طیف تکین معرفی شده و سپس برای پیش‌بینی میزان منابع آب از آن استفاده می‌شود.

#### ۳-۱- روش SSA

SSA سری‌های اصلی را به مجموعه‌ای کوچک‌تر از اجزای تفسیرپذیر مانند روند اجزای نوسانی و نوفه بدون ساختار، براساس تجزیه مقادیر تکین ماتریس ویژه ساخته شده بر روی سری زمانی، تجزیه می‌کند. این روش مستقل از مدل است، یعنی نیازی به وجود شرایط مانایی و مدل پارامتری خاصی نیست تحلیل طیف تکین دو مرحله تجزیه و بازسازی دارد. این دو گام مجزا از یکدیگر و در جهت تشریح جزئی سری زمانی صورت می‌گیرد. تجزیه سری زمانی الگوریتم تحلیل SSA خود شامل دو مرحله الف) نشانیدن<sup>۱</sup> و ب) تجزیه مقدار تکین<sup>۲</sup> است و بازسازی نیز شامل دو مرحله الف) گروه‌بندی و ب) میانگین‌گیری قطری است.

برای توضیح بیشتر یک سری زمانی با طول N را در نظر بگیرید. فرض کنید L که طول پنجره نامیده می‌شود به‌صورت  $L < N$  باشد و  $K = N - L + 1$ .

#### ۳-۱-۱- مرحله اول: تجزیه

##### ۳-۱-۱-۱- گام اول از مرحله اول نشانیدن

در این مرحله، باید ماتریس مسیر تشکیل شود. برای تشکیل ماتریس مسیر، باید سری زمانی اصلی با نگاهی به سری چند بعدی انتقال داده شود. ماتریس مسیر زیر تشکیل می‌شود

ر ستون اول از ماتریس ویژه بردارهای حاصل از اجرای SVD روی سطرهای قبلی آن رگرس شده و بردار ضرایب به دست آمده  $A = [a_1, a_2, \dots, a_{L-1}]$  نامیده می شود (رابطه (۳)).

$$A = [a_1, a_2, \dots, a_{L-1}] = \frac{1}{1-V^2} \sum_{i=1}^2 u_{i,l} U_i^T \quad (3)$$

که  $U_i^T$ ،  $L-1$  مولفه اول بردار ویژه  $u_i$  است و

$$V^2 = \sum_{i=1}^r u_{i,l}^2 \quad (4)$$

### ۳-۱-۳- مرحله سوم پیش بینی

در نهایت مقدار پیش بینی سری از فرمول بازگشتی زیر (رابطه (۵)) محاسبه می شود.

$$\hat{y}_{N+h} = \hat{a}_1 \hat{y}_{N+h-1} + \hat{a}_2 \hat{y}_{N+h-2} + \dots + \hat{a}_{L-1} \hat{y}_{N+h-L+1} \quad (5)$$

$$h = 1, 2, \dots$$

همان گونه که ملاحظه می شود روش SSA روش اتورگرسیوی است که به جای سری زمانی اصلی از سری زمانی هموار شده در معادله پیش بینی استفاده می کند. البته از آنجایی که مقادیر هموار شده، تابعی غیرخطی از سری زمانی اصلی هستند، این روش غیرخطی است.

### ۳-۲- روش ARIMA

با ترکیب یک فرایند میانگین متحرک و یک معادله تفاضلی خطی یک مدل "اتورگرسیو میانگین متحرک" حاصل می شود. معادله تفاضلی مرتبه  $P$  ام زیر را در نظر بگیرید:

$$y_t = a_0 + \sum_{i=1}^p a_i y_{t-i} + x_t \quad (6)$$

حال فرض کنید  $\{x_t\}$  فرایند میانگین متحرکی مطابق رابطه (۷) باشد.

$$x_t = \sum_{i=0}^q \beta_i \varepsilon_{t-i} \quad (7)$$

بدین ترتیب رابطه (۸) به دست می آید:

$$y_t = a_0 + \sum_{i=1}^p a_i y_{t-i} + \sum_{i=0}^q \beta_i \varepsilon_{t-i} \quad (8)$$

(رابطه (۱)). در این ماتریس  $L$  طول پنجره و  $1 < L < N$  که  $K=N-L+1$

$$X = [X_1, X_2, \dots, X_K] = \begin{pmatrix} X_1 & X_2 & \dots & \dots & X_K \\ X_2 & X_3 & \dots & \dots & X_{K+1} \\ X_3 & X_4 & \dots & \dots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \dots & \dots & \vdots \\ X_L & X_{L+1} & \dots & \dots & X_N \end{pmatrix} \quad (1)$$

ماتریس فوق یک ماتریس Hankel است. بدین معنا که همه مولفه های  $i+j$  مقداری ثابت دارند. اعضای روی قطر اصلی مساوی و تمامی مولفه های روی قطرهای فرعی نیز با هم برابرند.

### ۳-۱-۱-۲- گام دوم: تجزیه مقدار تکین (SVD)

ماتریس مسیر براساس مقادیر ویژه تجزیه می شود. بر این اساس ماتریس  $X$  به  $L$  مولفه افزاز می شود. هرکدام از این  $L$  زیرماتریس نیز به صورت زیر محاسبه می شوند.

$$H_i = U_i U_i^T H \quad , \quad i = 1, 2, \dots, L \quad (2)$$

که بردارهای  $L$  بعدی  $U_i$ ، همان بردارهای ویژه ماتریس مربع  $HH^T$  هستند.

### ۳-۱-۲- مرحله دوم بازسازی

#### ۳-۱-۲-۱- گام اول: گروه بندی

حال ماتریس  $H$  که به  $L$  زیرماتریس افزاز شده است، به دو گروه سیگنال شامل  $r$  زیرماتریس و نوفه شامل  $L-r$  زیرماتریس تقسیم می شود.

#### ۳-۱-۲-۲- گام دوم: میانگین گیری قطری

با استفاده از میانگین گیری قطری بر روی قطرهای فرعی، ماتریس گروه سیگنال به یک ماتریس Hankel تبدیل می شود. علت تبدیل ماتریس گروه سیگنال به ماتریس Hankel، تبدیل آن به سری زمانی یک بعدی و عکس العمل تجزیه ماتریس است. میانگین گیری قطری ساده ترین راه برای تبدیل ماتریسی به ماتریس Hankel است. سری هموار شده از ماتریس سیگنال تبدیل شده به Hankel به دست می آید. این سری هموار شده  $\hat{X} = [\hat{X}_1, \hat{X}_2, \dots, \hat{X}_K]$  نامیده می شود. در نهایت سطر آخر

در جدول ۱ ارائه شده است.

#### ۴-۲- برآورد مدل

در این روش دو پارامتر مهم  $L$  و  $r$  باید انتخاب و تعیین شوند. اولین گام در تحلیل طیف تکین، تعیین  $L$  در مرحله تجزیه است. در برخی مطالعات، عنوان شده است که مقدار  $L$  هرچقدر بزرگتر باشد بهتر است. در پژوهش حاضر با توجه به این که تعداد ۳۰ داده در مدل سازی استفاده شده است (با توجه به این که کل داده ها ۳۳ بوده است، ۳ داده انتهای سری زمانی برای اعتبارسنجی مدل پیش بینی استفاده شد)، طول پنجره  $L=15$  انتخاب شده است. لازم به ذکر است که پکیج  $RSSA$  در برنامه  $R$  به طور اتوماتیک طول پنجره را ۱۵ انتخاب کرده است. برای تعیین پارامتر  $r$  نیز می توان از سهمی که مولفه ها از کل تغییرات سری دارند استفاده کرد. در این پژوهش با آزمون  $r$  های مختلف و به دست آوردن پیش بینی های متفاوت، مقداری انتخاب شد که خطای پیش بینی به حداقل ممکن برسد. با توجه به این موضوع مقدار  $r=8$  انتخاب شد. بنابراین با انتخاب پارامترهای  $L$  و  $r$  و تعداد ۳۰ داده، منابع آب زیرزمینی مدل سازی و ۳ گام به جلو پیش بینی شد.

برای ارزیابی کیفیت روش  $SSA$ ، مدل  $ARIMA$  را به عنوان یک مدل خطی رقیب در نظر بگیرید. با استفاده از نرم افزار  $Eviews9$  می توان، بهترین مدل  $ARIMA$  را به صورت اتوماتیک به دست آورد. براساس نتایج حاصله از خروجی نرم افزار  $Eviews9$  بهترین مدل پیشنهاد شده مدل  $ARIMA(2,1,0)$

واحدها به نحوی نرمال می شود که  $\beta_0$  همواره مساوی ۱ باشد. اگر همه ریشه های مشخصه معادله فوق درون دایره واحد جای داشته باشند،  $\{y_t\}$  را یک مدل اتورگرسیو میانگین متحرک ( $ARMA$ ) گویند. قسمت اتورگرسیو مدل عبارت است از معادله تفاضلی و یا بخش همگن معادله و قسمت میانگین متحرک، نیز دنباله  $\{x_t\}$  است. اگر جزء همگن معادله تفاضلی دارای  $P$  وقفه و تعداد وقفه های مدل  $x_t$  برابر با  $q$  باشد، در این صورت مدل  $ARMA$  مذکور را یک مدل  $ARMA(p,q)$  گویند. اگر  $q=0$  باشد در این صورت فرایند  $ARMA$  را یک فرایند اتورگرسیو خالص گویند که با  $AR(p)$  نشان داده می شود. اگر  $p=0$  باشد، فرایند مذکور یک فرایند میانگین متحرک خالص است که با  $MA(q)$  نشان داده می شود. در یک مدل  $ARMA$  ممکن است  $p, q$  و یا هر دو آنها بی نهایت باشد. اگر تمام ریشه های مشخصه درون دایره واحد جای نداشته باشد و یکی و یا بیشتر از ریشه های مشخصه معادله بزرگتر یا مساوی یک باشد، دنباله  $\{y_t\}$  را یک فرایند هم جمع  $ARIMA$  می نامند.

#### ۴-۱ یافته های پژوهش

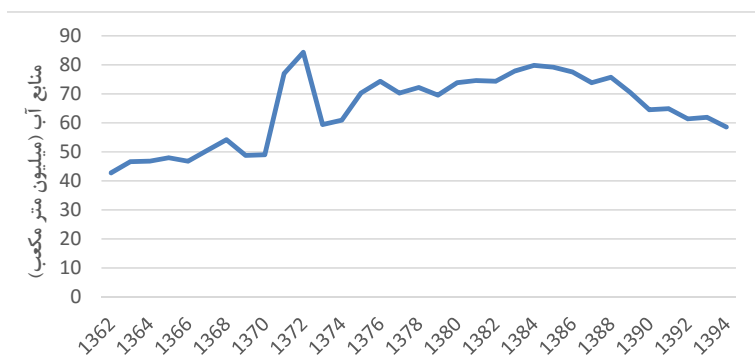
##### ۴-۱- توصیف داده ها

در پژوهش حاضر، برای پیش بینی منابع آب زیرزمینی در کشور از داده های منابع آب زیر زمینی از سال ۱۳۶۲ تا ۱۳۹۴ با تواتر سالانه که از وبگاه مرکز آمار ایران استخراج شده است؛ استفاده شده است. همچنین آمار توصیفی متغیرهای پژوهش

جدول ۱- توصیف داده های پژوهش

متغیر	میانگین	انحراف معیار
مصرف منابع آب زیرزمینی (میلیون متر مکعب)	۶۵/۲۸	۱۲/۱۱۹

\* نکته: داده ها تواتر سالانه دارند



شکل ۱- سری زمانی مصرف منابع آب زیرزمینی

است. با توجه به خروجی، سری زمانی با یک بار تفاضل‌گیری مانا می‌شود. پس از مانایی و سپس انتخاب وقفه‌های بهینه اتورگرسیون، پیش‌بینی انجام شد.

#### ۳-۴- بحث

در جدول ۲ مقادیر واقعی و مقادیر پیش‌بینی توسط دو مدل تحلیل طیف تکین و مدل خطی ARIMA برای مقایسه آورده شده است.

نتایج دقت مدل‌سازی و پیش‌بینی توسط هر دو مدل در جدول ۳ ارائه شده است. سعی شده تا با پیش‌بینی‌های کوتاه‌مدت و بلندمدت، قدرت مدل‌ها ارزیابی و مقایسه شوند.

بنابراین از پیش‌بینی یک تا سه گام به جلو استفاده شده است. همان‌طور که نتایج جدول ۳ نشان می‌دهد، پیش‌بینی از طریق تحلیل طیف تکین، در تمام گام‌های پیش‌بینی عملکرد بهتری داشته است. به عبارت دیگر روش SSA قادر است بهبود قابل‌توجهی در پیش‌بینی مشاهدات آتی نسبت به مدل ARIMA برحسب معیار MSE فراهم کند، به طوری که از ۷۰ درصد بهبود در پیش‌بینی یک گام به جلو تا ۸۸ درصد بهبود در پیش‌بینی سه گام به جلو مشاهده می‌شود.

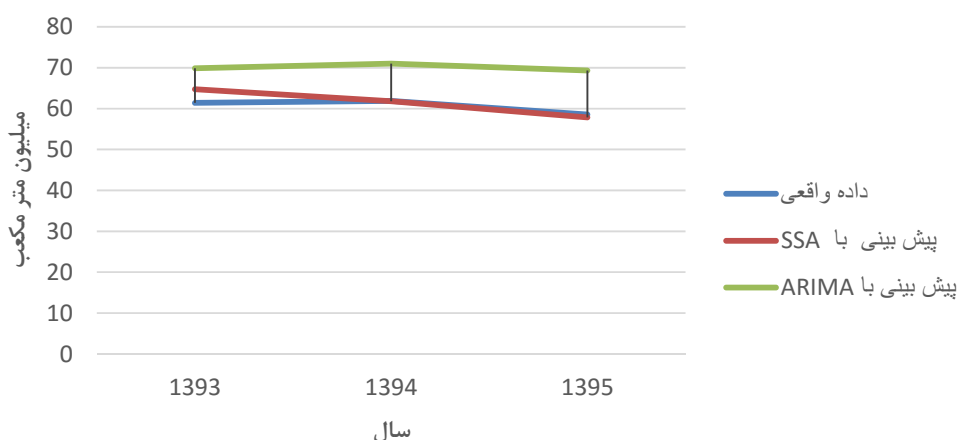
اکنون پیش‌بینی در سه سال آینده و خارج از نمونه انجام می‌شود. یعنی برای سالهای ۱۳۹۵، ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷، منابع آب

جدول ۲- مقادیر پیش‌بینی شده و واقعی منابع آب زیر زمینی در سه سال مطالعه شده

سال	مقدار واقعی (برحسب میلیون متر مکعب)	پیش‌بینی توسط SSA (برحسب میلیون متر مکعب)	پیش‌بینی توسط ARIMA (برحسب میلیون متر مکعب)
۱۳۹۲	۶۱/۴۰۷	۶۴/۷۵۹۹۱	۶۹/۸۸۳۶۴
۱۳۹۳	۶۱/۹۰۴	۶۱/۸۰۲۲	۷۰/۹۷۵۹۹
۱۳۹۴	۵۸/۵۶۸	۵۷/۸۵۰۸۴	۶۹/۲۹۷۱

جدول ۳- مقایسه توانایی مدل SSA و مدل ARIMA در برازش و پیش‌بینی میزان منابع آب زیرزمینی براساس معیار MSE

گام پیش‌بینی	خطای SSA	خطای ARIMA	درصد بهبودی مدل SSA نسبت به ARIMA
یک	۱۱/۲۴۲۰۱	۷۱/۸۵۳۴۳	۷۰/۸
دو	۵/۶۲۶۱۸۴	۷۷/۰۷۷۲۱	۷۶/۰۷
سه	۳/۹۲۲۲۲۹	۸۹/۷۵۶۰۱	۸۸/۷۵



شکل ۲- مقایسه دو مدل SSA و ARIMA با داده‌های واقعی منابع آب زیرزمینی

زیرزمینی برآورد می‌شود. از همان الگوریتم بازگشتی استفاده می‌شود. در جدول ۴، نتایج برآورد میزان بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی برای سه سال آینده با روش تحلیل طیف تکین ارائه شده است.

جدول ۴- مقادیر پیش‌بینی منابع آب زیر زمینی در سه سال آینده توسط SSA

سال	مقدار پیش‌بینی (برحسب میلیون متر مکعب)
۱۳۹۵	۵۳/۱۲۱۶
۱۳۹۶	۴۸/۷۳۳۶
۱۳۹۷	۴۳/۸۳۱۷

## ۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله، کارایی روش تحلیل طیف تکین در پیش‌بینی میزان منابع آب زیرزمینی در ایران در مقابل روش سری زمانی خطی ARIMA مورد ارزیابی قرار گرفت، تا لزوم اتخاذ سیاست‌های جدید و تصمیم‌گیری برای مدیریت این منابع آشکار شود. بدین منظور از مدل مجموعه مقادیر تکین استفاده شد. به همین منظور از سری زمانی منابع آب از ۱۳۶۲ تا ۱۳۹۴ به صورت سالانه استفاده شد و پیش‌بینی‌های کوتاه‌مدت و میان‌مدت به دست آمده از دو مدل با یکدیگر مقایسه شد. با توجه به نتایج ارائه شده در جدول‌های ۲ و ۳، روش SSA توانسته عملکرد بهتری در پیش‌بینی‌های کوتاه‌مدت و میان‌مدت در مقایسه با مدل ARIMA داشته باشد. به طوری که از ۷۰ درصد بهبود در پیش‌بینی یک گام به جلو تا ۸۸ درصد بهبود در پیش‌بینی ۳ گام به جلو مشاهده می‌شود. در مرحله بعد، پیش‌بینی در سه سال آینده (خارج از نمونه) با روش تحلیل طیف تکین انجام شد. نتایج نشان می‌دهد که در سال‌های آتی منابع آب زیرزمینی به شدت کاهش می‌یابد.

نتایج نشان داد که اگر روند کنونی بهره‌برداری از این آب‌ها ادامه یابد، سطح آب‌های زیرزمینی طی سال آینده حدود ۱۵ میلیون مترمکعب کاهش می‌یابد و به طور قطع، نزولات جوی با ادامه روند بهره‌برداری کنونی نمی‌تواند به افزایش سطح این آب‌ها کمک نماید. لذا با توجه به اهمیت بسیار زیاد آب‌های زیرزمینی، به منظور جلوگیری از کاهش هر چه بیشتر سطح این آب‌ها باید به دنبال راه‌کارهای جدید بود و ادامه روند کنونی بهره‌برداری به نابودی این منابع می‌انجامد.

## ۶- پیشنهادها

مدل SSA می‌تواند در پیش‌بینی انواع سری‌های زمانی کاربرد داشته باشد. به طوری که یکی از مزیت‌های مهم این مدل نسبت به مدل‌های رقیب، کارایی قابل توجه آن در پیش‌بینی‌های سری‌های زمانی با طول سری نسبتاً کم است. بنابراین می‌تواند در پیش‌بینی سری‌های زمانی که به صورت سالانه وجود دارد نیز عملکرد خوبی داشته باشد. همچنین به پژوهشگران توصیه می‌شود که برای پژوهش‌های آتی، استفاده از الگوریتم‌های مختلف غیر از الگوریتم بازگشتی<sup>۳</sup> در تحلیل طیف تکین (که در این مقاله از این نوع الگوریتم استفاده شد) و مقایسه توانمندی الگوریتم‌های مختلف در پیش‌بینی و مدلسازی مدنظر قرار گیرد.

## ۷- پی‌نوشت‌ها

- 1- Embedding
- 2- Singular Value Decomposition
- 3- Recurrent

## ۸- مراجع

- اندیشکده تدبیر آب ایران، (۱۳۹۳)، *آشنایی با منابع آب زیرزمینی*، اتاق بازرگانی، صنایع و معادن و کشاورزی کرمان.
- جفره، م.، و علیزاده، س.، (۱۳۸۸)، "بررسی نقش بازار در تخصیص بهینه منابع آب"، *علوم اقتصادی*؛ ۲(۸)، ۷۹-۹۵.
- جلیلی کامجو، پ.، (۱۳۹۵)، "کاربرد نظریه طراحی مکانیسم و نظریه تطبیق در طراحی بازار آب: رویکرد نهادی"، *مجله اقتصاد و الگوسازی*، ۷(۲۶)، ۱۲۱-۱۳۸.
- جلیلی کامجو، پ.، و خوش اخلاق، ر.، (۱۳۹۵)، "استفاده از نظریه بازی‌ها در تخصیص بهینه آب در زاینده‌رود"، *مجله مطالعات اقتصاد کاربردی در ایران*، ۵(۱۸)، ۵۳-۸۰.
- خوش اخلاق، ر.، (۱۳۸۳)، "اقتصاد آب"، *ماهنامه اقتصاد ایران*، ۶(۶۶)، ۳۶-۳۷.
- خوش اخلاق، ر.؛ عمادزاده، م.، و نورعلی‌زاده، ل.، (۱۳۷۹)، "تخمین تابع عرضه اقتصادی درازمدت آب در حوضه آبریز رودخانه زاینده‌رود"، *مجله اقتصاد کشاورزی و توسعه*، ۸(۳۰)، ۱۱۷-۱۲۹.
- دهنوی، ج.؛ فرزام فر، م.، و محتشمی، م.، (۱۳۹۰)، "پیش‌بینی عکس‌العمل بخش صنعت در کوتاه‌مدت به اجرای قانون هدفمندکردن یارانه‌ها، بررسی تغییرات در الگوی مصرف

- tegration (SII), pp. 938-945.
- UNWWAP, (2017), *UN world water development report: Water for people, water for life*, UNESCO and Berghahn Books.
- Vaux Jr., H.J., and Howitt, R.E. (1984), "Managing water scarcity: An evaluation of interregional transfers", *Water Resources Research*, 20(7), 785-792.
- حامل‌های انرژی"، اولین کنفرانس بین‌المللی رویکردهای نوین نگهداشت انرژی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران.
- میرزاجانی بجستانی، م.، و ارمز، ا.، (۱۳۹۳)، "تحلیل مجموعه مقادیر تکین- مطالعه موردی بهای سکه"، نشریه دانشجویی آمار (ندا)، ۱۲(۲)، ۳۰-۳۹.
- وزارت نیرو (۱۳۹۲)، "مطالعات بهنگام سازی طرح جامع آب کشور با رویکرد مدیریت بهم پیوسته منابع آبی"، گزارش دفتر برنامه‌ریزی کلان آب و آبفا.
- یارمحمدی، م.، و محمودوند، ر.، (۱۳۹۵)، "پیش‌بینی نرخ ارز با استفاده از روش تحلیل مجموعه‌ی مقادیر تکین"، فصلنامه مطالعات اقتصادی کاربردی ایران، ۵(۱۸)، ۱۳۳-۱۴۶.
- Al Radif, A., (1999). "Integrated water resources management (IWRM): An approach to face the challenges of the next century and to avert future crises", *Desalination*, 124(1-3), 145-153.
- Beneki, C., Yarmohammadi, M., (2014), "Forecasting exchange rates: An optimal approach", *Journal of Systems Science and Complexity*, 27(1), 21-28.
- Broomhesd, D.S., and King, G.P., (1986), "Extracting qualitative dynamics from experimental data", *Physica D: Nonlinear Phenomena*, 20(2-3), 217-236.
- Elsner, J.B., and Tsonis, A.A., (1996), *Singular spectrum analysis: A new tool in time series analysis*, Springer Science and Business Media, Print ISBN 978-1-4419-3266-2.
- Fenghua, W., Jihong, X., Zhifang, H., and Xu, G., (2014), "Stock price prediction based on SSA and SVM", *Procedia Computer Science*, 31, 625-631.
- Foster, S., and Loucks, D.P., (2006), "Non-renewable groundwater resources, A guidebook on socially-sustainable management for water-policy makers", IHP-IV Groundwater Series No. 10, UNESCO.
- Golyandina, N., Nekrutkin, V., and Zhigljavsky, A., (2001), *Analysis of time series structure: SSA and related technique*, Chapman and Hall/CRC, New York, London.
- Golyandina, N., and Zhigljavsky, A., (2013), *Singular spectrum analysis for time series*, Springer Briefs in Statistics, Springer. 10.1007/978-3-642-34913-3.
- Hassani, H., (2007), "Singular spectrum analysis: Methodology and comparison", *Journal of Data Science*, 5(1), 239-257.
- Mahmoudvand, R., and Rodrigues, P.C., (2016), "Missing value imputation in time series using Singular Spectrum Analysis", *International Journal of Energy and Statistics*, 4(1), 1-6.
- Mohammad, Y., and Nishida, T., (2011), "On comparing SSA-based change point discovery algorithms", *IEEE/SICE International Symposium on System In-*