نشریه

ترویج و توسعه آبخیزداری
Extension and Development of Watershed Management

سال هفتم- شماره ۲۵- تابستان ۱۳۹۸ Vol. 7, No. 25, Summer 2019

# پیش‌بینی تغییرات آتی میزان استحصال آب زیرزمینی از حوضه‌های آبریز اصلی ایران

مریم احسانی*[۱] و نادر مهرگان[۲]

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۳/۲۹ تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۳/۰۵

## چکیده

**آب منبعی حیاتی و از عوامل رشد و توسعه در جوامع بشری است. در نواحی خشک و نیمه خشک مانند اکثر نقاط ایران به دلیل کمبود آب سطحی از منابع آب زیرزمینی استفاده می‌شود. این پژوهش به بررسی روند استحصال منابع آب زیرزمینی از شش حوضه اصلی آبریز ایران طی سال‌های (۹۶-۱۳۶۰) و پیش‌بینی میزان برداشت از این منابع تا سال ۱۴۰۳ می‌پردازد. بدین منظور از مدل سری زمانی در قالب روش *ARIMA* استفاده شد. نتایج نشان داد با مدیریت فعلی میزان برداشت از این منابع طی سال‌های آینده در اکثر حوضه‌ها افزایش می‌یابد و این مسئله موجودیت این منابع و حیات بشر را به مخاطره می‌افکند. قیمت‌گذاری منابع آب مورد استفاده کشاورزی، نصب کنتورهای هوشمند و مدیریت پایدار منابع آب زیرزمینی، جهت بهبود وضعیت پیش‌بینی شده توصیه می‌شود.**

**واژه‌های کلیدی:** ***آب‌های زیرزمینی، سری زمانی، تغییرات اقلیمی، میزان استحصال، مناطق خشک.***

## مقدمه

آب یکی از مهم‌ترین منابع طبیعی و از عوامل رشد و توسعه در جوامع بشری است. با نگاهی به تاریخ مشاهده می‌شود، در جایی که آب وجود داشته زمینه‌های تمدن فراهم شده است. مقایسه‌ی کشورهای واقع در منطقه‌ی معتدله با کشورهای مستقر در نواحی خشک و نیمه‌خشک نشان می‌دهد که کمبود آب، به‌ویژه آب باکیفیت خوب از عوامل مهم بازدارنده‌ی توسعه‌ی کشاورزی، اقتصادی و اجتماعی در اکثر کشورهای درحال توسعه، به‌خصوص کشورهای واقع در کمربند خشک، نیمه‌خشک و گرم جهان است [۱۰]. دسترسی به این نهاده‌ی ارزشمند به عوامل گوناگون طبیعی و اقلیمی وابسته است. از مهم‌ترین سوانح طبیعی و اقلیمی می‌توان به خشکسالی و کمبود منابع آبی اشاره نمود. یکی از منابع اصلی تأمین آب در جهان منابع آب زیرزمینی است. کمبود آب‌های سطحی در مناطق خشک و نیمه‌خشک، به استفاده بیش‌تر از منابع آب زیرزمینی منجر شده است [۴]. در ایران نیز آب‌های زیرزمینی در حدود ۵۳ درصد از کل آب‌های مورد استفاده را تأمین می‌نمایند [۱۴]. برداشت آب از منابع زیرزمینی در ایران، روند صعودی خیره‌کننده‌ای داشته؛ به گونه‌ای که برداشت آب از سفره‌های آب زیرزمینی از ۲۴۳۶۵ میلیون متر مکعب در سال آبی ۵۵-۱۳۵۴ به بیش از ۶۰۹۱۸ میلیون متر مکعب در سال آبی ۹۴-۱۳۹۳ رسیده و این مسئله باعث بروز بحران‌های شدید آبی در کشور شده است [۷]. وقوع چنین حوادثی و هم‌چنین بروز تغییرات اقلیمی و خشکسالی، بشر را به چاره‌جویی و برنامه‌ریزی برای پیش‌بینی تغییرات آینده‌ی منابع آب واداشته است. بدیهی است تجزیه و تحلیل روند تغییرات سطح آب‌های زیرزمینی و پیش‌بینی مقادیر آینده‌ی آن، می‌تواند پایه‌ی خوبی برای توسعه‌پایدار، بهره‌برداری بهینه و مدیریت مطلوب این منابع ایفا نماید. بر این اساس هدف پژوهش حاضر، بررسی روند تغییرات منابع آب زیرزمینی حوضه‌های اصلی آبریز ایران و پیش‌بینی میزان برداشت از این منابع طی سال‌های آتی در منطقه‌ی مورد مطالعه است. بدین منظور از مدل اقتصاد سنجی خود توضیح انباشته میانگین متحرک (*ARIMA*)[۳] که یک الگوی سری زمانی است استفاده می‌شود. از مدل‌های سری‌زمانی در مطالعات هیدرولوژیک برای پیش‌بینی دما، رطوبت و بارش‌ماهانه و هم‌چنین پیش‌بینی تغییرات سطح آب‌های زیرزمینی استفاده شده است. برخی از مهم‌ترین مطالعات داخلی و خارجی صورت گرفته در این زمینه به شرح زیر می‌باشند:

۱- دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد اقتصاد کشاورزی، دانشگاه بوعلی‌سینا، نویسنده مسئول، Email: m.ehsany94@gmail.com
۲- استاد اقتصاد، دانشگاه بوعلی‌سینا.

3-Auto Regressive Integrated Moving Average

عباس‌زاده و همکاران [۱]، با استفاده از مدل تلفیقی *AR-ARCH* به پیش‌بینی تراز سطح آب دریاچه ارومیه پرداخته و نشان دادند که یک فرصت اقلیمی جدید جهت احیای دریاچه ارومیه در حال ایجاد است و طی سال‌های آتی سطح تراز این دریاچه بهبود خواهد یافت. همچنین نتیجه گرفتند که ترکیب مدل‌های خطی و غیرخطی سری‌های زمانی می‌تواند دقت مدل‌سازی را تا حدود زیادی افزایش دهد. مرادی و شریفی [۸]، به تحلیل سری‌های زمانی بارش در حوضه‌های آبریز اصلی ایران پرداخته و رفتار بارش در این حوضه‌ها را با روند تغییرات ذخیره کلی آب در این محدوده‌ها بررسی نمودند. نتایج حاکی از آن بود که گرچه دو حوضه دریای خزر و ارومیه بیش‌ترین افت بارش‌ها را شاهد بوده‌اند (البته طبق آمار موجود، حوضه‌های مرکزی و شرقی با افت بارش بیش‌تری روبرو هستند)؛ ولی افت ذخیره آب در حوضه‌های سرخس، فلات مرکزی و خلیج فارس از سایر حوضه‌ها بیش‌تر است. در نتیجه مجموع ذخیره آبی بسیار بیش‌تر از پدیده‌ی بارش، تحت تاثیر عوامل غیرطبیعی به ویژه سوء مدیریت منابع آب قرار دارد. صلاحی و همکاران [۱۳]، به پیش‌بینی تغییر پارامترهای اقلیمی حوضه آبریز دریاچه ارومیه پرداختند و نتایج مطالعه آنان بیان‌گر کاهش بارش و افزایش دمای حداقل و حداکثر در ایستگاه‌های هواشناسی پیرامون این حوضه تا سال ۲۰۳۰ بود. چوبین و ملکیان [۴]، نشان دادند که مدل *ARIMA* در زمینه‌ی پیش‌بینی به طور قابل توجهی بهتر از مدل شبکه عصبی مصنوعی عمل می‌کند. ینگ و همکاران [۱۶]، نشان دادند که هر سه مدل سری زمانی تجمعی، مدل *ARIMA* و مدل شبکه عصبی مصنوعی، سطوح آتی منابع آب زیرزمینی را به دقت پیش‌بینی می‌نمایند. پاتل و همکاران [۹]، با استفاده از مدل *ARIMA* به بررسی وضعیت منابع آب زیرزمینی ایالت کارنال هند پرداخته و نتیجه گرفتند سطح این منابع طی سالهای آتی کاهش خواهد یافت. جبریلا و همکاران [۵]، روند بارش باران، سطح آب‌های زیرزمینی و دمای هوا را در منطقه شرق غنا بررسی نموده و نتیجه گرفتند که تا سال ۲۰۲۰، میزان بارش باران با نرخ ۴/۷۸ میلی‌متر در سال کاهش می‌یابد ولی سطح آبهای زیرزمینی افزایش بسیار اندکی خواهد داشت. نتایج مطالعات پیشین عمدتاً بیان‌گر افت سطح منابع آبی در کل جهان طی سال‌های آتی است. به دلیل نیاز کلیه بخش‌های اقتصاد ایران –علی الخصوص بخش کشاورزی– به آب، دست‌یابی پایدار به این منبع حیاتی ضروری است و در برنامه‌ریزی‌های کلان کشور باید به این موضوع توجه ویژه‌ای نمود. از این‌رو در پژوهش حاضر به پیش‌بینی میزان آتی منابع آب زیرزمینی در حوضه‌های آبریز اصلی ایران پرداخته خواهد شد. در ادامه به معرفی منطقه مورد مطالعه و روش انجام پژوهش پرداخته و سپس شرح نتایج و ارائه پیشنهاداتی در راستای بهبود وضع موجود ارائه می‌گردد.

**معرفی منطقه مورد مطالعه:**

ایران با وسعتی بیش از ۱/۶ میلیون کیلومتر مربع در نیمه جنوبی منطقه معتدل شمالی قرار گرفته و میانگین ارتفاع آن بیش از ۱۲۰۰ متر از سطح دریاست [۷]. این کشور در ناحیه‌ای خشک و نیمه‌خشک واقع شده و ۱۳ درصد از کل وسعت آن دارای آب و هوایی کوهستانی، ۱۴ درصد آب و هوایی معتدل و ۷۳ درصد دارای آب و هوایی خشک و نیمه خشک است. متوسط بارش سالانه‌ی آن ۲۵۰ میلی‌متر می‌باشد که بسیار کمتر از متوسط آسیا و جهان (به‌ترتیب ۷۳۲ و ۸۳۱ میلی‌متر) است [۱۷]. به‌دلیل قرارگیری جغرافیایی ایران در ناحیه‌ی خشک جهان به جز نوار شمالی و بخش‌هایی از غرب کشور همواره با محدودیت آب مواجه بوده است. این وضعیت در مرکز، جنوب، جنوب شرق و جنوب غربی کشور بیش‌تر قابل مشاهده است. وجود دو منطقه کویری در مرکز ایران نیز به محدودیت‌های آبرسانی به مناطق وسیعی از کشور افزوده است. به گونه‌ای که در حال حاضر به دلیل برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی و از دست رفتن غیرقابل برگشت سفره‌های آبی، مصرف آب به ویژه در بخش‌های کشاورزی و شرب، ورود انواع آلاینده‌ها به منابع آب و غیرقابل مصرف شدن بخشی از منابع آب به دلیل افت کیفیت، فقدان مدیریت یکپارچه و عدم اختصاص منابع لازم برای بهره‌برداری و نگهداری تاسیسات، دسترسی به منابع آب شیرین محدودتر شده است [۱۲]. طی سال‌های اخیر در بیش‌تر مناطق ایران به دلیل کاهش نزولات جوی، خشکسالی‌های پردامنه و شدیدی رخ داده که پیامد آن افت شدید سطح ایستایی سفره‌های آب زیرزمینی است [۴].

ایران تنها با شش حوضه‌ی آبی یکی از فقیرترین کشورهای جهان در زمینه‌ی منابع آب زیرزمینی به‌شمار می‌رود [۱۷]. حوضه‌های آبریز اصلی ایران عبارتند از: حوضه آبریز دریای مازندران، حوضه آبریز خلیج فارس و دریای عمان، حوضه آبریز دریاچه‌ی ارومیه، حوضه آبریز مرزی شرق، حوضه آبریز فلات مرکزی ایران و حوضه آبریز قره‌قوم [۷]. از بین این شش حوضه، متوسط میزان بارندگی در حوضه‌های دریای خزر، خلیج فارس و دریای عمان و حوضه آبریز دریاچه ارومیه، بالاتر از میانگین بارندگی کشور و میانگین بارندگی در حوضه‌های مرکزی، مرزی شرق و قره‌قوم، پایین‌تر از متوسط بارندگی کشور است [۷]؛ از این رو انتظار می‌رود به دلیل ذخیره‌سازی محدود آب در این سفره‌ها، کمبود منابع آب جایگزین مانند منابع آب سطحی در این مناطق –که عمدتاً در نواحی بیابانی ایران واقع شده‌اند– و در نتیجه برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی برای مصارف گوناگون، استحصال آب زیرزمینی از این حوضه‌ها در آینده نیز با شدت بیش‌تری ادامه یافته و سطح ایستایی منابع آب زیرزمینی در این سه حوضه‌ی آبی طی سال‌های آتی کاهش یابد. در ادامه به بررسی روند استحصال آب از این حوضه‌ها و ارائه‌ی روشی برای پیش‌بینی مقادیر آینده‌ی این منابع پرداخته خواهد شد.

**روش انجام پژوهش**

سری‌های زمانی مجموعه مشاهداتی هستند که بر حسب زمان مرتب شده‌اند. معمولا مدل‌های سری زمانی را بر اساس تئوری بنا نمی‌کنند، بلکه تلاش می‌شود تا از نظر تجربی ویژگی‌های مربوط

به داده‌های مشاهده‌شده را تبیین نمایند. در مدل‌های سری زمانی یک متغیره تلاش می‌شود متغیرهای اقتصادی را بر اساس مقادیر گذشته و جاری جملات خطا، مدل‌سازی و پیش‌بینی نمایند [۱۵]. پیش‌بینی مقادیر آتی متغیرهای اقتصادی، از مهم‌ترین کاربردهای مدل‌های اقتصادی است و تحلیل‌های سری زمانی معمولا دو هدف را دنبال می‌کنند.

۱) به مدل در آوردن مکانیسم تغییرات فرآیند مورد نظر در طول زمان.

۲) پیش‌بینی مقادیر آینده‌ی فرآیند، با استفاده از مدل ارائه شده و بر مبنای روند تغییرات آن در طول زمان [۱۱].

از جمله مدل‌های ارائه شده در زمینه پیش‌بینی می‌توان به مدل خودتوضیح میانگین متحرک[1] (*ARMA*) اشاره نمود که تلفیقی از دو فرآیند خودتوضیح (*AR*) با مرتبه‌ی $p$ و میانگین متحرک (*MA*) از مرتبه‌ی $q$، به‌صورت رابطه‌ی زیر می‌باشد:

$$Y_t=\mu+\phi_1 Y_{t-1}+\phi_2 Y_{t-2}+\ldots+\phi_p Y_{t-p}+u_t+\theta_1 u_{t-1}+\theta_2 u_{t-2}+\ldots+\theta_q u_{t-q} \quad (۲)$$

$\phi$ و $\theta$ به ترتیب پارامترهای مدل *AR* و *MA* هستند. ویژگی اصلی این فرآیند، نزولی بودن توابع خودهمبستگی و خودهمبستگی جزئی است. هم‌چنین شرط استفاده از این مدل، ایستایی در سری زمانی است؛ اگر این شرط برقرار نباشد با عملگر تفاضل در $d$ امین تفاضل سری، می‌توان سری زمانی را ایستا نمود که منجر به مدل خودتوضیح انباشته‌ی میانگین متحرک (*ARIMA*) می‌شود [۲]. مدل *ARIMA*، در واقع یک مدل پیش‌بینی خطی است که فرض می‌کند داده‌های فعلی ارتباط مستقیمی با داده‌های گذشته و خطاهای آن دارند [۵]. باکس و جنکینز (۱۹۷۶) اولین کسانی بودند که روشی را برای تخمین مدل‌های *ARMA* ارائه نمودند. بر اساس این روش برای برازش یک مدل سری زمانی باید سه مرحله‌ی اساسی شناخت الگو، برآورد ضرایب و بررسی صحت الگو طی شود. در صورتی که هدف از برآورد این الگوها، پیش‌بینی مقادیر آینده‌ی یک متغیر باشد، مرحله‌ی پیش‌بینی نیز به عنوان گام چهارم در نظر گرفته می‌شود. مهم‌ترین ابزار تشخیصی در مرحله شناخت الگو، استفاده از تابع خودهمبستگی[2] (*ACF*) و تابع خودهمبستگی جزئی[3] (*PACF*) است. به این صورت که با استفاده از این توابع، مدل‌های سری‌زمانی مناسب به داده‌ها برازش شده و با توجه به رفتار این توابع درخصوص تعیین مرتبه مدل تصمیم‌گیری می‌شود. همچنین می‌توان از معیارهای اطلاعات سه گانه آکاییک (*AIC*)، شوارتز- بیزین (*SBIC*) و حنان- کویین (*HQIC*) برای تعیین مدل مناسب استفاده نمود. در نهایت در این مرحله یک فرآیند *ARIMA(p,d,q)* شناسایی می‌شود. که $p$، $q$ و $d$، به ترتیب تعداد جملات فرآیند خودتوضیح، تعداد جملات فرآیند میانگین متحرک و تعداد دفعات تفاضل‌گیری لازم برای پایا نمودن سری زمانی اولیه است. برآورد مدل در مرحله‌ی دوم عمدتاً وابسته به تشخیص صحیح مدل در مرحله‌ی اول است. در مرحله‌ی دوم مدل را می‌توان با روش *OLS* یا روش‌های دیگری مانند حداکثر درست‌نمایی برآورد نمود [۱۵].

زمانی که یک الگوی مشخص *ARIMA* برازش گردید، می‌توان آن را برای پیش‌بینی استفاده کرد چون پیش‌بینی هدف اولیه‌ی چنین الگوهایی است. دو نوع پیش‌بینی ایستا و پویا وجود دارد که در پیش‌بینی ایستا از مقادیر جاری و با وقفه‌ی متغیر استفاده شده و در پیش‌بینی پویا، بعد از پیش‌بینی اولین دوره، مقادیر پیش‌بینی قبلی متغیر به‌کار گرفته می‌شود [۶]. در نتیجه دقت پیش‌بینی ایستا از پیش‌بینی پویا بالاتر است. پس از اجرای مراحل پیش‌بینی، برای بررسی صحت عملکرد پیش‌بینی از معیارهای مختلفی استفاده می‌شود. معیارهای ارزیابی پیش‌بینی، بر مبنای مقادیر واقعی ($Y_t$) و مقادیر پیش‌بینی ($Y_t^f$) قرار دارند. متداول‌ترین معیارهای ارزیابی دقت پیش‌بینی، میانگین مجذور خطا[4] (*MSE*) و ریشه‌ی دوم آن (*RMSE*)، میانگین قدر مطلق خطا[5] (*MAE*)، میانگین قدرمطلق درصد خطا[6] (*MAPE*) و ضریب نابرابری تایل[7] (*TIC*) می‌باشند. هم‌چنین می‌توان از پیش‌بینی درون نمونه‌ای به منظور مقایسه مقادیر پیش‌بینی شده با مقادیر واقعی استفاده نمود.معیارهای (*RMSE*)، (*MSE*) و (*MAE*)، متاثر از واحد اندازه‌گیری $Y$ هستند، بدین معنی که بزرگ و کوچک بودن مقادیر $Y$ موجب بزرگ و کوچک بودن این معیارها می‌شود. بدین منظور از معیار (*MAPE*) استفاده می‌شود که تحت تاثیر واحد اندازه‌گیری $Y$ قرار ندارد [۱۵].

$$MAPE=100\sum_t^n\left|\frac{Y^f-Y}{Y}\right|/m \quad (۲)$$

که $m$ نشان‌دهنده طول دوره پیش‌بینی است و از $t=T+1$ تا $n=T+m$ می‌باشد. هم‌چنین ضریب نابرابری تایل که یکی دیگر از معیارهای ارزیابی دقت پیش‌بینی است، به‌گونه‌ای تعریف شده که مقدار آن بین ۰ و ۱ است. اگر مقدار آن برابر با صفر باشد بدان معناست که خطاهای پیش‌بینی صفر است:

$$TIC=\sqrt{\sum(Y^f-Y)^2/m}\Big/\sqrt{\sum(Y^f)^2/m}\sqrt{\sum Y^2/m} \quad (۳)$$

در این پژوهش از دو معیار *MAPE* و *TIC* برای ارزیابی دقت پیش‌بینی‌ها استفاده می‌شود. آمار و داده‌های ۳۰ سالبرداشت از منابع آب زیرزمینی حوضه‌های آبریز ایران طی سال‌های ۹۶-۱۳۶۰، از سالنامه‌های آماری مرکز آمار ایران بدست آمده و دوره مورد پیش‌بینی، سال‌های ۱۴۰۳-۱۳۹۷ را شامل می‌شود. برای انجام کلیه مراحل پژوهش از نرم‌افزار *Eviews.6* استفاده شده و درنهایت ارقام

1-Auto Regressive Moving Average
2- Autocorrelation Function
3- Partial Autocorrelation Function

4-Mean Squared Error
5- Mean Absolute Error
6- Mean Absolute Percentage Error
7- Theil Inequality Coefficient

پیش‌بینی شده توسط این نرم‌افزار، با استفاده از نرم‌افزار *Excel* به‌صورت نمودار ترسیم شده‌اند که در ادامه پژوهش ارائه می‌گردد.

**نتایج و بحث**

آگاهی از وضعیت آینده‌ی منابع طبیعی، علی‌الخصوص آب‌های زیرزمینی، می‌تواند نقش مهمی در مدیریت پایدار این منابع ایفا نماید. در این پژوهش از تحلیل سری زمانی در قالب روش *ARIMA* برای پیش‌بینی سطح استحصال منابع آب زیرزمینی از حوضه‌های آبریز اصلی ایران استفاده شده است. بدین منظور ابتدا ایستایی داده‌ها با استفاده از آزمون دیکی فولر تعمیم‌یافته[1] (*ADF*)، مورد بررسی قرار گرفت که نتایج آن در جدول (۱) ارائه شده است.

**جدول۱: نتایج آزمون دیکی فولر تعمیم‌یافته برای سری‌های آب زیرزمینی حوضه‌های مورد بررسی**

| سری مورد بررسی | مقدار آماره | سطح احتمال | نتیجه آزمون |
|---|---|---|---|
| حوضه قره‌قوم | -۴/۲۰۵ | ۰/۰۰۲ | ایستا با یک تفاضل |
| حوضه دریای خزر | -۷/۱۸۸ | ۰/۰۰۰ | ایستا با یک تفاضل |
| حوضه ارومیه | -۳/۵۰۲ | ۰/۰۱۳ | ایستا در سطح |
| حوضه فلات مرکزی | -۴/۹۹۲ | ۰/۰۰۰ | ایستا در سطح |
| حوضه مرزی شرق | -۳/۳۹۲ | ۰/۰۱۸ | ایستا در سطح |
| حوضه خلیج فارس و دریای عمان | -۸/۱۸۵ | ۰/۰۰۰ | ایستا با یک تفاضل |

ماخذ جدول: یافته‌های پژوهش با استفاده از نرم‌افزار Eviews.6

همان‌طور که از نتایج این آزمون مشخص است؛ برخی از سری‌ها در سطح و برخی با یک بار تفاضل‌گیری ایستا هستند. با حذف روند سری‌های زمانی، تغییرات داده‌ها نسبت به زمان ثابت در نظر گرفته می‌شود و این موضوع در مدل‌های خانواده *ARMA* باعث افزایش دقت مدل‌سازی می‌شود [۱]. در مرحله بعد مطابق روش باکس- جنکینز و بر اساس خواص گرافیکی توابع خودهمبستگی (*ACF*) و خودهمبستگی جزئی (*PACF*)، مرتبه فرآیندهای خودتوضیح و میانگین متحرک (*p* و *q*) تعیین شد. سپس بر اساس حداقل معیارهای *AIC* و *SBC*، مدل مناسب برای پیش‌بینی سطح برداشت آب زیرزمینی از حوضه‌های آبی انتخاب شد که نتیجه آن در جدول (۲) ارائه شده است.

همان‌طور که از نتایج ارزیابی معیارهای انتخاب مدل مشخص است، با توجه به حداقل معیارهای آکاییک و شوارتز-بیزین و حداکثر میزان ضریب تعیین تعدیل‌شده، در نهایت الگوهای (۲و۱و۲) *ARIMA*، (۱و۱و۱) *ARIMA*، (۳و۳) *ARIMA*، (۲و۳) *ARIMA*، (۲و۱) *ARMA* و (۱و۱و۱) *ARIMA* به‌ترتیب برای حوضه‌های آبریز قرهقوم، دریای خزر، دریاچه ارومیه، فلات مرکزی ایران، مرزی شرق، و خلیج فارس و دریای عمان انتخاب شد. سپس به‌منظور مقایسه مقادیر پیش‌بینی شده با مقادیر واقعی از روش پیش‌بینی درون نمونه‌ای استفاده شد. بدین صورت که داده‌ها به دو قسمت تقسیم شده و ابتدا مدل تعیین‌شده برای بخش اول داده‌ها (سال‌های ۱۳۶۰ الی ۱۳۹۲) برآورد شده و با استفاده از نتایج آن، بخش دوم داده‌ها (سال‌های ۱۳۹۳ الی ۱۳۹۶) پیش‌بینی شد. نمودار (۱)، به صورت همزمان مقادیر واقعی و پیش‌بینی درون‌نمونه‌ای سطح استحصال آب زیرزمینی حوضه‌ها را نشان می‌دهد.

همان‌طور که مشخص است، تطابق زیاد بین مقادیرپیش‌بینی شده و مقادیر واقعی بیان‌گر دقت بالای پیش‌بینی درون‌نمونه‌ای می‌باشد. هم‌چنین نتایج بررسی پارامترهای مدل‌های منتخب به شرح جدول (۳) است.

در مرحله بعد، دقت و اعتبار پیش‌بینی با سری‌های منتخب، بر اساس معیارهای ارزیابی پیش‌بینی و هم‌چنین از طریق ترسیم سری‌های واقعی در مقابل سری‌های پیش‌بینی شده برون‌نمونه‌ای به صورت نمودار (۲) مورد بررسی قرار گرفت.

**جدول۲: بررسی معیارهای انتخاب مدل‌های گوناگون**

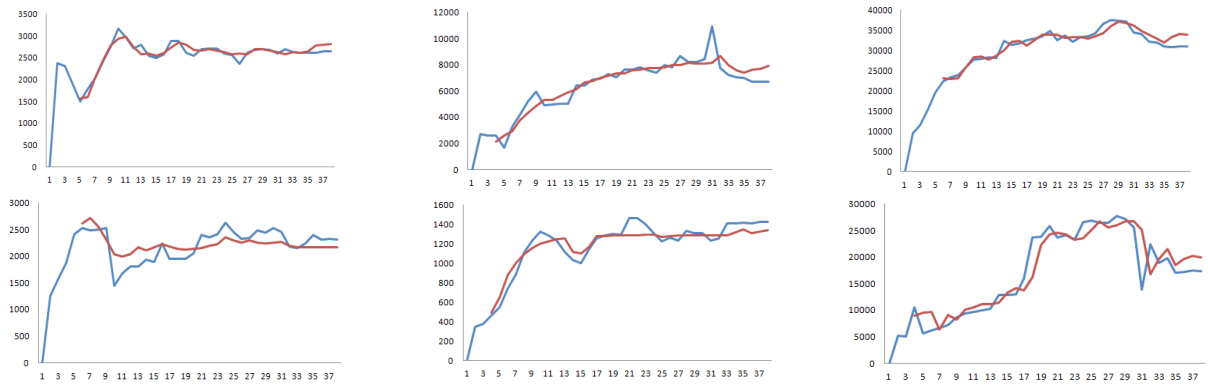
| نام حوضه | | حوضه آبریز قره‌قوم | | | حوضه آبریز دریای خزر | | | | حوضه ارومیه | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| مدل | | *ARIMA* (۱و۱و۱) | *ARIMA* (۱و۱و۲) | *ARIMA* (۲و۱و۲) | *ARIMA* (۲و۱و۱) | *ARIMA* (۱و۱و۱) | *ARIMA* (۱و۲و۱) | *ARIMA* (۱و۲و۲) | *ARMA* (۲و۲) | *ARMA* (۳و۳) |
| معیار | *AIC* | ۱۳/۳۶ | ۱۲/۹۳ | ۱۲/۲۷ | ۱۲/۸۱ | ۱۶/۱۹ | ۱۶/۲۸ | ۱۶/۲۵ | ۱۳/۶۷ | ۱۳/۱۰ |
| | *SBC* | ۱۳/۵۴ | ۱۳/۱۵ | ۱۲/۵۴ | ۱۳/۰۳ | ۱۶/۳۷ | ۱۶/۵۱ | ۱۶/۴۷ | ۱۶/۹۳ | ۱۳/۴۶ |

**ادامه جدول ۲: بررسی معیارهای انتخاب مدل‌های گوناگون**

| نام حوضه | | حوضه آبریز فلات مرکزی ایران | | | حوضه آبریز مرزی شرق | | | حوضه خلیج فارس و دریای عمان | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| مدل | | *ARMA* (۱و۲) | *ARMA* (۱و۳) | *ARMA* (۳و۲) | *ARMA* (۱و۱) | *ARMA* (۱و۲) | *ARMA* (۲و۲) | *ARIMA* (۱و۱و۱) | *ARIMA* (۱و۱و۲) | *ARIMA* (۲و۱و۲) |
| معیار | *AIC* | ۱۷/۲۶ | ۱۷/۳۱ | ۱۷/۰۳ | ۱۱/۴۲ | ۱۱/۱۰ | ۱۱/۱۷ | ۱۹/۰۲ | ۱۹/۰۸ | ۱۹/۱۲ |
| | *SBC* | ۱۷/۴۸ | ۱۷/۵۸ | ۱۷/۳۵ | ۱۱/۶۰ | ۱۱/۳۲ | ۱۱/۴۴ | ۱۹/۱۹ | ۱۹/۳۱ | ۱۹/۳۹ |

ماخذ جدول: محاسبات پژوهش با استفاده از نرم‌افزار Eviews.6

1- AugmentedDicky-Fuller test



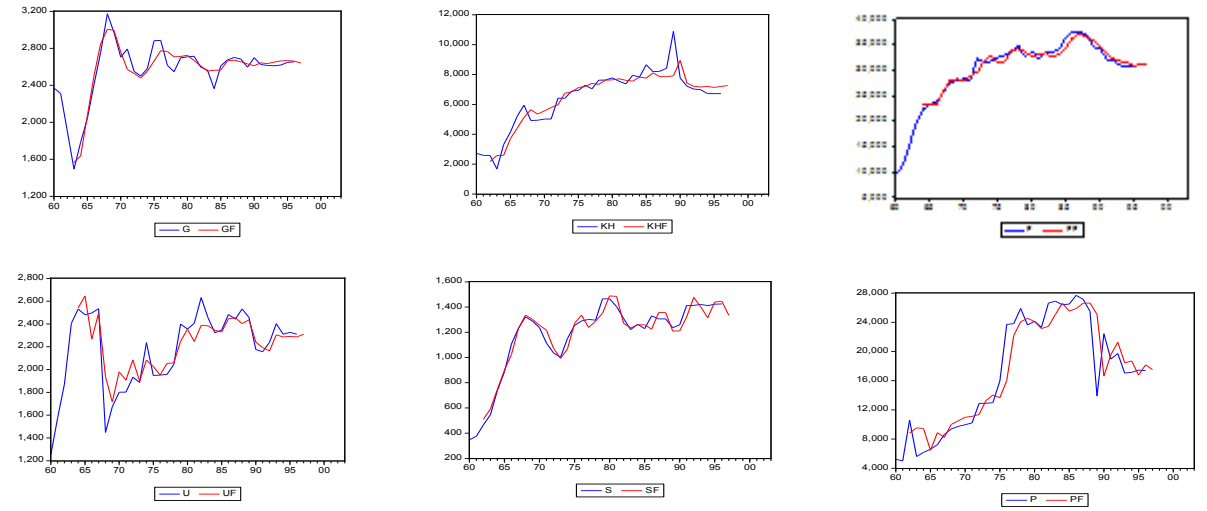
**نمودار ۱: نتایج بررسی داده‌های واقعی و پیش‌بینی شده درون‌نمونه‌ای حوضه‌های آبریز (از چپ به راست: حوضه قره‌قوم، حوضه دریای خزر، حوضه فلات مرکزی، حوضه ارومیه، حوضه مرزی شرق، حوضه خلیج فارس و دریای عمان)**

**توضیح: خطوط آبی رنگ مقادیر واقعی و خطوط قرمز سری پیش‌بینی شده را نشان می‌دهند. (محور عمودی: میزان برداشت آب از حوضه‌های آبریز بر حسب میلیون متر مکعب، محور افقی: سال‌های مورد مطالعه و سال‌های پیش‌بینی)**

**جدول ۳: نتایج بررسی پارامترهای مدل‌های منتخب برای هر یک از حوضه‌ها**

| حوضه / پارامترها | $\emptyset_1$ | $\emptyset_2$ | $\emptyset_3$ | $\theta_1$ | $\theta_2$ | $\theta_3$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| قره‌قوم | ۱/۲۶۳ | -۰/۶۷۴ | ----- | -۱/۶۳۲ | ۰/۹۷۱ | ----- |
| دریای خزر | ۰/۵۷۲ | ----- | ----- | -۰/۹۶۴ | ----- | ----- |
| دریاچه ارومیه | ۰/۵۹۲ | ۰/۰۶۸ | -۰/۳۱۴ | ۰/۲۱۶ | -۰/۱۷۴ | ۰/۶۰۳ |
| فلات مرکزی | -۰/۱۳۳ | -۰/۵۰۱ | -۰/۱۸۹ | ۰/۰۷۷ | ۰/۹۹۴ | ----- |
| مرزی شرق | ۰/۱۴۴ | ----- | ----- | ۰/۶۷۲ | ۰/۹۵۷ | ----- |
| خلیج فارس و دریای عمان | -۰/۷۶۵ | ----- | ----- | ۰/۵۷۴ | ----- | ----- |

ماخذ جدول: محاسبات پژوهش با استفاده از نرم‌افزار Eviews.6



**نمودار ۲: نتایج بررسی داده‌های واقعی و پیش‌بینی شده برون‌نمونه‌ای حوضه‌های آبریز (از چپ به راست: حوضه آبریز قره‌قوم، حوضه دریای خزر، حوضه فلات مرکزی، حوضه ارومیه، حوضه مرزی شرق، حوضه خلیج فارس و دریای عمان)**

**توضیح: خطوط آبی رنگ مقادیر واقعی و خطوط قرمز سری پیش‌بینی شده را نشان می‌دهند. (محور عمودی: میزان برداشت آب از حوضه‌های آبریز (بر حسب میلیون متر مکعب)، محور افقی: سال‌های مورد مطالعه و سال‌های پیش‌بینی)**

ماخذ نمودار: محاسبات تحقیق با استفاده از نرم‌افزار eviews.6

همان‌طور که از نمودارهای فوق مشخص است، داده‌های مدل‌سازی شده‌ی سطح برداشت منابع آب زیرزمینی حوضه‌ها، اختلاف چندانی با داده‌های مشاهداتی نداشته و وقوع پیش‌بینی نزدیک به روند واقعی نشان‌دهنده آن است که مدل‌های منتخب برای پیش‌بینی مناسب بوده‌اند. همچنین برای ارزیابی پیش‌بینی‌های درون نمونه‌ای و برون نمونه‌ای از میانگین درصد قدرمطلق خطا و ضریب نابرابری تایل استفاده شد که نتایج آن در جدول (۴) نشان داده شده است.

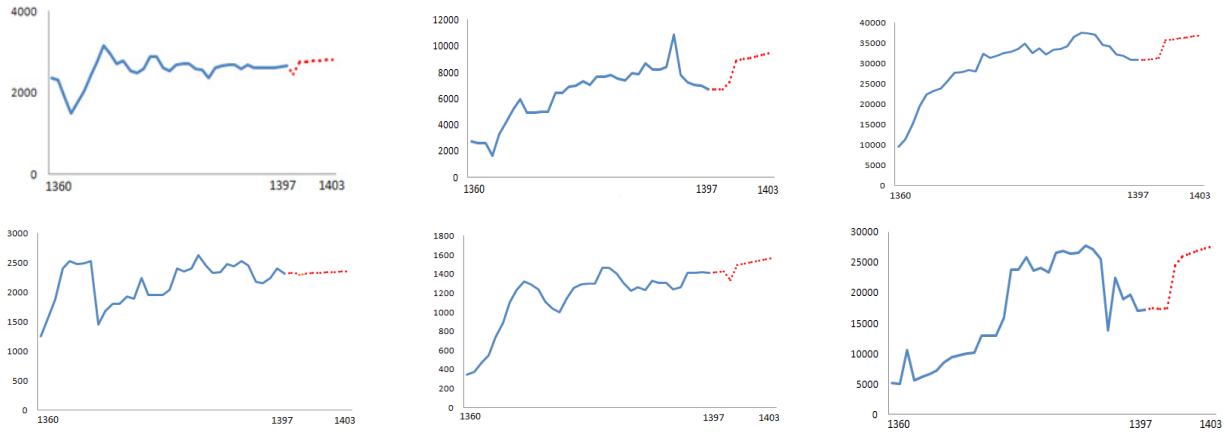
بر اساس معیارهای ارزیابی پیش‌بینی، خطای پیش‌بینی الگوهای انتخاب شده بسیار کم می‌باشد؛ لذا این الگوها دارای دقت بالایی در پیش‌بینی سطح استحصال منابع آبی می‌باشند. پس از انجام پیش‌بینی درون‌نمونه‌ای و برون نمونه‌ای و بررسی نتایج و اطمینان از دقت پیش‌بینی، به وسیله پیش‌بینی برون‌نمونه‌ای میزان برداشت از منابع آب زیرزمینی این حوضه‌ها از سال ۱۳۹۷ تا ۱۴۰۳ به صورت سالانه پیش‌بینی گردید. که در نمودارهای زیر سری واقعی و سری پیش‌بینی شده مشخص شده‌اند.

با توجه به نمودارهای فوق، روند استحصال آب‌های زیرزمینی در حوضه‌های آبریز قره‌قوم، دریای خزر، ارومیه و مرزی شرق، طی سال‌های آتی شدت خواهد گرفت و به نظر می‌رسد با تداوم شرایط خشکسالی و افت سطح ناشی از اضافه برداشت از این منابع، بهره‌برداری مطلوب از آب‌های زیرزمینی این حوضه‌ها در آینده مختل شده و موجودیت این منابع با خطر جدی روبرو می‌شود. از سوی دیگر تبعات سوء اضافه برداشت از این منابع (شامل فرسایش خاک و کاهش تنوع گیاهی، بروز پدیده فرونشست زمین، افزایش هزینه تامین آب، کاهش تولید مواد غذایی و محصولات کشاورزی، کاهش سطح بهداشت، بروز مشکلات سوء تغذیه، افزایش تنش‌های سیاسی، اجتماعی و مدیریتی، کاهش کیفیت زندگی و ... .) نیز به تدریج و با گذشت مدت زمانی طولانی در حوضه‌های مذکور رویت خواهند شد. در خصوص دو حوضه آبی فلات مرکزی و خلیج فارس و دریای عمان نیز پیش‌بینی می‌شود روند کنونی استحصال آب‌های زیرزمینی از این حوضه‌ها، طی سال‌های آتی نیز ادامه یابد. می‌توان گفت ثبات تقریبی میزان برداشت از این منابع در حوضه‌های

**جدول ۴: نتایج بررسی دقت پیش‌بینی درون نمونه‌ای الگوهای منتخب برای حوضه‌های آبی**

| حوضه‌ها / معیار ارزیابی | حوضه آبریز قره‌قوم | | حوضه دریای خزر | | حوضه فلات مرکزی ایران | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | پیش‌بینی درون نمونه‌ای | پیش‌بینی برون نمونه‌ای | پیش‌بینی درون نمونه‌ای | پیش‌بینی برون نمونه‌ای | پیش‌بینی درون نمونه‌ای | پیش‌بینی برون نمونه‌ای |
| *MAPE* | ۲/۷۶ | ۲/۹۷ | ۹/۰۹ | ۱۰/۳۴ | ۳/۴۴ | ۴/۹۹ |
| *TIC* | ۰/۰۱۹ | ۰/۰۲۰ | ۰/۰۵۴ | ۰/۰۶۱ | ۰/۰۲۵ | ۰/۰۳۴ |
| حوضه‌ها / معیار ارزیابی | حوضه دریاچه ارومیه | | حوضه مرزی شرق | | حوضه خلیج فارس و دریای عمان | |
| | پیش‌بینی درون نمونه‌ای | پیش‌بینی برون نمونه‌ای | پیش‌بینی درون نمونه‌ای | پیش‌بینی برون نمونه‌ای | پیش‌بینی درون نمونه‌ای | پیش‌بینی برون نمونه‌ای |
| *MAPE* | ۱۱/۱۸ | ۱۲/۲۴ | ۷/۵۹ | ۸/۳۲ | ۱۴/۵۹ | ۱۶/۹۲ |
| *TIC* | ۰/۰۶۱ | ۰/۰۶۵ | ۰/۰۴۴ | ۰/۰۴۸ | ۰/۱۳۱ | ۰/۱۳۹ |

ماخذ جدول: محاسبات پژوهش با استفاده از نرم‌افزار Eviews.6




**نمودار ۳: نتایج پیش‌بینی برداشت از حوضه‌های آبریز (به ترتیب از چپ به راست: حوضه آبریز قره‌قوم، حوضه دریای خزر، حوضه فلات مرکزی، حوضه ارومیه، حوضه مرزی شرق، حوضه خلیج فارس و دریای عمان)**
**توضیح: خطوط نقطه چین سری پیش‌بینی شده از سال ۱۳۹۷ تا ۱۴۰۳ را نشان می‌دهند.**

مذکور طی سال‌های آتی به دلیل افت سطح منابع آبی، افزایش هزینه‌های استخراج (به دلیل افزایش عمق آبکشی و شوری آب) و ایجاد محدودیت‌های طبیعی استحصال آب‌های زیرزمینی روی خواهد داد.از سوی دیگر به دلیل این که متوسط بارندگی در حوضه آبریز فلات مرکزی، کمتر از میانگین کشوری است، ثبات برداشت از منابع آب زیرزمینی در این منطقه می‌تواند در اثر مداخلات انسانی مانند طرح‌های انتقال آب از مناطق برخوردار به این حوضه روی دهد. همچنین ثبات استحصال آب زیرزمینی از حوضه آبریز خلیج فارس و دریای عمان می‌تواند به دلیل برخورداری این منطقه از منابع آب سطحی مطلوب روی دهد. با توجه به نتایج پژوهش، پیشنهاداتی در راستای بهبود وضعیت پیش‌بینی شده به شرح زیر ارائه می‌گردد:

– با توجه به پیش‌بینی افزایش استحصال آب زیرزمینی از اکثر حوضه‌های آبی در آینده و خشکسالی‌های اخیر، توصیه می‌شود در حال حاضر با مدیریت صحیح حوضه‌های آبریز، از افت احتمالی سطح آب در این مناطق جلوگیری به عمل آید.

– با توجه به اهمیت اطلاع از وضعیت آینده منابع آبی، پیشنهاد می‌شود سطح ایستایی منابع آب زیرزمینی در حوضه‌های مذکور نیز مورد پیش‌بینی قرار گیرد.

– به دلیل وابستگی بالای تولیدات کشاورزی به منابع آب زیرزمینی در ایران و مصرف بالای آب در این بخش، توصیه می‌شود ضمن ارتقاء راندمان آبیاری، استفاده از روش‌های نوین آبیاری و یکپارچه‌سازی اراضی زراعی به منظور تسریع آبیاری، رواج کشاورزی آبی در کشور محدود گردد.

– جلوگیری از صادرات بی‌رویه آب از کشور در قالب آب مجازی.

– از آن‌جا که طبق آمارهای مرکز آمار، بیش‌ترین میزان مصرف آب زیرزمینی در ایران در بخش کشاورزی اتفاق می‌افتد، توصیه می‌شود آب مورد استفاده کشاورزی قیمت‌گذاری شده و بهای واقعی آن از کشاورزان اخذ شود تا به عنوان عاملی بازدارنده از مصرف بی‌رویه این منبع جلوگیری به عمل آید.

– فرهنگ‌سازی استفاده بهینه از آب از طریق اطلاع‌رسانی‌های عمومی در خصوص وضعیت بحرانی منابع آب زیرزمینی، افزایش تدریجی آب‌بها و اصلاح سازوکارهای تخصیص آب.

## منابع


1. Abbaszadeh Afshar, M. Khalili, K. and Behmanesh, J. (2016). Application of Combined AR-ARCH model in Forecasting Urmia Lake Water Level. Water and soil science, Vol. (25), PP: 175-186. (In Persian).

2. Bazrafshan, O. Chashmberah, A. and Holisaz, A. (2017). Evaluation of time series models in forecasting pan evaporation in different climates of Hormozgan province. Watershed engineering and management, Vol. (9), PP: 250-261. (In Persian).

3. Behzadi, H. and omidvar, K. (2018). Assessing the effects of recent droughts on changes in groundwater level in the Sarvestan plain of Fars province. Extension and development of watershed management, Vol. (5), PP: 45-57.

4. Choubin, B. and Malekian, A. (2017). Combined Gamma and M-test-based ANN and ARIMA models for groundwater fluctuation forecasting in semiarid region. Environmental earth sciences, Vol. (76).

5. Gibrilla, A., Anornu, G. and Adomako, D. (2018). Trend analysis and ARIMA modeling of recent groundwater levels in the White Volta River basin of Ghana. Groundwater for sustainable development, Vol.(6), PP: 150-163.

6. Gujarati, D. (2013). Econometrics by example. Translated by Mehregan, N. and Agheli, L. Noreelm publishing. (In Persian)

7. Iranian statistical yearbooks, Years 1981 to 2018. (In Persian).

8. Moradi, A. R. and Sharifi, M. A. (2016). The Analysis of Precipitation Time Series Related to Iran's Main Catchments Using Fourier and Wavelet Transforms. Iranian society for surveying and geomatic engineering, Vol. (7), PP: 137-145. (In Persian).

9. Patle, G. T., Singh, D. K., Sarangi, A., Rai, A., Khanna, M. And Sahoo, R. N. (2015). Time series analysis of groundwater levels and projection of future trend. Journal of Geological society of India, Vol.(85).

10. Rafiee, A. (2009). Water productivity in crop production. The bureau of economic studies and studies of the agricultural bank, Vol. (20), PP: 1-10 (In Persian).

11. Rahmani, A. and Sedehi, M. (2004). Predication of groundwater level changes in the plain of Hamedan-Bahar using Tima series model. Journal of water and wastewater, Vol. (15), PP: 42-49. (In Persian).

12. Rahnama, A. A. (2017). A change in the approach from traditional farming to bio-farming. Moraveg magazine, Vol. (154-155), PP: 93-97. (In Persian).

13. Salahi. B, Goudarzi. M, Hosseini. S. A. (2017). Prediction of the climate parameters in the Urmia lake basin during 2011-2030. Iranian journal of watershed management science, Vol. (11), PP: 47-56. (In Persian).

14. Sepaskhah, A. R. (2009). Manage water demand on farm in drought. National conference of drought – related

issues and solutions, 23May, Shiraz University. (In Persian).

15. Souri, A. (2012). Econometrics. Farhangshenasi publishing. (In Persian).

16. Ying, Z., Wenxi, L., Haibo, C. and Jiannan, L. (2014). Comparison of three forecasting models for groundwater levels: A case study in the semiarid area of west Dilin province, China. Journal of water supply: Research and Technology- AQUA, Vol. (63), PP: 671-683.

17. Yousefi, A., Khalilian, S. and Hajian, M. H. (2010). The role of water in Iranian economy: A CGE modeling approach. 11th conference on economic modeling, Istanbul, 7-11July.

نشریه

ترویج و توسعه آبخیزداری

**Extension and Development of Watershed Management**

**Vol. 7, No. 25, Summer 2019** **سال هفتم- شماره ۲۵- تابستان ۱۳۹۸**

**Abstract**

# Estimated Future Changes in Groundwater Extraction from the Main Watersheds of Iran.

M. Ehsani[1]*and N. Mehregan[2]

Received: 2018/06/19 Accepted: 2019/05/26

Water is a vital source of growth and development in human societies. In dry and semi-arid areas like most areas of Iran, because of lack of surface water, groundwater resources are used. This research studies the process of extraction of groundwater resources from the six main watersheds of Iran during the years of (1982-2018) and predicts the rate of harvesting of these resources by 2025. For this purpose, the Time series model was used in the ARIMA method. The results showed with current management that the rate of harvesting of these resources in the future will increase in the most of the basins and this will endanger the availability of these resources and human life. Pricing of water resources used for agriculture, the installation of the smart meters and the sustainable management of groundwater resources are recommended to improve the predicted state.

**Keywords: Groundwater, Time series, Climate changes, Rate of harvesting, Arid regions.**

1- M.Sc. in Agricultural Economics, Bu-Ali Sina University, Corresponding author, Email: m.ehsany94@gmail.com
2-Professor of Economics, Bu-Ali Sina University.