اقتصاد و تجارت نوین، پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
فصل‌نامهٔ علمی (مقالهٔ علمی ـ پژوهشی)، سال چهاردهم، شمارهٔ دوم، تابستان ۱۳۹۸، ۱۲۷–۱۴۹

پیش‌بینی روند حرکتی قیمت طلای جهانی با مدل‌های متقارن و نامتقارن گارچ ـ اسپلاین

یونس نادمی*

محمدرضا حدادی، حامد فرهادی*****

چکیده

مطالعه بازار سرمایه یک کشور، موضوع اصلی بسیاری از تحقیقات در چند دهه گذشته بوده است. یکی از متغیرها که توجه بسیاری از محققان و تحلیلگران را به خود جذب کرده است، روند حرکتی قیمت طلا می‌باشد. طلا همواره به عنوان رقیبی برای پول‌های رایج و جاگزینی برای آن در ایفای نقش ذخیره ارزش، موقعیت خود را در بحران‌های سیاسی و اقتصادی حفظ کرده است. طلا به عنوان محافظی در مقابل افزایش یا کاهش ارزش پول و سرمایه‌گذاری امن مورد توجه قرار گرفته است. اهمیت عینی بازار طلا در مطبوعات مالی، و انعکاس نوسانات روزانه قیمت آن به صورت برجسته، این واقعیت را نشان می‌دهد که قیمت و عملکرد سرمایه‌گذاری طلا به عنوان یک دارایی بسیار با اهمیت است. با توجه به اهمیت قیمت طلا و اثرات اقتصادی حاصل از نوسانات قیمتی آن، پیش‌بینی قیمت طلا برای سرمایه‌گذاران به منظور حداقل سازی ریسک سرمایه‌گذاری از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در این مقاله، دقت پیش‌بینی مدل‌های مختلف حافظه کوتاه‌مدت و بلندمدت گارچ و مدل‌های متقارن و نامتقارن گارچ – اسپلاین، در پیش‌بینی روند حرکتی قیمت طلای جهانی در طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸ بر اساس معیار خطای

* استادیار گروه علوم اقتصادی، دانشگاه آیت الله بروجردی (نویسندهٔ مسئول)، Younesnademi@abru.ac.ir
** استادیار گروه ریاضی، دانشگاه آیت الله بروجردی، haddadi@abru.ac.ir
*** کارشناس ارشد ریاضی مالی، دانشگاه آیت الله بروجردی، farhadi70hamed@yahoo.com
تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۱/۱۸، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۴/۲۲

Copyright © 2018, IHCS (Institute for Humanities and Cultural Studies). This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International, which permits others to download this work, share it with others and Adapt the material for any purpose

RMSE مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد که در افق‌های پیش‌بینی کوتاه‌مدت و بلندمدت، مدلهای گارچ – اسپلاین از دقت پیش‌بینی بالاتری برای قیمت طلای جهانی نسبت به مدل‌های گارچ حافظه کوتاه‌مدت و بلندمدت برخوردار بوده است.

کلیدواژه‌ها: پیش‌بینی، قیمت طلای جهانی، سری زمانی، مدل گارچ– اسپلاین
طبقه بندی JEL: C53، L61، C22

۱. مقدمه

امروز بازارهای مالی (Financial Markets)، دارای نقش کلیدی در تجهیزات و هدایت وجوه موجود در اقتصاد به سمت بخش‌های صنعتی و تولیدی و یه تبع آن بهبود رشد اقتصادی هستند. بازار سرمایه(Capital Market)، به عنوان یکی از رکن‌های بازار مالی نقش به سزایی در بسیج امکانات و سرمایه‌ای به منظور رشد و توسعه اقتصادی کشورها دارد و هم‌اکنون در بسیاری از کشورهای جهان نقش تأمین اعتبارات مورد نیاز بنگاه‌های اقتصادی را بر عهده دارد(صنوبر ۱۳۸۶). در کشورهایی که بازارهای مالی خصوصاً بازار سهام پیشرفته و فعال وجود ندارد یا نهادینه نشده است و ارزش پول نیز به دلیل تورم مداوم کاهش می‌یابد، مردم برای جلوگیری از زیان‌های ناشی از تورم، دارایی‌های خود را به صورت واقعی پس‌انداز می‌کنند. یکی از این نوع دارایی‌ها که قابلیت نقدشوندگی نیز دارد طلا می‌باشد که در ایران و جهان همواره به عنوان پس‌انداز مطلوب در جامعه با استقبال روبرو است(سرافراز و افسر ۱۳۸۴). طلا همواره به عنوان رقیبی برای پول‌های رایج و جاگزینی برای آن در ایفای نقش ذخیره ارزش، موقعیت خود را در بحران‌های سیاسی و اقتصادی حفظ کرده است. طلا به عنوان محافظی در مقابل افزایش یا کاهش ارزش پول و سرمایه‌گذاری امن مورد توجه قرار گرفته است. اهمیت عینی بازار طلا در مطبوعات مالی، و انعکاس نوسانات روزانه قیمت آن به صورت برجسته، این واقعیت را نشان می‌دهد که قیمت و عملکرد سرمایه‌گذاری طلا به عنوان یک دارایی بسیار با اهمیت است(اقتصاد ایران، ۱۳۹۰). امروزه سرمایه‌گذاران در بازارهای طلا، بخش مهمی از اقتصاد هر کشور را تشکیل می‌دهند و با توجه به اهمیت قیمت طلا در بازارهای مالی و اثرات اقتصادی حاصل از نوسانات قیمتی آن، پیش‌بینی قیمت طلا برای سرمایه‌گذاران از اهمیت ویژه‌ای برخوردار شده است تا بتوانند کمترین ریسک را در سرمایه‌گذاری خود داشته باشند. بازار طلا، یکی از بازارهای پر تلاطم است که پیش‌بینی آینده آن می‌تواند در تصمیم‌گیری‌ها تأثیر مثبتی بر

جای بگذارد. با آگاهی از قیمت طلا و پیش‌بینی صحیح آن می‌توان فرایند تصمیم‌گیری خرید و فروش طلا در بازارهای جهانی را آسان و بهترین زمان اجرای معاملات و سرمایه-گذاری‌ها را تعیین نمود. لذا پیش‌بینی قیمت طلا از جهات مختلف حائز اهمیت است(بشارت‌نیا و طریقت ۱۳۹۵). در حال حاضر طلا به عنوان یک بازار بزرگ اقتصادی در کنار بازارهای سرمایه دیگر، پیش روی سرمایه‌گذاران قرار دارد و نوسانات قیمت آن بیش از پیش در متغیرهای اقتصادی، در رونق و رکود سایر بازارها مؤثر است. در سال‌های اخیر رشد چشمگیر قیمت طلا در بازارهای جهانی به همراه تأثیر آن بر روی بازارهای موازی به طور بی‌سابقه‌ای موجب افزایش روند رشد سکه در کشور گردید. بررسی رشد چشمگیر طلا در بازارهای جهانی با وجود سیاست‌های کنترل‌کننده، که بازارهای داخلی نیز از آن بی‌نصیب نیست، حائز اهمیت می‌باشد. در این پژوهش با بررسی مطالعات انجام شده در زمینه پیش‌بینی نوسانات طلا، این سوال مطرح می‌شود که کدام یک از مدل‌های خانواده گارچ در پیش‌بینی نوسانات قیمت طلای جهانی عملکرد دقیق‌تری دارند. با توجه به طرح کلی و بیان موضوع و اساس کار مدل‌های تک رژیمی، فرضیه‌های این پژوهش به شرح زیر مطرح می‌گردد:

الف) مدل گارچ- اسپلاین(Spline-GARCH)، در افق پیش‌بینی کوتاه مدت قیمت طلا عملکرد دقیق‌تری نسبت به مدل‌های خانواده گارچ دارد.

ب) مدل گارچ- اسپلاین درافق پیش‌بینی بلند مدت قیمت طلا عملکرد دقیق‌تری نسبت به مدل‌های خانواده گارچ دارد.

برای این منظور مقاله حاضر در پنج بخش ساماندهی شده است که در ادامه و پس از مقدمه، در بخش دوم به ادبیات موضوع شامل مبانی نظری و شواهد تجربی پرداخته می‌شود. بخش سوم از این مقاله، به معرفی مدل‌های پژوهش اختصاص می‌یابد. در بخش چهارم، معرفی داده‌ها و نتایج برآورد ارائه می‌گردد و در بخش پایانی به نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهاد پرداخته می‌شود.

۲. مبانی نظری و مروری بر مطالعات گذشته

پیش‌بینی(Forecasting)، فرایند برآود موقعیت‌های ناشناخته است.یک پیش‌بینی یک پیش‌گویی در مورد رویدادهای آینده در اختیار می‌گذارد و می‌تواند تجارب گذشته را به

پیش‌بینی حوادث آینده بدل سازد. در سال‌های اخیر پیش‌بینی، به پیش‌بینی شیوه طرح تقاضا در کسب و کار روزانه شرکت‌های سازنده تبدیل شده است (Armstrong 2006).

پیش‌بینی یک عنصر کلیدی در تصمیم‌گیری مدیریت و کنترل ریسک است. پس، پیش‌بینی برای بسیاری از سازمان‌ها و نهادها حایز اهمیت است. به عبارتی هر سازمان به منظور تصمیم‌گیری آگاهانه و استفاده بهینه از دارایی‌های خود باید به قادر به پیش‌بینی باشد. اصولاً باید پیش‌بینی عوامل غیر قابل کنترل، به انتخاب‌ها و تصمیم‌گیری‌ها نسبت به زمانی که این پیش‌بینی اتفاق نمی‌افتد بهتر عمل کند(آیت الهی ; ۱۳۷۷). هر سازمانی جهت تصمیم گیری آگاهانه باید قادر به پیش بینی کردن باشد. از آنجایی که پیش بینی وقایع آینده در فرآیند تصمیم گیری در سازمان نقش عمده ای را ایفا می کند، پیش-بینی کردن برای بسیاری از سازمانها و نهادها حائز اهمیت بالقوه ای است. بنابراین بیشتر تصمیمات مدیریت در تمام سطوح سازمان به طور مستقیم و یا غیر مستقیم به حالتی از پیش بینی آینده بستگی دارد.

مسائلی که پیش‌بینی در آنها مطرح می‌شود، دو گروه می‌باشند: (ibid).

الف) مسائلی که پیش بینی با هدف طبقه بندی ورودی‌ها و تعیین اینکه هر ورودی متعلق به چه طبقه‌ای است انجام می‌شود. خروجی در اینجا یک متغیر اسمی(Nominal Variable)، است.

ب) مسائلی که با تخمین یا رگرسیون پیشگویی یک متغیر پیوسته مثل تعیین قیمت روز بعد سهام، انجام می‌پذیرد. در اینجا خروجی متغیر عددی(Numerical Variable)، می‌باشد.

در پیش‌بینی باید دوره پیش‌بینی، افق پیش‌بینی و فاصله پیش‌بینی را مد نظر قرار داد که هر کدام در ادامه به اختصار معرفی می‌گردد:

الف) دوره پیش‌بینی: دوره پیش‌بینی نوع پیش‌بینی را تعیین می‌کند. مثلا اینکه پیش بینی روزانه، هفتگی، ماهانه یا فصلی است.

ب) افق پیش‌بینی: تعداد دوره هایی را تعیین می‌کند که پیش‌بینی در آینده برای آن انجام می‌شود. مثلاً پیش‌بینی هفتگی با افق پنج هفته انجام شود.

ج) فاصله پیش‌بینی: مشخص کننده مدت زمانی است که پیش‌بینی‌های جدید، تهیه می‌شوند. فاصله و دوره پیش‌بینی، غالباً یکسان در نظر گرفته می‌شوند دوره و افق پیش‌بینی، معمولاً بوسیله فرآیند تصمیمی که نیاز به پیش‌بینی دارد، دیکته می‌شود.

اغلب این پیش‌بینی‌ها بر اساس ویژگی‌های سری زمانی داده‌ها صورت می‌پذیرد. دوره پیش‌بینی در پیش‌بینی‌های میان‌مدت، بین سه ماه تا دو سال است. در این نوع پیش‌بینی، ویژگی‌های ساختار اقتصادی و روابط بین متغیرها نیز در کنار مقادیر وقفه‌ای متغیرها، اهمیت بیشتری پیدا می‌کنند. پیش‌بینی‌های بلندمدت غالباً بیش از دو سال هستند، پویایی‌های کوتاه مدت نادیده گرفته می‌شود و روی روندها و ویژگی‌های ساختار اقتصاد، بیشتر تمرکز می‌شود (ibid).

مطالعه بازار سرمایه یک کشور که طیف گسترده‌ای از متغیرهای اقتصاد کلان و ملی می‌باشد، موضوع اصلی بسیاری از تحقیقات در چند دهه گذشته بوده است. یکی از متغیرها که توجه بسیاری از محققان و تحلیلگران را به خود جذب کرده، نوسانات بازار طلا می‌باشد(ابطحی و همکاران ۱۳۹۲). طلا از دیر باز مورد توجه انسان بوده است و همیشه به عنوان یک کالای با ارزش و با نقد شوندگی بالا مورد داد و ستد قرار می‌گرفته است. در اکثر کشورهای جهان، طلا نه تنها به عنوان کالایی زینتی بلکه به عنوان کالایی سرمایه‌گذاری نیز داد و ستد می‌شود و این کارکرد طلا به عنوان یک انتخاب سرمایه‌گذاری، در زمان رکورد بازارهای مالی محسوس‌تر نیز می‌شود. داده‌های تاریخی قیمت جهانی طلا در چهل سال گذشته با توجه به رویدادهای مهم موید این موضوع است(گودرزی و امیری ۱۳۹۲). طلا همواره به عنوان فلزی گران‌بها مورد توجه بشر بوده است. برخورداری از ویژگی‌های خاصی نظیر ارزش زیاد نسبت به وزن و حجم آن و اکسیده نشدن در مقابل هوا، سبب شده تا طی هزاران سال، این فلز نقش برجسته‌ای در زمینه پیشرفت جنبه‌های اجتماعی و اقتصادی جوامع به عهده داشته باشد. اهمیت تاریخی طلا به حدی بود که تا قرن نوزدهم از طلا به عنوان پول استفاده می‌شد، ولی با رواج پول کاغذی و اعتباری، استفاده از سکه طلا همواره به عنوان پول رایج به تدریج کاهش یافت و نهایتاً در اوایل قرن بیستم از بین رفت. با این حال طلا همواره به عنوان رقیبی برای پول‌های رایج و جایگزینی برای آن‌ها در ایفای نقش ذخیره ارزش، موقعیت خود را در بحران‌های سیاسی و اقتصادی حفظ کرده است(عشق‌آبادی ۱۳۹۱). در اقتصاد جهانی این محصول یکی از مهم‌ترین کالاهای اساسی، محسوب می‌شود که نقش بسزایی در تعیین بسیاری از معادلات منطقه‌ای دارد.

نقش طلا به عنوان یک فلز با ارزش و وسیله‌ای برای حفظ ارزش دارایی در مقابل خطرات ناشی از افزایش تورم، کاهش ارزش ارزهای مختلف، بر کسی پوشیده نیست و به

عنوان یک سرمایه ملی و پشتوانه اقتصادی کشور مطرح می‌باشد. این مسئله طلا را در کانون توجهات بسیاری از مردم، اقتصاددانان و فعالان بازارهای مالی قرار داده است(جلیلی و همکاران ۱۳۹۶). قیمت طلا و روند تغییرات آن در اقتصاد ملی و اقتصاد جهانی از اهمیت قابل ملاحظه‌ای برخوردار است. از این رو نوسانات قیمت طلا، تأثیرات قابل توجهی در اقتصاد کشورها، اعم از کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه دارد.

امروزه پیش‌بینی متغییرهای اقتصادی از اهمیت ویژه‌ای برای سیاست گذاران و سایر واحدهای اقتصادی برخوردار است. در نتیجه در دهۀهای اخیر، مدل‌های پیش‌بینی گوناگونی توسعه یافته و به رقابت با یکدیگر پرداخته‌اند. ارتباط پیش‌بینی متغییرهای افتصادی با عملکرد سیاست‌های پولی و مالی کشورها اهمیت پیش‌بینی را افزون‌تر نیز کرده است. در حال حاضر اکثر دولت‌ها و بانک مرکزی، سیاست‌های مالی و پولی‌شان را نه صرفاً بر مبنای وضع موجود، بلکه بر مبنای پیش‌بینی‌های کوتاه‌مدت و بلندمدت از متغیرهای کلیدی اقتصادی تدوین کرده و به مورد اجرا می‌گذارند(مشیری ۱۳۸۰).

تاکنون روش‌های زیادی برای پیش‌بینی قیمت طلا مورد استفاده قرار گرفته است، از جمله روش‌های سنتی کمی مانند رگرسیون و مدل‌های سری‌زمانی و غیره که برای پیش‌بینی در بازارهای مالی نیز بسیار مورد توجه بوده‌اند. اما از آنجا که بازار طلا یک سیستم خطی است، استفاده از روش‌های کلاسیک، خطای پیش‌بینی را افزایش می‌دهد. با توسعه روش‌های غیرخطی هم‌چون شبکه‌های عصبی و شبکه‌های عصبی فازی، می‌توان از این روش‌ها برای پیش‌بینی نوسانات قیمت طلا استفاده نمود(امیرحسینی و داورپناه ۱۳۹۵).

در زمینه مدل‌سازی نوسانات و ویژگی‌های بازدهی طلا و نیز روش‌های مختلف پیش‌بینی نوسانات، تحقیقات متعددی صورت گرفته است که هر یک از آنها با در نظر گرفتن شرایط مختلف به نتایج متفاوتی دست یافته‌اند.

۱.۲ مطالعات داخلی

احمدی و احمدلو (۱۳۹۰) با استفاده از روش باکس- جنکینز، قیمت قراردادهای آتی سکه در بورس کالای ایران را پیش‌بینی کرده‌اند، نتایج تحقیق نشان داد که دوره‌ی مورد بررسی مدل آریما با دو وقفه خودرگرسیون و دو وقفه میانگین متحرک برای پیش‌بینی قیمت قرارداد آتی سکه طلا مدل مناسبی است و توانایی پیش‌بینی قیمت قرارداد آتی سکه را دارد.

در مطالعهٔ زراء نژاد و همکاران (۱۳۹۱) یک شبکه عصبی فازی ANFIS بر مبنای مدل تاکاگی- سوگنو و همچنین الگوریتم یادگیری پس انتشار و حداقل مربعات خطا در جهت بهبود دقت پیش‌بینی و افزایش سرعت همگرایی استفاده شد. بازه زمانی به کار رفته شده برای پیش‌بینی قیمت روزانه طلا در مطالعهٔ مذکور، از ۱۲ / ۰۷ /۲۰۱۰ تا ۱۸ / ۰۵ / ۲۰۱۲ است. نتایج با توجه به معیارهای متداول ارزیابی خطای پیش‌بینی نشان می‌دهد که مدل شبکه عصبی ANFIS نسبت به مدل ARIMA پیش‌بینی دقیق‌تری ارائه داده است.

امیرحسینی و داورپناه (۱۳۹۴) با استفاده از الگوریتم پرواز پرندگان، الگوریتم ژنتیک و ترکیبی از این دو الگو به پیش‌بینی قیمت طلا پرداختند. نتایج حاصل، حاکی از این بود که استفاده از الگوی ترکیبی پرواز پرندگان با الگوی ژنتیک، به علت پوشش نقاط ضعف هر یک از الگوها و استفاده از نقاط قوت آن‌ها در مسیر پیش‌بینی، دقت پیش‌بینی بیشتری دارد.

اسکندری (۱۳۹۶) در پژوهشی از سه مدل(گارچ، آی‌گارچ و فیگارچ) برای پیش‌بینی نوسان‌های قیمت طلا و نرخ دلار در بازار آزاد و مدل تصحیح خطای برداری و همگرایی یوهانسن- جوسیلیوس برای ارزیابی نوسان‌های قیمت طلا و نرخ دلار در بازار آزاد بر شاخص کل قیمت سهام اوراق بهادار تهران استفاده کرد. داده‌های به کار برده شده از نوع روزانه و از فروردین ۱۳۸۸ تا دی ماه ۱۳۹۶ هستند. نتایج نشان داد که مدل فیگارچ بهتر از سایر مدل‌ها نوسان‌های قیمت طلا را پیش‌بینی می‌کند، ولی برای نوسان‌های قیمت دلار در بازار آزاد با شاخص کل قیمت سهام رابطه معنی داری دارند و با توجه به الگوی تصحیح برداری و همگرایی یوهانسن – جوسیلیوس، نوسان‌های قیمت طلا و شاخص قیمت کل سهام همگرا هستند.

۲.۲ مطالعات خارجی

در مطالعهٔ پاریزی و همکاران برای پیش‌بینی یک تا شش گام به جلو تغییرات طلا از شبکه عصبی چرخشی و شبکه عصبی بازگشتی استفاده شد. نتایج آنها نشان داد شبکه‌های عصبی نسبت به مدل خود رگرسیون میانگین متحرک برتری دارد(Paris et al. 2008).

شفیعی و توپال(Shafei and topal)، مطالعه‌ای در زمینه روند بلند مدت قیمت طلا و رابطه آن با دو عامل قیمت نفت و تورم انجام دادند. در این مطالعه داده های ۴۰ سال(۱۹۶۸–۲۰۰۸) طلا را مورد مطالعه قرار داده‌اند و مدل پیشنهادی خود را در این بازه آزمون و برای ۱۰ سال آینده پیش‌بینی کردند. این مطالعه نشان داد که قیمت طلا رابطه

مستقیمی با قیمت نفت دارد ولی رابطه محسوسی بین تورم و قیمت طلا وجود ندارد Shafei (and topal) 2010.

بنتس(Bentes)، در یک پژوهش با عنوان«پیش‌بینی نوسانات در بازار طلا تحت چارچوب‌های GARCH، FIGARCH، IGARCH: یافته‌های جدید» با استفاده از داده‌های روزانه آگوست ۱۹۷۶ تا فوریه ۲۰۱۵ و تقسیم کردن نمونه به دو دوره از داده‌های درون نمونه از دوم آگوست ۱۹۷۱ تا ۲۴ اکنبر ۲۰۰۸ برای برآورد کردن مدل استفاده کرد و نتایج را در برون نمونه از ۲۷ اکتبر ۲۰۰۸ تا ۶ فوریه ۲۰۱۵ را پیش‌بینی کرد. وی در این پژوهش از مدل‌های GARCH(1,1)، IGARCH(1,1)، و به صورت ویژه FIGARCH(1,d,1) را به کار برده است. نتایج بدست آمده توسط ایشان حاکی از آن بود که مدلFIGARCH(1,d,1) بهترین مدل برای دربرگرفتن وابستگی‌های خطی در واریانس شرطی بازده طلا که اغلب به وسیلهٔ معیارهای اطلاعات بدست می‌آید، هست(Bentes 2015).

سپیپان(Sopipan)، در پژوهشی نوسانات قیمت طلا را با استفاده از مدل ARIMA – GARCH پیش‌بینی کرد. تمام مدل‌ها تحت سه فرض توزیع شده که، نرمال، تی – استیودنت و GED هستند، برآورد می‌شوند. نتایج حاصل حاکی از این بود که ARIMA(2,0,2) بهترین مدل عملکرد را برای پیش‌بینی بازگشت طلا ارائه داد. و همچنین توزیع بازگشت با مدل ARIMA(2,0,2) – GARCH-N و مدل ARIMA(2,0,2) – GARCH-GED، مجموع بازدهی بیش از مدل ARIMA(0,0,2) – GARCH-t دارند(Sopipan).

در پژوهشی دوری و بینگ(Dory and Bing)، به دنبال مدل قیمت طلا در بورس طلا شانگ‌های(SGE) بوده و توانایی پیش‌بینی مدل خانواده ARCH را ارزیابی کرده است. این تجزیه و تحلیل طی سال‌های ۲۰۰۲ – ۲۰۱۶ به ترتیب به عنوان در نمونه و خارج از نمونه مورد استفاده قرار می‌گیرند. نتایج حاصل از عملکرد آماری درون نمونه نشان می‌دهد که مدل‌های GARCH و EGARCH و در عملکرد خارج از نمونه مدل GARCH به عنوان بهترین مدل برای بازده انتخاب شده‌اند و همچنین بر اساس نوریع تی- استیودنت مدل GARCH و $ARCHM$ بهترین مدل برای پیش‌بینی درون‌نمونه و خارج از نمونه هستند Dory) .and Bing)

با مطالعهٔ پژوهش‌های انجام گرفته در زمینهٔ مدل‌سازی نوسانات و ویژگی‌های بازدهی طلا و نیز روش‌های مختلف پیش‌بینی نوسانات، می‌توان مشاهده کرد که تاکنون تحقیقات زیادی با انواع روش‌های منفرد و ترکیبی در زمینهٔ پیش‌بینی در حوزه مالی انجام شده است،

که همگی درصدد کاهش خطای حاصل از پیش‌بینی بوده‌اند. در ایران تاکنون در زمینهٔ پیش‌بینی روند حرکت قیمت طلای جهانی با روش ترکیبی گارچ- اسپلاین، پژوهشی صورت نگرفته است. لذا، این پژوهش سعی بر آن داشت تا روند حرکت قیمت طلای جهانی را با این روش پیش‌بینی کند و این می‌تواند بر اهمیت کار در این پژوهش بیافزاید. همچنین مدل گارچ-اسپلاین و گارچ‌های کلاسیک در زمینهٔ پیش‌بینی قیمت طلای جهانی با یکدیگر مورد ارزیابی و مقایسه قرار می‌گیرند.

۳. روش‌شناسی پژوهش

۱.۳ مدل $\mathbf{ARMA(p,q)}$

به طور کلی فرایندی را $ARMA(p,q)$ می‌نامند که شامل p مرتبه جمله خودرگرسیون و q مرتبه جمله میانگین متحرک باشد. به عبارت دیگر، شامل p مرتبه جمله با وقفه از متغیر وابسته و q مرتبه جمله با وقفه از جملات اخلال باشد. همچنین اگر یک سری پس از d مرتبه تفاضل‌گیری مانا شود و سپس آن را توسط فرایند $ARMA(p,q)$ مدل‌سازی کنیم، در این صورت سری زمانی اصلی، سری زمانی خود رگرسیون میانگین متحرک انباشته $ARIMA(p,d,q)$ می‌باشد(Gojarati 2008). مدل عمومی $ARMA(p,q)$ عبارت است از:

$$y_t = \mu + \varphi_1 y_{t-1} + \varphi_2 y_{t-2} + \cdots + \varphi_p y_{t-p} + \varepsilon_t - \theta_1 y_{t-1} - \theta_2 y_{t-2} = - \cdots - \theta_q \theta_{t-q} \quad (۱)$$

$$\varepsilon_t \sim i.i.d(0,\sigma^2) \quad (۲)$$

که در آن ε_t سری نوفه سفید و p و q اعداد صحیح غیر منفی هستند، ضمن اینکه φ_p و θ_q ضرایب مدل هستند.

۲.۳ مدل $GARCH$

زمانی نسبتا طولانی است که اقتصادسنجی‌دانان و محققان پی برده‌اند که بازده دارایی‌های مالی دارای ویژگی خوشه‌بندی تغییرات است، یعنی توزیع احتمال فراوانی آن‌ها چولگی و کشیدگی بیشتری از توزیع احتمال فراوانی نرمال دارد. در دو دهه اخیر مدل‌های آماری که بتوانند این وابستگی‌ها را نشان دهند به وجود آمده‌اند. اولین مدل برای توضیح وابستگی از

نوع خوشه‌بندی تغییرات سری زمانی توسط انگل، (Engle 1982) مطرح شد. وی مدل خودرگرسیون واریانس ناهمسانی شرطی ($ARCH$) را برای توجیه این نوع از وابستگی‌ها در سری‌زمانی مطرح نمود. بعد از وی مطالعات گوناگونی توسط سایر اقتصاددانان مانند بولرسو (Bollerslev 1982) صورت گرفت و مدل‌های دیگری از نوع $ARCH$ مانند مدل خودرگرسیون واریانس ناهمسانی شرطی تعمیم‌یافته ($GARCH$) به وجود آمدند تا بتوانند این ویژگی بازدهی‌های دارایی‌های مالی را به خوبی توضیح دهند. بیشتر مطالعات نجربی نشان داده‌اند که مدل‌های نوع $GARCH$ از توانایی بیشتر در مدل‌سازی و پیش‌بینی برخوردار می‌باشد. یک مدل کلی $ARCH(q)$ به صورت زیر است:

$$\sigma_t^2 = \alpha_0 + \sum_{i=1}^{q} \alpha_i \varepsilon_{t-1}^2 + V_t \qquad (۳)$$

مشکلی که در عمل به هنگام استفاده از این مدل‌ها به وجود می‌آید، این است که وقتی q عدد بزرگی باشد، به طور معمول باعث نقض شدن فرض غیر منفی بودن و شرایط مانایی معادله واریانس می‌باشد. مدل $GARCH$ که توسط بولرسو(Bollerslev 1982) توسعه یافت، راه‌کاری برای حل این مشکل و نیز مدلی صرفه در تعداد پارامترها می‌باشد(Johnston and Scoot 2000).

واریانس شرطی علاوه بر q توان دوم گذشته، شامل p وقفه واریانس شرطی گذشته(σ_{t-j}^2) نیز است. معادله واریانس شرطی در یک مدل $GARCH(p,q)$ به صورت زیر می‌باشد

$$\sigma_t^2 = \alpha_0 + \sum_{i=1}^{q} \alpha_i \varepsilon_{t-1}^2 + \sum_{j=1}^{p} \beta_j \sigma_{t-j}^2 V_t \qquad (۴)$$

فعالان و تحلیل‌گران بازارهای مالی همیشه به دنبال یافتن تخمین‌هایی دقیق از واریانس شرطی قیمت دارایی‌های مالی هستند. از آنجا که مدل‌های گارچ در پیش‌بینی نوسانات شرطی از توانایی زیادی برخوردار هستند، شکل‌های کامل‌تری از این مدل‌ها ظهور یافته است و به طور خاص برای تخمین واریانس شرطی دارایی‌ها و ابزارهای مالی مورد استفاده قرار می‌گیرند. واریانس شرطی این مدل‌ها در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول ۱. واریانس شرطی مدل‌های مختلف گارچ(Gojarati 2008)

مدل	معاله واریانس شرطی
EGARCH	$Ln(h_t) = \alpha_0 + \alpha_1\left(\frac{\varepsilon_{t-1}}{h_{t-1}^{0.5}}\right) + \mu_1\left\lvert\frac{\varepsilon_{t-1}}{h_{t-1}^{0.5}}\right\rvert + \beta_1 Ln(h_{t-1})$
FIGARCH	$Ln(h_t) = \alpha_0 + (1+\psi L)\big(1-\phi(L)\big)^{-1}(1-L)^{-d}g(\varepsilon_t)$
HYGARCH	$h_t = \frac{\alpha_0}{1-\beta_1} + \{1-[1-\beta_1]^{-1}\emptyset(L)\big[1+K(1-L)^d\big]\}\varepsilon_{t-1}^2$
GJR- GARCH	$h_t = \alpha_0 + \alpha_1\varepsilon_{t-1}^2 + \beta_1 h_{t-1} + \lambda_1\varepsilon_{t-1}^2 I_{t-1}$ $\begin{cases} I_{t-1} , & \varepsilon_{t-1} < 0 \\ I_{t-1} , & \varepsilon_{t-1} \geq 0 \end{cases}$

۳.۳ مدل Spline-GARCH

بر خلاف بسیاری از مدل‌های گارچ موجود، مدل Spline-GARCH، انگل و رانجل، (Engle and Rangle 2008) فرض نمی‌کند واریاتس غیرشرطی در طول زمان ثابت است اما به صورت تابعی از زمان تغییر می‌کند. بر اساس تعریف انگل (Engle 1982) از یک فرایند واریانس ناهمسانی شرطی (ARCH) خواهیم داشت:

$$\varepsilon_t = \vartheta_t \sigma_t \qquad (۵)$$

که در آن ϑ_t، نوفه سفید با واریانس یک و مستقل از ε_{t-1} است. از این رو انگل و رانجل در مدل گارچ- اسپلاین معادله (۵) را با استفاده از یک ضریب τ_t چندضلعی به صورت زیر نوشتند.

$$\varepsilon_t = \tau_t s_t \vartheta_t \qquad (۶)$$

در مدل آن‌ها، σ_t به عنوان $\tau_t s_t$ تجزیه می‌شود، عامل τ_t یک تابع اسپلاین درجه دوم نمادین با K گره است. و توسط یک مؤلفه GARCH(p,q) ضرب می‌شود.

$$s_t^2 = \sum_{j=1}^{max(p,q)} (\alpha_j + \beta_j) + \sum_{j=1}^{q} \alpha_i \left(\frac{\varepsilon_{t-i}}{\tau_{t-i}}\right)^2 + \sum_{j=1}^{p} \beta_j s_{t-j}^2 \qquad (۷)$$

$$\tau_t^2 = \omega sxp\left(\delta_0 t + \sum_{i=1}^{k} \delta_i [(t-t_{i-1})_+]^2\right) \qquad (۸)$$

که در آن w، α_1، β_1، و δ_1 برای $t = 0, \cdots, k$، پارامترهـا هسـتند. و همچنـین خـواهیم داشت :

$$\begin{cases} X_+ = X & \text{x} > 0 \\ 0 & 0.\text{w} \end{cases} \qquad (۹)$$

و $\{t_0 = 0, t_1, \cdots, t_{k-1}\}$ پارامترهای شاخص زمان هستند که فاصله‌های زمـانی را بـه k فاصله برابر انجام می‌دهند. خصوصیات s_t^2 ممکن است در میان سـایر معـادلات GARCH موجود باشد در صورتی که $E(s_t) = 1$ باشد.

با توجه به مدل Spline-GARCH می‌توان مدل Spline-GJR را نیز به صورت زیر تعریف کرد:

$$s_t^2 = 1 - \sum_{j=1}^{max(p,q)} \left(\alpha_i + \beta_i + \gamma_i E(s_t^-)\right) + \sum_{i=1}^{q} \alpha_i \left[\left(\frac{\varepsilon_{t-i}}{\tau_{t-i}}\right)^2 + \gamma_i s_{t-i}^- \left(\frac{\varepsilon_{t-i}}{\tau_{t-i}}\right)^2\right] + \sum_{j=1}^{p} \beta_j s_{t-j}^2 \qquad (۱۰)$$

که (s_t^-) یک متغیر ساختگی است و زمانی مقدار دریافت می‌کند که $\left(\frac{\varepsilon_t}{\tau_i}\right)$ منفـی باشـد در غیر ایـن صـورت برابـر بـا صـفر مـی‌باشـد. بـرای توزیـع نرمـال و تـی – اسـتیودنت مقدار $E(s_t^-) = 0/5$ می‌باشد. توجـه داشـته باشـید کـه هـیچ متغیـر توضـیحی در معـادلات GARCH موجود نیست اما می‌تواند در تابع Spline گنجانده شود.

در واقع تابع Spline به شرح زیر است:

$$\tau_t^2 = \omega sxp\left(\delta_0 \frac{t}{T} + \sum_{i=1}^{k} \delta_i \left[\frac{(t - t_{i-1})_+}{T}\right]^2\right) \qquad (۱۱)$$

که متغیر روند به منظور جلوگیری از مشکلات عددی در هنگام بهینه‌سازی، بین ۰ و ۱ می‌باشد. علاوه بر این متغیرهای توضیحی می‌توانند تابع نمایشی را خطی‌دار کنند.

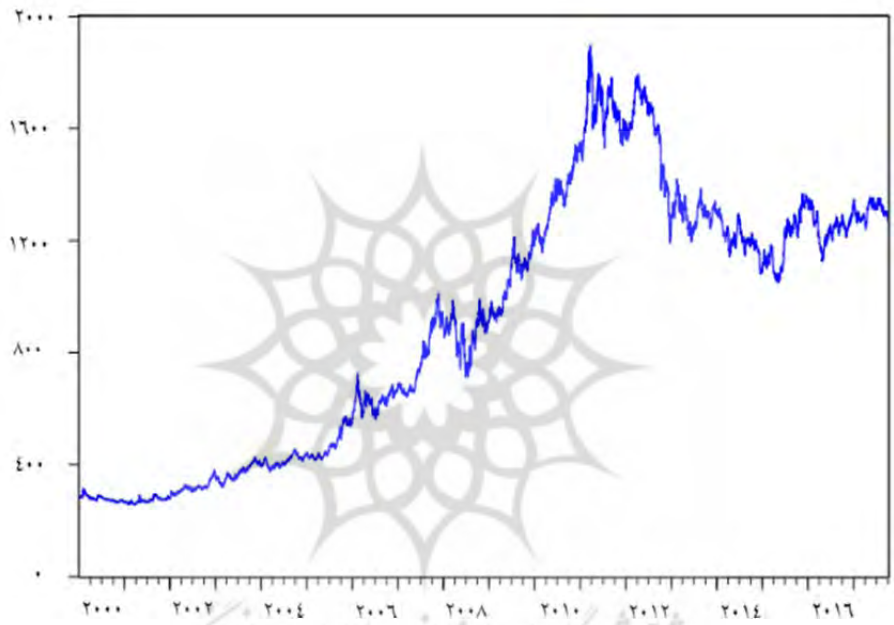
بـا توجـه بـه ایـن نـوع محـدودیت در ثابـت معادلـه GARCH، واضـح اسـت کـه $Var(\varepsilon_t) = \tau_t^2$، به طوری که اجزای τ_t^2، به عنوان واریانس غیر شرطی قابل تفسیر است. در حالی s_t^2، جزء واریانس شرطی است.

تابع فوق با استفاده از روش‌های محاسبات عددی ماکزیمم می‌گردد. در ایـن پـژوهش، فرایند برآورد مدل‌هـای تـک‌رژیمـی گـارچ و مـدل گـارچ- اسـپلاین بـا اسـتفاده از نـرم افزارOxmetrics7 انجام می‌شود.

۴. توصیف داده‌ها و نتایج برآورد مدل‌ها

۱.۴ توصیف داده‌ها

در این مقاله از داده‌های روزانه قیمت طلای جهانی در بازه زمانی ۲۰۰۰/۰۱/۰۴ تا ۲۰۱۸/۰۶/۲۶ استفاده شده است. بازه مذکور شامل ۴۶۳۴ مشاهده است. نمودار سری‌زمان روزانه قیمت طلای جهانی در بازه زمانی ذکر شده به صورت نمودار (۱) می‌باشد.



نمودار۱. سری زمانی قیمت طلای جهانی

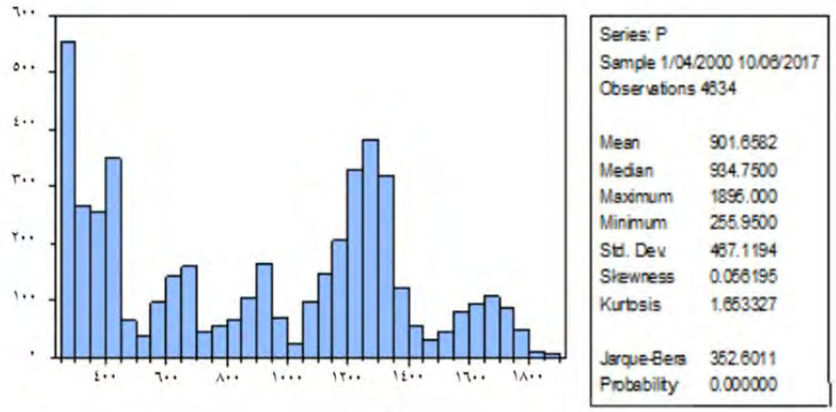
جدول (۲) برخی از آمارهای توصیفی قیمت طلای جهانی را نشان می‌دهد.کمترین میزان قیمت در بازه مورد بررسی ۲۵۵/۹۵۰۰ تومان و بیشترین میزان ثبت شده قیمت مربوط به تاریخ ۵ام سپتامبر۲۰۱۱ در همین بازه ۱۸۹۵/۰۰۰ تومان می‌باشد.

جدول ۲. آمار توصیفی داده‌ها

مینیمم داده	ماکزیمم داده	میانه داده	میانگین داده
۲۵۵/۹۵۰۰	۱۸۹۵/۰۰۰	۹۳۴/۷۵۰۰	۹۰۱/۶۵۸۲

منبع: محاسبات پژوهش

نمودار مربوط به این داده‌ها نیز به صورت زیر است:



نمودار ۱. نمودار توزیع داده‌ها

همان طور که در نمودار بالا مشاهده می‌شود، سری مربوط به داده‌های مورد نظر دارای دنباله پهن می‌باشد به دلیل اینکه چولگی(Skidding)، مربوط به داده‌ها غیر صفر می‌باشد که نشان دهنده‌ی این است که توزیع مورد نظر متقارن نمی‌باشد و دارای چولگی می‌باشد. از طرفی مشاهده می‌شود که توزیع داده‌ها دارای کشیدگی(Elongation)، از چپ هستند. بر اساس ضرائب چولگی و کشیدگی، آماره‌ی مربوط به آزمون جارک_ برا(Jarque Bera)، به دست می‌آید که آزمون نرمال بودن توزیع جملات خطا را تحت فرضیه صفر(نرمال بودن جمله خطا) بررسی می‌کند. بر اساس نتایج جارک_ برا، مقدار احتمال آن صفر می‌باشد(کوچکتر از ۰/۰۵) که نشان دهنده‌ی این است جملات خطا متغییر مورد بررسی از توزیع نرمال پیروی نمی‌کنند.

۲.۴ بررسی مانایی داده‌ها

جدول (۳) نتایج مربوط به آزمون مانایی(ریشه واحد) سری داده‌های طلای جهانی، با استفاده از آزمون دیکی – فولر(Dickey Fuller Test)، بر اساس فرضیه صفر وجود ریشه واحد(متغیر مورد نظر نامانا می‌باشد) را نشان می‌دهد.

جدول ۳. نتایج مانایی سری

فرض صفر	آزمون	مقدار محاسبه	احتمال	مقادیر بحرانی ۱٪	مقادیر بحرانی ۵٪	مقادیر بحرانی ۱۰٪
وجود ریشه واحد	دیکی- فولر	-۱/۱۸۸۴۹۷	۰/۴۸۱۷	-۳/۴۳۱۵۷۹	-۲/۸۶۱۹۶۸	-۲/۵۶۷۰۴۱

منبع: محسبات پژوهش

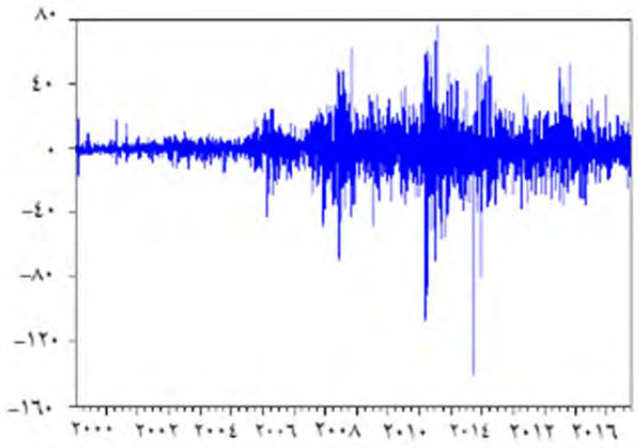
با توجه به نتایج جدول (۳)، چون آماره احتمال آزمون بیشتر از ۰/۰۵ است و همچنین قدر مطلق مقدار محاسبه شده کمتر از مقادیر بحرانی است، پس نتیجه می‌گیریم که فرض صفر ما رد نمی‌شود و سری مورد نظر دارای ریشه واحد است و نامانا می‌باشد. از این رو، رفع مشکل نامانایی را با تفاضل‌گیری انجام می‌دهیم. جدول (۴)، نتایج مانایی سری را برای تفاضل مرتبه اول نشان می‌دهد.

جدول ۴. نتایج مانایی سری تفاضلی شده

فرض صفر	**آزمون**	**مقدار محاسبه**	**احتمال**	**مقادیر بحرانی ۱٪**	**مقادیر بحرانی ۵٪**	**مقادیر بحرانی ۱۰٪**
وجود ریشه واحد	دیکی- فولر	-۶۸/۴۰۷۸۴	۰/۰۰۰۱	-۳/۴۳۱۵۷۹	-۲/۸۶۱۹۶۸	-۲/۵۶۷۰۴۱

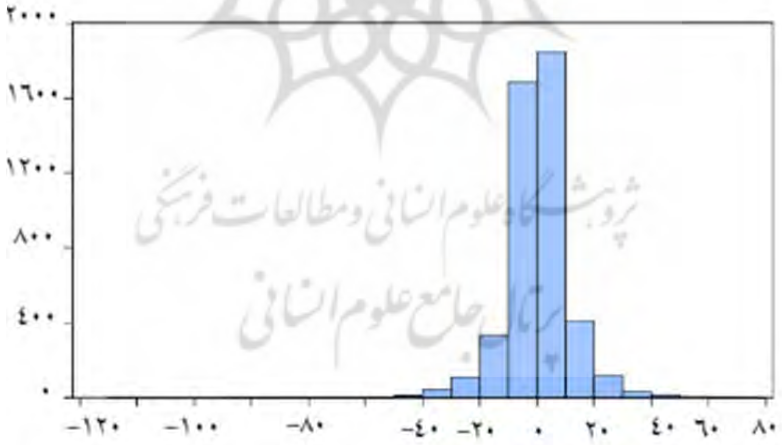
منبع: محاسبات پژوهش

نتایج جدول (۴) نشان می‌دهد که قدر مطلق مقدار آماره‌ی این آزمون برای متغیر مورد نظر، از مقادیر بحرانی بیشتر می‌باشد و مقدار احتمال آن، کمتر از (۰/۰۵) می‌باشد. لذا فرضیه صفر(وجود ریشه واحد) رد می‌شود و سری از یک فرایند تصادفی مانا پیروی می‌کند. نمودار مربوط به سری تفاضل‌گیری شده به شکل نمودار (۳) می‌باشد.



نمودار ۳. نمودار تفضلی قیمت طلای جهانی

با توجه به نمودار(۳) می‌توان نتیجه گرفت کـه سـری تفاضـلی شـده دارای پراکنـدگی متقارن نسبت به روند سری داده‌ها است. همچنین نمودار(۴) توزیع داده‌های تفاضلی شـده را نشان می‌دهد.



نمودار۴. نمودار توزیع سری تفاضلی داده‌ها

۳.۴ آزمون لاگرانژ

استفاده از الگوی واریانس ناهمسانی شرطی نیازمند وجود آثار ناهمسانی واریانس در پسماندهای معادله میانگین بوده که آزمون متداول برای وجود این آثار ضریب لاگرانژ است. جدول (۴) نتایج آزمون ضریب لاگرانژ $ARCH_LM$ را به منظور بررسی ثابت یا متغیر بودن واریانس جمله خطا(ناهمسانی واریانس) را نشان می‌دهد.

جدول ۵. نتایج آزمون لاگرانژ

آماره آزمون $ARCH_LM$	Prob	نتیجه آزمون
۶۲/۰۸۸۹۲	۰/۰۰۰	عدم رد فرضیه صفر: تایید وجود آثار ناهمسانی

منبع: محاسبات پژوهش

۴.۴ برآورد پیش‌بینی برون نمونه‌ای مدل‌های پژوهش

در این بخش ابتدا برآورد مدل‌های مختلف گارچ با تصریح‌های مختلف معادله میانگین شرطی و در نهایت مدل های گارچ- اسپلاین در دقت پیش‌بینی برون نمونه‌ای برای نوسانات قیمت طلا در دوره‌های ۱، ۵، ۱۰ و ۲۲ گزارش داده می‌شود، و توسط معیار جذر میانگین مربع خطای $(RMSE)$ پیش‌بینی، مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. جداول (۶) و (۷) این نتایج را گزارش می‌دهند.

جدول ۶. نتایج پیش‌بینی مدل‌های حافظه کوتاه مدت و بلند مدت گارچ

مدل	1-step RMSE	10-step RMSE	10-step RMSE	22-step RMSE
$\mathbf{AR(1)-GARCH(1,1)}$	۱/۵۱۱	۶/۸۲۴	۵/۶۴۱	۶/۳۱۸
$\mathbf{AR(2)-GARCH(1,1)}$	۱/۵۱۵	۶/۸۲۱	۵/۶۳۹	۶/۳۱۷
$\mathbf{MA(1)-GARCH(1,1)}$	۱/۵۱۱	۶/۸۲۴	۵/۶۴۱	۶/۳۱۸
$\mathbf{MA(2)-GARCH(1,1)}$	۱/۵۱۶	۶/۸۲۱	۵/۶۳۹	۶/۳۱۷
$\mathbf{ARMA(1,1)-GARCH(1,1)}$	۱/۵۱۷	۶/۸۲۷	۵/۶۴۳	۶/۳۱۹
$\mathbf{ARMA(1,2)-GARCH(1,1)}$	۱/۵۰۵	۶/۸۳۰	۵/۶۴۴	۶/۳۱۹
$\mathbf{ARMA(2,1)-GARCH(1,1)}$	۱/۷۴۶	۶/۸۷۳	۵/۶۶۴	۶/۳۵۷

$\mathbf{ARMA(2,2)-GARCH(1,1)}$	۱/۸۴۸	۶/۸۵۵	۵/۶۶۷	۶/۳۵۹
$\mathbf{AR(1)-EGARCH(1,1)}$	۱/۵۱۸	۶/۸۵۰	۵/۶۵۲	۶/۳۴۸
$\mathbf{AR(2)-EGARCH(1,1)}$	۱/۴۸۶	۶/۸۸۵	۵/۶۷۳	۶/۳۵۸
$\mathbf{MA(1)-EGARCH(1,1)}$	۱/۵۱۰	۶/۸۴۸	۵/۶۵۱	۶/۳۴۶
$\mathbf{MR(2)-EGARCH(1,1)}$	۱/۴۳۴	۶/۸۷۹	۵/۶۷۰	۶/۳۵۱
$\mathbf{ARMA(1,1)-EGARCH(1,1)}$	۱/۴۶۲	۶/۸۵۰	۵/۶۵۲	۶/۳۴۸
$\mathbf{ARMA(1,2)-EGARCH(1,1)}$	۱/۵۶۴	۶/۸۹۸	۵/۶۸۰	۶/۳۶۴
$\mathbf{ARMA(2,1)-EGARCH(1,1)}$	۱/۶۱۸	۶/۸۴۴	۵/۶۶۸	۶/۳۶۰
$\mathbf{ARMA(2,2)-EGARCH(1,1)}$	۱/۵۰۹	۶/۸۶۹	۵/۶۶۱	۶/۳۵۲
$\mathbf{AR(1)-GJR}$	۱/۵۸۳	۶/۸۴۱	۵/۶۴۹	۶/۳۳۵
$\mathbf{AR(2)-GJR}$	۱/۵۷۷	۶/۸۴۶	۵/۶۵۲	۶/۳۳۶
$\mathbf{MA(1)-GJR}$	۱/۵۸۳	۶/۸۴۱	۵/۶۴۹	۶/۳۳۵
$\mathbf{MA(2)-GJR}$	۱/۵۷۷	۶/۸۴۵	۵/۶۵۱	۶/۳۳۶
$\mathbf{ARMA(1,1)-GJR}$	۱/۶۵۶	۶/۸۷۷	۵/۶۶۶	۶/۳۵۹
$\mathbf{ARMA(1,2)-GJR}$	۱/۵۶۸	۶/۸۵۴	۵/۶۵۷	۶/۳۳۸
$\mathbf{ARMA(2,1)-GJR}$	۱/۵۷۰	۶/۸۵۴	۵/۶۵۷	۶/۳۳۸
$\mathbf{ARMA(2,2)-GJR}$	۱/۹۰۲	۶/۸۶۷	۵/۶۷۱	۶/۳۶۲
$\mathbf{AR(1)-FIEGARCH(1,1)}$	۱/۵۴۰	۶/۸۴۳	۵/۶۴۹	۶/۳۴۰
$\mathbf{AR(2)-FIEGARCH(1,1)}$	۱/۴۹۰	۶/۸۸۳	۵/۶۷۳	۶/۳۵۰
$\mathbf{MA(1)-FIEGARCH(1,1)}$	۱/۵۲۴	۶/۸۴۰	۵/۶۴۸	۶/۳۳۶
$\mathbf{MA(2)-FIEGARCH(1,1)}$	۱/۴۷۰	۶/۸۷۸	۵/۶۷۱	۶/۳۴۵
$\mathbf{ARMA(1,1)-FIEGARCH(1,1)}$	۱/۵۶۲	۶/۸۴۵	۵/۶۵۰	۶/۳۴۰
$\mathbf{ARMA(1,2)-FIEGARCH(1,1)}$	۱/۴۸۲	۶/۸۸۸	۵/۶۷۷	۶/۳۵۱
$\mathbf{ARMA(2,1)-FIEGARCH(1,1)}$	۱/۶۵۰	۶/۸۳۵	۵/۶۶۳	۶/۳۵۰
$\mathbf{ARMA(2,2)-FIEGARCH(1,1)}$	۱/۸۸۳	۶/۹۲۴	۵/۷۳۵	۶/۴۵۶
$\mathbf{AR(1)-HYGARCH(1,1)}$	۱/۶۵۷	۶/۸۵۴	۵/۶۵۵	۶/۳۴۷
$\mathbf{AR(2)-HYGARCH(1,1)}$	۱/۶۶۳	۶/۸۴۹	۵/۶۵۲	۶/۳۴۶
$\mathbf{MA(1)-HYGARCH(1,1)}$	۱/۴۸۰	۶/۸۲۴	۵/۶۴۰	۶/۳۱۸
$\mathbf{MA(2)-HYGARCH(1,1)}$	۱/۶۶۳	۶/۸۴۸	۵/۶۵۱	۶/۳۴۵
$\mathbf{ARMA(1,1)-HYGARCH(1,1)}$	۱/۶۵۳	۶/۸۵۵	۵/۶۵۶	۶/۳۴۷
$\mathbf{ARMA(1,2)-HYGARCH(1,1)}$	۱/۶۶۱	۶/۸۵۰	۵/۶۵۳	۶/۳۴۶
$\mathbf{ARMA(2,1)-HYGARCH(1,1)}$	۱/۷۵۰	۶/۸۳۹	۵/۶۶۰	۶/۳۵۱
$\mathbf{ARMA(2,2)-HYGARCH(1,1)}$	۱/۵۷۵	۶/۸۵۹	۵/۶۴۹	۶/۳۴۷

منبع: محاسبات پژوهش

جدول ۷. نتایج پیش‌بینی برون نمونه‌ای مدل‌های گارچ- اسپلاین

مدل	1-step RMSE	10-step RMSE	10-step RMSE	22-step RMSE
$\mathbf{AR(1)-Spline-GARCH(1,1)}$	۱/۵۲۰	۶/۸۲۵	۵/۶۴۱	۶/۳۱۸
$\mathbf{AR(2)-Spline-GARCH(1,1)}$	۱/۵۲۷	۶/۸۲۰	۵/۶۳۸	۶/۳۱۷
$\mathbf{MA(1)-Spline-GARCH(1,1)}$	۱/۵۲۰	۶/۸۲۵	۵/۶۴۱	۶/۳۱۸
$\mathbf{MA(2)-Spline-GARCH(1,1)}$	۱/۵۲۷	۶/۸۱۹	۵/۶۳۸	۶/۳۱۷
$\mathbf{ARMA(1,1)-Spline-GARCH(1,1)}$	۱/۶۰۷	۶/۸۶۳	۵/۶۵۹	۶/۳۵۳
$\mathbf{ARMA(1,2)-Spline-GARCH(1,1)}$	۱/۷۹۱	۶/۸۷۸	۵/۶۶۷	۶/۳۵۷
$\mathbf{ARMA(2,1)-Spline-GARCH(1,1)}$	۱/۷۹۴	۶/۸۷۸	۵/۶۶۸	۶/۳۵۷
$\mathbf{ARMA(2,2)-Spline-GARCH(1,1)}$	۱/۴۵۸	۶/۸۹۹	۵/۷۴۶	۶/۳۷۸
$\mathbf{AR(1)-Spline-GJR}$	۱/۵۸۵	۶/۸۴۲	۵/۶۴۹	۶/۳۳۶
$\mathbf{AR(2)-Spline-GJR}$	۱/۵۸۳	۶/۸۴۳	۵/۶۵۰	۶/۳۳۷
$\mathbf{MA(1)-Spline-GJR}$	۱/۵۸۴	۶/۸۴۲	۵/۶۴۹	۶/۳۳۶
$\mathbf{MA(2)-Splin-GJR}$	۱/۵۸۳	۶/۸۴۳	۵/۶۵۰	۶/۳۳۶
$\mathbf{ARMA(1,1)-Spline-GJR}$	۱/۶۵۸	۶/۸۵۲	۵/۶۸۹	۶/۳۷۳
$\mathbf{ARMA(1,2)-Spline-GJR}$	۱/۹۰۱	۶/۸۹۹	۵/۶۷۹	۶/۳۶۹
$\mathbf{ARMA(2,1)-Spline-GJR}$	۱/۹۰۶	۶/۸۹۹	۵/۶۸۰	۶/۳۶۹
$\mathbf{ARMA(2,2)-Spline-GJR}$	۱/۵۷۰	۶/۸۲۶	۵/۶۳۵	۶/۳۳۱

منبع: محسبات پژوهش

با توجه به جدول(۶) و (۷)، و بر اساس معیار خطای پیش‌بینی (RMSE)، ۳ مدل برتر در افق‌های ۱، ۵، ۱۰ و ۲۲ روزه که دارای کمترین خطای پیش‌بینی نسبت به مدل‌های رقیب هستند در جدول (۸) و (۹)گزارش داده شده است.

جدول ۸. مدل‌های برتر پیش‌بینی برون نمونه‌ای ۱و ۵ روزه

مدل	1-step	رتبه	مدل	5-step	رتبه
$\mathrm{MA}(2)-E\mathrm{GARCH}(1,1)$	۱/۴۳۴	۱	$\mathrm{MA}(2)-\mathrm{Spline}-\mathrm{GARCH}(1,1)$	۶/۸۱۹	۱
$\mathrm{ARMA}(1,2)$- $\mathrm{Spline}-\mathrm{GARCH}(1,1)$	۱/۴۵۸	۲	$\mathrm{AR}(2)-\mathrm{Spline}-\mathrm{GARCH}(1,1)$	۶/۸۲۰	۲
$\mathrm{MA}(1)-\mathrm{HYGARCH}(1,1)$	۱/۴۸۰	۳	$\mathrm{AR}(1),MA(2)-\mathrm{GARCH}(1,1)$	۶/۸۲۱	۳

منبع: محاسبات پژوهش

جدول ۹. مدل‌های برتر پیش‌بینی برون نمونه‌ای ۱۰و ۲۲ روزه

رتبه	22-step	مدل	رتبه	10-step	مدل
۱	۶/۳۱۷	$\mathrm{AR}(2), MA(2) - \mathrm{Spline} - \mathrm{GARCH}(1,1)$	۱	۵/۶۳۵	$\mathrm{ARMA}(2,2) - \mathrm{Spline} - \mathrm{GJR}$
۲	۶/۳۱۸	$\mathrm{MA}(1) - \mathrm{HYGARCH}(1,1)$	۲	۵/۶۳۸	$\mathrm{AR}(2), MA(2) - \mathrm{Spline} - \mathrm{GARCH}(1,1)$
۳	۶/۳۱۹	$\mathrm{ARMA}(1,1), ARMA(1,2) - \mathrm{GARCH}(1,1)$	۳	۵/۶۳۹	$\mathrm{AR}(2), MA(2) - \mathrm{GARCH}(1,1)$

منبع: محاسبات پژوهش

همان طور که نتایج جداول (۸) و (۹) نشان می‌دهند، در افق ۱ روزه مدل‌های $\mathrm{MA}(2) - E\mathrm{GARCH}(1,1)$ ، **$\mathbf{ARMA(1,2)\text{- }Spline - GARCH(1,1)}$** و مدل $\mathrm{MA}(1) - \mathrm{HYGARCH}(1,1)$، بر اساس معیار RMSE به ترتیب دارای عملکرد دقیق‌تری در پیش‌بینی قیمت طلای جهانی هستند.

برای افق ۵ روزه بعد از مدل $\boldsymbol{MA(2) - Spline - GARCH}$، مدل‌های $AR(2) - Spline - GARCH$ و $AR(2), MA(2) - GARCH(1,1)$، با توجه به معیار RMSE در رتبه دوم و سوم، قرار دارند.

در افق پیش‌بینی ۱۰ روزه ب ترتیب مدل‌های $\boldsymbol{ARMA(2.2) - Spline - GJR}$، $\boldsymbol{AR(2), MA(2) - Spline - GARCH}$ و $AR(2), MA(2) - GARCH(1,1)$ از منظر معیار RMSE از بالاترین دقت پیش‌بینی برخوردار هستند.

در افق پیش‌بینی ۲۲ روزه، مدل‌های $\boldsymbol{AR(2), MA(2) - Spline - GARCH}$، $\mathrm{MA}(1) - \mathrm{HYGARCH}(1,1)$ و $ARMA(1,1), ARMA(1,2) - GARCH(1,1)$، بر طبق معیار RMSE مدل‌های برتر در دقت پیش‌بینی بلندمدت می‌باشند.

۶. نتیجه‌گیری و پیشنهادات

در حال حاضر اکثر دولت‌ها و بانک مرکزی، سیاست‌های مالی و پولی‌شان را نه صرفاً بر مبنای وضع موجود، بلکه بر مبنای پیش‌بینی‌های کوتاه‌مدت و بلندمدت از متغیرهای کلیدی اقتصادی تدوین کرده و به مورد اجرا می‌گذارند. بنابراین طلا یکی از مهمترین متغیرهای کلیدی اقتصادی به شمار می‌آید. از این رو سرمایه‌گذاری در بازارهای طلا، بخش مهمی از

اقتصاد هر کشور را تشکیل می‌دهد. به همین دلیل پیش‌بینی قیمت طلا برای سرمایه‌گذاران از اهمیت ویژه‌ای برخوردار شده است.در این تحقیق سعی بر آن شد ابتدا مدل‌های مختلف گارچ با تصریح‌های مختلف معادله میانگین شرطی و در نهایت مدل گارچ- اسپلاین در دقت پیش‌بینی برون نمونه‌ای برای نوسانات قیمت طلا در دوره‌های ۱، ۵، ۱۰ و ۲۲ گزارش داده شود و توسط معیار جذر میانگین مربع خطای($RMSE$) پیش‌بینی، مورد ارزیابی قرار گرفته شود. نتایج حاصل از این پیش‌بینی و مقایسه بیان می‌کند که در افق پیش بینی ۱ روزه مدل اسپلاین-گارچ بعد از مدل $\mathrm{MA}(2)-E\mathrm{GARCH}(1,1)$ در رتبه دوم، نسبت به مدل‌های رقیب از عملکرد دقیق‌تری برخوردار است. بعد از مدل اسپلاین-گارچ، مدل $\mathrm{MA}(1)-\mathrm{HYGARCH}(1,1)$ در رتبه سوم قرار دارد. در پیش‌بینی افق ۵ روزه، در رتبه اول و دوم مدل‌های $\boldsymbol{MA(2)-Spline-GARCH}$ و $AR(2)-Spline-GARCH$ قرار دارند. در افق پیش‌بینی ۱۰ روزه به ترتیب مدل‌های $\boldsymbol{ARMA(2.2)-Spline-GARCH}$، $\boldsymbol{GJR}$ و $\boldsymbol{AR(2),MA(2)-Spline-GARCH}$، $AR(2),MA(2)-GARCH(1,1)$ از بالاترین دقت پیش‌بینی برخوردار هستند. برای افق پیش‌بینی ۲۲ روزه، باز هم مدل گارچ- اسپلاین با معادله‌های میانگین $AR(2),MA(2)$ که داری توان یکسان در قدرت پیش‌بینی هستند، مدل‌هاب برتر در افق پیش‌بینی ۲۲ روزه می‌باشند. بنابراین نتیجه‌گیری کلی در این بخش را می‌توان بدین شکل بیان نمود که مدل گارچ- اسپلاین عملکرد بهتری نسبت به مدل‌های گارچ متعارف در افق پیش‌بینی کوتاه مدت و بلند مدت دارد. در مقایسه با سایر مطالعات، این مطالعه با بکارگیری مدل جدید اسپلاین و مقایسه آن با طیف گسترده ای از مدلهای حافظه کوتاه مدت و بلندمدت گارچ در پیش بینی روند حرکتی قیمت طلای جهانی، نسبت به مطالعات پیشین دارای نوآوری است و لذا نتایج آن نیز با مطالعات پیشین متمایز است.

برگرفته از نتایج پژوهش و با توجه به اهمیت بازار جهانی طلا در میان سرمایه گذاران، پیشنهاد می شود مدل گارچ اسپلاین در پیش‌بینی روند حرکتی قیمت طلای جهانی مورد استفاده سرمایه گذاران در بازار طلا قرار گیرد. همچنین سیاستگذاران بازارهای مالی در کشور به منظور پیش بینی دقیق‌تر نوسانات قیمت طلای جهانی و اثرات آن بر بازار طلای کشور می‌توانند از مدلهای گارچ اسپلاین استفاده نمایند. به عبارت دیگر داشتن یک پیش-بینی دقیق از قیمت طلای جهانی و نوسانات آن می‌تواند برای سیاستگذاران بازارهای مالی به منظور دستیابی به ثبات بیشتر در بازارهای مالی داخل کمک نماید.

در پژوهشهای آتی می‌توان از مدل‌های متنوع دیگری نیز استفاده نمود و توان پیش‌بینی این مدل‌ها را در پیش‌بینی قیمت طلا و نوسانات آن نیز مقایسه نمود. از جمله این مدل‌ها می‌توان به مدل‌های مارکوف سوئیچینگ گارچ، ناپارامتریک گارچ، نیمه پارامتریک گارچ، مدل‌های نوسانات تصادفی و حتی ترکیبی از این مدل‌ها با مدل‌های گارچ- اسپلاین، اشاره نمود.

کتاب‌نامه

ابطحی، س، نیک فطرت، ح، (۱۳۹۲). شناسایی چرخش رژیم در بازده بازار اوراق بهادار ایران. فصلنامه مدل‌سازی اقتصادی، شماره ۴، ص ۴۱-۵۶.

امیرحسینی، زهرا و داورپناه، عاطفه (۱۳۹۷). طراحی الگوریتم جهت پیش‌بینی قیمت طلا، با استفاده از الگوریتم پرواز پرندگان و الگوریتم ژنتیک و ارائه الگوریتم ترکیبی. مجله مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار، شماره۲۶، ۵۹-۸۳.

اقتصاد ایران. (۱۳۹۰). گیر طلا و ارز، صفحه ۶۷.

آیت اللهی، علیرضا (۱۳۷۷). اصول برنامه‌ریزی. ویزایش سوم، مرکز آموزش مدیریت دولتی.

بشارت نیا، فاطمه، طریقت، میلاد (۱۳۹۵). پیش‌بینی قیمت طلا با استفاده از شبکه های عصبی. دومین کنفرانس ملی علوم و منهدسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات، بابل.

جلیلی، س، امامی، ک، محمدی، ت، (۱۳۹۶). بررسی عدم تقارن و تحلیل عوامل مؤثر بر نوسانات قیمت طلا در ایران. دهمین کنفرانس بین المللی اقتصاد و مدیریت، رشت.

سرفراز، لیلا، افسر، امیر (۱۳۸۴). بررسی عوامل مؤثر بر قیمت طلا و ارائه مدل پیش‌بینی بر مبنای شبکه‌های عصبی فازی. فصلنامه پژوهش‌های اقتصادی، شماره ۱۶، ص ۱۴۹- ۱۶۵.

صنوبر، ناصرو معطوفی، علیرضا (۱۳۸۶). مجموع مقالات و همایش‌های مدیریت مالی بازار سرمایه و گزارشکری. دبیر خانه همایش مدیریت مالی، بازار سرمایه و گزارشکری، ص ۶۱.

زراء نژاد، منصور، رئوفی، علی و کیانی، پویان (۱۳۹۱). ارزیابی و مقایسه عملکرد خودرگرسیون میانگین متحرک انباشته و شبکه عصبی فازی برای پیش‌بینی روزانه قیمت طلا. اولین کنفرانس بین‌المللی اقتصادسنجی، روش‌ها و کاربردها، دانشگاه آزاد اسلامی واحد سنندج.

مشیری، سعید (۱۳۸۰). پیش‌بینی تورم ایران با استفاده از مدل‌های ساختاری، سری‌های زمانی و شبکه های عصبی. مجله تحقیقات اقتصادی، شماره ۵۸، ص ۱۴۷-۱۸۴.

Bentes, S, R. (2015). Forecasting Volatility in Gold returns underThe GARCH, IGARCH, and FIGARCH: New evidence, ELSVIER, Physica, A, 438, 355- 364.

Armstrong, J. S. (Ed.). (2001). Principles of forecasting: a handbook for researchers and practitioners (Vol. 30). Springer Science & Business Media.

Bollerslev, T. (1986). Generalized Autoreyressive Conditional Heteroskedasticity. Journ of Economics, 31, 307- 327

Dury, M.E. & Xiao, B., 2018. Forecasting the Volatility of the Chinese Gold Market by ARCH Family Models and extension to Stable Models.

Goudarzi, H. (2010). Modeling Long Mmory in the Indian Stok Market Using fractionally integrated EGARCH Model. International Journal of Trade, Economics and Finance, Vol 1(3), PP 231.

Gujarati, D. (2008). Basic Econometrics, 5^{th}Edition, Mc- Graw- Hiil

Hamilton, J., & Susmel, R. (1994). Autoreyressive Conditional Heteroskedasticity in Regim, Journal of Econometrics, 64, 307- 332.

Johnston, k., Scott, E. (2000). GARCH Modals and The Stochastic Process undelying Exchange Kate Price Change, Journal of Financial and Strategic Decisions, Vol, 2, pp,13-24.

Marcucci, J. (2005). Forecasting Stok Market Volatility with regim- switching GARCH Models, Studiesin Nonlinear Dynamics and Econometrics, 9, 1- 53.

Parisi, A., Parisi, F., Diaz, D. (2008). Forecasting Gold Price changes Rolling and recursive neural network models, Journal of Multinational Financial Management, Elsevier, Vol 18(5), 477- 487.

Rangel, J. G., & Engle, R. F. (2012). The Factor–Spline–GARCH model for high and low frequency correlations. Journal of Business & Economic Statistics, 30(1), 109-124.

Sopipan, N. (2017). Trading Gold Future with ARIMA_ GARCH models. Thai Journal of Mathematics, Special Issue, Ahnual Meeting in Matematics.

Shafee, S., Topal, E.(2010). An overview of golobal gold market and gold price forecasting, Resources Polisy 35(3), ۱۷۸ - 17

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی