

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

یونس نادمی\*

محمد رضا 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 طلاست. طلا همواره رقیبی برای پول‌های رایج و جانشینی برای آن در ایفای نقش ذخیره ارزش بوده و موقعیت خود را در بحران‌های سیاسی و اقتصادی حفظ کرده است. طلا به‌مثابه 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 به‌صورت برجسته این واقعیت را نشان می‌دهد که قیمت و عملکرد سرمایه‌گذاری طلا به‌منزله دارای بسیار بااهمیت است. باتوجه به اهمیت قیمت طلا و تأثیرات اقتصادی حاصل از نوسانات قیمتی آن، پیش‌بینی قیمت طلا برای سرمایه‌گذاران به‌منظور حداقل‌سازی ریسک سرمایه‌گذاری اهمیت ویژه‌ای دارد. 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 طی سال‌های ۲۰۱۸-۲۰۰۰ براساس معیار خطای RMSE ارزیابی شده است. نتایج نشان

\* استادیار گروه علوم اقتصادی، دانشگاه آیت‌الله بروجردی (نویسنده مسئول)، Younesnademi@abru.ac.ir

\*\* استادیار گروه ریاضی، دانشگاه آیت‌الله بروجردی، haddadi@abru.ac.ir

\*\*\* کارشناس ارشد ریاضی مالی، دانشگاه آیت‌الله بروجردی، farhadi70hamed@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۱/۱۸، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۴/۲۲

می‌دهد که در افق‌های پیش‌بینی کوتاه‌مدت و بلندمدت مدل‌های گارچ - اسپلین دقت پیش‌بینی بالاتری برای قیمت طلای جهانی در مقایسه با مدل‌های گارچ حافظه کوتاه‌مدت و بلندمدت داشته‌اند.

**کلیدواژه‌ها:** پیش‌بینی، قیمت طلای جهانی، سری زمانی، مدل‌های گارچ - اسپلین.

**طبقه‌بندی JEL:** C22, L61, C53.

## ۱. مقدمه

امروز بازارهای مالی (financial markets) نقشی کلیدی در تجهیزات و هدایت وجوه موجود در اقتصاد به سمت بخش‌های صنعتی و تولیدی و به تبع آن بهبود رشد اقتصادی دارند. بازار سرمایه (capital market) به منزله یکی از رکن‌های بازار مالی نقش به‌سزایی در بسیج امکانات و سرمایه‌ای به‌منظور رشد و توسعه اقتصادی کشورها دارد و هم‌اکنون در بسیاری از کشورهای جهان نقش تأمین اعتبارات موردنیاز بنگاه‌های اقتصادی را برعهده 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 به‌صورت واقعی پس‌انداز می‌کنند. یکی از این نوع دارایی‌ها، که قابلیت نقدشوندگی نیز دارد، طلاست که در ایران و جهان همواره به‌عنوان پس‌انداز مطلوب در جامعه با استقبال روبه‌رو است (سرافراز و افسر ۱۳۸۴). طلا همواره به‌منزله رقیبی برای پول‌های رایج و جانشینی برای آن در ایفای نقش ذخیره ارزش موقعیت خود را در بحران‌های سیاسی و اقتصادی حفظ کرده است. طلا به‌منزله دارایی بسیار بااهمیت 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 تأثیرات اقتصادی حاصل از نوسانات قیمتی آن، پیش‌بینی قیمت طلا برای سرمایه‌گذاران اهمیت ویژه‌ای دارد تا بتوانند کم‌ترین ریسک را در سرمایه‌گذاری خود داشته باشند. بازار طلا از بازارهای پرتلاطم 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 سرمایه‌گذاری‌ها را تعیین کرد. بنابراین، پیش‌بینی قیمت طلا از جهات گوناگون اهمیت دارد (بشارت‌نیا و طریقت ۱۳۹۵). در حال حاضر، طلا به‌منزله یک بازار بزرگ اقتصادی کنار بازارهای سرمایه‌دیگر پیش‌روی سرمایه‌گذاران قرار دارد و نوسانات قیمت آن بیش از پیش در متغیرهای اقتصادی و رونق و رکود سایر بازارها مؤثر است. در سال‌های اخیر رشد چشم‌گیر قیمت طلا در بازارهای جهانی هم‌راه تأثیر آن در بازارهای موازی به‌نحو بی‌سابقه‌ای موجب افزایش روند رشد سکه در کشور شده است. بررسی رشد چشم‌گیر طلا در بازارهای جهانی با وجود سیاست‌های کنترل‌کننده، که بازارهای داخلی نیز از آن بی‌نصیب نیستند، حائز اهمیت است. در این پژوهش با بررسی مطالعات انجام‌شده در زمینه پیش‌بینی نوسانات طلا، این سؤال مطرح می‌شود که کدام‌یک 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 تک‌رژیمی، فرضیه‌های این پژوهش به شرح زیر مطرح می‌شود:

الف) مدل گارچ - اسپلاین (Spline-GARCH) در افق پیش‌بینی کوتاه‌مدت قیمت طلا عملکرد دقیق‌تری در مقایسه با مدل‌های خانواده گارچ دارد؛

ب) مدل گارچ - اسپلاین در افق پیش‌بینی بلندمدت قیمت طلا عملکرد دقیق‌تری در مقایسه با مدل‌های خانواده گارچ دارد.

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

## ۲. مبانی نظری و مروری بر مطالعات گذشته

پیش‌بینی (forecasting) فرایند برآورد موقعیت‌های ناشناخته است. پیش‌بینی پیش‌گویی در مورد رویدادهای آینده را در اختیار می‌گذارد و می‌تواند تجارب گذشته را به پیش‌بینی حوادث آینده بدل کند. در سال‌های اخیر پیش‌بینی به پیش‌بینی شیوه طرح تقاضا در کسب و کار روزانه شرکت‌های سازنده تبدیل شده است (Armstrong 2006).

پیش‌بینی عنصری کلیدی در تصمیم‌گیری مدیریت و کنترل ریسک است و برای بسیاری از سازمان‌ها و نهادها حائز اهمیت است. به‌عبارتی، هر سازمان به‌منظور تصمیم‌گیری آگاهانه و استفاده بهینه از دارایی‌های خود باید قادر به پیش‌بینی باشد. اصولاً باید پیش‌بینی عوامل غیرقابل کنترل به انتخاب‌ها و تصمیم‌گیری‌ها در مقایسه با زمانی که این پیش‌بینی اتفاق نمی‌افتد بهتر عمل کند (آیت‌اللهی ۱۳۷۷). هر سازمانی به‌منظور تصمیم‌گیری آگاهانه باید قادر به پیش‌بینی باشد. از آن‌جاکه پیش‌بینی وقایع آینده در فرایند تصمیم‌گیری در سازمان تأثیر مهمی دارد، پیش‌بینی برای بسیاری از سازمان‌ها و نهادها حائز اهمیت بالقوه‌ای است. بنابراین، بیش‌تر تصمیمات مدیریت در تمام سطوح سازمان به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم به حالتی از پیش‌بینی آینده بستگی دارد.

مسائلی که پیش‌بینی در آن‌ها مطرح می‌شود دو گروه‌اند (Armstrong 2006):

الف) مسائلی که پیش‌بینی با هدف طبقه‌بندی ورودی‌ها و تعیین این‌که هر ورودی متعلق به چه طبقه‌ای است انجام می‌شود. خروجی در این‌جا متغیری اسمی (nominal variable) است؛

ب) مسائلی که با تخمین یا رگرسیون پیش‌گویی یک متغیر پیوسته مثل تعیین قیمت روز بعد سهام انجام می‌شود. در این‌جا خروجی متغیر عددی (numerical variable) است. در پیش‌بینی باید دوره پیش‌بینی، افق پیش‌بینی، و فاصله پیش‌بینی را مدنظر قرار داد که هرکدام در ادامه به‌اختصار معرفی می‌شود:

الف) دوره پیش‌بینی: دوره پیش‌بینی نوع پیش‌بینی را تعیین می‌کند. مثلاً این‌که پیش‌بینی روزانه، هفتگی، ماهانه، یا فصلی است؛

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

ج) فاصله پیش‌بینی: مشخص‌کننده مدت زمانی است که پیش‌بینی‌های جدید تهیه می‌شوند. فاصله و دوره پیش‌بینی غالباً یک‌سان در نظر گرفته می‌شود و دوره و افق پیش‌بینی معمولاً از طریق فرایند تصمیمی که نیاز به پیش‌بینی دارد دیکته می‌شود.

اغلب این پیش‌بینی‌ها براساس ویژگی‌های سری زمانی داده‌ها انجام می‌شود. دوره پیش‌بینی در پیش‌بینی‌های میان‌مدت بین سه ماه تا دو سال است. در این نوع پیش‌بینی ویژگی‌های ساختار اقتصادی و روابط بین متغیرها نیز کنار مقادیر وقفه‌ای متغیرها اهمیت

بیش‌تری پیدا می‌کند. پیش‌بینی‌های بلندمدت غالباً بیش از دو سال‌اند، پویایی‌های کوتاه‌مدت 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 است، 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 طلاست (ابطحی و همکاران ۱۳۹۲). طلا از دیرباز مورد توجه انسان بوده و همیشه به‌منزله کالایی با ارزش و با نقدشوندگی بالا دادوستد می‌شده است. در اکثر کشورهای جهان، طلا نه‌فقط کالایی زینتی است، بلکه به‌منظور کالایی سرمایه‌گذاری نیز دادوستد می‌شود و این کارکرد طلا به‌منزله انتخابی سرمایه‌گذاری در زمان رکورد بازارهای مالی محسوس‌تر نیز می‌شود. داده‌های تاریخی قیمت جهانی طلا در چهل سال گذشته باتوجه‌به رویدادهای مهم مؤید این موضوع است (گودرزی و امیری ۱۳۹۲). طلا همواره به‌منزله فلزی گران‌بها مورد توجه بشر بوده است. برخورداری از ویژگی‌های خاصی نظیر ارزش زیاد نسبت به وزن و حجم آن و اکسیدنشدن در مقابل هوا سبب شده است تا طی هزاران سال این فلز نقش برجسته‌ای در پیشرفت جنبه‌های اجتماعی و اقتصادی جوامع داشته باشد. اهمیت تاریخی طلا به‌حدی بود که تا قرن نوزدهم از طلا به‌عنوان پول استفاده می‌شد، اما با رواج پول کاغذی و اعتباری استفاده از سکه طلا همواره به‌منزله پول رایج به‌تدریج کاهش یافت و نهایتاً در اوایل قرن بیستم از بین رفت. با این حال، طلا همواره به‌منزله رقیبی برای پول‌های رایج و جانشینی 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 از مهم‌ترین کالاهای اساسی محسوب می‌شود که نقش به‌سزایی در تعیین بسیاری از معادلات منطقه‌ای دارد.

نقش طلا در جایگاه فلزی با ارزش و وسیله‌ای برای حفظ ارزش دارایی در مقابل خطرهای ناشی از افزایش تورم و کاهش ارزش ارزهای مختلف بر کسی پوشیده نیست و به‌منزله سرمایه ملی و پشتوانه اقتصادی کشور مطرح است. این مسئله طلا را در کانون توجه 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 اهمیت زیادی دارد؛ از این‌رو، نوسانات قیمت طلا تأثیرات درخور توجهی در اقتصاد کشورها اعم از کشورهای توسعه‌یافته و در حال توسعه دارد.

امروزه پیش‌بینی متغیرهای اقتصادی اهمیت ویژه‌ای برای سیاست‌گذاران و سایر واحدهای اقتصادی دارد. در نتیجه در دهه‌های اخیر، مدل‌های پیش‌بینی گوناگونی توسعه یافته که به رقابت با یک‌دیگر مشغول‌اند. ارتباط پیش‌بینی متغیرهای اقتصادی 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 اجرا گذاشته‌اند (مشیری ۱۳۸۰).

تاکنون روش‌های زیادی برای پیش‌بینی قیمت طلا به کار رفته است، از جمله روش‌های سنتی کمی مانند رگرسیون و مدل‌های سری زمانی که برای پیش‌بینی در بازارهای مالی نیز بسیار مورد توجه بوده‌اند. از آن‌جا که بازار طلا سیستمی 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 کرد (امیرحسینی و داورپناه ۱۳۹۵).

در زمینه مدل‌سازی نوسانات و ویژگی‌های بازدهی طلا و نیز روش‌های گوناگون پیش‌بینی نوسانات، تحقیقات متعددی انجام شده است که هر یک از آن‌ها با در نظر گرفتن موقعیت‌های مختلف به نتایج متفاوتی دست یافته است.

## 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 دوره مورد بررسی مدل آریم 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 مطالعه زراءنژاد 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 برای پیش‌بینی قیمت روزانه طلا در مطالعه مذکور از ۲۰۱۰/۰۷/۱۲-۲۰۱۲/۰۵/۱۸ است. نتایج باتوجه به معیارهای متداول ارزیابی خطای پیش‌بینی نشان می‌دهد که مدل شبکه عصبی ANFIS در مقایسه با مدل ARIMA پیش‌بینی دقیق‌تری ارائه داده است.

امیرحسینی و داورپناه (۱۳۹۴) با استفاده از الگوریتم پرواز پرندگان و الگوریتم ژنتیک و ترکیبی از این دو الگو قیمت طلا را پیش‌بینی کردند. نتایج حاکی از این بود که استفاده از الگوی ترکیبی پرواز پرندگان با الگوی ژنتیک به‌علت پوشش نقاط ضعف هریک 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 به‌کاربرده‌شده از نوع روزانه و از فروردین ۱۳۸۸ تا دی ۱۳۹۶ است. نتایج نشان داد که مدل فیگارچ بهتر از سایر مدل‌ها نوسان‌های قیمت طلا را پیش‌بینی می‌کند، اما برای نوسان‌های قیمت دلار در بازار آزاد با شاخص کل قیمت سهام رابطه‌ی معنی‌داری دارند و باتوجه‌به الگوی تصحیح برداری و هم‌گرایی یوهانسن - جوسیلیوس نوسان‌های قیمت طلا و شاخص قیمت کل سهام هم‌گراست.

## ۲.۲ مطالعات خارجی

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

شفیعی و توپال (Shafei and Topal 2010) مطالعه‌ای در زمینه‌ی روند بلندمدت قیمت طلا و رابطه‌ی آن با دو عامل قیمت نفت و تورم انجام دادند. در این مطالعه داده‌های چهل‌ساله (۱۹۶۸-۲۰۰۸) طلا را مطالعه کردند و مدل پیش‌بینی خود را در این بازه آزمون و برای ده سال آینده پیش‌بینی کردند. این مطالعه نشان داد که قیمت طلا رابطه‌ی مستقیمی با قیمت نفت دارد، اما رابطه‌ی محسوسی بین تورم و قیمت طلا برقرار نیست.

بتس (Bentes) در پژوهشی با عنوان «پیش‌بینی نوسانات در بازار طلا تحت چهارچوب‌های GARCH، FIGARCH، IGARCH: یافته‌های جدید» با استفاده از داده‌های روزانه آگوست ۱۹۷۶ تا فوریه ۲۰۱۵ و تقسیم‌کردن نمونه به دو دوره از

داده‌های درون نمونه از دوم آگوست ۱۹۷۱ تا ۲۴ اکتبر ۲۰۰۸ برای برآورد مدل استفاده کرد و نتایج را در برون نمونه از ۲۷ اکتبر ۲۰۰۸ تا ۶ فوریه ۲۰۱۵ پیش‌بینی کرد. وی در این پژوهش مدل‌های  $GARCH(1,1)$ ،  $iGARCH(1,1)$  و به‌صورت ویژه  $FIGARCH(1,d,1)$  را به‌کار برده است. نتایج نشان داد مدل  $FIGARCH(1,d,1)$  بهترین مدل برای دربرگرفتن وابستگی‌های خطی در واریانس شرطی بازده طلاست که اغلب به‌وسیله معیارهای اطلاعات به‌دست می‌آید.

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

در پژوهشی دوری و بینگ (Dory and Bing) به‌دنبال مدل قیمت طلا در بورس طلای شانگ‌های (SGE) بوده‌اند و توانایی پیش‌بینی مدل خانواده ARCH را ارزیابی کرده‌اند. این تجزیه و تحلیل طی سال‌های ۲۰۰۲-۲۰۱۶ به‌ترتیب به‌منزله در نمونه و خارج از نمونه به‌کار می‌روند. نتایج عملکرد آماری درون نمونه نشان می‌دهد که مدل‌های  $GARCH$  و  $EGARCH$  و در عملکرد خارج از نمونه مدل  $GARCH$  به‌منزله بهترین مدل برای بازده انتخاب شده‌اند و هم‌چنین براساس توزیع تی-استیودنت مدل  $GARCH$  و  $ARCHM$  بهترین مدل برای پیش‌بینی درون نمونه و خارج از نمونه‌اند.

با مطالعه پژوهش‌های انجام‌شده در زمینه 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 زمینه پیش‌بینی در حوزه مالی انجام شده است که همگی درصدد کاهش خطای حاصل از پیش‌بینی بوده‌اند. در ایران تاکنون در زمینه پیش‌بینی روند حرکت قیمت طلای جهانی با روش ترکیبی گارچ-اسپلین پژوهشی انجام نشده است. بنابراین، این پژوهش سعی داشت تا روند حرکت قیمت طلای جهانی را با این روش پیش‌بینی کند و این می‌تواند بر اهمیت کار در این پژوهش بیفزاید. هم‌چنین مدل گارچ-اسپلین و گارچ‌های کلاسیک در زمینه پیش‌بینی قیمت طلای جهانی ارزیابی و با یک‌دیگر مقایسه شدند.



### ۳. روش‌شناسی پژوهش

#### ۱.۳ مدل ARMA (p, q)

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

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

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

که در آن سری نوفه سفید و  $p$  و  $q$  اعداد صحیح غیرمنفی‌اند، ضمن این‌که  $\theta_q$  و  $\varphi_p$  ضرایب مدل‌اند.

#### ۲.۳ مدل GARCH

زمانی نسبتاً طولانی است که اقتصادسنجی دانان 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 آمار برای نشان‌دادن این وابستگی‌ها پدید آمده‌اند. نخستین مدل برای توضیح وابستگی از نوع خوشه‌بندی تغییرات سری زمانی را انگل (Engle 1982) مطرح کرد. وی مدل خودرگرسیون واریانس ناهم‌سانی شرطی (ARCH) را برای توجیه این نوع از وابستگی‌ها در سری زمانی مطرح کرد. بعد از وی مطالعات گوناگونی از جانب سایر اقتصاددانان مانند بولرسو (Bollerslev 1982) انجام شد و مدل‌های دیگری از نوع ARCH مانند مدل خودرگرسیون واریانس ناهم‌سانی شرطی تعمیم‌یافته (GARCH) به‌وجود آمدند تا بتوانند این ویژگی بازدهی‌های دارایی‌های مالی را به‌خوبی توضیح دهند. بیش‌تر مطالعات تجربی نشان داده‌اند که مدل‌های نوع GARCH توانایی بیش‌تری در مدل‌سازی و پیش‌بینی داشتند. یک مدل کلی  $(ARCH(q))$  به‌صورت معادله ۳ است:

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

مشکلی که در عمل هنگام استفاده از این مدل‌ها رخ می‌دهد این است که وقتی  $q$  عدد بزرگی باشد، به‌طور معمول باعث نقض فرض غیرمنفی بودن و شرایط مانایی معادله واریانس است. مدل GARCH را بولرسو (Bollerslev 1982) توسعه داد که راه‌کاری برای حل این مشکل و نیز مدلی به‌صرفه در تعداد پارامترهاست (Johnston and Scoot 2000).

واریانس شرطی علاوه‌بر  $q$  توان دوم گذشته، شامل  $p$  وقفه واریانس شرطی گذشته  $(\sigma_{t-j}^2)$  است. معادله واریانس شرطی در یک مدل (GARCH(p, q)) به‌صورت معادله ۴ است:

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

فعالان و تحلیل‌گران بازارهای مالی همیشه به‌دنبال یافتن تخمین‌هایی دقیق از واریانس شرطی قیمت دارایی‌های مالی‌اند. از آن‌جاکه مدل‌های گارچ در پیش‌بینی نوسانات شرطی توانایی زیادی دارند، شکل‌های کامل‌تری از این مدل‌ها ظهور یافته است و به‌طور خاص برای تخمین واریانس شرطی دارایی‌ها و ابزارهای مالی به‌کار می‌روند. واریانس شرطی این مدل‌ها در جدول ۱ ارائه شده است.

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

مدل	معادله واریانس شرطی
EGARCH	$Ln(h_t) = \alpha_0 + \alpha_1 \left( \frac{\varepsilon_{t-1}}{h_{t-1}^{0.5}} \right) + \mu_1 \left  \frac{\varepsilon_{t-1}}{h_{t-1}^{0.5}} \right  + \beta_1 Ln(h_{t-1})$
FIGARCH	$Ln(h_t) = \alpha_0 + (1 + \psi L)(1 - \phi(L))^{-1}(1 - L)^{-d} g(\varepsilon_t)$
HYGARCH	$h_t = \frac{\alpha_0}{1 - \beta_1} + \{1 - [1 - \beta_1]^{-1} \phi(L)[1 + K(1 - L)^d]\} \varepsilon_{t-1}^2$
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

برخلاف بسیاری از مدل‌های گارچ موجود، مدل Spline-GARCH انگل و رانجل (Engle and Rangle 2008) فرض نمی‌کند واریانس غیرشرطی طی زمان ثابت است، اما به‌صورت

تابعی از زمان تغییر می‌کند. براساس تعریف انگل (Engle 1982) از فرایند واریانس ناهمسانی شرطی (ARCH) خواهیم داشت:

$$\varepsilon_t = \vartheta_t \sigma_t \quad (3)$$

که در آن  $\vartheta_t$  نوفه سفید با واریانس یک و مستقل از  $\varepsilon_{t-1}$  است. از این رو، انگل و رانجل در مدل گارچ - اسپلاین معادله ۵ را با استفاده از یک ضریب  $\tau_t$  چندضلعی به صورت زیر نوشتند.

$$\varepsilon_t = \tau_t s_t \vartheta_t \quad (4)$$

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

$$s_t^2 = \sum_{j=1}^{\max(p,q)} (\alpha_j + \beta_j) + \sum_{j=1}^q \alpha_j \left( \frac{\varepsilon_{t-j}}{\tau_{t-j}} \right)^2 + \sum_{j=1}^p \beta_j s_{t-j}^2 \quad (5)$$

$$\tau_t^2 = \omega \exp \left( \delta_0 t + \sum_{i=1}^k \delta_i [(t - t_{i-1})_+]^2 \right) \quad (6)$$

که در آن  $\omega$ ،  $\alpha_1$ ،  $\beta_1$  و  $\delta_1$  برای  $t = 0, \dots, k$  پارامترها هستند. هم‌چنین خواهیم داشت:

$$\begin{cases} X_+ = X & x > 0 \\ 0 & 0. w \end{cases} \quad (7)$$

و  $\{t_0 = 0, t_1, \dots, t_{k-1}\}$  پارامترهای شاخص زمان‌اند که فاصله‌های زمانی را به  $k$  فاصله برابر انجام می‌دهند. خصوصیات  $s_t^2$  ممکن است در میان سایر معادلات GARCH موجود باشد، در صورتی که  $E(s_t) = 1$  باشد.

باتوجه به مدل Spline-GARCH می‌توان مدل Spline-GJR را نیز به صورت معادله ۱۰ تعریف کرد:

$$s_t^2 = 1 - \sum_{j=1}^{\max(p,q)} (\alpha_j + \beta_j + \gamma_j E(s_t^-)) + \sum_{i=1}^q \alpha_i \left[ \left( \frac{\varepsilon_{t-i}}{\tau_{t-i}} \right)^2 + \gamma_i s_{t-i}^- \left( \frac{\varepsilon_{t-i}}{\tau_{t-i}} \right)^2 \right] + \sum_{j=1}^p \beta_j s_{t-j}^2 \quad (8)$$

که  $(s_t^-)$  متغیری ساختگی است و زمانی مقدار دریافت می‌کند که  $\left( \frac{\varepsilon_t}{\tau_t} \right)$  منفی باشد. در غیر این صورت برابر صفر است. برای توزیع نرمال و تی - استیودنت مقدار  $E(s_t^-) = 0/5$

است. توجه داشته باشید که هیچ متغیر توضیحی در معادلات GARCH وجود ندارد، اما می‌تواند در تابع Spline گنجانده شود.

درواقع تابع Spline به شرح زیر است:

$$\tau_t^2 = \omega \exp \left( \delta_0 \frac{t}{T} + \sum_{i=1}^k \delta_i \left[ \frac{(t - t_{i-1})_+}{T} \right]^2 \right) \quad (9)$$

که متغیر روند به‌منظور جلوگیری از مشکلات عددی هنگام بهینه‌سازی بین ۰ و ۱ است. علاوه‌براین، متغیرهای توضیحی می‌توانند تابع نمایشی را خطی‌دار کنند.

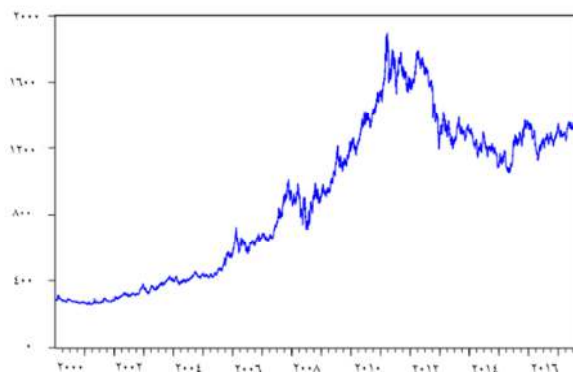
باتوجه‌به این نوع محدودیت در ثابت معادله GARCH، واضح است که  $Var(\varepsilon_t) = \tau_t^2$ ، به‌طوری‌که اجزای  $\tau_t^2$  به‌منزله واریانس غیرشرطی قابل‌تفسیر است. درحالی‌که  $s_t^2$  جزء واریانس شرطی است.

تابع فوق با استفاده از روش‌های محاسبات عددی ماکزیمم می‌شود. در این پژوهش فرایند برآورد مدل‌های تکرزیمی گارچ و مدل گارچ - اسپلاین با استفاده از نرم‌افزار Oxmetrics7 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 ۲۰۰۴/۰۱/۰۱ - ۲۰۱۸/۰۶/۲۶ استفاده شده است. بازه مذکور شامل ۴۶۳۴ مشاهده است. نمودار سری زمان روزانه قیمت طلای جهانی در بازه زمانی ذکرشده به‌صورت نمودار ۱ است.



نمودار ۱. سری زمانی قیمت طلای جهانی

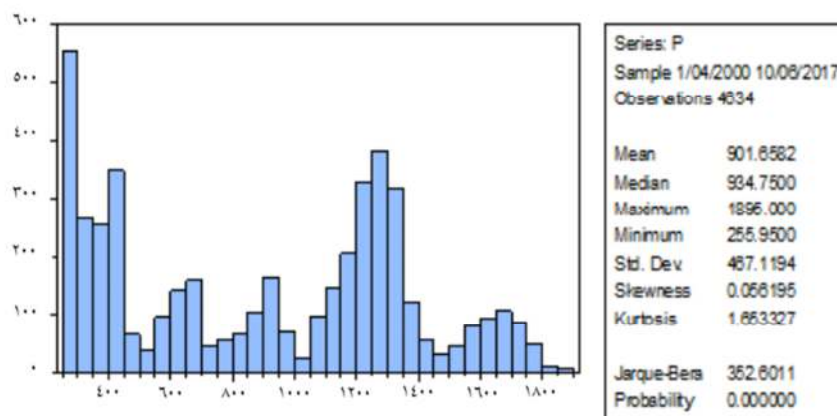
جدول ۲ برخی از آمارهای توصیفی قیمت طلای جهانی را نشان می‌دهد. کم‌ترین میزان قیمت در بازه مورد بررسی ۲۵۵/۹۵۰۰ تومان و بیش‌ترین میزان ثبت‌شده قیمت مربوط به تاریخ ۵ سپتامبر ۲۰۱۱ در همین بازه ۱۸۹۵/۰۰۰ تومان است.

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 ۲ مربوط به داده‌های جدول ۲ است:



نمودار ۲. نمودار توزیع داده‌ها

همان‌طور که در نمودار ۲ مشاهده می‌شود، سری مربوط به داده‌های موردنظر دنباله پهن دارد، به دلیل این که چولگی (skidding) مربوط به داده‌ها غیرصفر است که نشان‌دهنده این است که توزیع موردنظر متقارن نیست و چولگی دارد. از طرفی، مشاهده می‌شود که توزیع داده‌ها از چپ کشیدگی (elongation) دارد. براساس ضرایب چولگی و کشیدگی، آماره 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. براساس نتایج جارک-برا مقدار احتمال آن صفر است (کوچک‌تر از ۰/۰۵) که نشان‌دهنده این است که جملات خطای متغیر 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) براساس فرضیه صفر وجود ریشه واحد (متغیر موردنظر ناماناست) را نشان می‌دهد.

جدول ۳. نتایج مانایی سری

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

منبع: محاسبات پژوهش

باتوجه به نتایج جدول ۳، چون آماره احتمال آزمون بیش‌تر از ۰/۰۵ است و قدر مطلق مقدار محاسبه شده کم‌تر از مقادیر بحرانی است، نتیجه می‌گیریم که فرض صفر ما رد نمی‌شود و سری موردنظر ریشه واحد دارد و ناماناست. ازاین‌رو، رفع مشکل نامانایی را با تفاضل‌گیری انجام می‌دهیم. جدول ۴ نتایج مانایی سری را برای تفاضل مرتبه اول نشان می‌دهد.

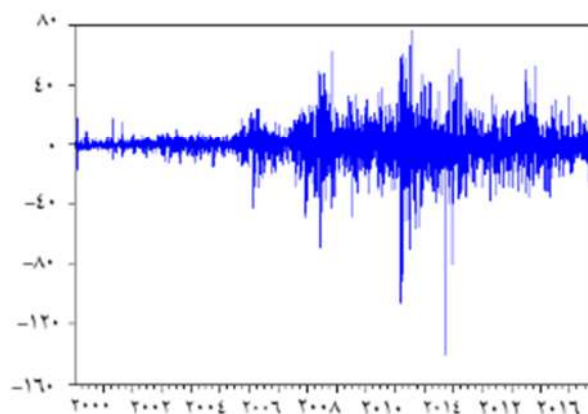
جدول ۴. نتایج مانایی سری تفاضلی شده

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

منبع: محاسبات پژوهش

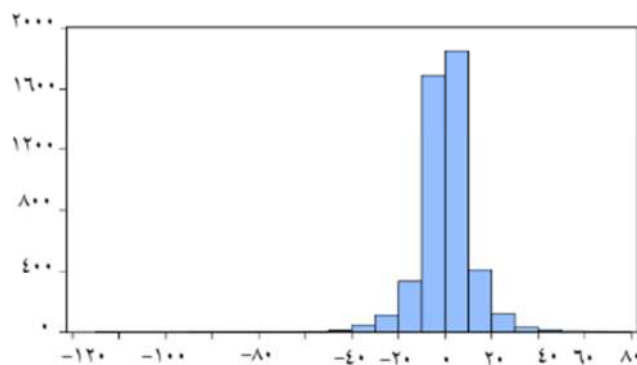
نتایج جدول ۴ نشان می‌دهد که قدر مطلق مقدار آماره این آزمون برای متغیر موردنظر از مقادیر بحرانی بیش‌تر و مقدار احتمال آن کم‌تر از ۰/۰۵ است. بنابراین، فرضیه صفر (وجود ریشه واحد) رد می‌شود و سری از فرایند تصادفی مانا پیروی می‌کند. نمودار ۳ سری تفاضل‌گیری شده را نشان می‌دهد.

پیش‌بینی روند حرکتی قیمت طلای جهانی با مدل‌های متقارن ... ۱۳۷



نمودار ۳. نمودار تفاضلی قیمت طلای جهانی

باتوجه به نمودار ۳ می‌توان نتیجه گرفت که سری تفاضلی شده در مقایسه با روند سری داده‌ها پراکندگی متقارن دارد. نمودار ۴ توزیع داده‌های تفاضلی شده را نشان می‌دهد.



نمودار ۴. توزیع سری تفاضلی داده‌ها

### ۳.۴ آزمون لاگرانژ

استفاده از الگوی واریانس ناهم‌سانی شرطی نیازمند وجود آثار ناهم‌سانی واریانس در پس‌مانده‌های معادله میانگین است که آزمون متداول برای وجود این آثار ضریب لاگرانژ

است. جدول ۵ نتایج آزمون ضریب لاگرانژ ARCH-LM را به منظور بررسی ثابت یا متغیر بودن واریانس جمله خطا (ناهمسانی واریانس) نشان می‌دهد.

جدول ۵. نتایج آزمون لاگرانژ

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

منبع: محاسبات پژوهش

#### ۴.۴ برآورد پیش‌بینی برون‌نمونه‌ای مدل‌های پژوهش

در این بخش ابتدا برآورد مدل‌های مختلف گارچ با تصریح‌های مختلف معادله میانگین شرطی و در نهایت مدل‌های گارچ – اسپلاین در دقت پیش‌بینی برون‌نمونه‌ای برای نوسانات قیمت طلا در دوره‌های ۱، ۵، ۱۰، و ۲۲ گزارش داده می‌شود و از طریق معیار جذر میانگین مربع خطای پیش‌بینی (RMSE) ارزیابی می‌شوند. جداول ۶ و ۷ این نتایج را گزارش می‌دهند.

جدول ۶. نتایج پیش‌بینی مدل‌های حافظه کوتاه‌مدت و بلندمدت گارچ

مدل	1-step RMSE	10-step RMSE	10-step RMSE	22-step RMSE
AR(1) – GARCH(1, 1)	۱/۵۱۱	۶/۸۲۴	۵/۶۴۱	۶/۳۱۸
AR(2) – GARCH(1, 1)	۱/۵۱۵	۶/۸۲۱	۵/۶۳۹	۶/۳۱۷
MA(1) – GARCH(1, 1)	۱/۵۱۱	۶/۸۲۴	۵/۶۴۱	۶/۳۱۸
MA(2) – GARCH(1, 1)	۱/۵۱۶	۶/۸۲۱	۵/۶۳۹	۶/۳۱۷
ARMA(1, 1) – GARCH(1, 1)	۱/۵۱۷	۶/۸۲۷	۵/۶۴۳	۶/۳۱۹
ARMA(1, 2) – GARCH(1, 1)	۱/۵۰۵	۶/۸۳۰	۵/۶۴۴	۶/۳۱۹
ARMA(2, 1) – GARCH(1, 1)	۱/۷۴۶	۶/۸۷۳	۵/۶۶۴	۶/۳۵۷
ARMA(2, 2) – GARCH(1, 1)	۱/۸۴۸	۶/۸۵۵	۵/۶۶۷	۶/۳۵۹
AR(1) – EGARCH(1, 1)	۱/۵۱۸	۶/۸۵۰	۵/۶۵۲	۶/۳۴۸
AR(2) – EGARCH(1, 1)	۱/۴۸۶	۶/۸۸۵	۵/۶۷۳	۶/۳۵۸
MA(1) – EGARCH(1, 1)	۱/۵۱۰	۶/۸۴۸	۵/۶۵۱	۶/۳۴۶
MR(2) – EGARCH(1, 1)	۱/۴۳۴	۶/۸۷۹	۵/۶۷۰	۶/۳۵۱



مدل	1-step RMSE	10-step RMSE	10-step RMSE	22-step RMSE
ARMA(1, 1) – EGARCH(1, 1)	۱/۴۶۲	۶/۸۵۰	۵/۶۵۲	۶/۳۴۸
ARMA(1, 2) – EGARCH(1, 1)	۱/۵۶۴	۶/۸۹۸	۵/۶۸۰	۶/۳۶۴
ARMA(2, 1) – EGARCH(1, 1)	۱/۶۱۸	۶/۸۴۴	۵/۶۶۸	۶/۳۶۰
ARMA(2, 2) – EGARCH(1, 1)	۱/۵۰۹	۶/۸۶۹	۵/۶۶۱	۶/۳۵۲
AR(1) – GJR	۱/۵۸۳	۶/۸۴۱	۵/۶۴۹	۶/۳۳۵
AR(2) – GJR	۱/۵۷۷	۶/۸۴۶	۵/۶۵۲	۶/۳۳۶
MA(1) – GJR	۱/۵۸۳	۶/۸۴۱	۵/۶۴۹	۶/۳۳۵
MA(2) – GJR	۱/۵۷۷	۶/۸۴۵	۵/۶۵۱	۶/۳۳۶
ARMA(1, 1) – GJR	۱/۶۵۶	۶/۸۷۷	۵/۶۶۶	۶/۳۵۹
ARMA(1, 2) – GJR	۱/۵۶۸	۶/۸۵۴	۵/۶۵۷	۶/۳۳۸
ARMA(2, 1) – GJR	۱/۵۷۰	۶/۸۵۴	۵/۶۵۷	۶/۳۳۸
ARMA(2, 2) – GJR	۱/۹۰۲	۶/۸۶۷	۵/۶۷۱	۶/۳۶۲
AR(1) – FIEGARCH(1, 1)	۱/۵۴۰	۶/۸۴۳	۵/۶۴۹	۶/۳۴۰
AR(2) – FIEGARCH(1, 1)	۱/۴۹۰	۶/۸۸۳	۵/۶۷۳	۶/۳۵۰
MA(1) – FIEGARCH(1, 1)	۱/۵۲۴	۶/۸۴۰	۵/۶۴۸	۶/۳۳۶
MA(2) – FIEGARCH(1, 1)	۱/۴۷۰	۶/۸۷۸	۵/۶۷۱	۶/۳۴۵
ARMA(1, 1) – FIEGARCH(1, 1)	۱/۵۶۲	۶/۸۴۵	۵/۶۵۰	۶/۳۴۰
ARMA(1, 2) – FIEGARCH(1, 1)	۱/۴۸۲	۶/۸۸۸	۵/۶۷۷	۶/۳۵۱
ARMA(2, 1) – FIEGARCH(1, 1)	۱/۶۵۰	۶/۸۳۵	۵/۶۶۳	۶/۳۵۰
ARMA(2, 2) – FIEGARCH(1, 1)	۱/۸۸۳	۶/۹۲۴	۵/۷۳۵	۶/۴۵۶
AR(1) – HYGARCH(1, 1)	۱/۶۵۷	۶/۸۵۴	۵/۶۵۵	۶/۳۴۷
AR(2) – HYGARCH(1, 1)	۱/۶۶۳	۶/۸۴۹	۵/۶۵۲	۶/۳۴۶
MA(1) – HYGARCH(1, 1)	۱/۴۸۰	۶/۸۲۴	۵/۶۴۰	۶/۳۱۸
MA(2) – HYGARCH(1, 1)	۱/۶۶۳	۶/۸۴۸	۵/۶۵۱	۶/۳۴۵
ARMA(1, 1) – HYGARCH(1, 1)	۱/۶۵۳	۶/۸۵۵	۵/۶۵۶	۶/۳۴۷
ARMA(1, 2) – HYGARCH(1, 1)	۱/۶۶۱	۶/۸۵۰	۵/۶۵۳	۶/۳۴۶
ARMA(2, 1) – HYGARCH(1, 1)	۱/۷۵۰	۶/۸۳۹	۵/۶۶۰	۶/۳۵۱
ARMA(2, 2) – HYGARCH(1, 1)	۱/۵۷۵	۶/۸۵۹	۵/۶۴۹	۶/۳۴۷

منبع: محاسبات پژوهش

جدول ۷. نتایج پیش‌بینی برون‌نمونه‌ای مدل‌های گارچ - اسپلاین

مدل	1-step RMSE	10-step RMSE	10-step RMSE	22-step RMSE
AR(1) – Spline – GARCH(1, 1)	۱/۵۲۰	۶/۸۲۵	۵/۶۴۱	۶/۳۱۸
AR(2) – Spline – GARCH(1, 1)	۱/۵۲۷	۶/۸۲۰	۵/۶۳۸	۶/۳۱۷
MA(1) – Spline – GARCH(1, 1)	۱/۵۲۰	۶/۸۲۵	۵/۶۴۱	۶/۳۱۸
MA(2) – Spline – GARCH(1, 1)	۱/۵۲۷	۶/۸۱۹	۵/۶۳۸	۶/۳۱۷
ARMA(1, 1) – Spline – GARCH(1, 1)	۱/۶۰۷	۶/۸۶۳	۵/۶۵۹	۶/۳۵۳
ARMA(1, 2) – Spline – GARCH(1, 1)	۱/۷۹۱	۶/۸۷۸	۵/۶۶۷	۶/۳۵۷
ARMA(2, 1) – Spline – GARCH(1, 1)	۱/۷۹۴	۶/۸۷۸	۵/۶۶۸	۶/۳۵۷
ARMA(2, 2) – Spline – GARCH(1, 1)	۱/۴۵۸	۶/۸۹۹	۵/۷۴۶	۶/۳۷۸
AR(1) – Spline – GJR	۱/۵۸۵	۶/۸۴۲	۵/۶۴۹	۶/۳۳۶
AR(2) – Spline – GJR	۱/۵۸۳	۶/۸۴۳	۵/۶۵۰	۶/۳۳۷
MA(1) – Spline – GJR	۱/۵۸۴	۶/۸۴۲	۵/۶۴۹	۶/۳۳۶
MA(2) – Spline – GJR	۱/۵۸۳	۶/۸۴۳	۵/۶۵۰	۶/۳۳۶
ARMA(1, 1) – Spline – GJR	۱/۶۵۸	۶/۸۵۲	۵/۶۸۹	۶/۳۶۳
ARMA(1, 2) – Spline – GJR	۱/۹۰۱	۶/۸۹۹	۵/۶۷۹	۶/۳۶۹
ARMA(2, 1) – Spline – GJR	۱/۹۰۶	۶/۸۹۹	۵/۶۸۰	۶/۳۶۹
ARMA(2, 2) – Spline – GJR	۱/۵۷۰	۶/۸۲۶	۵/۶۳۵	۶/۳۳۱

منبع: محاسبات پژوهش

باتوجه به جداول ۶ و ۷ و براساس معیار خطای پیش‌بینی (RMSE)، سه مدل برتر در افق‌های ۱، ۵، ۱۰، و ۲۲ روزه، که کم‌ترین خطای پیش‌بینی را در مقایسه با مدل‌های رقیب دارند، در جداول ۸ و ۹ گزارش داده شده است.

جدول ۸. مدل‌های برتر پیش‌بینی برون‌نمونه‌ای ۱ و ۵ روزه

مدل	1-step	رتبه	مدل	5-step	رتبه
MA(2) – EGARCH(1, 1)	۱/۴۳۴	۱	MA(2) – Spline – GARCH(1, 1)	۶/۸۱۹	۱
ARMA(1, 2) – Spline – GARCH(1, 1)	۱/۴۵۸	۲	AR(2) – Spline – GARCH(1, 1)	۶/۸۲۰	۲
MA(1) – HYGARCH(1, 1)	۱/۴۸۰	۳	AR(1), MA(2) – GARCH(1, 1)	۶/۸۲۱	۳

منبع: محاسبات پژوهش

جدول ۹. مدل‌های برتر پیش‌بینی برون‌نمونه‌ای ۱۰ و ۲۲ روزه

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

منبع: محاسبات پژوهش

همان‌طور که نتایج جداول ۸ و ۹ نشان می‌دهند، در افق ۱ روزه مدل‌های  $MA(1) - EGARCH(1, 1)$ ،  $MA(2) - GARCH(1, 1)$ ،  $ARMA(1,2) - Spline - GARCH(1,1)$  و مدل  $MA(1) - HYGARCH(1,1)$  بر اساس معیار RMSE به ترتیب عملکرد دقیق‌تری در پیش‌بینی قیمت طلای جهانی دارند.

برای افق ۵ روزه بعد از مدل  $MA(2) - Spline - GARCH$ ، 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 به ترتیب مدل‌های  $ARMA(2,2) - Spline - GJR$ ،  $AR(2), MA(2) - Spline - GARCH$ ،  $AR(2), MA(2) - GARCH(1,1)$  و  $AR(2), MA(2) - Spline - GARCH$ ، از منظر معیار RMSE، بالاترین دقت پیش‌بینی را دارند.

در افق پیش‌بینی ۲۲ روزه، مدل‌های  $AR(2), MA(2) - Spline - GARCH$ ،  $MA(1) - HYGARCH(1,1)$  و  $ARMA(1,1), ARMA(1,2) - GARCH(1,1)$  طبق معیار RMSE، مدل‌های برتر در دقت پیش‌بینی بلندمدت‌اند.

## ۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

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 کرده‌اند و اجرا می‌کنند. بنابراین، طلا 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 اهمیت ویژه‌ای دارد. در این تحقیق سعی شد ابتدا مدل‌های مختلف گارچ با تصریح‌های مختلف

معادله میانگین شرطی و در نهایت مدل گارچ - اسپلاین در دقت پیش‌بینی برون‌نمونه‌ای برای نوسانات قیمت طلا در دوره‌های ۱، ۵، ۱۰، و ۲۲ گزارش داده شود و با معیار جذر میانگین مربع خطای پیش‌بینی (RMSE) ارزیابی شود. نتایج این پیش‌بینی و مقایسه بیان می‌کند که در افق پیش‌بینی ۱ روزه مدل اسپلاین - گارچ بعد از مدل  $MA(2)$  -  $EGARCH(1,1)$  در رتبه دوم، در مقایسه با مدل‌های رقیب، عملکرد دقیق‌تری دارد. بعد از مدل اسپلاین - گارچ، مدل  $MA(1)$  -  $HYGARCH(1,1)$  در رتبه سوم قرار دارد. در پیش‌بینی افق ۵ روزه، در رتبه اول و دوم مدل‌های  $MA(2)$  -  $Spline$  -  $GARCH$  و  $AR(2)$  -  $Spline$  -  $GARCH$  قرار دارند. در افق پیش‌بینی ۱۰ روزه به ترتیب مدل‌های  $ARMA(2,2)$  -  $Spline$  -  $GARCH$ ،  $AR(2)$ ،  $MA(2)$  -  $GARCH(1,1)$  و  $AR(2)$ ، بالاترین دقت پیش‌بینی را دارند. برای افق پیش‌بینی ۲۲ روزه باز هم مدل گارچ - اسپلاین با معادله‌های میانگین  $AR(2)$ ،  $MA(2)$ ، که توان یکسانی در قدرت پیش‌بینی دارند، مدل‌های برتر در افق پیش‌بینی ۲۲ روزه‌اند.

بنابراین، نتیجه‌گیری کلی در این بخش را می‌توان بدین شکل بیان کرد که مدل گارچ - اسپلاین عملکرد بهتری در مقایسه با مدل‌های گارچ متعارف در افق پیش‌بینی کوتاه‌مدت و بلندمدت دارد. در مقایسه با سایر مطالعات، این مطالعه با به‌کارگیری مدل جدید اسپلاین و مقایسه آن با طیف گسترده‌ای از مدل‌های حافظه کوتاه‌مدت و بلندمدت گارچ در پیش‌بینی روند حرکتی قیمت طلای جهانی در مقایسه با مطالعات پیشین نوآوری دارد و نتایج آن نیز از مطالعات پیشین متمایز است.

برگرفته از نتایج پژوهش و باتوجه به اهمیت بازار جهانی طلا در میان سرمایه‌گذاران، پیش‌نهاد می‌شود مدل گارچ - اسپلاین در پیش‌بینی روند حرکتی قیمت طلای جهانی مورد استفاده سرمایه‌گذاران در بازار طلا قرار گیرد. هم‌چنین سیاست‌گذاران بازارهای مالی در کشور به‌منظور پیش‌بینی دقیق‌تر نوسانات قیمت طلای جهانی و تأثیرات آن در بازار طلای کشور می‌توانند از مدل‌های گارچ - اسپلاین استفاده کنند. به‌عبارت دیگر، داشتن پیش‌بینی دقیق از قیمت طلای جهانی و نوسانات آن می‌تواند به سیاست‌گذاران بازارهای مالی به‌منظور دستیابی به ثبات بیشتر در بازارهای مالی داخل کمک کند.

در پژوهش‌های آتی می‌توان از مدل‌های متنوع دیگری نیز استفاده کرد و توان پیش‌بینی این مدل‌ها را در پیش‌بینی قیمت طلا و نوسانات آن نیز مقایسه کرد. از جمله این مدل‌ها می‌توان به مدل‌های مارکوف سویچینگ گارچ، ناپارامتریک گارچ،

پیش‌بینی روند حرکتی قیمت طلای جهانی با مدل‌های متقارن ... ۱۴۳

نیمه‌پارامتریک گارچ، مدل‌های نوسانات تصادفی، و حتی ترکیبی از این مدل‌ها با مدل‌های گارچ - اسپلاین اشاره کرد.

## کتاب‌نامه

- آیت‌اللهی، علیرضا (۱۳۷۷)، *اصول برنامه‌ریزی*، تهران: مرکز آموزش مدیریت دولتی.
- ابطحی، سیدیحیی و حامد نیک‌فطرت (۱۳۹۲)، «شناسایی چرخش رژیم در بازده بازار اوراق بهادار ایران»، *فصل‌نامه مدل‌سازی اقتصادی*، ش ۴.
- امیرحسینی، زهرا و عاطفه داورپناه (۱۳۹۷)، «طراحی الگوریتم جهت پیش‌بینی قیمت طلا، با استفاده از الگوریتم پرواز پرندگان و الگوریتم ژنتیک و ارائه الگوریتم ترکیبی»، *مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار*، ش ۲۶.
- بشارت‌نیا، فاطمه و میلاد طریقت (۱۳۹۵)، «پیش‌بینی قیمت طلا با استفاده از شبکه‌های عصبی»، *دومین کنفرانس ملی علوم و مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات*، بابل.
- جلیلی، سیدمیثم، کریم امامی، و تیمور محمدی (۱۳۹۶)، «بررسی عدم تقارن و تحلیل عوامل مؤثر بر نوسانات قیمت طلا در ایران»، *دهمین کنفرانس بین‌المللی اقتصاد و مدیریت*، رشت.
- سرفراز، لیلا و امیر افسر (۱۳۸۴)، «بررسی عوامل مؤثر بر قیمت طلا و ارائه مدل پیش‌بینی بر مبنای شبکه‌های عصبی فازی»، *فصل‌نامه پژوهش‌های اقتصادی*، ش ۱۶.
- صنوبر، ناصر و علیرضا معطوفی (۱۳۸۶)، *مجموع مقالات و همایش‌های مدیریت مالی بازار سرمایه و گزارش‌گری*، دبیرخانه همایش مدیریت مالی، بازار سرمایه و گزارش‌گری.
- زرآءنژاد، منصور، علی رئوفی، و پویان کیانی (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 سنج.
- مشیری، سعید (۱۳۸۰)، «پیش‌بینی تورم ایران با استفاده از مدل‌های ساختاری، سری‌های زمانی و شبکه‌های عصبی»، *تحقیقات اقتصادی*، ش ۵۸.

Armstrong, J. S. (ed.) (2001), "Selecting Forecasting Methods", *Principles of Forecasting: a Handbook for Researchers and Practitioners*, vol. 30, Springer Science & Business Media.

Bentes, S. R. (2015), "Forecasting Volatility in Gold Returns under The GARCH, IGARCH, and FIGARCH: New Evidence", *ELSVIER, Physica, A*, vol. 438.

Bollerslev, T. (1986), "Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity", *Journal of Economics*, vol. 31.

Dury, M. E. and B. Xiao (2018), "Forecasting the Volatility of the Chinese Gold Market by ARCH Family Models and Extension to Stable Models": < hal.archives-ouvertes.fr >.

- Goudarzi, H. (2010), "Modeling Long Memory in the Indian Stock Market Using Fractionally Integrated GARCH Model", *International Journal of Trade, Economics and Finance*, vol. 1, no. 3.
- Gujarati, D. (2008), *Basic Econometrics*, McGraw-Hill.
- Hamilton, J. and R. Susmel (1994), "Autoregressive Conditional Heteroskedasticity in Regim", *Journal of Econometrics*, vol. 64.
- Johnston, K. and E. Scott (2000), "GARCH Models and The Stochastic Process underlying Exchange Rate Price Change", *Journal of Financial and Strategic Decisions*, vol. 2.
- Marcucci, J. (2005), "Forecasting Stock Market Volatility with Regime-Switching GARCH Models", *Studies in Nonlinear Dynamics and Econometrics*, vol. 9.
- Parisi, A., F. Parisi, and D. Diaz (2008), "Forecasting Gold Price Changes Rolling and Recursive Neural Network Models", *Journal of Multinational Financial Management*, Elsevier, vol. 18, no. 5.
- Rangel, J. G. and R. F. Engle (2012), "The Factor-Spline-GARCH Model for High and Low Frequency Correlations", *Journal of Business & Economic Statistics*, vol. 30, no. 1.
- Sopipan, N. (2017), "Trading Gold Future with ARIMA-GARCH Models", *Thai Journal of Mathematics*, Special Issue, Annual Meeting in Mathematics.
- Shafee, S. and E. Topal (2010), "An Overview of Global Gold Market and Gold Price Forecasting", *Resources Policy*, vol. 35, no. 3.