



طراحی مدلی جهت پیش بینی قیمت قراردادهای آتی سکه طلا با استفاده از معادلات دیفرانسیل تصادفی

راحله باقری^۱

محمدرضا ستایش^۲

رضا رادفر^۳

تاریخ دریافت مقاله : ۹۸/۱۲/۲۰ تاریخ پذیرش مقاله : ۹۹/۰۱/۲۹

چکیده

بازار سرمایه یکی از بازارهای مالی است، که در یک اقتصاد پویا می‌تواند زمینه‌ساز رشد بلند مدت اقتصادی باشد. چنانچه نقدینگی در هر کشوری به سوی بازار سرمایه سوق پیدا کند، موجبات رشد و پیشرفت را فراهم می‌آورد. در این بازارها ابزارهای مالی متفاوتی مورد داد و ستد واقع می‌شوند. از جمله این ابزارهای مالی، قراردادهای آتی است، که ارزش خود را از یک دارایی پایه می‌گیرند. معاملات اولین قرارداد آتی در بورس کالای ایران از آذرماه ۱۳۸۴ بر روی شمش طلای یک اونس، با تصویب مجلس شورای اسلامی آغاز گردید. از دی ماه ۱۳۸۷ قرارداد آتی سکه طلا در بورس کالای ایران مورد معامله قرار گرفت. بدیهی است برای ورود به بازار قراردادهای آتی، شخص سرمایه‌گذار برای پوشش ریسک خود نیاز به پیش‌بینی روند آینده قیمت‌ها دارد. به همین منظور در پژوهش پیش‌روی به انتخاب معادله دیفرانسیل تصادفی مناسب جهت مدلسازی پیش بینی قیمت قراردادهای آتی سکه پرداخته شده است. برای این منظور پس از ارائه توضیحات لازم در مورد ضرورت استفاده از مدل‌های تصادفی و در نتیجه اصول جدید تحت عنوان حسابان تصادفی، به معرفی مهم‌ترین معادلات دیفرانسیل تصادفی کاربردی در علوم مالی شامل حرکت براونی هندسی، براونی هندسی با جمله جهش، هستون و مدل تبیین شده پرداخته شده است. سپس با رویکردی کاربردی و بر اساس توان هر مدل جهت پیش‌بینی قیمت قرارداد-های آتی به وسیله شبیه سازی مونت کارلو، مدل مناسب انتخاب شده است. نتایج معیارهای نیکویی برازش در خصوص قدرت پیش‌بینی حاکی از برتری مدل تبیین شده در این قراردادها می‌باشد.

کلمات کلیدی

معادلات دیفرانسیل تصادفی، پیش‌بینی قیمت قراردادهای آتی سکه طلا، فرایند تصادفی، حرکت براونی

۱- گروه مدیریت صنعتی، واحد علوم تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. baqerirahale@gmail.com

۲- گروه حسابداری، واحد علوم تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران (نویسنده مسئول). setayesh_m_r@yahoo.com

۳- گروه مدیریت صنعتی، واحد علوم تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. r.rafdar@sbiau.ac.ir

بازار سرمایه نقشی مهم و اساسی در رشد و پیشرفت اقتصادی هر کشور دارد، لذا بررسی دقیق این بازار از جنبه‌های مختلف ضروری به نظر می‌رسد. سرمایه‌گذاری در این بازار همواره با ریسک بالایی همراه است، به منظور کاهش ریسک ابزارهای مختلفی پدید آمده است. این نوع ابزارها عبارتند از: قراردادهای اختیار معامله، قراردادهای آتی و قراردادهای معاوضه؛ هر یک از این ابزارها عملکرد متفاوتی داشته و به نوعی ریسک ناشی از سرمایه‌گذاری را تقلیل می‌کنند. از میان این ابزارها قراردادهای و پیمان‌های آتی در دهه‌های اخیر توجه بسیاری را به خود جلب نموده و حجم بسیار بالایی از مبادلات را به خود اختصاص داده است (پویان‌فر و همکاران، ۱۳۹۵) [۱]. مدیران و سرمایه‌گذاران می‌توانند با استفاده از این ابزارها ریسک خود را کمتر و سود بیشتری را کسب نمایند. در این پژوهش قراردادهای آتی مربوط به سکه طلا مورد بررسی قرار می‌گیرد. تا مدلی جهت پیش بینی قیمت این نوع قراردادها با استفاده از معادلات دیفرانسیل تصادفی ارائه شود. به طور کلی یک معادله دیفرانسیل در پی توضیح ارتباط تغییرات دو متغیر می‌باشد. واضح است که متغیرهای مالی ماهیتی تصادفی داشته و نمی‌توان به طور کامل تغییرات آن‌ها را به وسیله دیگر متغیرها توضیح داد، بنابراین حسابان جبری که با متغیرهای معین^۱ و غیرتصادفی سر و کار دارد، علوم مالی کاربرد کمتری دارند. بدین ترتیب با ترکیب حسابان جبری و علوم احتمال و فرآیندهای تصادفی، شاخه جدیدی از ریاضیات با نام حسابان تصادفی^۲ به وجود می‌آید، که کاربردهای فراوانی داشته است. طلا از دیرباز مورد توجه انسان بوده و همواره به عنوان یک کالای با ارزش و با نقدشوندگی بالا مورد داد و ستد قرار می‌گرفته است (حقیقت و همکاران، ۱۳۹۷) [۳]. امروزه سرمایه‌گذاری در بازارهای طلا، بخش مهمی از اقتصاد هر کشور را تشکیل می‌دهد، به همین دلیل برآورد قیمت طلا یکی از مهم‌ترین موضوعات مطالعاتی اقتصاددانان و تحلیلگران مالی است، که رویکردهای متفاوت و دیدگاه‌های گوناگونی را پدید آورده است. به طور طبیعی روش‌هایی قابلیت ماندگاری و کاربرد مناسب را دارند، که کمترین خطا و ریسک سرمایه‌گذاری را در خود داشته باشند. در کشورهای در حال توسعه نظیر ایران به دلیل وجود تورم و همچنین عدم اطمینان به آینده، تقاضا برای طلا به منظور پوشش ریسک ناشی از تورم بالا است. تشکیل بازار قرارداد آتی سکه بهار آزادی در بورس کالا در سال‌های اخیر نیز به ایجاد بازار متشکلی جهت پوشش ریسک و همچنین استفاده از فرصت‌های آربیتراژ در بازار طلا کمک شایانی نموده است. آمار معاملات قرارداد آتی سکه بهار آزادی از ابتدای ورود اولین نمادش به تابلو معاملات بورس کالای ایران رشد چشمگیری داشته است، به گونه‌ای که بازاری سازمان یافته با حجم

طراحی مدلی جهت پیش بینی قیمت قراردادهای آتی سکه طلا.../باقری، ستایش و رادفر

معاملات بالا و نقد شوندگی مناسب در زمینه معاملات مشتقه را در کشور ایجاد کرده است. قیمت قرارداد- های آتی به عنوان مهم ترین عامل در انعقاد قرارداد از قیمت دارایی پایه مشتق می گردد و قیمت دارایی پایه که همان سکه بهار آزادی است، به قیمت جهانی انس طلا، قیمت دلار در بازار آزاد و همچنین انتظارات بازیگران بازار از روندهای سیاسی و اجتماعی آینده بستگی دارد. سرمایه گذاران برای تصمیم گیری نیاز به برآورد رویدادهای آینده با استفاده از اطلاعات گذشته دارند (فرزانگان، ۱۳۹۷) [۷].

پیش بینی مانند هر فرآیند دیگری از چند فعالیت تشکیل شده است، که می توان آن را به سه مرحله آماده سازی، ساخت مدل و پیش بینی تقسیم کرد. آن چه در این بین بسیار خودنمایی می کند، این واقعیت است که بر خلاف کاربرد روز افزون ریاضیات در علوم مالی، در کشور ما تاکنون توجه چندانی به آن نشده و تحقیقات انگشت شماری در این زمینه صورت گرفته است، که این تحقیقات یا بیشتر جنبه نظری داشته و واقعیات بازار سرمایه ایران را در نظر نداشته است و یا تنها با چند مدل ساده به کار خود پایان داده و از ورود به عمق مدل های با پیچیدگی بیشتر سرباز زده است، که در تحقیق حاضر سعی داریم هم با استفاده از معادلات دیفرانسل تصادفی به پیش بینی قیمت قرارداد آتی سکه بهار آزادی و مقایسه نتایج با مدل های موجود بپردازیم و هم نقیضه فوق برطرف گردد.

مبانی نظری و مروری بر پیشینه پژوهش

طلا در کنار نفت، از جمله محصولات استراتژیک در بازارهای بین المللی محسوب می شود. در این میان طلا با توجه به ارزش ذاتی، فساد ناپذیری، برخورداری از مقبولیت عامه، قدرت نقدشوندگی از اهمیت بالایی برخوردار است، تا جایی که طلا پیشرفته ترین پول کالایی در جوامع مختلف بوده و یکی از پشتوانه های اصلی همه ارزهاست. کشورها هنگام رکود اقتصادی با استفاده از سیاست های پولی و مالی انبساطی، علاوه بر تأثیرگذاری بر بخش های حقیقی اقتصاد، بر ارزش پول کشور در مقابل سایر ارزها، قیمت طلا و نفت نیز تأثیر می گذارند. با توجه به اینکه طلا یک کالای بسیار حساس و استراتژیک است، عوامل زیادی بر میزان عرضه و تقاضا و بالطبع قیمت آن تأثیر می گذارد. مهم ترین عوامل اثرگذار، شامل تغییرات ارزش دلار و ذخایر ارزی، تغییرات نرخ بهره بانکی، تورم جهانی، تغییرات قیمت جهانی نفت است (جلال سید الدین و همکاران، ۱۳۹۶) [۲].

قیمت سکه در ایران نه تنها تحت تأثیر قیمت جهانی طلا، دلار و نفت است؛ بلکه عوامل متعدد داخلی، شرایط اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی نیز بر آن مؤثر است. بطور کلی نوسانات قیمت سکه طلا می تواند، ناشی از نوسانات متغیرهای درونی (متغیرهای خرد اقتصادی) و متغیرهای بیرونی (متغیرهای کلان اقتصادی) باشد. متغیرهای کلان به نوبه خود به متغیرهای اقتصادی و سایر متغیرها (مانند

فصلنامه مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار / شماره چهل و پنجم / زمستان ۱۳۹۹

متغیرهای سیاسی، اجتماعی و فرهنگی) تقسیم می‌شوند. متغیرهای خرد اقتصادی ماهیتاً مختص بازار سکه طلا بوده و ناشی از عملکرد عرضه و تقاضای طلا می‌باشد (مانند قیمت سکه طلا و بازده آن) اما متغیرهای کلانی چون تورم، نقدینگی، نرخ ارز، قیمت نفت و ... اثر عمومی بر قیمت سکه طلا دارند. نقدینگی و تورم از جمله عواملی هستند، که نقش قابل توجهی در نوسانات قیمت سکه ایفا می‌کنند. تورم مزمین برخی از سال‌ها در کشور و انتظارات تورمی ناشی از افزایش متوالی حجم پول در گردش نیز موجب افزایش بی‌رویه قیمت طلا در کشور می‌گردد. عوامل دیگری مانند اعیاد و جشن‌ها و تحولات سیاسی نیز بر تقاضای طلا تأثیر می‌گذارند. در طول سه‌دهه گذشته، که اقتصاد ایران فراز و نشیب‌های فراوانی را پشت سر گذاشته، قیمت طلا و سکه نیز نوسانات زیادی داشته است (محمدی و همکاران، ۱۳۹۷) [۱۱].

با پایان یافتن جنگ و پذیرش قطعنامه ۵۹۸ برای نخستین بار پس از انقلاب، بازار سکه نوسان منفی را تجربه کرد. اما پس از آن و زمانی که سیاست‌های پولی و بانکی دستخوش تحولات تازه‌ای شد، افزایش قیمت‌ها در این بازار، رکوردی شگفت بر جای گذاشت. در سال ۱۳۷۵ که با بروز ابهاماتی در فضای سیاسی ایران همراه بود، قیمت سکه با ۶ درصد افت، بیشترین میزان کاهش قیمت را در سال‌های پس از انقلاب تجربه کرد. در سال ۱۳۷۷ زمانی که قیمت نفت به پایین‌ترین حد رسیده بود، قیمت سکه، ۱۶٫۴ درصد و در سال بعد، ۳۰ درصد افزایش داشت. در سال ۱۳۷۹ باز هم روند افزایش قیمت سکه کند شده و در سال ۱۳۸۱، درصد رشد قیمت سکه تقریباً با نرخ تورم برابری می‌کرد. این روند تا سال ۱۳۸۵ ادامه داشت. طی دو سال اخیر نیز بازار سکه با فراز و نشیب‌هایی همراه بوده است (فرهادی و همکاران، ۱۳۹۷) [۹].

در ادامه تا سال ۱۳۹۸ نیز با توجه به وجود نوسانات اقتصادی بسیار که متأثر از روند سیاسی و اقتصادی کشور بوده، باعث شده که جهش‌های بالای قیمتی از رشد طلا در بازار شاهد باشیم و این امر باعث شده است که رویکردهای تصمیم‌گیری و پیش‌بینی قیمت طلا را در این بازار بسیار سخت‌تر کند. در اکثر کشورهای دنیا طلا از طریق بورس داد و ستد و کشف نرخ می‌شود. اما در ایران با وجود آنکه قیمت طلا در بازار داخلی هماهنگی نسبی با بازارهای جهانی دارد، به علت حساسیت‌های موجود، نبض بازار آن به طور کامل در اختیار بانک مرکزی قرار گرفته و این نهاد به عنوان متولی تنظیم بازار سکه هر زمان با افزایش تقاضا و یا افزایش قیمت‌ها در بازار سکه مواجه می‌شود، به منظور کاهش قیمت، به حراج سکه و فروش روزانه از طریق بانک کارگشایی اقدام می‌نماید.

طراحی مدلی جهت پیش بینی قیمت قراردادهای آتی سکه طلا.../باقری، ستایش و رادفر

قراردادهای آتی اخیراً توجه بسیاری را به خود جلب کرده است، قرارداد آتی نوعی قرارداد حقوقی مالی است، بین دو طرف فروشنده و خریدار بر روی یک دارایی پایه که براساس آن فروشنده قرارداد آتی متعهد می‌شود، که در یک زمان خاص در آینده به نام زمان سررسید به میزان مشخص شده در قرارداد، دارایی پایه را به خریدار تحویل دهد. در بازار مالی قراردادهای آتی هم بر روی دارایی‌های فیزیکی مانند سکه و نفت و هم بر روی دارایی‌های مالی مانند سهام بسته می‌شود. غیر قابل پیش‌بینی بودن بازارهای مالی باعث می‌شود، سرمایه‌گذاران استراتژی‌های مختلفی را جهت سود بردن از معاملات خود در پیش گیرند.

نتایج مطالعات (سیف‌الدینی و همکاران، ۱۳۹۶) [۲]. درباره سرمایه‌گذاری در طلا به عنوان پناهگاه امن پوشش ریسک حاکی از آن است که رابطه بین بازده سهام و بازده سکه بهار آزادی تابع رژیم‌های خاصی نیست. آن‌ها با در نظر گرفتن قیمت طلای جهانی و نرخ دلار با ارائه متدولوژی متفاوت به این نتیجه رسیدند، که طلا به عنوان نوعی پوشش ریسک ضعیف در برابر تغییرات بازده بورس اوراق بهادار به شمار می‌رود.

در جدول زیر، نتایج برخی مطالعات تجربی انجام شده در سال‌های مختلف نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، نتایج بخش اعظم مطالعاتی که به تازگی در این حوزه انجام شده است، نشان می‌دهد، معاملات آتی یا تأثیری بر بازار نقدی نداشته یا اینکه باعث کاهش نوسانات در این بازار شده است. مطالعاتی که عکس این را نتیجه گرفته‌اند، بیشتر مربوط به ۲۰ سال قبل یا بیشتر بوده‌اند که در همان دوران نیز تحقیقات زیادی نتایجی خلاف آنها داشته‌اند. البته، باتوجه به اینکه به طور اصولی سابقه پیدایش مشتقات مالی به بعد از دهه ۷۰ میلادی باز می‌گردد، مطالعاتی که در ابتدای شکل‌گیری این معاملات انجام شده است، به طور معمول در شرایط وجود بازارهایی با کارایی نه چندان قوی به دلیل نوظهور بودن صورت گرفته از این رو، تحقیقات متأخر انعکاس بهتری از واقعیت‌های بازار ارایه می‌کنند (مهدی‌زاد و همکاران، ۱۳۹۵) [۱۲].

فصلنامه مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار / شماره چهل و پنجم / زمستان ۱۳۹۹

جدول ۱: نتایج مطالعات تجربی انجام شده در مورد آثار مثبت و منفی قراردادهای آتی بر ثبات بازار

نقد(مهدی زاده و همکاران، ۱۳۹۵) [۱۲]

مطالعات تجربی موید دیدگاه نخست(ایجاد بازار آتی بی ثباتی بازار نقد را افزایش می دهد)				
شماره	نویسنده	سال	کشور مورد بررسی	نتیجه مطالعه
۱	هریس ^۳	۱۹۸۹	آمریکا	راه اندازی بازار آتی شاخص «اس اند پی» نوسانات قیمت نقدی را افزایش داده است.
۲	مک کارتی و ناجاند ^۴	۱۹۹۳	بریتانیا، کانادا، سوئیس، آلمان و ژاپن	معرفی معاملات آتی، نوسانات قیمت ارز را افزایش داده است و همبستگی مثبت بین حجم و تغییرات قدر مطلق قیمت وجود دارد.
۳	آنتونیو و هلمز ^۵	۱۹۹۵	انگلستان	معرفی قراردادهای آتی بی ثباتی بازار سهام لندن را افزایش داده است.
۴	کتراس و همکاران ^۶	۱۹۹۶	انگلستان، آلمان، سوئیس، کانادا	رابطه مثبت بین سطح فعالیت معاملات آتی و تغییرات نرخ ارز وجود دارد.
مطالعات تجربی موید دیدگاه دوم(ایجاد بازار آتی بی ثباتی بازار نقد را کاهش می دهد)				
۵	ادواردز ^۷	۱۹۸۸	آمریکا	بی ثباتی بازار سهام اس اند پی پس از معرفی قرارداد آتی کاهش یافته است.
۶	جوچام و کدریز ^۸	۱۹۸۸	مکزیک، برزیل و مجارستان	معاملات آتی بی ثباتی پزو مکزیک را کاهش و بر ریل برزیل فوریت مجارستان اثر معنادار نداشته است.
۷	آنتونیو و همکاران ^۹	۱۹۹۸	آلمان، ژاپن، اسپانیا، آمریکا، انگلستان و سوئیس	معاملات آتی بر بی ثباتی بازار نقد در کشورهای آلمان و سوئیس اثر منفی داشته و در سایر کشورها اثر معناداری نداشته است.
۸	بولوگنا و کاوالو ^{۱۰}	۲۰۰۲	ایتالیا	ایجاد معاملات آتی بی ثباتی بازار سهام را کاهش داده است.
۹	دریمبتاز و همکاران ^{۱۱}	۲۰۰۷	یونان	راه اندازی معاملات مشتقات بی ثباتی احتمالی بازار دارایی های پایه را کاهش داده است.
۱۰	آنکتاد	۲۰۰۹	هند، چین، برزیل، مالزی و آفریقا	قراردادهای آتی در بلندمدت ثبات آفرین هستند.
۱۱	عاریف ادونقو ^{۱۲}	۲۰۱۱	ترکیه	ایجاد معاملات آتی بی ثباتی بازار نقد ارز را کاهش داده است.
۱۲	ساهو ^{۱۳}	۲۰۱۲	هند	راه اندازی معاملات آتی ارز هیچ اثر معناداری بر نوسانات نرخ نقدی ارز نداشته است.
۱۳	سریرام و سنتیل ^{۱۴}	۲۰۱۵	هند	شوک های قیمتی در بازار نقدی موجب نوسانات و شوک در بازار آتی می شود، اما شواهدی دال بر معکوس بودن این رابطه وجود ندارد.

فلزات قیمتی همچون طلا، نقره و پلاتین از مهم ترین متغیرهای موثر در سیستم مالی بوده و پیش بینی قیمت آنها برای تصمیم گیران از اهمیت بالایی برخوردار است. به خصوص از گذشته طلا در

طراحی مدلی جهت پیش بینی قیمت قراردادهای آتی سکه طلا.../باقری، ستایش و رادفر

بازار مورد توجه بوده و همین توجه باعث شده محققان، سرمایه‌گذاران و فعالان بازار سرمایه همواره به دنبال ابداع و استفاده از متدهای جدید پیش‌بینی، جهت‌دستیابی به نتایج بهتر باشند.

پیشینه پژوهش

(وینگ اف و همکاران^{۱۵}، ۲۰۲۰) [۲۱] در پژوهشی با عنوان تحقیقات پیش‌بینی قیمت طلا براساس تشدید الگوریتم رویکردهای بهبود یادگیری آنلاین انجام شده است، بیان نمودند که در این بین با استفاده از الگوریتم‌های ژنتیکی برای تنظیم رویکردهای یادگیری تشدید آنلاین (GA-ROSELM) برای پیش‌بینی داده‌های قیمت طلا که براساس اطلاعات وبسایت‌های ارائه دهنده قیمت آنلاین طلا جمع‌آوری شده است، صورت گرفته است. در این بین شش ترکیب ورودی از متغیرها شامل (قیمت نقره روز قبل (Silver_D1)، شاخص اس ان پی (Standard & Poor)، قیمت نفت خام (Crude_D1)، قیمت طلایی سه روز گذشته (Gold_D1، Gold_D2، Gold_D3) می‌باشند. مدل پیشنهادی براساس الگویی (GA-ROSELM) مشکلات مدل ELM-OS^{۱۶}، که اقدام به تولید ماتریس‌های انفرادی از برآورد متغیرهای موثر داشته است، را حل می‌نماید. در نهایت نتایج بررسی نشان می‌دهد که مدل (GA-ROSELM) عملکردش در روند محاسبه قیمت طلا به ترتیب از روش ELM^{۱۷} ۱۳٫۱٪، از روش BP ۲۲٫۴٪، از روش SVM^{۱۸} ۵۳٫۸۴٪، از روش ARIMA ۵۷٫۸۴٪ و از روش OS-ELM^{۱۹} نیز ۳۷٫۲۷٪ در مجموعه ریشه‌های مربع خطا آنان بهتر عمل نموده است.

(یاماکا دلیو و همکاران^{۲۰}، ۲۰۲۰) [۲۳] در پژوهشی با عنوان تجزیه و تحلیل علت و وابستگی بین شوک‌های قیمتی طلا با بازارهای سهام در کشورهای در حال ظهور در آسیا بیان نمود که، وابستگی بین شوک‌های قیمتی طلا با بازارهای نوظهور در آسیا انجام شده است. در این بین شوک‌های مثبت و منفی طلا درباره زمانی مشخص مورد مطالعه قرار گرفته شده است، نتایج نشان می‌دهد که بین شوک‌های طلا و نوسانات بازارهای سهام آسیا در برخی از بخش‌های دوره نمونه‌گیری علت معنی‌دار وجود دارد. همچنین در مقایسه بادوره‌های قبل و بعد از بحران، همبستگی قوی‌تری را در طول بحران مالی جهانی قابل مشاهده است. در نهایت با توجه به بازار سهام هند و کره جنوبی در روند تاثیرپذیری از شوک‌های منفی طلا رابطه بین این شوک‌های منفی و نوسانات قیمتی سهام مشهود بوده است.

(گاربودین پی ام^{۲۱}، ۲۰۲۰) [۱۵] در پژوهشی که با عنوان منابع و انواع داده‌های بزرگ برای پیش‌بینی اقتصاد کلان انجام شده است، بیان نمودند که استفاده از دیتاهای بزرگ می‌تواند نقش موثر در پیش‌بینی شاخص‌های اقتصادی و محاسبه فاکتورهای قیمتی ایفا نمایند، بطوری که براساس دیتاهای

بزرگ می‌توان به فرصت‌ها و چالش‌های حاشیه‌ای ایجاد شده، در خصوص بازارهای مختلف به تجزیه و تحلیل و ارزیابی آنان نمود.

(سالیسیو ای ای و همکاران^{۲۲}، ۲۰۲۰) [۱۹] در پژوهشی با عنوان روند گوگل در پیش‌بینی قیمت فلزات گران‌بها انجام شده است بیان گردید که در روند محاسبات قیمت فلزات گران‌بها مانند (طلا، پالادیوم، پلاتین و نقره) اقدام به استفاده از ترندها و روند جستجوهای انجام شده در گوگل با توجه به اخبارهای مثبت و منفی موثر در روند پیش‌بینی قیمت فلزات گران‌بها پرداخته شده است، که در این خصوص شواهد حاکی از آن است که اخبار منفی که منجر به بی‌ثباتی بازار و کاهش پایداری پویای عوامل اقتصادی گردیده باعث تاثیر بر روند نوسانات قیمتی فلزات گران‌بها داشته است. در این بین شواهد حاکی از آن است، بیشترین تاثیر را به ترتیب بر قیمت طلا، نقره پلاتین و پالادیوم داشته است.

(لین ال و همکاران^{۲۰}، ۲۰۲۰) [۱۷] در پژوهشی با عنوان پیش‌بینی قیمت نفت خام بر اساس ترکیبی حافظه بلند مدت با الگوی GARCH-M و مدل آنالیز موجک انجام شده است بیان گردید که، برای آنالیز قیمت نفت براساس حافظه قیمتی آن که دارای یک رویکرد عدم تقارن و غیرخطی و غیرپایدار هستند با استفاده از الگوی ترکیبی از مدل‌های پیچیده حافظه طولانی GARCH-M با آنالیز موجک میتوان اقدام به محاسبه درست آن نمود. در این بین شواهد نشان میدهد که مدل‌های پیش‌بینی ترکیبی پیشنهادی WPD-EMD-ARMA-FIGARCH-M در دوره‌هایی که اثر قابل توجهی دارند، عملکرد بهینه‌تری را به خود اختصاص داده است.

(خیائوسی و همکاران^{۲۰}، ۲۰۲۰) [۲۲] در پژوهشی با عنوان پیش‌بینی قیمت سهام براساس مدل ترکیبی ARI-MA-LS-SVM انجام شده است بیان گردید که، در روند پیش‌بینی سهام در یک روند سری‌های زمانی غیرثابت و غیرخطی بسیار پیچیده است؛ به همین منظور لازم است از مدل‌های ترکیبی برای کاهش خطاهای موجود استفاده گردد، در این بین ۲۴۴ داده در طول یک بازه زمانی مشخص استخراج شده است که از این تعداد ۱۴۴ نمونه به عنوان نمونه آزمایش و ۱۰۰ نمونه به عنوان آزمون مورد استفاده قرار گرفته است. در هر مجموعه از نمونه‌های ۲۰ تایی آزمایش گرفته شده میتوان نتیجه گرفت که ARI-MA-LS-SVM دارای عملکرد پیش‌بینی عالی، دقت پیش‌بینی بالا و خطای کوچک با برد کوچک و متوسط با داده‌های GEM محاسبه می‌شود. در این خصوص ARI-MA-LS-SVM از الگوهای پیش‌بینی نسبت به مدل LS-SVM و RS-SVM از عملکرد بهتری برخوردار است.

(کورتازار جی و همکاران^{۲۰}، ۲۰۱۹) [۱۳] در پژوهشی با عنوان پیش‌بینی قیمت کالا، قیمت‌های آتی و مدل‌های قیمت‌گذاری انجام شده است، بیان گردید که اگرچه مدل‌های قیمت‌گذاری کالا در ساختاری

طراحی مدلی جهت پیش بینی قیمت قراردادهای آتی سکه طلا.../باقری، ستایش و رادفر

متناسب از ساختار قیمت‌های قراردادهای آتی و پویا موثر هستند، اما توزیع واقعی قیمت‌های نقطه‌ای آنان را میسر نمی‌نمایند. در این بین لازم است علاوه بر استفاده از مدل‌های پیش‌بینی قیمت‌های آتی اقدام به لحاظ نمودن نظریات کارشناسان از آینده بازار نیز گردید، که این امر می‌تواند تبعات سیاسی، اقتصادی و اجتماعی که در برگیرنده طیف وسیع از تغییرات و نوسانات در آینده بازار باشد را تحت شعاع قرار دهند. استفاده صرف از مدل‌های پیش‌بینی می‌تواند یک نمودار منحنی از برآوردهای قیمتی را تشکیل داده که تفاوت چندانی بین رویکردهای کوتاه مدت و میان‌مدت بین آنها نمی‌باشد، می‌تواند موثر واقع گردند ولی در بلندمدت با توجه به ورود متغیرهای مداخله‌گر و موثر دچار تغییرات و نوسانات زیادی خواهند شد که این امر باعث کاهش دقت محاسبات قیمتی آنان می‌گردد. اما با گنجاندن پیش‌بینی تحلیلگران در روند معاملات آتی می‌تواند تاثیرات تغییرات آینده را در روند محاسبات قیمتی تعدیل نمود. (لیو دلبیو و همکاران، ۲۰۱۹، [۱۸] در پژوهشی با عنوان روش جدید برای پیش‌بینی روند قیمت‌های آتی براساس داده‌های BPNN و ساخت انجام شده است بیان گردید، که پیش‌بینی صحیح قیمت قراردادهای آتی یک کالا چالش بسیار بزرگی است که باعث شده است که طیف وسیعی از الگوریتم‌ها، روش‌ها و مدل‌های برای محاسبه آن ایجاد گردد. در این بی الگوریتم پیش‌بینی روند قیمت قراردادهای آتی کالاها براساس نوع ساخت داده‌های ساختاری و شبکه‌های عصبی می‌تواند نوسانات تصادفی آینده را که در روند قیمت‌گذاری‌ها موثر واقع می‌گردند را فیلتر نمایند. در این بین نتایج تجزیه و تحلیل اطلاعات نشان می‌دهد، که این سری الگوریتم‌ها می‌توانند ۸۰٪ دقت در روند پیش‌بینی روند قیمت‌های آتی را بدست آورند.

(ویئی وای و همکاران، ۲۰۱۹، [۲۰] در پژوهشی با عنوان آیا قیمت طلا و نقره در راستای عدم ثبات در روند پیش‌بینی نوسانات قرارداد آتی طلا در چین می‌تواند ایفای نقش نماید؟ شواهد مبتنی بر مدل‌های رگرسیون HAR و Ridge انجام شده است، در خصوص بررسی تاثیر شاخص‌های نوسانات قیمت طلا و نقره ضمنی که GVZ و VXSLV نامیده میشود بر روند پیش‌بینی نوسانات تحقق یافته RV قیمت قرارداد آتی طلا در چین تاثیر دارد یا خیر؟ در این بین از نمونه نتایج تجربی مبتنی بر مدل‌های مختلف خودگرایی ناهمگن (HAR) مختلف و روش رگرسیون ریج، عملکرد پیش‌بینی بهتری را در مدل‌های حاوی شاخص‌های CBOE GAV و VXSLV نسبت به سایر روش‌ها نشان داده است. علاوه بر این روش انقباضی و رگرسیون ریج در روند پیش‌بینی نوسانات قراردادهای آتی طلای چین عملکرد بهینه‌تری را در روند پیش‌بینی نوسانات از سایر مدل‌های نوع HAR به همراه داشته است.

(کوئیل سی و همکاران، ۲۰۱۹) [۱۴] در پژوهشی با عنوان مدلسازی قراردادهای آتی طلا: آیا سطح حدس و گمان باید در روند انتخاب متغیرهای ما موثر باشند؟ انجام شده است بیان گردید که توانایی عوامل کلان اقتصادی در روند محاسبه قیمت قراردادهای آتی طلا باتوجه به عوامل نهفته موثر کاهش می‌یابد، که سطح بالایی از حدس و گمان منجر به تزریق پویایی‌های اضافی را به همراه دارد. در این بین گمانه‌زنی‌ها و تصورات آتی از بازار می‌تواند اصول و قواعد مدلسازی قراردادهای آتی طلا را از مسیر خود دور نماید. در این بین نشان میدهد که افزایش حدس و گمان‌ها با کاهش نوسانات قیمت ارتباط دارند.

(خان اس و همکاران، ۲۰۱۹) [۱۶] با عنوان پیش‌بینی سری زمانی قیمت طلا انجام شده است، بیان گردید که در روند داده کاوی یک فرآیندی محاسباتی براساس یک مجموعه داده‌های عظیم از روند اطلاعات استخراج شده میتواند اقدام به پیش‌بینی قویتر و موثرتر از الگوهایی موثر در فرآیندهای استخراج داده‌ها نمود. که در این پژوهش با توجه به سری‌های زمانی و با استفاده از الگوی (Rapid Miner) بوده و با کشف دانش و داده‌کاوی اقدام به محاسبه روند نرخ طلا شده است، که در این خصوص باتوجه به اطلاعات مالی سال ۲۰۱۸ میزان محاسبات صورت گرفته با قیمت واقعی حداقل اختلاف را داشته است.

بررسی و مطالعه مدل‌های پیش‌بینی

در تاریخ علم قرن بیستم نام‌های بزرگی با پژوهش‌های مربوط به حرکت براونی گره خورده است؛ نام‌هایی چون وینر، کولموگروف، لوی، ایتو، ... درک موانع موجود بر سر راه تعریف درست حرکت براونی در ابتدای قرن بیستم چندان دشوار نیست. نکته این است که علم احتمال، با وجود همه نتایج و موفقیت‌هایی که به دست آورده بود، تا پایان قرن نوزدهم همچنان در مرحله نوپایی موسوم به دوره کلاسیک به سر می‌برد. دوره ای که وجه مشخصه آن تعبیر احتمال به عنوان نسبت تعداد حالت‌های مطلوب به تعداد کل حالت‌ها است، طبیعی‌ست که این تعبیر حیطة مسائل قابل بررسی در دانش احتمال را بسیار محدود و مثلاً همه مثال‌های نامتناهی را از آن خارج می‌کرد. در آغاز قرن بیستم، همزمان با بازنگری اساسی در بنیادهای آنالیز ریاضی و به ویژه مفاهیم طول و مساحت توسط ریاضیدانان بزرگی چون بورل و لبگ، این ایده شکل گرفت که از دیدگاه مجرد ریاضی، احتمال هم نوعی از اندازه‌گیری است و می‌تواند در قالب نظریه ریاضی تازه به وجود آمده (نظریه اندازه) صورت بندی شود (طالب زاده بایی و همکاران، ۱۳۹۶) [۶].

ادامه این مسیر توسط وینر، کولموگروف و بعدها ایتو، دوب و ... سرآغاز دوره جدیدی در توسعه احتمال به عنوان شاخه ای در خور توجه از ریاضیات شد. حرکت براونی، به اختصار، فرآیندی تصادفی با مسیرهای پیوسته است که نمونه‌های مانا و مستقل با توزیع گاوسی دارد. به بیان دقیق تر، فرآیند تصادفی $\{B_t\}_{0 \leq t \leq \infty}$ را حرکت براونی استاندارد نامیده می‌شود، اگر به عنوان تابعی از t پیوسته

طراحی مدلی جهت پیش بینی قیمت قراردادهای آتی سکه طلا.../باقری، ستایش و رادفر

باشد، $B_0 = 0$ و برای هر $s < t$ ، $B_t - B_s$ متغیر تصادفی گاوسی با میانگین صفر و واریانس $t - s$ و مستقل از $\{B_u\}_{u \leq s}$ باشد.

نخستین بار وینر وجود حرکت برآونی را ثابت کرد. در واقع او اندازه احتمالی بر فضای توابع پیوسته، $C[0, \infty)$ ، ساخت به نحوی که تابع پیوسته تصادفی که با این اندازه احتمال انتخاب شود ویژگی‌های مورد نظر برای حرکت براونی را برآورده کند. وینر به علاوه نشان داد که حرکت براونی با ویژگی‌های فوق منحصر به فرد است به این معنی که همه توزیع‌های احتمال وابسته به آن به طور یکتا تعیین می‌شود. او هم چنین متوجه این حقیقت شگفت‌انگیز شد که هر مسیر نمونه‌ای از حرکت برآونی به احتمال یک در همه جا مشتق ناپذیر است. آن‌گاه ثابت می‌شود که هر مسیر از حرکت برآونی به احتمال یک در هر بازه زمانی تغییرات مرتبه دومی برابر با طول آن بازه دارد. نتیجه این که تغییرات مرتبه اول آن بی‌نهایت است. این در حالی است که تغییرات مرتبه اول توابع آن رفتاری است که ما به طور معمول با آنها سر و کار داریم، مثلاً همه توابع مشتق پذیر، کران‌دار است. بنابراین حرکت برآونی نمی‌تواند مشتق پذیر باشد. یکی دیگر از روش‌های ساختن حرکت براونی، که نخستین بار توسط بشیلر به کار گرفته شد، حدگیری از قدم زدن تصادفی با کوچک کردن طول گام‌ها و هم زمان افزایش تعداد آنها در واحد زمان است. اگر این کار با مقیاس‌بندی مناسب انجام شود، آن‌گاه در حد یک فرآیند نابدیهی با مسیر پیوسته به وجود می‌آید که ویژگی‌های احتمالاتی قدم زدن تصادفی یعنی داشتن موهای مستقل و مانا را به ارث خواهد برد. گاوسی شدن نمونه‌های فرآیند حدی نیز نتیجه‌ای از قضیه حد مرکزی است (طالب زاده بایی و همکاران، ۱۳۹۶) [۶].

حرکت براونی نمونه شاخصی از فرآیندهای تصادفی است که احتمال دانان آنها را فرآیندهای مارکوف نامیده‌اند. فرآیند مارکوف فرآیندی است که با دانستن مقدار آن در هر لحظه، مقادیر گذشته فرآیند تأثیری بر مقادیر آینده آن ندارند. به بیان دیگر، دانستن مقدار فرآیند تنها در لحظه‌ی حال، همان قدر درباره اتفاقات آینده حاوی اطلاعات است که دانستن کل مسیر فرآیند از گذشته تا حال، فرآیندهای مارکوف تعمیم طبیعی سیستم‌های دینامیکی به حالت تصادفی هستند. همان‌طور که آینده یک سیستم دینامیکی به طور کامل با دانستن وضعیت کنونی آن قابل تعیین است، در یک سیستم تصادفی مارکوف نیز همه دانش احتمالاتی ممکن درباره آینده سیستم از وضعیت حال حاضر آن قابل استخراج است. یکی از دلایل اصلی توسعه آنالیز تصادفی در نیمه اول قرن بیستم تلاش جهت ارایه توصیفی کار آمد از فرآیندهای مارکوف پیوسته بوده است. همان‌طور که مشخص است، رده بزرگی از سیستم‌های دینامیکی،

یا همان فرآیندهای مارکوف غیر تصادفی، به کمک معادلات دیفرانسیل قابل توصیف هستند. معادله‌ای که در فضای اقلیدسی، به اختصار به صورت زیر قابل بیان است (رستمی و همکاران، ۱۳۹۶) [۵].

$$dX_t = b(X_t)dt \quad (1)$$

حرکت براونی در انتهای دیگر طیف فرآیندهای مارکوف جای دارد؛ فرآیندی تصادفی که تغییرات آن برخلاف سیستم دینامیکی، مطلقاً فاقد الگوی از پیش تعیین شده است. در حقیقت این تغییرات مستقل از گذشته است؛ ایده تلفیق این دو مثال و به دست آوردن رده‌ای از فرآیندهای مارکوف که تغییرات دیفرانسیلی آنها در یک جزء کوچک زمان ترکیبی از یک بخش دینامیک و یک بخش براونی باشد، به وسیله احتمال دانان بزرگی چون لوی و ایتو دنبال شد. فرآیندهایی که به شکل صوری با معادله دیفرانسیل تصادفی به شکل زیر توصیف شوند.

$$dX_t = b(X_t)dt + \sigma(X_t)dB_t \quad (2)$$

در این معادله ضریب میو مقداری ثابت و همچنین سیگما نیز عددی ثابت می‌باشد. مشکل اینجاست که همان طور که گفته شد حرکت براونی به شدت ناهموار مشتق ناپذیر است و بنابراین معنا بخشیدن به معادله دیفرانسیل فوق چندان ساده نیست. یک راه متداول برای غلبه بر مشکلات ناهمواری از این دست، نوشتن معادله به شکل انتگرالی است.

$$X_t = X_0 + \int_0^t b(X_s) ds + \int_0^t \sigma(X_s) dB_s \quad (3)$$

اما تعبیر این صورت انتگرالی هم با مشکل جدی مواجه است. مشکل ناشی از این است که حرکت براونی تغییرات بی‌کران دارد و بنابراین تضمینی برای همگرایی انتگرال دوم وجود ندارد، دست آورد بزرگ ایتو، غلبه بر این مانع و یافتن راهی برای معنادار کردن به انتگرال‌های تصادفی به شکل $\int Y_s dB_s$ برای خانواده‌ای غنی از فرآیندهای تصادفی بود. صرف نظر از جزئیات فنی، ایده اصلی این است که اگرچه حرکت براونی تغییرات بی‌کران دارد و بنابراین انتگرال فوق برای همه مسیرهای پیوسته Y وجود ندارد، اما برای واگرایی مجموعه‌ای ریمن به شکل $\sum Y_{t_{j-1}} (B_{t_j} - B_{t_{j-1}})$ باید Y_{t_j} ها به نحوی با تغییرات حرکت براونی، $(B_{t_j} - B_{t_{j-1}})$ ها، هماهنگ شوند و اگر فرآیند Y سازگار باشد یعنی Y_t بر حسب حرکت براونی تا قبل از لحظه t تعیین شود، $(B_{t_j} - B_{t_{j-1}})$ از $Y_{t_{j-1}}$ مستقل می‌شود و می‌توان نشان داد که در این صورت احتمال هماهنگی‌های ناخوشایندی که به واگرایی مجموعه‌ای ریمن بیانجامد صفر است و بنابراین انتگرال با احتمال یک موجود خواهد بود، به لحاظ فنی، مسیر ایتو برای تعریف

طراحی مدلی جهت پیش بینی قیمت قراردادهای آتی سکه طلا.../باقری، ستایش و رادفر

انتگرال تصادفی از مشاهده ای اساسی به نام ایزومتري ایتو می‌گذرد که در بخش بعد به آن خواهیم پرداخت (دهدار و همکاران، ۱۳۹۷) [۴].

یکی دیگر از نتایج بسیار مهم که ایتو موفق به اثبات آن شد، رابطه ای موسوم به فرمول ایتو است که اساس حسابان تصادفی یا حسابان ایتو را تشکیل می‌دهد. از حسابان متداول که اگر X_t و f تابعی مشتق پذیر باشند، در این صورت رابطه زیر صورت می‌گیرد.

$$df(X_t) = f'(X_t)dX_t \quad (4)$$

فرمول ایتو تعمیمی از این حقیقت برای رده‌ای از فرآیندهای تصادفی شامل جواب‌های معادلات دیفرانسیل تصادفی از نوع (۱) است. بنابر این رابطه در حالت ساده اگر X_t جواب معادله (۱) و تابع f به اندازه کافی هموار (دو بار مشتق پذیر با مشتق دوم پیوسته باشد)، $f(X_t)$ با معادله‌ای به شکل زیر قابل بیان است:

$$df(X_t) = f'(X_t)dX_t + \frac{1}{2}f''(X_t)\sigma(X_t)^2dt \quad (5)$$

جمله اضافی شامل مشتق دوم، نقطه تمایز حسابان تصادفی و غیر تصادفی و ناشی از تغییرات بسیار شدید حرکت براونی و فرآیندهای مشابه آن است (فلاخ و همکاران، ۱۳۹۶) [۹].

معادلات دیفرانسیل تصادفی بر مبنای یک رابطه تبعی شامل توابع نامعلوم و مشتقات آن شکل گرفته اند. ساده ترین راه برای ایجاد این معادلات تصادفی کردن شرایط اولیه است. حل معادلات دیفرانسیل تصادفی بر مبنای مسیره‌های نمونه حرکت براونی است. حرکت براونی هندسی (GBM) معروف ترین و مهم ترین و پرکاربردترین معادله دیفرانسیل تصادفی است فرض مدل بلک شولز در تبعیت فرایند قیمت دارایی پایه از این فرایند موجب شهرت فراوان آن شده است. شکل باز نویسی شده آن به صورت زیر است:

$$\frac{dS_t}{S_t} = \mu dt + \sigma dW_t \quad (6)$$

که در آن dS_t تغییرات آتی قیمت، t بیانگر زمان، dW_t نشان دهنده نمو‌های حرکت براونی استاندارد و پارامترهای μ و σ به ترتیب جمله تلاطم و رانش نام دارند. پارامتر رانش بر روند کلی حرکت متغیر تصادفی و تلاطم بر میزان تغییرات متغیر تحت بررسی اثرگذار است. شهرت اصلی حرکت براونی هندسی به دلیل تحقیقات بلک شولز در خصوص تبعیت قیمت دارایی پایه از این مدل است.

از سوی دیگر انتقادات وارد شده به حرکت براونی هندسی عدم توزیع نرمال، وجود گسستگی و ثابت نبودن نوسانات در فرایند قیمت دارایی هاست. از آنجاییکه حرکت براونی یک فرایند پیوسته است نمی تواند متغیرهای تصادفی و گسستگی ها را در نظر بگیرد. وجود جهش و گسستگی در فرایند قیمت انگیزه ای برای گسترش فرایند براونی هندسی گردید. مدل انتشار با جمله جهش مرتون (GBM with Jump) با اضافه نمودن یک جهش تا حد زیادی به تفسیر پدیده کشیدگی بیش از نرمال کمک می کند و مشکل عدم در نظر گرفتن گسستگی در حرکت براونی هندسی را حل می کند. در این مدل تعداد جهش ها از فرایند پواسون و اندازه جهش ها از توزیع نرمال برخوردار هستند.

مدل حرکت براونی هندسی با جمله جهش بدین شکل است:

$$dS_t = \mu S_t dt + \sigma S_t dW_t + S_t dJ_t \quad (7)$$

در مدل وی تعداد جهش ها از فرایند پواسون و اندازه جهش ها از توزیع نرمال برخوردار هستند.

یکی از انتقادات وارده به مدل انتشار-جهش مرتون ثابت در نظر گرفتن نوسانات (σ) است. هستون^{۲۴} در مدل خود تلاطم رایج فرایند تصادفی در نظر گرفت (Heston, 1993) و اظهار داشت دارایی تحت بررسی بر اساس روابط زیر رفتار می کند.

$$\begin{aligned} dS_t &= \mu S_t dt + \sqrt{v_t} S_t dW_{1,t} \\ dv_t &= \kappa(\theta - v_t) dt + \sigma \sqrt{v_t} dW_{2,t} \end{aligned} \quad (8)$$

μ عبارت رانش، v_t نوسانات تصادفی، dW فرایند وینر استاندارد، k سرعت بازگشت به میانگین فرایند واریانس، θ سطح بازگشت به میانگین واریانس و σ تلاطم واریانس است (رستمی و همکاران، ۱۳۹۶) [۵].

روش شناسی تحقیق

در این تحقیق برای انتخاب مدل مناسب جهت پیش بینی قیمت قراردادهای آتی سکه طلا از رویکردی کاربردی استفاده شده است. برای این منظور دروه زمانی ۱۳۹۰/۰۱/۰۱ الی ۱۳۹۷/۰۶/۱۱ مد نظر قرار گرفت. قیمت تسویه قراردادهای آتی سکه طلا از سایت بورس کالای ایران استخراج گردید. سپس تخمین پارامترهای همه مدل ها به روش حداکثر درست نمایی صورت گرفت و بر اساس هر گروه پارامترهای تخمینی هر مدل، شبیه سازی قراردادهای آتی انجام شد و میانگین نتایج نهایی هر مسیر به عنوان مقدار پیش بینی حاصل از هر مدل محاسبه گردید.

طراحی مدلی جهت پیش بینی قیمت قراردادهای آتی سکه طلا.../باقری، ستایش و رادفر

جامعه آماری مورد بررسی در این پژوهش، شامل قیمت تسویه قراردادهای آتی سکه بهار آزادی از ابتدای سال ۱۳۹۰ تا پایان این قراردادها در سال ۱۳۹۷ می‌باشد. بنابراین داده‌های مورد نظر از سایت بورس کالای ایران استخراج و در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفته است برای انتخاب دوره تحقیق نمونه ابتدا قراردادهای آتی را با توجه به نزدیک شدن به سررسید دسته بندی و سپس دسته ای را انتخاب نمودیم که دارای بیشترین روزهای معامله باشند. در این تحقیق دریافتیم قراردادهایی که نزدیکتر به سررسید و ظرف زمانی باقیمانده یک ماهه هستند بیشترین تعداد روزهای معامله را دارند. بنابراین این قراردادها به عنوان نمونه مورد بررسی قرار گرفت. دلیل این انتخاب اینست که پیش بینی بر اساس مدل‌های معادلات دیفرانسیل تصادفی هرچه با تعداد داده‌های بیشتری باشد از دقت بالاتری برخوردار خواهند بود. بنابر الزامات مقرراتی تعریف شده توسط شرکت بورس کالای ایران این قراردادها به تفاوت سررسید های ۲ ماهه در قالب ۶ قرارداد در طی هر سال تعریف گردیده است. ضمن آنکه در سال ۹۷ به دلیل متوقف شدن معاملات قراردادهای آتی سکه طلا توسط بورس کالای ایران تعداد ۵ قرارداد وجود داشته که تماماً مورد بررسی قرار گرفته است. شایان ذکر است در سال های ۹۱ و ۹۲ سررسیدهای ماهانه نیز توسط سازمان بورس اوراق بهادار ایجاد شده بود که به دلیل عدم استقبال از این نوع قراردادها سررسیدهای ماهانه مجدد به دوماهه تغییر یافت. در این پژوهش قالب قرارداد سال‌های مذکور نیز با سررسیدهای ۲ ماهه در نظر گرفته شده است. در این تحقیق برای انتخاب مدل مناسب جهت پیش بینی قیمت قراردادهای آتی سکه طلا از رویکردی کاربردی استفاده شده است. کاربرد اصلی معادلات دیفرانسیل تصادفی تصادفی قیمت گذاری اوراق اختیار معامله می‌باشد. از دیگر کاربردهای این معادلات می‌توان به پیش بینی به روش شبیه سازی مونت کارلو و انتخاب مدل مناسب بر اساس معیارهای نکویی برازش اشاره کرد. به همین منظور جهت طراحی مدلی برای پیش بینی قراردادهای آتی سکه طلا در دوره زمانی ۱۳۹۰/۰۱/۰۱ الی ۱۳۹۷/۰۶/۱۱ مدنظر قرار گرفت. قیمت تسویه قراردادهای آتی سکه طلا از سایت بورس کالای ایران استخراج گردید. بدین ترتیب تعداد داده‌های مورد استفاده در این پژوهش ۲۱۱۸ می‌باشد. سپس برای انتخاب مدل مناسب، پارامترهای هر مدل با ۱۰۰۰ داده اول تخمین زده و با انتقال پنجره تخمین به سمت جلو به اندازه یک داده، پارامترها مجدداً تخمین زده شد. تخمین پارامترهای همه مدل‌ها به روش حداکثر درست نمایی صورت گرفت. سپس بر اساس هر گروه پارامترهای تخمینی هر مدل، شبیه سازی ۱۰ دوره ای قراردادهای آتی انجام شد و میانگین نتایج نهایی هر مسیر به عنوان مقدار پیش بینی حاصل از هر مدل محاسبه گردید. فرضیات این پژوهش به شرح ذیل است:

فصلنامه مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار / شماره چهل و پنجم / زمستان ۱۳۹۹

فرضیه اصلی: استفاده از مدل تبیین شده در پیش بینی قیمت قرارداد آتی سکه کاربرد دارد و در مقایسه با سایر مدل‌های معادلات دیفرانسیل تصادفی از دقت بیشتری برخوردار است.

فرضیه فرعی اول: برآورد قیمت قرارداد آتی سکه با استفاده از مدل حرکت براونی هندسی از دقت کافی برخوردار است.

فرضیه فرعی دوم: برآورد قیمت قرارداد آتی سکه با استفاده از مدل براونی هندسی با جمله جهش از دقت کافی برخوردار است.

فرضیه فرعی سوم: برآورد قیمت قرارداد آتی سکه با استفاده از مدل هستون از دقت کافی برخوردار است.

فرضیه فرعی چهارم: برآورد قیمت قرارداد آتی سکه با استفاده از مدل تبیین شده از دقت کافی برخوردار است.

ابتدا به بررسی داده‌ها با استفاده از آمار توصیفی می‌پردازیم. در جدول شماره یک مهم‌ترین معیارهای آمار توصیفی را در خصوص قیمت قراردادهای آتی سکه طلا و بازدهی لگاریتمی آن مورد بررسی قرار می‌دهیم:

جدول ۲: معیارهای آمار توصیفی قیمت قراردادهای آتی و بازدهی روزانه آن (منبع: یافته‌های پژوهشگر)

معیار	میانگین	میانه	بیشترین مقدار	کمترین مقدار	انحراف معیار	چولگی	کشیدگی
قیمت قراردادهای آتی	۷۸۷,۲	۳۰,۱۸	۴۲۸۰۲,۵۵۳	۴۱۱۸,۴۶۴	۱۳۵۰,۶	۳,۲۱	۱۱,۲۵۴
بازدهی لگاریتمی روزانه (درصد)	۰,۰۹	۰,۰۱	۸,۵۳۲	-۴,۳۶۵	۰,۶۵۶	۱,۹۶	۱۸,۲۳۳

بر اساس جدول فوق در دوره مورد بررسی مقادیر قیمت قرارداد آتی سکه بین ۴,۱۱۸,۴۶۴ ریال و ۴۲,۸۰۲,۵۵۳ ریال در نوسان و بیشترین بازدهی لگاریتمی روزانه آن ۸,۵۳۲ درصد و کمترین آن -۴,۳۶۵ درصد بوده است. همچنین قیمت قراردادهای آتی در دوره مورد بررسی به طور متوسط دارای بازدهی روزانه ۰,۰۹ درصدی بوده است. نکته حائز اهمیت دیگر در مورد بازدهی قراردادهای آتی سکه طلا چوله به راست بودن و کشیدگی بالای نرمال آن است، که موضوع اخیر احتمال وجود دنباله‌های پهن را افزایش می‌دهد. سپس جهت تجزیه و تحلیل بازده از آزمون توزیع تجربی بازدهی روزانه در مقایسه با توزیع نرمال به چهار روش متفاوت استفاده می‌شود، که نتایج آن در جدول ذیل ارائه شده است:

طراحی مدلی جهت پیش بینی قیمت قراردادهای آتی سکه طلا.../باقری، ستایش و رادفر

جدول ۳: نتایج آزمون توزیع تجربی بازدهی‌های روزانه در مقایسه با توزیع نرمال (منبع: یافته‌های پژوهشگر)

مقدار P	آماره تعدیل یافته	آماره آزمون	روش آزمون
۰,۱۵۸۳	-	۰,۱۸۱۸۷۱	لیلی فورس (D)
۰,۵۵۱۲	۰,۳۷۶۷۵۸	۰,۳۷۲۶۶۸	کرامر-فون میزس (۲W)
۰,۵۸۳۷	۰,۳۶۳۳۲۷	۰,۳۵۹۲۵۹	واتسون (۲U)
۰,۶۴۰۲	۰,۳۲۹۳۰۲	۰,۳۲۵۸۴۳	اندرسون-دارلینگ (۲A)

باتوجه به نتایج مشاهده می‌شود، در تمامی روش‌ها، فرض صفر دال بر توزیع نرمال داده‌های بازدهی تایید نشده و انتظار می‌رود، مدل تصادفی حرکت براونی هندسی که دارای توزیع نرمال می‌باشد عملکرد ضعیف تری نسبت به سایر مدل‌ها داشته باشد. در واقع توزیع داده‌ها در مقایسه با توزیع نرمال دارای فراوانی بیشتری در مقادیر نزدیک به میانگین بوده و همچنین دنباله‌های آن نیز نسبت به توزیع نرمال پهن‌تر می‌باشد و می‌توان گفت مدل‌های تصادفی همراه با جهش یا مدل هستون با نوسانات تصادفی قدرت بیشتری در توصیف رفتار متغیر خواهد داشت. از دیگر آزمون‌های بررسی نوسانات تصادفی در داده‌ها آزمون نسبت واریانس است. فرض صفر این آزمون، تبعیت از فرایند گام تصادفی است. نتایج آزمون واریانس طبق جدول ۳ نشان می‌دهد، فرض گام تصادفی بودن بازده قراردادهای آتی سکه طلا تایید نمی‌شود. در نتیجه نمی‌توان آن را فرایند گام تصادفی در نظر گرفت و می‌توان اظهار نمود قیمت این قراردادها قابل پیش‌بینی می‌باشند.

جدول ۴: جدول نتایج نسبت واریانس (منبع: یافته‌های پژوهشگر)

آزمون مشترک	مقدار آماره	درجه آزادی	احتمال
Z	۱,۹۷۱۵	۲,۱۱۷	۰,۱۸۰۹

جهت آزمون خاصیت بازگشت به میانگین در این پژوهش از آزمون‌های ریشه واحد دیکی فولر و فلیپ - پرون استفاده می‌گردد. بر اساس هر دو آزمون طبق جدول ۵ بازدهی مانا بوده و ریشه واحد ندارد و می‌توان انتظار داشت خاصیت بازگشت به میانگین در سری بازدهی این قراردادها مشاهده گردد.

جدول ۵: نتایج آزمون ریشه واحد (منبع: یافته‌های پژوهشگر)

نام آزمون	مقدار آماره	آماره P
دیکی فولر تعمیم یافته	-۲,۳۹۴۳	۰,۰۴
فلیپ - پرون	-۲,۴۴۷۸	۰,۰۲

فصلنامه مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار / شماره چهل و پنجم / زمستان ۱۳۹۹

جهت تخمین پارامترهای هر معادله، تعداد داده‌های موجود را به دو قسمت تقسیم می‌شود. بخش اول که از نظر تعدادی اکثریت را تشکیل می‌دهد، برای تخمین پارامترها استفاده شده و بخش دوم جهت آزمون توانایی مدل‌ها برای پیش بینی مورد استفاده قرار گرفته است. برای این منظور از ۱۰۰۰ داده به منظور بالا بردن دقت اندازه‌گیری، برای تخمین پارامترها استفاده می‌گردد و با حرکت این بخش داده‌ها به جلو تخمین را تکرار می‌گردد. در تمامی مدل‌ها از روش حداکثر درست نمایی جهت تخمین پارامترها استفاده شده است. در جدول صفحه بعد میانگین تخمین پارامترهای هر مدل ارائه شده است:

جدول ۶: میانگین پارامترهای تخمینی هر مدل (منبع: یافته‌های پژوهشگر)

میانگین پارامترهای هر مدل					نام مدل
-	-	-	σ	μ	حرکت براونی هندسی
-	-	-	۰,۰۰۴۴۷	۰,۰۰۱۱۷	
σy	μy	λ	σ	μ^*	مدل با جمله جهش
۰,۰۰۶۵۲	۰,۰۰۱۳۵	۰,۴۳۱۶۵	۰,۰۰۳۷۷	۰,۰۰۱۳۴	
-	K	θ	Y	μ	هستون
-	۰,۰۵۲۷۸	۰,۰۲۰۳۰۷	۰,۰۴۶۹۸۷	۰,۰۰۱۱۵۴	
-	P	σ	θ	K	مدل تبیین شده
-	-۰,۰۲۷۸۷	۰,۰۴۸۳۷	۰,۰۴۳۰۶	۰,۰۰۹۷۱	

در خصوص نتایج پارامترها تخمینی جدول فوق ذکر چند نکته ضروری است. براساس تخمین پارامترهای مدل حرکت براونی هندسی، مقدار پارامتر μ یا جمله رانش یا میانگین بازدهی روزانه قراردادهای آتی سکه طلا به طور میانگین برابر با ۰,۰۱۷ بوده است. مثبت بودن این پارامتر تاییدیه‌ای بر روند صعودی قیمت قراردادهای آتی سکه طلا می‌باشد. میانگین پارامتر σ طی دوره مورد بررسی ۰,۴۴۷ درصد بوده و نوسانات بیشتری را طی دوره تجربه نموده است. آنچه در خصوص پارامترهای تخمینی مدل با جمله جهش مهم است، میانگین پارامتر μ^* برابر با ۰,۰۰۱۳۴ و میانگین پارامتر σ که نشان از تلاطم متغیر مورد بررسی دارد، برابر با ۰,۰۰۳۷۷ است. روند صعودی این دو پارامتر نیز با نتایج مدل حرکت براونی هندسی مطابقت دارد. پارامتر μy در این مدل نشان از وجود جهش در این روند دارد و میانگین آن برابر با ۰,۰۰۱۳۵ می‌باشد. پارامتر λ تعداد جهش‌های را تخمین می‌زند. با توجه به میانگین این پارامتر که برابر با ۰,۴۳۱۶۵ می‌توان گفت در هر دو یا سه روز، روند قیمت آتی سکه طلا یک جهش داشته است و مقدار متوسط این جهش برابر با ۰,۱۳۵ درصد (μy) می‌باشد. در مدل هستون مقدار

طراحی مدلی جهت پیش بینی قیمت قراردادهای آتی سکه طلا.../باقری، ستایش و رادفر

پارامتر Y سرعت بازگشت به میانگین در طی روزهای معاملاتی را در فرایند واریانس نشان می‌دهد. پارامتر θ سطح بازگشت به میانگین واریانس را نشان می‌دهد و دارای میانگین $0,021743$ است. پارامتری K نیز تلاطم واریانس را نشان می‌دهد. و در نهایت در مدل تبیین شده که همراه با تلاطم مدل هستون و جمله جهش هستون می‌باشد، پارامتر K نشان دهنده سرعت بازگشت به میانگین واریانس است و دارای میانگین $0,00971$ است. این پارامتر نشان دهنده تعداد روزهایی است، که باید طی شود، تا متغیر مورد نظر به میانگین خود بازگردد. پارامتر θ سطح بازگشت به میانگین واریانس را نشان می‌دهد و دارای میانگین $0/028$ است و منفی بودن پارامتر P حاکی از این است که حرکات براونی با جهش قیمت قراردادهای آتی با فرایند تلاطم آن رابطه معکوس دارد. پارامتر σ تلاطم واریانس را نشان می‌دهد. برای مقایسه توان پیش‌بینی‌های هر مدل می‌توان بر اساس پارامترهای تخمین زده شده در طی زمان، شبیه-سازی‌های 10 دوره‌ای به تعداد 1000 مرتبه انجام داد و نتایج دوره‌دهم را به‌عنوان معیار پیش‌بینی میانگین گیری کرد. نتایج حاصل از این فرایند جهت پیش‌بینی قراردادهای آتی سکه طلا در دوره مورد بررسی در جدول ذیل ارائه گردیده است:

جدول ۷: نتایج پیش بینی حاصل از شبیه سازی (منبع: یافته‌های پژوهشگر)

روش آزمون	GBM	JGBM	Heston	مدل تبیین شده
میانگین	۲۰۴۷۸,۰۱	۲۰۴۸۰,۴۵	۲۰۴۴۵,۶۴	۲۰۱۶۱,۵۴
میانه	۱۷۱۲۵,۶۵	۱۷۱۳۵,۸۷	۱۷۱۳۲,۶۷	۱۶۹۴۲,۴۶
بیشترین	۲۷۲۷۰,۶	۲۷۲۹۰,۵۴	۲۷۲۴۴,۹۸	۲۷۱۴۹۳,۰۱
کمترین	۱۳۰۶۵,۴۵	۱۳۰۴۳,۲۷۶	۱۳۰۴۲,۸۷۱	۱۲۹۱۹,۵۴
انحراف معیار	۴۰۹۳,۴۲۳	۴۰۹۲,۵۴۳	۴۰۹۱,۵۶۷	۴۰۹۰,۶۵۲
چولگی	۰,۳۶۲۱۹	۰,۳۶۳۷۵	۰,۳۶۱۹۸	۰,۳۵۵۶۳
کشیدگی	۱,۴۱۷۱۳	۱,۴۱۷۲۱	۱,۴۱۷۴۳	۱,۴۱۶۹۷

در بررسی نتایج، میانگین معیار مرکزی محسوب می‌شود. مدل حرکت براونی هندسی با جمله جهش در مقایسه با حرکت براونی هندسی، به دلیل وجود جمله جهش گرایش به داشتن دنباله‌های پهن‌تر دارد و در نتیجه دامنه آن دارای تغییرات بیشتر است، ولی از حیث پارامترهای مرکزی تفاوت چندانی ندارد. به بیان بهتر مدل JGBM به دلیل جمله جهش، در توضیح رفتار حدی متغیر تصادفی قیمت قراردادهای آتی سکه طلا در دنباله‌ها قوی‌تر است، ولی در پیش‌بینی رفتار مرکزی این متغیر مدل تبیین شده قدرت بیشتری از خود نشان می‌دهد. برای مقایسه مقادیر پیش‌بینی هریک از مدل‌های معادلات دیفرانسیل

فصلنامه مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار / شماره چهل و پنجم / زمستان ۱۳۹۹

تصادفی از ضریب تعیین رگرسیون بین مقادیر واقعی بازدهی و مقادیر پیش‌بینی و آزمون‌والد، فرض صفر برابری ضریب رگرسیون با عرض از مبدا با یک استفاده می‌شود.

جدول ۸: نتایج رگرسیون بین مقادیر واقعی بازده و مقادیر پیش‌بینی شده (منبع: یافته‌های پژوهشگر)

نام	مقدار ضریب	ضریب Prob	value	آزمون والد std.err
GBM	۰,۹۸۲۷۶۳	۰,۰۳۸۲۵۹	۰,۴۳۰۹	۰,۶۸۳۹
JGBM	۰,۹۵۳۸۶۸	۰,۰۳۵۳۷۵	۰,۳۶۸۶	۰,۶۲۱۰
Heston	۰,۹۷۴۳۶۷	۰,۰۴۲۷۵۳	۰,۴۷۶۰	۰,۹۳۹۰
مدل تبیین شده	۰,۹۰۸۹۵۲	۰,۰۴۹۳۹۵	۰,۵۶۳۹	۰,۷۴۰۵

مقدار ضرائب برای مدل کمتر از یک است. تمامی پارامترها تفاوت معنی‌داری با صفر دارند. بر اساس نتایج آزمون والد در تمامی مدل‌ها ضریب تخمین تفاوت معنی‌داری با یک ندارد و لذا می‌توان گفت مدل‌های تحت بررسی، مقدار بازدهی قراردادهای آتی سکه طلا را به صورت نا اریب پیش‌بینی می‌کند. همانگونه که مشاهده می‌شود پس از بررسی خواص آماری قیمت تسویه قراردادهای آتی سکه طلا به عنوان متغیر مورد بررسی در این پژوهش مشخص گردید، این متغیر دارای توزیع نرمال نبوده و دنباله‌های توزیع آن نسبت به توزیع نرمال پهن تر می‌باشد. همچنین نوسانات این متغیر ثابت نبوده و حالت نوسانات خوشه‌ای مشاهده شد. بعد از تخمین پارامترهای هر مدل، بر اساس تخمین‌ها شبیه‌سازی صورت گرفت و نتایج حاصل از هرپیش‌بینی مطابق با جدول ۷ به دست آمد. نکته حائز اهمیت این است که در پیش‌بینی این قراردادها میانگین که یک معیار مرکزی محسوب می‌شود، مد نظر قرار گرفته است. بر اساس نتایج به دست آمده، فرضیه فرعی چهارم مبنی بر کفایت دقت مدل تبیین شده جهت پیش‌بینی قراردادهای آتی سکه طلا مورد تایید قرار می‌گیرد. این مدل بهترین برازش را داشته و پیش‌بینی کننده بهتری نسبت به سایر مدل‌هاست. در خصوص فرضیه فرعی سوم مبنی بر کفایت دقت مدل هستون می‌توان گفت این مدل بعد از مدل تبیین شده به دلیل وجود تلاطم موجود در این معادله در رده دوم قرار می‌گیرد. فرضیه فرعی اول مبنی بر کفایت دقت مدل حرکت براونی هندسی در رتبه سوم قرار گرفته و تایید می‌شود و فرضیه دوم فرعی این پژوهش که مربوط به کفایت دقت پیش‌بینی مدل حرکت براونی هندسی با جمله جهش می‌باشد، در جایگاه آخر قرار گرفته و تایید می‌شود. این مدل به دلیل دارا بودن جمله جهش در پیش‌بینی رفتار مرکزی متغیر تصادفی چندان قوی نیست. نتیجه نهایی که از این پژوهش حاصل می‌گردد این است، که فرضیه اصلی مبنی بر استفاده از مدل تبیین شده در پیش‌بینی قیمت قرارداد آتی سکه کاربرد دارد و در مقایسه با سایر مدل‌های معادلات دیفرانسیل تصادفی از دقت بیشتری

طراحی مدلی جهت پیش بینی قیمت قراردادهای آتی سکه طلا.../باقری، ستایش و رادفر

برخوردار است، تایید می‌شود و می‌توان گفت مدل تبیین شده بهترین مدل در میان مدل‌های مورد بررسی در این پژوهش از لحاظ دقت پیش‌بینی می‌باشد.

نتیجه‌گیری

تعداد زیادی از فعالان بازارهای آتی را پوشش‌دهندگان ریسک تشکیل می‌دهند. هدف اصلی این معامله‌گران آن است، که با ورود به بازار قراردادهای آتی، ریسک ناشی از تغییرات نامطلوب قیمت در بازار را پوشش دهند (رودپشتی فریدون و همکاران، ۱۳۹۵) [۱۲]. پیش‌بینی یکی از ابزارهای مدیریت موفق و عنصری کلیدی در مدیریت، برنامه‌ریزی‌های اقتصادی و کاهش ریسک محسوب می‌شود. از آنجایی که بسیاری از متغیرهای مالی ماهیت تصادفی دارند، فعالین در بازارهای سرمایه و نظریه‌پردازان علوم مالی همگی در فضای عدم اطمینان و احتمالات به سربرده و یا متغیرهایی را در دستور کار خود دارند، که ماهیتاً پیش‌بینی دقیق آنها ممکن نیست. احتمال به معنی موقعیت‌هایی است، که با عدم اطمینان مواجه بوده. اگر یک کمیت تصادفی را در فضای احتمالات به وسیله متغیر تصادفی مدل‌سازی می‌گردد و سپس متغیر تصادفی را اندیس‌گذاری شده و به فرآیند تصادفی دست پیدا می‌کند. معروف‌ترین فرآیند تصادفی حرکت براونی است. در صورتیکه بازده دارایی از حرکت براونی پیروی کند، مدل تصادفی برای قیمت دارایی، حرکت براونی هندسی خواهد بود، که مبنای رفتار قیمت دارایی پایه در مدل بلک شولز قرار گرفته است. در این پژوهش به مدل‌های این حوزه شامل حرکت براونی هندسی، حرکت براونی هندسی با جهش (مدلی با مسیر گسسته قیمت)، هستون (دارای نوسانات تصادفی و خاصیت بازگشت به میانگین نوسانات) و مدل تبیین شده (دارای جمله جهش و تلاطم هستون) پرداخته شده است و در سال‌های اخیر، بازارهای آتی در دنیای مالی و سرمایه‌گذاری اهمیت پیدا کرده است. طبیعت غیرقابل پیش‌بینی بازارهای مالی، تصمیم‌گیری برای اتخاذ موقعیت‌های خرید و یا فروش را برای معامله‌گران دشوار می‌سازد. بنابراین پیش‌بینی روند قیمت قراردادهای آتی (که قیمت این قراردادها از دارایی پایه آنها نشأت می‌گیرد) یکی از پراهمیت‌ترین و تاثیرگذارترین متغیرهای مالی می‌باشد. در این پژوهش با استفاده از مدل‌های معادلات دیفرانسیل تصادفی، قیمت این قراردادها را مطابق با سری دوم داده‌ها برآورد می‌شود.

همانگونه که اشاره شد، معاملات قراردادهای آتی سکه از فروردین ماه سال ۹۰ در بازار سرمایه آغاز گردید. باتوجه به ماهیت این دارایی و وجود بازار نقدفعال برای آن به سرعت نظر افراد مختلف از قبیل آربیتراژگران و سفته‌بازان را به خود جلب نمود. به دلیل شرایط حاکم بر بازار نقدی این دارایی معاملات این قراردادها در شهریور ۹۷ متوقف گردید. در این پژوهش برای انتخاب مدل مناسب، دوره زمانی قراردادهای آتی سکه طلا از ۱۳۹۰/۰۱/۰۱ تا تاریخ ۱۳۹۷/۰۶/۱۱ که طبق مصوبه سازمان بورس

اوراق بهادار قراردادهای آتی متوقف گردیدند، مد نظر قرار گرفت. به همین منظور در اختیار داشتن داده به اندازه کافی جهت اجرای مدل‌ها تمامی داده‌های موجود مورد بررسی قرار گرفت. این مجموعه که بالغ بر ۲۱۱۸ داده می‌باشد شامل قیمت سرر سید قراردادهایی می‌باشد، که به سرر سید نزدیکتر و ظرف زمانی باقیمانده یک ماهه هستند. در این بازه زمانی در دو سال ۹۱ و ۹۲ که در آن‌ها قراردادهای آتی سکه طلا بر اساس مصوبه بورس کالای ایران، دارای سرر سیدهای ماهانه می‌باشند، قراردادهایی با سررسیدهای نزدیکتر و ظرف زمانی یک ماهه در نظر گرفته شده‌اند. برای انتخاب مدل مناسب ابتدا پارامترهای هر مدل بر اساس ۱۰۰۰ داده اول و پنجره تخمین به سمت جلو به اندازه یک داده، تخمین زده شد. تخمین پارامترها برای هر مدل نیز به روش خاص خود صورت گرفت. (روش حداکثر در ست نمایی و روش مبتنی بر توزیع) سپس بر اساس هر گروه مقدار پارامترهای تخمینی هرمدل، شبیه سازی ۱۰ دوره‌ای قیمت قراردادها انجام شد و میانگین نتایج نهایی هر مسیر به عنوان مقدار پیش‌بینی حاصل از هر مدل محاسبه گردید. نتایج تحلیل اولیه داده‌ها دال بر نرمال نبودن و وجود دنباله‌های پهن در توزیع بازدهی قیمت قراردادهای آتی سکه طلا و همچنین وجود نوسانات خوشه‌ای و وجود خاصیت بازگشت به میانگین در سری بازده قراردادهای آتی سکه طلا بود. نتایج حاصل از پیش‌بینی هریک از مدل‌ها بر مبنای معیارهای نیکویی برازش مدل‌های تصادفی حاکی از این است، که مدل تبیین شده از قدرت پیش‌بینی بیشتری نسبت به سایر مدل‌های معادلات دیفرانسیل تصادفی و مدل حرکت براونی هندسی با جمله جهش در پیش‌بینی مقادیر میانگین از ضعیف‌ترین نتایج برخوردار بود. به عبارت دیگر مدل حرکت براونی هندسی با جمله جهش، به دلیل دارا بودن جمله جهش در توضیح رفتار مرکزی متغیر تصادفی چندان موفق نیست. مدل هستون نیز با وجود جمله تلاطم در توضیح رفتار مرکزی موفق بوده و پیش‌بینی دقیق‌تری نسبت به مدل‌های حرکت براونی هندسی و حرکت براونی هندسی با جمله جهش داشته است، در این راستا بر اساس نتایج حاصله ضمن تاکید بر استفاده از مدل تبیین شده برای پیش‌بینی قیمت قراردادهای آتی پیشنهاد می‌گردد با بررسی سایر مدل‌های تصادفی از قبیل NGARCH، مدل واریانس گاما، مدل واسیچک و یا مدل‌های ترکیبی و مقایسه آنها با مدل‌های مورد استفاده در این تحقیق پرداخته و یا با استفاده از سایر روش‌های آماری به منظور تخمین پارامترهای مدل و تغییر سری زمانی به وسیله سایر قراردادهای آتی از قبیل زیره سبز، زعفران، پسته اقدام گردد. همچنین می‌توان از دیگر کاربردهای این معادلات مانند برآورد ارزش در معرض خطر و یا تشکیل سبد دارایی‌های بهینه نیز استفاده نمود.

طراحی مدلی جهت پیش بینی قیمت قراردادهای آتی سکه طلا.../باقری، ستایش و رادفر

منابع

- ۱) پویان فر، احمد و نگار افشاری، ۱۳۹۵، محاسبه وجه تضمین قرارداد آتی سکه بهار آزادی با استفاده از رویکرد ارزش در معرض ریسک و نظریه ارزش فرین، چهارمین کنفرانس ملی مدیریت، اقتصاد و حسابداری، تبریز، سازمان مدیریت صنعتی آذربایجان شرقی، دانشگاه تبریز
- ۲) جلال سیدالدینی، فریدون رهنمای رودپشتی، ۱۳۹۶، طلا به عنوان پناهگاه امن برای بورس اوراق بهادار تهران، رویکرد تغییر حالت، فصلنامه علمی پژوهشی دانش مالی تحلیل اوراق بهادار سال یازدهم، شماره چهل ام، زمستان ۱۳۹۷
- ۳) حقیقت، جعفر و سجاد عبدالله زاده، ۱۳۹۷، عوامل موثر بر بازده قیمت سهام، مسکن، سکه طلا و ارز در ایران کاربرد الگوهای $VECM$ و $GARCH - DCC$ ، دومین کنفرانس بین المللی مدیریت و کسب و کار، تبریز، گروه مدیریت دانشگاه تبریز
- ۴) دهدار، فرهاد و آرش خیرخواه، ۱۳۹۷، بررسی تحلیلی نیروهای جهت دهنده به بازار طلا و نقش عدم اطمینان، چهارمین کنفرانس بین المللی مدیریت، کارآفرینی و توسعه اقتصادی، تاکستان، موسسه آموزش عالی تاکستان
- ۵) رستمی، علی؛ غلامرضا زمردیان و میثم علی محمدی، ۱۳۹۶، امکان سنجی پوشش ریسک نرخ ارز شرکت های صادرکننده و وارد کننده با استفاده از قرارداد آتی سکه طلا در بورس کالای ایران، مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار ۸ (۳۱)
- ۶) رهنمای رودپشتی فریدون، جولا جعفر، افخمی عادل، ۱۳۹۵، مدیریت مالی، انتشارات ترمه چاپ اول
- ۷) طالب زاده بایی، سید مهدی، ۱۳۹۶، تاثیر پذیری قیمت تئوریک قراردادهای آتی از قیمت های معاملاتی آن در قراردادهای آتی سکه طلای بورس کالای ایران، مجله رهیافت های نوین مدیریت و فن آوری ۲ (۹)
- ۸) فرزندگان، الهام، ۱۳۹۷، استراتژی های پوشش ریسک قیمت سکه بهار آزادی: مقایسه بین رویکردهای $ADCC$ ، $GO-GARCH$ و $GARCH$ ، فصلنامه پژوهش های اقتصادی ایران ۲۳ (۷۵)
- ۹) فرهادی، شیرین و ایوب باقری، ۱۳۹۷، پیش بینی قیمت طلا به کمک ترکیب سری های زمانی با استفاده از تکنیک یادگیری حداکثر، پنجمین کنفرانس بین المللی فناوری اطلاعات کامپیوتر مخابرات، تفلیس - کشور گرجستان، دبیرخانه دائمی کنفرانس

۱۰) فلاح شمس، میرفیض؛ علیرضا ناصرپور؛ علی ثقفی و محمدتقی تقوی فرد، ۱۳۹۶، مقایسه مدل های ارزش در معرض خطر شبیه سازی تاریخی و GARCH در پیش بینی وجه تضمین قراردادهای آتی، دوفصلنامه اندیشه مدیریت راهبردی ۱۱ (۲)

۱۱) محمدی، احمد و زینب سواری، ۱۳۹۷، تاثیر قراردادهای آتی سکه بر نوسانات بازار نقدی این دارایی در ایران، فصلنامه پژوهش های اقتصادی ایران ۲۳ (۷۴)

۱۲) مهدی زاده، پیمان؛ علی حسین زاده کاشان و فریماه مخاطب رفیعی، ۱۳۹۵، بررسی نوسانات قیمت قراردادهای آتی سکه بر اساس تغییرات قیمت سایر دارایی ها و شاخص بورس تهران، کنفرانس بین المللی مهندسی صنایع و مدیریت، تهران، دبیرخانه دائمی کنفرانس

13) Cortazar, G., Millard, C., Ortega, H., & Schwartz, E. S. (2019). Commodity price forecasts, futures prices, and pricing models. *Management Science*, 65(9), 4141-4155.

14) Coyle, C., Gogolin, F., & Kearney, F. (2019). Modelling gold futures: should the level of speculation inform our choice of variables *The European Journal of Finance*, 25(10), 966-977.

15) Garboden, P. M. (2020). Sources and Types of Big Data for Macroeconomic Forecasting. In *Macroeconomic Forecasting in the Era of Big Data* (pp. 3-23). Springer, Cham.

16) Khan, S., & Bhardwaj, S. (2019). Time Series Forecasting of Gold Prices. In *Emerging Trends in Expert Applications and Security* (pp. 63-71). Springer, Singapore.

17) Lin, L., Jiang, Y., Xiao, H., & Zhou, Z. (2020). Crude oil price forecasting based on a novel hybrid long memory GARCH-M and wavelet analysis model. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 123532.

18) Lu, W., Geng, C., & Yu, D. (2019). A New Method for Futures Price Trends Forecasting Based on BPNN and Structuring Data. *IEICE Transactions on Information and Systems*, 102(9), 1882-1886.

19) Salisu, A. A., Ogbonna, A. E., & Adewuyi, A. (2020). Google trends and the predictability of precious metals. *Resources Policy*, 65, 101542.

20) Wei, Y., Liang, C., Li, Y., Zhang, X., & Wei, G. (2019). Can CBOE gold and silver implied volatility help to forecast gold futures volatility in China? Evidence based on HAR and Ridge regression models. *Finance Research Letters*.

21) Weng, F., Chen, Y., Wang, Z., Hou, M., Luo, J., & Tian, Z. (2020) Gold price forecasting research based on an improved online extreme learning machine algorithm. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 1-11.

طراحی مدلی جهت پیش بینی قیمت قراردادهای آتی سکه طلا.../باقری، ستایش و رادفر

22) Xiao, C., Xia, W., & Jiang, J. (2020). Stock price forecast based on combined model of ARI-MA-LS-SVM. *Neural Computing and Applications*, 1-10.

23) Yamaka, W., & Maneejuk, P. (2020). Analyzing the Causality and Dependence between Gold Shocks and Asian Emerging Stock Markets: A Smooth Transition Copula Approach. *Mathematics*, 8(1), 120.

یادداشت‌ها :

¹ .Deterministic

² .Stochastic Calculus

3 Harris

4 McCarthy & Najand

5 Antoniou & Holmes

6 Chatrath et al.

7 Edwards

8 Jochum & Kodres

9 Antoniou et al.

10 Bologna & Cavallo

11 Drimbetas et al.

12 Arif Oduncu

13 Sahu

14 Sriram and Senthil

15 Weng, F., Chen, Y., Wang, Z., Hou, M., Luo, J., & Tian, Z

16 . Online sequential extreme learning machine

17 . Error Logging Middleware

18 . Support vector machines

19 . Operating System Error Logging Middleware

20 Yamaka, W., & Maneejuk, P

21 Garboden, P. M.

22 Salisu, A. A., Ogbonna, A. E., & Adewuyi, A

23 . Geometric Brownian Motion

24 .Heston