

قیمت گذاری قراردادهای اختیار معامله در بورس اوراق بهادار تهران با رویکرد ترکیبی مدل های نوسان شرطی و یادگیری ماشین

^۱ محسن هاشمی گهر ، ^۲ امین صفرنژاد ، ^۳ علی رضا امیری ، ^۴ مرتضی افشاری

^۱ استادیار گروه مدیریت، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهر قدس، ایران (نویسنده مسئول)

^۲ استادیار گروه حسابداری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهر قدس، ایران

^۳ دانشجوی رشته دکتری مهندسی مالی، گروه مدیریت، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهر قدس، ایران

^۴ دانشجوی رشته دکتری مهندسی مالی، گروه مدیریت، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهر قدس، ایران

چکیده

این پژوهش با هدف ارائه چارچوبی نوین برای قیمت گذاری قراردادهای اختیار معامله در بورس اوراق بهادار تهران انجام شده است. بدین منظور، ابتدا مدل های کلاسیک (مانند Black-Scholes و Heston) بررسی شده و محدودیت های آنها در بازار ایران مشخص گردید. سپس مدل های نوسان شرطی برای ARCH، GARCH، EGARCH، GJR-GARCH برآورد نوسانات مورد استفاده قرار گرفت. در ادامه، الگوریتم های یادگیری ماشین (شبکه های عصبی، XGBoost، LSTM) به کار گرفته شدند تا دقت پیش بینی افزایش یابد. یافته ها نشان می دهد که مدل های ترکیبی (Hybrid) متشکل از تخمین نوسان شرطی و الگوریتم های هوش مصنوعی نسبت به مدل های منفرد عملکرد بهتری دارند و کمترین خطا RMSE، MAPE، IVRMSE را در پیش بینی قیمت اختیار معامله به دست می دهند. این نتایج بیانگر ضرورت استفاده از رویکردهای داده محور و ترکیبی برای توسعه بازار مشتقات در ایران است.

واژه های کلیدی: اختیار معامله، مدل های نوسان شرطی، یادگیری ماشین، قیمت گذاری، بورس اوراق بهادار تهران

۱. مقدمه

بازارهای مالی نوین با گسترش ابزارهای مشتقه توانسته‌اند نقش مهمی در مدیریت ریسک، کشف قیمت و افزایش کارایی تخصیص سرمایه ایفا کنند. در میان این ابزارها، قراردادهای اختیار معامله (Options) جایگاه ویژه‌ای دارند؛ زیرا به سرمایه‌گذاران امکان می‌دهند با پرداخت هزینه‌ای مشخص (پرمیوم)، در برابر تغییرات نامطلوب قیمت دارایی پایه پوشش ریسک ایجاد کنند یا از نوسانات قیمت منتفع شوند. با این حال، مسئله اصلی در کارایی بازار اختیار معامله، تعیین ارزش منصفانه قراردادها است؛ موضوعی که به دلیل پیچیدگی رفتار قیمتی دارایی‌ها و وجود نوسان‌های غیرخطی همواره مورد توجه محققان و فعالان مالی بوده است.

مدل‌های کلاسیک قیمت‌گذاری اختیار معامله نظیر مدل بلک-شولز (Black-Scholes, ۱۹۷۳) و توسعه‌های بعدی آن (مانند مدل هستون و مدل‌های پرش-انتشار) هرچند از بنیان‌های ریاضی و مالی قدرتمندی برخوردارند، اما در مواجهه با واقعیت‌های بازارهای نوظهور با محدودیت‌های جدی روبه‌رو می‌شوند. مهم‌ترین این محدودیت‌ها شامل فرض نرمال بودن بازده دارایی‌ها، فرض نوسان ثابت و ناکارآمدی در مواجهه با خوشه‌بندی نوسان‌ها (Volatility Clustering) است. در همین راستا، مدل‌های نوسان شرطی ARCH، GARCH و بسط‌های آن معرفی شدند تا پویایی نوسان را به‌طور واقع‌بینانه‌تر در قیمت‌گذاری ابزارهای مشتقه لحاظ کنند.

با وجود پیشرفت‌های قابل توجه در مدل‌سازی نوسان، مطالعات اخیر نشان داده‌اند که حتی مدل‌های GARCH نیز در مواجهه با روابط پیچیده و غیرخطی حاکم بر بازارهای مالی دچار ضعف می‌شوند. در سال‌های اخیر، یادگیری ماشین به عنوان رویکردی نوین توانسته است در پیش‌بینی و مدل‌سازی سری‌های زمانی مالی نتایج قابل توجهی ارائه دهد. الگوریتم‌هایی مانند شبکه‌های عصبی بازگشتی (RNN/LSTM)، جنگل تصادفی (Random Forest) و روش‌های مبتنی بر تقویت گرادیان (XGBoost, LightGBM) قابلیت شناسایی الگوهای پنهان در داده‌های پرنویز مالی را دارا هستند.

از سوی دیگر، بورس اوراق بهادار تهران به عنوان بازاری نوظهور و در حال توسعه، طی سال‌های اخیر شاهد راه‌اندازی قراردادهای اختیار معامله بوده است. اما نقدشوندگی پایین، عدم عمق کافی بازار و نوسانات ساختاری اقتصاد ایران موجب شده است قیمت‌گذاری دقیق و کارای این ابزارها به چالشی جدی بدل شود. این شرایط، ضرورت بهره‌گیری از رویکردهای ترکیبی را بیش از پیش نمایان می‌سازد.

بر این اساس، هدف پژوهش حاضر ارائه یک رویکرد ترکیبی مبتنی بر مدل‌های نوسان شرطی و الگوریتم‌های یادگیری ماشین برای قیمت‌گذاری قراردادهای اختیار معامله در بورس اوراق بهادار تهران است. در این چارچوب، ابتدا با استفاده از مدل‌های

خانواده GARCH، ویژگی های پویایی نوسان بازده دارایی پایه استخراج می شود و سپس این ویژگی ها به همراه سایر متغیرهای مؤثر، به عنوان ورودی در مدل های یادگیری ماشین به کار گرفته می شوند. این ترکیب امکان بهره گیری همزمان از مزایای تبیین پذیری مدل های اقتصادسنجی و قدرت پیش بینی الگوریتم های یادگیری ماشین را فراهم می آورد.

نوآوری اصلی این مقاله در دو بعد قابل توجه است: نخست، ارائه یک چارچوب ترکیبی که بتواند محدودیت های مدل های کلاسیک و نوین را در بازار اختیار معامله برطرف سازد؛ و دوم، آزمون تجربی این رویکرد در بستر بورس اوراق بهادار تهران که تاکنون پژوهش های اندکی در آن زمینه انجام شده است. یافته های این تحقیق می تواند علاوه بر غنای ادبیات نظری، برای سرمایه گذاران، مدیران پرتفوی و نهادهای ناظر در جهت توسعه بازار مشتقه در ایران نیز ارزش کاربردی داشته باشد.

۲- مبانی نظری و پیشینه پژوهش

۲-۱- مرور ادبیات مدل های کلاسیک قیمت گذاری اختیار معامله

قیمت گذاری اختیار معامله کلاسیک بر پایه فرض هایی درباره رفتار قیمت دارایی پایه و فرآیند تصادفی آن بنا شده است. نخستین و معروف ترین چارچوب، مدل بلک-شولز (Black & Scholes, ۱۹۷۳) است که با فرض های بازار کامل، نرخ بدون ریسک ثابت و نوسان پایا، فرمولی بسته برای قیمت اختیار اروپایی ارائه می دهد. این مدل نقش بنیانی در توسعه نظریه مشتقات مالی داشته، اما فرض های ساده ساز آن (نرمال بودن بازده ها، نوسان ثابت، نبود پرش قیمتی) در مواجهه با مشاهدات بازار ناکافی نشان داده شده اند.

برای رفع برخی نقایص مدل بلک-شولز، مدل هایی با دینامیک پیچیده تر معرفی شدند؛ از جمله مدل های نوسان تصادفی. مدل هستون (Heston, ۱۹۹۳) یکی از شاخص ترین آنهاست که با در نظر گرفتن فرآیند تصادفی برای واریانس، امکان همبستگی بین بازده و نوسان را وارد مدل می کند و راه حل تحلیلی نیمه بسته ای برای قیمت اختیار ارائه می دهد. مدل های بر پایه پرش (jump-diffusion) و سایر توسعه ها نیز برای شبیه سازی «دم سنگین» توزیع بازده و پرش های قیمتی پیشنهاد شده اند.

نکته پژوهشی مدل های کلاسیک چارچوب نظری منضبطی فراهم می کنند، اما در بازارهای نوظهور با ساختارهای خاص (نقدشوندگی پایین، شواهد عدم نرمال بودن، تکانه های اقتصاد کلان) به تنهایی پاسخگو نیستند؛ لذا ترکیب این مدل ها با روش های داده محور می تواند مفید باشد.

۲-۲- مرور مدل های نوسان شرطی ARCH / GARCH و توسعه ها و کاربرد در تخمین نوسان

یکی از یافته های تجربی مهم در سری های زمانی مالی، خوشه بندی نوسان (volatility clustering) است؛ یعنی دوره های آرام و دوره های پرنوسان تمایل به تجمع دارند. برای مدل سازی این پدیده، نخستین بار مدل ARCH را معرفی کرد و سپس بولرسلوو مدل GARCH را ارائه داد که قابلیت توصیف وابستگی در واریانس شرطی را دارد. مدل های خانواده GARCH مانند GARCH(۱,۱) به خوبی پویایی نوسان را در بازه دارایی ها مدل می کنند و به عنوان ابزار پایه در پیش بینی و اندازه گیری ریسک و قیمت گذاری مشتقات شناخته شده اند.

با مشاهده آثار نامتقارن شوک ها بر نوسان اثر اهرمی یا leverage effect، توسعه هایی مانند EGARCH (Nelson, ۱۹۹۱) و GJR-GARCH (Glosten, Jagannathan & Runkle, ۱۹۹۳) معرفی شدند که امکان مدل سازی عدم تقارن و اثرات منفی/مثبت متفاوت بر واریانس را می دهند. این بسط ها در کاربردهای بازار اختیار اهمیت دارند زیرا نوسان شرطی و عدم تقارن بازده می تواند به طور مستقیم بر حجم پرمیوم و ساختار سطح نوسان (volatility surface) تأثیر بگذارد.

کاربرد در قیمت گذاری اختیار: در عمل، پژوهش ها از مدل های GARCH نوع برای برآورد نوسان آتی دارایی پایه استفاده کرده اند و سپس این برآوردها را در فرمول های قیمت گذاری (یا شبیه سازی مونت کارلو) وارد می کنند؛ این کار باعث می شود مفروضه نوسان ثابت بلک-شولز تعدیل شود و قیمت های نظری بهتر با بازار مطابقت یابند.

۲-۳- مرور کاربردهای یادگیری ماشین در امور مالی و قیمت گذاری اختیار

در دو دهه اخیر، روش های یادگیری ماشین و یادگیری عمیق به خاطر توانایی در یافتن الگوهای غیرخطی و تعاملی در داده های پرنویز مالی، وارد حوزه قیمت گذاری و پیش بینی مشتقات شده اند. رویکردهای کلاسیک شامل شبکه های عصبی چندلایه (MLP)، شبکه های بازگشتی (RNN/LSTM) برای سری های زمانی، و الگوریتم های درختی تقویت شده (XGBoost)، LightGBM یا جنگل تصادفی (Random Forest) است. از نمونه های اولیه و تاثیرگذار می توان به کار Hutchinson, Lo & Poggio (۱۹۹۴) اشاره کرد که استفاده از شبکه های یادگیری را برای قیمت گذاری و هجینگ مشتقات پیشنهاد کردند—رویکردی غیرپارامتریک که محدودیت های مدل سازی کلاسیک را دور می زند.

مطالعات مرور و مقالات تجربی نشان می دهند که:

شبکه های عمیق مانند LSTM در شناسایی الگوهای زمانی پیچیده و وابستگی بلندمدت در سری های مالی موثرند؛ الگوریتم های مبتنی بر درخت (XGBoost) به خاطر مقاومت نسبتاً بالا در برابر نویز و توانایی استخراج متغیرهای مهم در مسائل پیش بینی

عملکرد خوبی نشان می‌دهند ترکیب ویژگی‌های اقتصادسنجی مثل نوسان شرطی برآوردشده از GARCH با ورودی‌های داده‌محور می‌تواند پیش‌بینی مدل‌های ML را بهبود بخشد.

نکته مهم: اگرچه روش‌های ML غالباً دقت پیش‌بینی را افزایش می‌دهند، آنها ممکن است از دید تبیینی (interpretability) ضعیف‌تر باشند؛ به همین دلیل ترکیب خروجی‌های تبیینی مدل‌های اقتصادسنجی (مثلاً سری‌های نوسان شرطی) به‌عنوان ویژگی در مدل‌های ML، راه‌حلی متداول و منطقی است.

۴-۲- مطالعات مشابه در بازارهای جهانی و تحقیقات انجام‌شده در بورس تهران

بازارهای جهانی: در بازارهای توسعه‌یافته تعداد قابل توجهی پژوهش تجربی وجود دارد که عملکرد روش‌های پارامتریک Black-Scholes, Heston و مشتقات GARCH را با روش‌های غیرپارامتریک و یادگیری ماشین مقایسه کرده‌اند. برخی مطالعات اخیر نیز به استفاده از ترکیبات ensemble یا انتقال یادگیری برای بهبود تعمیم‌پذیری مدل‌ها پرداخته‌اند.

بازار ایران (بورس اوراق بهادار تهران): پژوهش‌های مرتبط با قیمت‌گذاری اختیار در بازار ایران نسبتاً محدود هستند اما در سال‌های اخیر افزایش یافته‌اند. بعضی مطالعات به‌طور مستقیم قیمت‌گذاری اختیار را در بورس تهران بررسی کرده‌اند از جمله مقالاتی که مدل‌های بلک-شولز و دیگر رویکردها را با قیمت‌های بازار مقایسه کرده و اثر نرخ سود تصادفی یا سایر ساختارهای محلی بازار را مطالعه کرده‌اند. با این حال، ترکیب صریح مدل‌های نوسان شرطی و الگوریتم‌های یادگیری ماشین برای بازار ایران هنوز به‌صورت نظام‌مند و فراگیر مورد بررسی قرار نگرفته است و بسیاری از پژوهش‌های داخلی بر روش‌های پارامتریک یا تحلیل آماری سنتی تمرکز دارند.

شکاف پژوهشی: مرور منابع بین‌المللی و داخلی نشان می‌دهد که جای خالی روش‌های هیبریدی آشکار است:

۱- استفاده از خروجی‌های مدل‌های GARCH- نوع به‌عنوان ویژگی (features) در مدل‌های ML

۲- آزمون تجربی جامع این رویکرد ترکیبی در بازارهای نوظهوری مانند بورس تهران با در نظر گرفتن ویژگی‌های خاص (نقدشوندگی، شرایط کلان اقتصادی، ساختار نرخ سود).

بنابراین پژوهش حاضر می‌کوشد با طراحی چارچوب ترکیبی نوسان شرطی استخراج ویژگی مدل ML این شکاف را پر کند.

۵-۲- جمع بندی مبانی نظری و پیشینه

نوسان شرطی ابزارهای نظری و اقتصادسنجی قدرتمندی برای برآورد و تبیین رفتار نوسان فراهم می کنند، اما محدودیت هایشان در رویه پیش بینی غیرخطی و مهار ویژگی های بازارهای نوظهور آشکار است. از سوی دیگر، یادگیری ماشین ظرفیت بالایی برای شناخت الگوهای پیچیده و ارائه پیش بینی های دقیق تر دارد؛ اما معمولاً نیاز به داده کافی و ویژگی های مناسب دارد و تبیین پذیری آن کمتر است. بنابراین، ترکیب خروجی های منضبط مدل های GARCH (به عنوان ویژگی) با مدل های ML، رویکردی منطقی برای بهبود قیمت گذاری اختیار معامله به شمار می آید به ویژه در بازاری مانند بورس تهران که شرایط و چالش های محلی، یک رویکرد هیبرید را ضروری می سازد.

۳- داده ها و روش شناسی پژوهش

۱-۳- داده های پژوهش

پژوهش حاضر بر اساس داده های مربوط به قراردادهای اختیار معامله فهرست شده در بورس اوراق بهادار تهران انجام شده است. دارایی پایه این قراردادها عمدتاً سهام شرکت های بزرگ و شاخص ساز بازار (مانند بانک ملت، فولاد مبارکه اصفهان، و سایر نمادهای منتخب سازمان بورس) هستند.

بازه زمانی: به منظور پوشش چرخه های مختلف نوسان، داده ها در یک بازه زمانی چندساله (برای مثال ۱۳۹۷ تا ۱۴۰۳) جمع آوری شده است. این بازه شامل دوره های پرنوسان ناشی از تحولات کلان اقتصادی و دوره های آرام تر بازار است که برای آزمون پایداری مدل ها ضروری است.

فرکانس داده ها: داده ها به صورت روزانه و در برخی موارد (در صورت دسترسی) در سطح درون روزی (intraday) شامل قیمت باز، بسته، بالاترین و پایین ترین دارایی پایه و همچنین قیمت های اختیار معامله جمع آوری شده است. متغیرهای اصلی:

۱- قیمت های اعمال (strike prices)

۲- سررسید قراردادها (maturities)

۳- نوع اختیار Call / Put، سبک اروپایی / آمریکایی

۴- قیمت های اختیار معامله (قیمت بازار)

۵- قیمت دارایی پایه (spot price)

۶- نرخ سود بدون ریسک (بر مبنای اوراق بدهی دولتی کوتاه مدت و میان مدت در همان بازه)

۷- سود نقدی سهام (در صورت وجود برای دارایی پایه)

پیش پردازش داده ها: داده ها پیش از استفاده پاک سازی می شوند؛ شامل حذف رکوردهای ناقص، بررسی پرش های غیرمنطقی قیمت، و نرمال سازی برای کاهش تأثیر مقیاس های مختلف. همچنین برای افزایش دقت پیش بینی، مجموعه داده به دو بخش «آموزش (Training)» و «آزمون (Testing)» تفکیک شده است. (معمولاً ۷۰٪ برای آموزش و ۳۰٪ برای آزمون)

۲-۳- چارچوب روش شناسی پژوهش

روش پژوهش حاضر ترکیبی از مدل های نوسان شرطی (اقتصادسنجی مالی) و یادگیری ماشین (هوش مصنوعی مالی) است. هدف، ارتقای دقت پیش بینی قیمت اختیار معامله با استفاده از ویژگی های استخراج شده از مدل های نوسان شرطی در کنار قدرت یادگیری ماشین در شناسایی روابط غیرخطی است.

۱-۲-۳- مرحله اول: برآورد نوسان شرطی

در این مرحله، با استفاده از خانواده مدل های GARCH، پویایی نوسان دارایی پایه استخراج می شود. به طور مشخص، چند مدل برای مقایسه استفاده می شوند:

GARCH(۱,۱) به عنوان مدل پایه

EGARCH برای در نظر گرفتن اثر اهرمی

GJR-GARCH برای بررسی نامتقارن بودن تأثیر شوک ها

خروجی این مدل ها (یعنی سری زمانی واریانس شرطی) به عنوان شاخصی از نوسان تحقق یافته و پیش بینی شده دارایی پایه استخراج می شود.

۲-۲-۳- مرحله دوم: استخراج ویژگی ها (Feature Engineering)

برای آموزش مدل های یادگیری ماشین، مجموعه ای از ویژگی ها (features) ایجاد می شوند که شامل موارد زیر است:

۱- واریانس شرطی برآوردشده از مدل های GARCH-type

۲- نسبت قیمت اختیار به قیمت دارایی پایه (moneyness)

۳- زمان باقی مانده تا سررسید (time-to-maturity)

۴- نرخ سود بدون ریسک

۵- سود نقدی پیش بینی شده

۶- نوسان تاریخی (Historical Volatility)

۷- بازده های لگاریتمی اخیر دارایی پایه

این ویژگی ها به گونه ای انتخاب شده اند که هم اطلاعات اقتصادسنجی (volatility clustering, leverage effect) و هم اطلاعات ساختاری قرارداد را پوشش دهند.

۳-۲-۳- مرحله سوم: مدل های یادگیری ماشین

برای پیش بینی قیمت اختیار، چند الگوریتم یادگیری ماشین استفاده می شوند:

Random Forest (RF) مناسب برای داده های غیرخطی و مقاوم به نویز

XGBoost الگوریتم درختی تقویت شده با کارایی و دقت بالا

شبکه های عصبی LSTM: مناسب برای سری های زمانی مالی و روابط وابسته به گذشته

این مدل ها با ورودی ویژگی های استخراج شده آموزش می بینند تا قیمت اختیار معامله را تخمین بزنند.

۴-۲-۳- مرحله چهارم: چارچوب ترکیبی (Hybrid Framework)

در این رویکرد، مدل های GARCH صرفاً برای تخمین مستقیم قیمت اختیار استفاده نمی شوند، بلکه خروجی آنها (نوسان شرطی) به عنوان ورودی در مدل های یادگیری ماشین به کار گرفته می شود. این امر باعث می شود:

محدودیت های مفروضات ساده ساز GARCH برطرف شود، مدل های یادگیری ماشین اطلاعات آماری و تبیینی بیشتری دریافت کنند، توازن میان تبیین پذیری (از سمت اقتصادسنجی) و دقت پیش بینی (از سمت ML برقرار گردد.

۳-۳- معیارهای ارزیابی مدل ها

برای ارزیابی عملکرد مدل ها و مقایسه آن ها با یکدیگر، معیارهای زیر استفاده می شوند:

ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) برای سنجش دقت پیش بینی عددی

میانگین درصد خطای مطلق (MAPE) برای سنجش دقت نسبی

شاخص خطای ضمنی نوسان (IVRMSE) برای ارزیابی مطابقت نوسان ضمنی استخراج شده با واقعیت بازار.

آزمون های آماری (Diebold-Mariano Test) برای بررسی معناداری تفاوت بین عملکرد مدل ها

۳-۴- مراحل اجرایی پژوهش (فلوچارت پیشنهادی)

۱. جمع آوری داده های اختیار معامله و دارایی پایه از بورس تهران

۲. پاک سازی و پیش پردازش داده ها

۳. برآورد نوسان شرطی با مدل های GARCH-type

۴. استخراج ویژگی ها volatility، moneyness، نرخ سود، سایر متغیرها

۵. آموزش مدل های ML، RF، XGBoost، LSTM

۶. پیش بینی قیمت اختیار معامله

۷- ارزیابی عملکرد با معیارهای آماری و مقایسه با مدل های کلاسیک مانند Black-Scholes و Heston

۸- تحلیل نتایج و تفسیر یافته ها

۳-۵- نوآوری روش شناسی

استفاده از داده های واقعی بورس اوراق بهادار تهران با ویژگی های خاص بازار نوظهور. طراحی چارچوب ترکیبی (Hybrid) که

خروجی های مدل های نوسان شرطی را به عنوان ورودی مدل های ML به کار می گیرد. مقایسه جامع عملکرد مدل ها در

سناریوهای مختلف بازار (دوره های پرنوسان و آرام).

۶-۳- دارایی های پایه و قراردادهای مورد استفاده

با توجه به این که بازار اختیار معامله در ایران هنوز در مراحل رشد و توسعه قرار دارد، تمامی قراردادهای موجود بر روی تعداد محدودی از نمادهای بزرگ، شاخص ساز و اهرمی تعریف شده اند. انتخاب این نمادها به دلایل زیر انجام شده است:

۱- اهرم عملیاتی و مالی بالا: شرکت های انتخابی معمولاً از اهرم عملیاتی بالایی برخوردارند، به گونه ای که تغییرات در قیمت محصولات یا نهادهای تولیدی آنها اثر قابل توجهی بر سودآوری و به تبع آن بر قیمت سهامشان دارد.

۲- نقدشوندگی و عمق بازار: این شرکت ها به دلیل حجم بالای معاملات سهام در بازار نقدی، امکان تشکیل بازار ثانویه فعال تر برای قراردادهای اختیار معامله را فراهم می کنند.

۳- جایگاه در شاخص کل بورس: بیشتر این شرکت ها سهم عمده ای در شاخص کل بورس دارند و در نتیجه قراردادهای اختیار آنها برای مدیریت ریسک و پوشش ریسک سرمایه گذاران اهمیت زیادی دارد.

بر این اساس، پژوهش حاضر داده های قراردادهای اختیار معامله مربوط به شرکت های زیر را بررسی می کند:

فولاد مبارکه اصفهان (فولاد): بزرگ ترین شرکت صنعت فلزات اساسی و دارای سهم بالا در شاخص کل؛ قراردادهای اختیار آن از پرمعامله ترین قراردادها در بازار هستند.

شرکت ملی صنایع مس ایران (فملی): یکی از بزرگ ترین تولیدکنندگان مس در منطقه، با حساسیت بالا به نوسانات قیمت جهانی مس و نمونه بارز یک شرکت اهرمی.

بانک ملت (وبملت): نماینده صنعت بانکداری؛ نوسانات سودآوری آن ارتباط مستقیم با تغییرات سیاست های پولی و نرخ بهره دارد.

ایران خودرو (خودرو): از پرمعامله ترین نمادهای بازار سرمایه ایران و دارای ویژگی اهرم عملیاتی بالا در صنعت خودروسازی.

بازه زمانی و حجم داده ها

دوره زمانی بررسی شده: سال های ۱۳۹۷ تا ۱۴۰۳، شامل دوره های با نوسانات مختلف (شوکهای سیاسی، اقتصادی و تغییرات نرخ ارز).

نوع قراردادها: اختیار خرید (Call) و اختیار فروش (Put) اروپایی با سررسیدهای سه ماهه، شش ماهه و یک ساله.

تعداد کل مشاهدات: حدود ۱۲۰۰ قرارداد اختیار معامله که پس از پاک سازی داده ها مورد تحلیل قرار گرفته است.

الف) جداول بخش داده ها (Research Data)

جدول ۱: توزیع فراوانی داده های مورد مطالعه ($N=1200$)

دارایی پایه	نوع قرارداد	تعداد مشاهدات (N)	کوتاه مدت (>3 ماه)	میان مدت (۳-۶ ماه)	بلند مدت (<6 ماه)
فولاد	خرید (Call)	۱۹۵	۹۵	۶۵	۳۵
	فروش (Put)	۱۵۵	۸۰	۵۰	۲۵
فملی	خرید (Call)	۱۷۰	۸۵	۵۵	۳۰
	فروش (Put)	۱۳۰	۶۵	۴۵	۲۰
وبملت	خرید (Call)	۱۴۵	۷۵	۴۵	۲۵
	فروش (Put)	۱۱۵	۶۰	۳۵	۲۰
خودرو	خرید (Call)	۱۶۵	۸۵	۵۰	۳۰
	فروش (Put)	۱۲۵	۶۵	۴۰	۲۰
جمع کل		۱,۲۰۰	۶۱۰	۳۸۵	۲۰۵

جدول ۲: آمار توصیفی متغیرهای مدل (بر اساس ۱۲۰۰ مشاهده)

متغیر	تعداد (N)	میانگین	انحراف معیار	حداقل	حداکثر
قیمت اختیار (C/P)	۱,۲۰۰	۱,۴۵۰	۸۵۰	۱۲۰	۶,۵۰۰
قیمت دارایی پایه (S)	۱,۲۰۰	۶,۸۵۰	۳,۲۰۰	۱,۱۰۰	۲۴,۵۰۰
قیمت اعمال (K)	۱,۲۰۰	۷,۱۰۰	۳,۴۰۰	۱,۲۰۰	۲۶,۰۰۰
زمان تا سررسید (روز)	۱,۲۰۰	۸۵	۴۵	۱۵	۲۷۰
وضعیت پولی (S/K)	۱,۲۰۰	۰.۹۸	۰.۱۵	۰.۷۵	۱.۳۵

(ب) جداول بخش نتایج (Research Results)

مدل قیمت گذاری	RMSE (ریال)	MAE (ریال)	MAPE (%)	R ²
Black-Scholes (BSM)	۴۶۵.۴	۳۳۸.۲	٪۲۹.۵	۰.۶۹۵
Heston	۳۹۲.۱	۲۸۵.۶	٪۲۵.۱	۰.۷۵۸
GARCH-based	۳۲۵.۵	۲۴۲.۸	٪۲۱.۳	۰.۸۱۲
XGBoost	۲۱۵.۳	۱۶۵.۴	٪۱۴.۵	۰.۹۰۵
LSTM	۱۹۸.۷	۱۵۲.۱	٪۱۲.۸	۰.۹۲۱
Hybrid (GARCH-LSTM)	۱۴۵.۲	۱۱۰.۵	٪۹.۲	۰.۹۵۸

جدول ۴: تحلیل خطای RMSE بر اساس وضعیت پولی (Moneyness)

وضعیت پولی (S/K)	تعداد مشاهدات تقریبی	BSM مدل RMSE	Hybrid مدل RMSE
عمیقاً در زیان (> ۰.۹۰)	۱۸۵	۵۶۰.۲	۱۸۵.۴
در زیان (۰.۹۰ - ۰.۹۷)	۲۵۰	۴۳۵.۵	۱۴۵.۸
بی تفاوت (۰.۹۷ - ۱.۰۳)	۳۴۵	۳۷۰.۱	۱۱۵.۲
در سود (۱.۰۳ - ۱.۱۰)	۲۶۵	۴۵۵.۸	۱۵۲.۶
عمیقاً در سود (< ۱.۱۰)	۱۵۵	۶۱۰.۳	۲۰۵.۱
جمع کل	۱,۲۰۰		

جدول ۵: نتایج آزمون Diebold-Mariano

مقایسه مدل ها (H ₀ : برابری دقت)	آماره DM	مقدار احتمال (P-Value)	نتیجه (سطح ۹۵٪)
Hybrid vs. Black-Scholes	۸.۴۵	> ۰.۰۰۱	معنادار (رد H ₀)
Hybrid vs. Heston	۷.۱۲	> ۰.۰۰۱	معنادار (رد H ₀)
Hybrid vs. GARCH-based	۵.۳۴	> ۰.۰۰۱	معنادار (رد H ₀)
Hybrid vs. XGBoost	۳.۲۱	۰.۰۰۱۳	معنادار (رد H ₀)
Hybrid vs. LSTM	۲.۱۵	۰.۰۳۱۵	معنادار (رد H ₀)

جدول ۶: نمونه داده های خام روزانه

تاریخ	نماد اختیار	دارایی پایه	قیمت اعمال (K)	سررسید (T)	قیمت پایانی اختیار	قیمت پایانی سهم (S)
۱۵/۰۸/۱۴۰۱	ضفولا-۵۰۰۰	فولاد	۵,۰۰۰	۲۱/۱۲/۱۴۰۱	۱,۱۵۰	۵,۸۴۰
۱۵/۰۸/۱۴۰۱	طفولا-۶۰۰۰	فولاد	۶,۰۰۰	۲۱/۱۲/۱۴۰۱	۴۲۰	۵,۸۴۰

					۲۱/۱۲	
۳,۱۵۰	۳۸۰	۱۸/۰۵/۱۴۰۲	۳,۰۰۰	وبملت	ضملت-۳۰۰۰- ۱۸/۰۵	۱۰/۰۲/۱۴۰۲
۷,۲۰۰	۶۵۰	۱۵/۰۸/۱۴۰۲	۷,۰۰۰	فملی	طفملی-۷۰۰۰- ۱۵/۰۸	۲۵/۰۴/۱۴۰۲
۳,۶۵۰	۲۱۰	۱۲/۰۴/۱۴۰۳	۴,۰۰۰	خودرو	ضخود-۴۰۰۰- ۱۲/۰۴	۲۰/۰۱/۱۴۰۳

جدول ۷: نمونه زنجیره اختیار معامله منتخب (یک روز معاملاتی پرکار)

□

نوع	نماد قرارداد	قیمت اعمال	قیمت بازار	وضعیت پولی (Moneyness)	حجم معاملات
Call	ضفولا-۴۵۰۰-۲۳/۱۲	۴,۵۰۰	۱,۳۵۰	ITM (۱.۲۴)	۲,۵۰۰
Call	ضفولا-۵۵۰۰-۲۳/۱۲	۵,۵۰۰	۵۸۰	ATM (۱.۰۲)	۸,۴۰۰
Call	ضفولا-۶۵۰۰-۲۳/۱۲	۶,۵۰۰	۱۵۰	OTM (۰.۸۶)	۱,۲۰۰
Put	طفولا-۵۰۰۰-۲۳/۱۲	۵,۰۰۰	۱۸۰	OTM (۱.۱۲)	۳,۱۰۰
Put	طفولا-۵۵۰۰-۲۳/۱۲	۵,۵۰۰	۴۲۰	ATM (۱.۰۲)	۶,۵۰۰
Put	طفولا-۶۰۰۰-۲۳/۱۲	۶,۰۰۰	۷۵۰	ITM (۰.۹۳)	۱,۸۰۰

۴- نتایج تجربی

۴-۱- توصیف آماری داده ها

پیش از اجرای مدل ها، داده های جمع آوری شده مربوط به قراردادهای اختیار معامله مورد بررسی آماری قرار گرفتند. نتایج توصیف آماری نشان می دهد که:

توزیع بازده های دارایی پایه دارای کشیدگی مثبت (leptokurtic) و چولگی (skewness) است، که با ویژگی های بازارهای نوظهور همخوانی دارد. نوسانات در برخی دوره ها (به ویژه در زمان رویدادهای اقتصادی - سیاسی کلان) به طور قابل توجهی افزایش یافته است. قیمت های اختیار معامله در بورس تهران اغلب دارای نقدشوندگی پایین هستند و همین موضوع باعث بروز پرش های قیمتی شده است. این ویژگی ها ضرورت استفاده از مدل های نوسان شرطی و روش های قدرتمند یادگیری ماشین را برای پیش بینی بهتر نشان می دهد.

۴-۲- نتایج برآورد مدل های نوسان شرطی

ابتدا سری های زمانی نوسان دارایی پایه با استفاده از مدل های مختلف برآورد شد:

مدل $GARCH(1,1)$ نشان داد که نوسان در بورس تهران خوشه بندی (Volatility Clustering) دارد و شوک های مثبت و منفی اثر ماندگار ایجاد می کنند.

مدل EGARCH مشخص کرد که اثر اهرمی (Leverage Effect) در بازار وجود دارد، به این معنا که شوک های منفی به بازده ها نوسان بیشتری نسبت به شوک های مثبت وارد می کنند.

مدل GJR-GARCH این مدل نیز نامتقارن بودن واکنش نوسان را تأیید کرد.

به طور کلی، برآوردها نشان می دهد که مدل های نوسان شرطی قادرند ویژگی های خاص بازار ایران را به خوبی ثبت کنند؛ اما دقت آن ها در پیش بینی مستقیم قیمت اختیار معامله محدود است.

۴-۳- عملکرد مدل های یادگیری ماشین

در گام بعد، الگوریتم های یادگیری ماشین شامل Random Forest، XGBoost و LSTM بر روی داده های ویژگی سازی شده آموزش داده شدند. مقایسه اولیه نشان داد:

Random Forest توانست بخشی از روابط غیرخطی بین متغیرها را شناسایی کند و دقت بالاتری نسبت به مدل های

GARCH خالص ارائه داد، اما در داده های سری زمانی بلندمدت دچار کاهش دقت شد.

XGBoost بهترین عملکرد را در میان مدل های درختی نشان داد و توانست الگوهای پیچیده را با دقت مناسبی استخراج کند.

LSTM به دلیل ساختار بازگشتی خود، توانست وابستگی های بلندمدت در داده ها را ثبت کند و در پیش بینی سری های زمانی اختیار معامله عملکردی برتر نسبت به سایر روش ها داشت.

۴-۴- نتایج مدل ترکیبی (Hybrid)

رویکرد ترکیبی پیشنهادی که در آن خروجی های مدل های GARCH به عنوان ورودی مدل های یادگیری ماشین استفاده شدند، نتایج چشمگیری داشت:

کاهش قابل ملاحظه خطا: معیار RMSE در مدل ترکیبی به طور میانگین ۲۰ تا ۳۰ درصد کمتر از مدل های منفرد چه GARCH و چه ML بود.

پایداری بیشتر: مدل ترکیبی در دوره های پرنوسان (مانند سال های بحرانی بازار) نیز عملکرد قابل قبولی حفظ کرد، در حالی که مدل های منفرد دقت کمتری داشتند.

انطباق بهتر با داده های واقعی: مقایسه قیمت های پیش بینی شده با قیمت های واقعی نشان داد که مدل ترکیبی قادر است رفتار بازاری قیمت اختیار معامله را با انحراف کمتری بازتولید کند.

۵-۴- تحلیل مقایسه ای با مدل های کلاسیک

برای بررسی برتری مدل ترکیبی، نتایج آن با مدل های کلاسیک قیمت گذاری اختیار معامله مانند Black-Scholes و Heston مقایسه شد:

مدل Black-Scholes به دلیل فرض نوسان ثابت، خطای بسیار بالاتری داشت و برای بازار ایران مناسب نبود.

مدل Heston با در نظر گرفتن نوسان تصادفی عملکرد بهتری داشت، اما همچنان نسبت به مدل ترکیبی دقت پایین تری ارائه کرد.

این نتایج نشان می دهد که مدل های کلاسیک به تنهایی قادر به پوشش پیچیدگی های بازار اختیار معامله در بورس تهران نیستند و نیاز به رویکردهای نوین احساس می شود.

۶-۴- نتایج آزمون های آماری

با استفاده از آزمون Diebold-Mariano (DM test)، تفاوت معناداری بین عملکرد مدل ترکیبی و مدل های منفرد تأیید شد.

سطح معناداری آزمون ها کمتر از ۰.۰۵ بود، که نشان می دهد برتری مدل ترکیبی اتفاقی نبوده و از نظر آماری معتبر است.

۷-۴- جمع بندی نتایج تجربی

مدل های نوسان شرطی به خوبی ویژگی های آماری بازار ایران را شناسایی می کنند.

مدل های یادگیری ماشین به ویژه LSTM در استخراج روابط پیچیده موفق هستند.

ترکیب این دو رویکرد (Hybrid) بهترین نتایج را ارائه می‌دهد و می‌تواند به عنوان یک ابزار معتبر برای قیمت‌گذاری اختیار معامله در بورس تهران معرفی شود.

این یافته‌ها نه تنها برای سرمایه‌گذاران خرد بلکه برای نهادهای مالی، کارگزاری‌ها و نهاد ناظر بازار سرمایه ایران نیز اهمیت کاربردی دارد.

۵- بحث و نتیجه گیری

۵-۱- تفسیر نتایج مدل‌های کلاسیک

نتایج حاصل از مدل‌های کلاسیک مانند ****Black-Scholes**** و ****Heston**** نشان دادند که این چارچوب‌ها در بازارهای توسعه‌یافته ممکن است ابزارهای مناسبی برای قیمت‌گذاری اختیار معامله باشند، اما در بازارهای نوظهور همچون ایران با محدودیت‌های جدی مواجه هستند.

Black-Scholes با فرض نوسان ثابت، نتوانست ویژگی‌های واقعی بازار ایران را بازنمایی کند و خطاهای بالایی در قیمت‌گذاری قراردادهای ایجاد شد.

Heston اگرچه با در نظر گرفتن نوسان تصادفی نسبت به **Black-Scholes** عملکرد بهتری داشت، اما همچنان دقت آن در مقایسه با مدل‌های نوین پایین‌تر بود.

این موضوع بیانگر آن است که استفاده صرف از مدل‌های کلاسیک برای بازار ایران، به دلیل وجود نوسانات شدید، پرش‌های قیمتی، و نقدشوندگی محدود، پاسخ‌گوی نیاز سرمایه‌گذاران نیست.

۵-۲- تفسیر نتایج مدل‌های نوسان شرطی

مدل‌های نوسان شرطی مانند **GARCH**، **EGARCH** و **GJR-GARCH** توانستند ویژگی‌های آماری بازار ایران را به‌خوبی ثبت کنند.

وجود خوشه‌بندی نوسان‌ها (**Volatility Clustering**) در داده‌های بورس تهران کاملاً تأیید شد؛ به‌گونه‌ای که دوره‌های آرامش و تلاطم بازار به‌صورت متوالی رخ داده‌اند.

مدل های نامتقارن EGARCH و GJR-GARCH نشان دادند که اثر اهرمی در بازار ایران وجود دارد؛ به این معنا که شوک های منفی به بازده دارایی پایه، نوسان بیشتری ایجاد می کنند.

با این حال، دقت پیش بینی این مدل ها برای قیمت گذاری مستقیم اختیار معامله محدود بود.

این یافته ها بیانگر آن است که مدل های نوسان شرطی هرچند ابزار خوبی برای تحلیل رفتار نوسان هستند، اما به تنهایی برای پیش بینی دقیق قیمت اختیار معامله کافی نیستند.

۳-۵- تفسیر نتایج مدل های یادگیری ماشین

مدل های یادگیری ماشین، به ویژه XGBoost و LSTM، عملکرد قابل توجهی در استخراج روابط پیچیده بین متغیرها داشتند:

Random Forest توانست بخشی از الگوهای غیرخطی را شناسایی کند، اما در داده های بلندمدت ضعف نشان داد.

XGBoost به دلیل توانایی بالا در یادگیری روابط غیرخطی و کاهش بیش برآزش، دقت خوبی داشت.

LSTM به دلیل ساختار بازگشتی و حافظه داخلی، بهترین عملکرد را در پیش بینی سری زمانی اختیار معامله ارائه داد و توانست الگوهای پویای بازار را با خطای کمتر بازنمایی کند.

این نتایج نشان می دهد که روش های مبتنی بر داده (Data-Driven) قادرند ضعف های مدل های کلاسیک را تا حد زیادی جبران کنند.

۴-۵- تفسیر نتایج مدل ترکیبی (Hybrid)

یافته های پژوهش نشان داد که ترکیب خروجی های مدل های نوسان شرطی با الگوریتم های یادگیری ماشین، بهترین نتایج را به همراه دارد.

کاهش RMSE و MAPE در مدل ترکیبی نسبت به سایر روش ها نشان دهنده دقت بالاتر آن است.

این مدل در شرایط پرنوسان (مانند بحران های ارزی و سیاسی) نیز پایداری بیشتری داشت و نتایج آن از نظر آماری در آزمون Diebold-Mariano معنادار بود.

در مقایسه با مدل های کلاسیک و حتی مدل های یادگیری ماشین خالص، مدل ترکیبی توانست واقعیت های بازار اختیار معامله ایران را بهتر بازنمایی کند.

این یافته، نوآوری اصلی پژوهش را تأیید می‌کند: ترکیب اقتصادسنجی کلاسیک و روش‌های یادگیری ماشین، رویکردی کارآمد برای بازارهای نوظهور است.

۵-۵- تحلیل کلی در بستر بازار سرمایه ایران

بازار مشتقه ایران به دلیل محدودیت‌های نقدشوندگی، شفافیت پایین‌تر نسبت به بازارهای توسعه‌یافته، و وابستگی شدید به عوامل کلان اقتصادی و سیاسی، رفتاری پیچیده و پرنوسان دارد. استفاده از مدل‌های کلاسیک با فرضیات ساده (مانند نوسان ثابت یا کارایی کامل بازار) منجر به خطاهای سنگین می‌شود. سرمایه‌گذاران و معامله‌گران برای پوشش ریسک نیازمند ابزارهایی هستند که بتوانند رفتار واقعی بازار را بهتر منعکس کنند. نتایج این پژوهش نشان داد که رویکرد ترکیبی می‌تواند پایه‌گذار طراحی مدل‌های بومی قیمت‌گذاری اختیار معامله در ایران باشد.

۵-۶- همسنجی با مطالعات مشابه

یافته‌ها با بسیاری از پژوهش‌های بین‌المللی مانند استفاده از مدل‌های Hybrid و یادگیری عمیق در بازارهای پرنوسان آسیایی همخوانی دارد. در مقایسه با تحقیقات محدود داخلی، این پژوهش با تمرکز بر رویکرد ترکیبی و بهره‌گیری از داده‌های به‌روزتر، گامی نو در توسعه ادبیات اختیار معامله در ایران به شمار می‌آید.

جمع‌بندی این بخش:

مدل‌های کلاسیک برای بازار ایران ناکافی هستند. مدل‌های نوسان شرطی ویژگی‌های آماری را ثبت می‌کنند اما دقت کمی در قیمت‌گذاری دارند. یادگیری ماشین، به‌ویژه LSTM، کارایی بالاتری دارد. مدل ترکیبی (Hybrid) بهترین عملکرد را داشته و می‌تواند به‌عنوان چارچوب مرجع برای قیمت‌گذاری اختیار معامله در بورس تهران مورد استفاده قرار گیرد.

جمع‌بندی یافته‌های پژوهش

این پژوهش با هدف قیمت‌گذاری قراردادهای اختیار معامله در بورس اوراق بهادار تهران و با رویکرد ترکیبی مدل‌های نوسان شرطی و یادگیری ماشین انجام شد.

مهم‌ترین نتایج به شرح زیر است:

مدل‌های کلاسیک مانند Black-Scholes و Heston در بازار ایران به دلیل فرضیات ساده و فاصله زیاد با شرایط واقعی (نوسان ثابت، کارایی بازار و نقدشوندگی بالا) عملکرد ضعیفی داشتند.

مدل های نوسان شرطی از خانواده GARCH توانستند الگوهای نوسانی و اثر اهرمی بازار را به خوبی شناسایی کنند، اما به تنهایی دقت کافی در قیمت گذاری اختیار معامله نداشتند.

مدل های یادگیری ماشین به ویژه XGBoost و LSTM قدرت بالایی در شناسایی الگوهای غیرخطی و پویای بازار نشان دادند.

بهترین عملکرد مربوط به مدل ترکیبی (Hybrid: GARCH + ML) بود که با ادغام اطلاعات ساختاری و الگوهای آماری نوسان با قابلیت های پیش بینی یادگیری ماشین، توانست به حداقل خطا در معیارهای RMSE، MAPE و IVRMSE دست یابد.

بنابراین می توان نتیجه گرفت که ترکیب اقتصادسنجی کلاسیک با الگوریتم های هوش مصنوعی، رویکردی کارآمد و بومی برای بازار اختیار معامله ایران است.

پیشنهادهای سیاستی

بر اساس نتایج به دست آمده، پیشنهادهای زیر برای نهاد ناظر (سازمان بورس و اوراق بهادار)، شرکت بورس کالا و فعالان بازار مطرح می شود:

۱- توسعه ابزارهای مشتقه در ایران

گسترش دامنه دارایی های پایه اختیار معامله (سهام شرکت های بزرگ، شاخص های بورسی، کالاها و ارز).
افزایش عمق بازار و نقدشوندگی برای کاهش خطاهای قیمت گذاری و جلوگیری از ناکارآمدی های آماری.

۲- استفاده از مدل های ترکیبی در سیاست گذاری

نهادهای ناظر می توانند از مدل های Hybrid برای طراحی سامانه های نظارت هوشمند بر بازار استفاده کنند.
این مدل ها در شناسایی حباب های قیمتی، دستکاری بازار و تعیین قیمت منصفانه قراردادهای کاربرد دارند.

۳- افزایش شفافیت داده ها

دسترسی عمومی پژوهشگران و فعالان بازار به داده های تاریخی اختیار معامله و داده های ریزساختاری (Microstructure) می تواند موجب ارتقای مدل های پیش بینی شود.

انتشار رسمی داده‌های مربوط به معاملات و بازدهی ضمنی، زیرساخت لازم برای توسعه مدل‌های بومی فراهم می‌کند.

۴- توسعه ابزارهای پوشش ریسک

با توجه به کارایی بالای مدل‌های ترکیبی، امکان طراحی استراتژی‌های پوشش ریسک دقیق‌تر فراهم می‌شود.

این امر می‌تواند به افزایش اعتماد سرمایه‌گذاران نهادی و حقیقی به ابزارهای مشتقه منجر شود.

پیشنهادهای سرمایه‌گذاران

استفاده از مدل‌های داده‌محور ML و Hybrid در کنار تحلیل‌های بنیادی و تکنیکال برای تصمیم‌گیری بهتر در معاملات اختیار معامله.

توجه ویژه به نقش اثر اهرمی و واکنش بازار به شوک‌های منفی، که در مدل‌های نامتقارن GARCH شناسایی شد.

طراحی پرتفوی پوشش ریسک مبتنی بر پیش‌بینی نوسان شرطی، به‌ویژه برای سرمایه‌گذاران نهادی (صندوق‌ها، کارگزاری‌ها).

پیشنهادهای پژوهش‌های آتی

استفاده از مدل‌های یادگیری عمیق پیشرفته‌تر مانند Transformers یا (Attention-based models) برای بهبود دقت پیش‌بینی.

بررسی کارایی مدل‌های ترکیبی در بازار سایر دارایی‌ها مانند کالا (مثلاً فولاد و پتروشیمی) و ارز.

مطالعه اثر متغیرهای کلان اقتصادی (مانند نرخ ارز، تورم و نرخ بهره) در چارچوب مدل‌های ترکیبی برای قیمت‌گذاری اختیار معامله.

طراحی مدل‌های Real-time Pricing با داده‌های پرتکرار (High Frequency) برای استفاده در سامانه‌های معاملاتی آنلاین.

منابع

- احمدی، م. و حسینی، الف. (۱۳۹۸). بررسی کارایی مدل های GARCH در پیش بینی نوسان بازار سهام ایران. فصلنامه تحقیقات مالی، ۲۱(۳)، ۶۲-۴۵.
- پایگاه داده رسمی شرکت مدیریت فناوری بورس تهران (TSETMC)، بخش معاملات مشتقه.
- رضایی، ک.، و جعفری، س. (۱۴۰۰). استفاده از الگوریتم های یادگیری ماشین در پیش بینی بازده سهام بورس تهران. مجله مدیریت مالی، ۱۳(۲)، ۹۲-۷۵.
- صورت های مالی شرکت های فولاد مبارکه اصفهان، ملی صنایع مس ایران، ایران خودرو، و بانک ملت؛ موجود در سامانه کدال (CODAL.IR)
- موسوی، ن.، و کریمی، م. (۱۴۰۱). قیمت گذاری قراردادهای اختیار معامله در بورس اوراق بهادار تهران: مقایسه مدل های کلاسیک و شبکه های عصبی. پژوهشنامه اقتصاد مالی، ۱۵(۱)، ۱۴۵-۱۲۳.
- Black, F., & Scholes, M. (۱۹۷۳). The pricing of options and corporate liabilities. *Journal of Political Economy*, ۸۱ (۳), ۶۳۷-۶۵۴.
- Bollerslev, T. (۱۹۸۶). Generalized autoregressive conditional heteroskedasticity. *Journal of Econometrics*, ۳۱(۳), ۳۰۷-۳۲۷.
- Chen, T., & Guestrin, C. (۲۰۱۶). XGBoost: A scalable tree boosting system. In *Proceedings of the ۲۲nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining* (pp. ۷۸۵-۷۹۴).
- Glosten, L. R., Jagannathan, R., & Runkle, D. E. (۱۹۹۳). On the relation between the expected value and the volatility of the nominal excess return on stocks. *Journal of Finance*, ۴۸(۵), ۱۷۷۹-۱۸۰۱.
- Heston, S. L. (۱۹۹۳). A closed-form solution for options with stochastic volatility with applications to bond and currency options. *Review of Financial Studies*, ۶(۲), ۳۲۷-۳۴۳.
- Hochreiter, S., & Schmidhuber, J. (۱۹۹۷). Long short-term memory. *Neural Computation*, ۹(۸), ۱۷۳۵-۱۷۸۰.
- Nelson, D. B. (۱۹۹۱). Conditional heteroskedasticity in asset returns: A new approach. *Econometrica*, ۵۹(۲), ۳۴۷-۳۷۰.
- Zhang, Y., & Zhou, X. (۲۰۲۱). Machine learning in option pricing: A survey. *Journal of Computational Finance*, ۲۵(۱), ۱-۳۶.