



فصلنامه راهبرد مدیریت مالی

دانشگاه الزهرا

سال سیزدهم، شماره چهل و نهم، تابستان ۱۴۰۴

صفحات ۷۲-۵۱



### مقاله پژوهشی

بررسی اثربخشی قیمت‌گذاری اوراق اختیار معامله با استفاده از مدل‌های یادگیری ماشین در

مقایسه با مدل بلک شولز<sup>۱</sup>

رضا مهدوی<sup>۲</sup>، اسلام فاخر<sup>۳</sup>، حسنعلی سینایی<sup>۴</sup>

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۱۹

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۰۹

### چکیده

یکی از مشکلات اساسی که سرمایه‌گذاران در بازارهای سرمایه با آن روبه‌رو هستند، بحث مدیریت ریسک است. اوراق اختیار معامله از کاربردی‌ترین ابزار مالی در راستای مدیریت ریسک محسوب می‌شوند. از این رو، شیوه قیمت‌گذاری این اوراق اهمیت ویژه‌ای دارد. با این حال، روابط پیچیده و غیرخطی میان عوامل مؤثر بر قیمت اختیار معامله، مدل‌سازی این روابط را با چالش‌هایی همراه کرده و منجر به استفاده از مفروضات محدودکننده و غیرواقعی در ساخت مدل‌ها شده است. یکی از راهکارهایی که برای حل این مسئله مطرح گردیده، استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین است. الگوریتم‌های یادگیری ماشین محدودیتی در یافتن روابط غیرخطی پیچیده میان متغیرها نداشته و می‌تواند بدون در نظر گرفتن مفروضات غیرواقعی، دست به ساخت مدل‌های موردنیاز بزند. در همین راستا هدف این پژوهش بررسی عملکرد الگوریتم‌های یادگیری ماشین در پیش‌بینی قیمت اوراق اختیار معامله در مقایسه با مدل بلک شولز است. در این پژوهش از ۱۴۴ اوراق اختیار معامله‌ای که از فروردین ۱۳۹۷ تا اردیبهشت ۱۴۰۳ در بورس اوراق بهادار تهران معامله شده‌اند، استفاده شده و به قیمت‌گذاری این اوراق با استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین و مدل بلک شولز پرداخته شده است. برای بررسی عملکرد این مدل‌ها به مقایسه برآورد هر یک از مدل‌ها باقیمت بازار این اوراق پرداخته شده است. این مقایسه با استفاده از معیارهای آماری میانگین خطا مطلق و جذر میانگین مربعات خطا انجام شده است. همچنین، پژوهش حاضر عملکرد الگوریتم‌های یادگیری ماشین و مدل بلک شولز را با در نظر گرفتن دوره قرارداد و ارزندگی اوراق نیز بررسی کرده است. نتایج نشان می‌دهد که الگوریتم‌های یادگیری ماشین در پیش‌بینی قیمت اوراق اختیار معامله نسبت به مدل بلک شولز عملکرد بهتری داشته‌اند. همچنین مقایسه عملکرد مدل‌ها در پیش‌بینی قیمت متناسب با دوره قرارداد و ارزندگی اوراق نیز برتری الگوریتم‌های یادگیری ماشین را تأیید می‌کند. در این میان، الگوریتم تقویت‌گرایان سریع نسبت به سایر مدل‌ها بهترین عملکرد را داشته است.

**واژگان کلیدی:** قیمت‌گذاری اوراق اختیار معامله، مدل بلک شولز، الگوریتم‌های یادگیری ماشین.

**طبقه‌بندی موضوعی:** C52, G17, G12

۱. doi مقاله: 10.22051/jfm.2025.48366.2974

۲. کارشناسی ارشد، مدیریت مالی، دانشکده اقتصاد و علوم اجتماعی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. Email: Re-Mahdavi@stu.scu.ac.ir

۳. استادیار، گروه مدیریت، دانشکده اقتصاد و علوم اجتماعی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. نویسنده مسئول.

Email: e.fakher@scu.ac.ir

۴. استاد، گروه مدیریت، دانشکده اقتصاد و علوم اجتماعی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. Email: h.sinaei@scu.ac.ir

## مقدمه

قیمت‌گذاری درست دارایی‌ها یکی از مسائلی است که می‌تواند تأثیر عمده‌ای بر تصمیم‌های سرمایه‌گذاری بگذارد. یکی از دارایی‌هایی که مسئله قیمت‌گذاری آن با چالش‌های متنوعی مواجه بوده و در سالیان اخیر حجم انبوهی از پژوهش‌های حوزه ریاضیات مالی را به خود اختصاص داده، اوراق اختیار معامله است.

در سالیان اخیر یکی از موضوعاتی که همواره فعالان بازار سرمایه را با چالش مواجه کرده عدم اطمینان از وضعیت آینده بازار است. در این راستا و برای پوشش قسمتی از این ریسک، ابزارهای مالی متنوعی ایجاد و ارائه شده‌اند که یکی از مهم‌ترین آن‌ها اختیار معامله است. با وجود اینکه اختیار معامله به‌تازگی وارد بازار ایران شده است و ابزاری نوپا محسوب می‌شود، به دلیل ماهیت پرریسک بازار ایران، اختیار معامله توانسته حجم زیادی از نقدینگی‌ها را به سمت خود جذب کند. از طرفی یکی از مهم‌ترین عواملی که می‌تواند بر روی تصمیم‌گیری سرمایه‌گذاران در بازار اختیار معاملات تأثیر بگذارد، قیمت‌گذاری اختیار معامله است. قیمت‌گذاری نادرست اختیار معامله می‌تواند تمام تحلیل‌های سرمایه‌گذاران را بی‌تأثیر کرده و یک شکست بزرگ برای سرمایه‌گذار رقم بزند. باین‌وجود و علی‌رغم تمامی تلاش‌هایی که انجام شده است (بایلی و مورانا<sup>۱</sup>، ۲۰۰۹؛ کلارک و دیویگ<sup>۲</sup>، ۲۰۱۱؛ فتحی و هاشمی، ۲۰۲۰؛ رفیعی، حصارزاده و نصیرزاده، ۲۰۲۰)، همچنان نتایج مدل‌های قیمت‌گذاری اختیار معامله با واقعیت فاصله زیادی دارند و جست‌وجو برای یافتن مدلی‌هایی که بتوانند این فاصله را کاهش دهند در حال انجام است.

هدف اصلی این پژوهش بررسی اثربخشی مدل‌های یادگیری ماشینی<sup>۳</sup> در پیش‌بینی قیمت اوراق اختیار معامله در مقایسه با مدل بلک شولز<sup>۴</sup> است. در این راستا داده‌های مربوط به اوراق اختیار معامله به ۴ الگوریتم یادگیری ماشین (ماشین بردار پشتیبان<sup>۵</sup>، تقویت گرادیان سریع<sup>۶</sup>، پرسپترون چندلایه<sup>۷</sup> و حافظه طولانی کوتاه‌مدت<sup>۸</sup>) و مدل بلک شولز داده شده و از آن‌ها خواسته شده که قیمت اوراق اختیار معامله را پیش‌بینی کنند. علاوه بر این، پژوهش حاضر به بررسی عملکرد مدل‌های یادگیری ماشین و مدل بلک شولز در پیش‌بینی قیمت اوراق اختیار معامله متناسب با دوره قرارداد و ارزندگی این اوراق نیز می‌پردازد.

یکی از اساسی‌ترین و پرکاربردترین مدل‌های مالی برای قیمت‌گذاری اختیار معامله اروپایی، مدل بلک شولز است. این مدل بسیار ساده بوده و به راحتی قابل استفاده است (نصرالهی، حدادی و گودرزی، ۱۴۰۲) اما مفروضاتی همچون عدم وجود هزینه‌های معاملاتی، ثبات در نرخ سود بدون ریسک و نرخ تلاطم دارایی

1. Baillie & Morana
2. Clark & Davig
3. Machine learning
4. Black-Scholes
5. Support Vector Machine
6. Extreme Gradient Boosting
7. Multilayer Perceptron
8. Long short-term memory



پایه و عدم تطبیق با توزیع آماری داده‌های قیمت سهام (ابوالی و همکاران، ۱۴۰۰) سبب شده است که مدل بلک شولز صرفاً به‌عنوان یک ابزار تقریب یا یک چارچوب مناسب برای ساخت سایر مدل‌ها استفاده شود (امیری، ۱۳۹۹). در این راستا برای کاهش محدودیت‌های مدل بلک شولز و بهبود آن، محققان تلاش‌های بسیاری انجام داده و مدل‌های متنوعی ارائه کردند (هال و وایت<sup>۱</sup>، ۱۹۸۷؛ ویگینس<sup>۲</sup>، ۱۹۸۷؛ ملینو و ترنبول<sup>۳</sup>، ۱۹۹۰؛ استین<sup>۴</sup>، ۱۹۹۱؛ هستون<sup>۵</sup>، ۱۹۹۳؛ هستون و نندی<sup>۶</sup>، ۲۰۰۰). باین‌حال مدل‌های پیشنهادشده همچنان آن‌قدر سریع و مناسب نیستند که بتوان به‌صورت کارآمد در راستای قیمت‌گذاری اختیار معامله‌ها از آن‌ها استفاده کرد.

امروزه مدل‌های ناپارامتریک به دلیل قدرت محاسباتی بالا و عملکرد مناسبی که دارند، در بسیاری از زمینه‌ها توانسته‌اند جای مدل‌های پارامتریک را گرفته و جایگزین آن‌ها شوند (لین<sup>۷</sup> و همکاران، ۲۰۱۱؛ پاندی<sup>۸</sup> و همکاران، ۲۰۱۳؛ بن، کاروی و لیم<sup>۹</sup>، ۲۰۱۸؛ رازا، احمد و الوی<sup>۱۰</sup>، ۲۰۲۲؛ تانگ<sup>۱۱</sup> و همکاران، ۲۰۲۲). یکی از مفاهیم ناپارامتریکی که می‌توان از آن در راستای قیمت‌گذاری اختیار معامله‌ها استفاده کرد، مفهوم یادگیری ماشین است. مزیت اساسی که الگوریتم‌های یادگیری ماشین در پیش‌بینی قیمت اوراق اختیار معامله نسبت به مدل‌های کلاسیک دارند این است که الگوریتم‌های یادگیری ماشین می‌توانند بدون در نظر گرفتن مفروضات خاص، مدل‌های کارآمدی برای این مسائل ایجاد کنند. این امر می‌تواند نقاط ضعف مدل‌های کلاسیک را در این زمینه پوشش دهد.

این پژوهش به بررسی عملکرد الگوریتم‌های یادگیری ماشین در پیش‌بینی قیمت اوراق اختیار معامله در مقایسه با مدل بلک شولز می‌پردازد. در این راستا پیش‌بینی‌های انجام‌شده مدل‌های یادگیری ماشین و مدل بلک شولز باقیمت‌های واقعی بازار بر اساس معیارهای میانگین خطای مطلق<sup>۱۲</sup> و جذر میانگین مربعات خطا<sup>۱۳</sup> مقایسه شده و خطای هر یک از مدل‌ها محاسبه می‌شود. علاوه بر موارد بیان‌شده در این پژوهش عملکرد این مدل‌ها متناسب با دوره قرارداد و ارزندگی اوراق اختیار معامله نیز مورد بررسی قرار می‌گیرد.

ساختار پژوهش به این صورت است که پس از مقدمه که در بخش اول آمده بود، در بخش دوم مبانی نظری پژوهش مطرح می‌شود. در بخش سوم در راستای بررسی پژوهش‌هایی که در گذشته در این زمینه

1. Hull & White
2. Wiggins
3. Melino & Turnbull
4. Stein
5. Heston
6. Nandi
7. Lin
8. Pandey
9. Ban, El Karoui & Lim
10. Raza, Ahmed & Aloui
11. Tang
12. Mean Absolute Error
13. Root Mean Square Error

انجام شده است، به بررسی پیشینه پژوهش پرداخته می‌شود. در بخش چهارم سؤالات پژوهش و روش‌شناسی پژوهش مورد بررسی قرار می‌گیرد. در بخش پنجم متغیرهای پژوهش و مدل‌های آمده است. در بخش ششم داده‌ها مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و به آزمون فرضیه‌ها پرداخته می‌شود. در بخش پایانی نیز به نتیجه‌گیری و بحث درباره نتایج پژوهش و ارائه پیشنهادها برای پژوهش‌های آتی پرداخته می‌شود.

### مبانی نظری پژوهش

امروزه ابزارهای مشتقه به دلیل هزینه‌های معاملاتی کم و کارایی بالایی که دارند به ابزارهای اساسی برای مدیریت ریسک تبدیل شده‌اند. یکی از مهم‌ترین ابزارهای مشتقه حال حاضر بازار ایران اختیار معامله است. اختیار معامله ابزاری کاربردی برای پوشش خطرات ناشی از نوسانات قیمت در بازار است و به همین دلیل در سالیان اخیر بازار اختیار معامله رونق دوچندانی پیدا کرده است (پارسامنش و همکاران، ۱۴۰۱). در بازارهای مالی دو نوع اختیار معامله شامل اختیار خرید و اختیار فروش وجود دارد: اختیار خرید، قراردادی است که طبق آن خریدار، اختیار (نه اجبار) دارد که دارایی پایه موردنظر را در زمان مشخصی در آینده باقیمت معین خریداری کند. فروشنده در صورت تصمیم خریدار موظف به فروش دارایی پایه خواهد شد. اختیار فروش، قراردادی است که دارنده آن، اختیار (نه اجبار) دارد که دارایی پایه موردنظر را در سررسید باقیمت توافق شده بفروشد. طرف مقابل در صورت استفاده دارنده اختیار فروش، ملزم به خرید دارایی در سررسید خواهد بود (جعفری سرشت، ۱۴۰۱). اوراق اختیار معامله از لحاظ بازدهی به ۳ دسته اختیار معامله در سود، اختیار معامله سربه‌سر و اختیار معامله در زیان تقسیم می‌شوند. اختیار معامله در سود، اختیار معامله‌ای است که فرد خریدار با اعمال آن به سود می‌کند. اختیار معامله سربه‌سر، اختیار معامله‌ای است که فرد خریدار با اعمال آن نه سود می‌کند و نه زیان می‌کند. اختیار معامله در زیان، اختیار معامله‌ای است که فرد خریدار با اعمال آن زیان می‌کند (امیری و همکاران، ۱۳۹۸).

یکی از مسائل مهمی که در حوزه مالی وجود دارد، نحوه ارزش‌گذاری اختیار معامله است. در سالیان اخیر مدل‌های قیمت‌گذاری زیادی جهت ارزش‌گذاری اوراق اختیار معامله مطرح شده‌اند (بیمانی، امیری و سکوت، ۱۴۰۲). در سال ۱۹۷۳ فیشر بلک و مایرون شولز در راستای حل مسئله ارزش‌گذاری اختیار معامله اروپایی، مدل بلک شولز را ارائه کردند. این مدل توانست بازار قیمت‌گذاری اوراق اختیار معامله را با استفاده از دارایی پایه رونق ببخشد، اما با سقوط بازارهای سهام در اکتبر ۱۹۷۸ مدل بلک شولز قدرت خود را از دست داد. با این وجود مدل بلک شولز همچنان به‌عنوان مشهورترین مدل برای ارزش‌گذاری اوراق اختیار معامله اروپایی مطرح می‌شود و به‌عنوان مبنایی برای سایر مدل‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. (دسترنج و همکاران، ۱۳۹۹؛ امیری، ۱۳۹۹).

در مدل بلک شولز ۵ عامل مهم در نحوه قیمت‌گذاری تأثیرگذار هستند. این عوامل عبارت‌اند از قیمت جاری سهم، قیمت اعمال، مدت‌زمان باقیمانده تا سررسید، نوسان‌های قیمت سهم یا شاخص و نرخ بهره بدون ریسک (حدادی و نصرالهی، ۱۴۰۲). در فرمول بلک شولز قیمت اختیار خرید را با  $C$ ، قیمت اختیار فروش را با  $P$ ، قیمت فعلی سهم را با  $S_t$ ، قیمت اعمال اختیار معامله را با  $K$ ، تلاطم تاریخی بازدهی سهم را با  $\sigma$ ، زمان باقیمانده تا سررسید را با  $T$  و نرخ سود بدون ریسک را با  $r$  نشان می‌دهند. رابطه ۱ نحوه

قیمت‌گذاری اوراق اختیار خرید و رابطه ۲ نحوه قیمت‌گذاری اوراق اختیار فروش را نشان می‌دهد (بهرادمهر و طهماسبی، ۱۴۰۱):

$$C = S_0 N(d_1) - Ke^{-rt} N(d_2) \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$P = Ke^{-rt} N(-d_2) - S_0 N(-d_1) \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$d_1 = \frac{\ln\left(\frac{S_0}{K}\right) + \left[r + \frac{1}{2}\sigma^2\right] T}{\sigma\sqrt{T}} \quad \text{رابطه (۳)}$$

$$d_2 = \frac{\ln\left(\frac{S_0}{K}\right) + \left[r - \frac{1}{2}\sigma^2\right] T}{\sigma\sqrt{T}} \quad \text{رابطه (۴)}$$

در رابطه (۱) منظور از  $N(d)$  تابع توزیع تجمعی نرمال استاندارد است (بهرادمهر و طهماسبی، ۱۴۰۱). یکی از مسائل اساسی مدل‌های کلاسیک وجود مفروضاتی است که محدودیت‌هایی را در استفاده از مدل ایجاد کرده و سبب عدم دقت تجربی مدل می‌شود. مدل بلک شولز نیز همانند دیگر مدل‌های کلاسیک مفروضات زیاد و متنوعی دارد. یکی از فرض‌های اساسی مدل بلک شولز این است که قیمت دارایی پایه از یک «گشت تصادفی» پیروی می‌کند و در یک دوره زمانی کوتاه‌مدت، درصد تغییرات قیمت آن دارای توزیع نرمال می‌باشد. فرض گشت تصادفی قیمت‌ها عنوان می‌کند که در هر دوره زمانی آتی، قیمت دارایی دارای توزیع لگاریتم نرمال می‌باشد. پژوهش‌ها نشان داده که فرض ثابت بودن نوسانات در طول عمر اختیار معامله، باعث عدم دقت تجربی مدل می‌شود (هال، ۲۰۱۶).

اخیراً مفهوم یادگیری ماشین که کاربرد زیادی هم در حوزه مالی پیدا کرده، برای حل این مشکلات پیشنهاد شده است (سود<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۲۳). یادگیری ماشین یک سری الگوریتم‌ها و مدل‌های آماری هستند که به سیستم‌های کامپیوتری کمک می‌کنند تا بدون برنامه‌ریزی صریح، ارتباط میان ورودی‌های مدل و خروجی‌های آن را پردازش کرده و بر اساس آن دست به ایجاد یک مدل بزنند. به فرایند خودکار ساخت مدل آموزش و داده‌هایی که برای آموزش این داده‌ها مورداستفاده قرار گرفته‌اند را داده‌های آموزشی می‌گویند (جو<sup>۲</sup>، ۲۰۲۱). یادگیری ماشین به‌طور کلی به سه نوع اصلی تقسیم می‌شود: نظارت‌شده، نظارت‌نشده و تقویتی. در یادگیری نظارت‌شده، مدل تلاش می‌کند تا رابطه بین ویژگی‌های داده‌ها و یک برچسب یا نتیجه خاص را بیابد. به همین دلیل، این روش بیشتر برای پیش‌بینی‌ها و برآوردها استفاده می‌شود. رگرسیون و طبقه‌بندی دودسته اصلی در یادگیری نظارت‌شده هستند. در این پژوهش، از الگوریتم‌های رگرسیون برای مدل‌سازی داده‌ها استفاده می‌شود (کوشا، صیقلی و عباسی، ۱۴۰۳). مدل‌های یادگیری ماشین در استفاده از مبانی ریاضیاتی محدودیتی ندارند. این عامل سبب می‌شود که این مدل‌ها

1. Sood

2. Jo

بتوانند بدون در نظر گرفتن مفروضات خاص، مدل‌هایی بسازند که دقت بالایی در پیش‌بینی قیمت اوراق اختیار معامله داشته باشند (سن، سن و دوتا<sup>۱</sup>، ۲۰۲۲).

### پیشینه پژوهش

اوراق اختیار معامله به تازگی وارد بازار ایران شده است. به همین دلیل پژوهش‌های زیادی روی آن انجام نشده است. با این وجود در این قسمت پژوهش‌هایی ایرانی و خارجی که در این زمینه انجام شده است مورد بررسی قرار می‌گیرد:

سعدایی جهرمی (۱۴۰۲) در پایان‌نامه خود به ارزش‌گذاری اوراق اختیار معامله با استفاده از یادگیری ماشین پرداخته است. برای انجام این مطالعه ۷۱۴۶ داده که شامل ۱۱ نماد و ۹۷ ورقه اختیار معامله می‌باشد، جمع‌آوری شده است. این داده‌های مالی از سایت شرکت مدیریت فناوری بورس تهران جمع‌آوری شده‌اند. در این پژوهش به مقایسه مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل‌های یادگیری ماشین و قیمت اوراق اختیار معامله در بازار بر اساس معیار جذر میانگین مربعات خطا پرداخته شده است. از الگوریتم‌های ماشین بردار پشتیبان، شبکه عصبی و تقویت گرادیان سریع در این پژوهش استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد که الگوریتم تقویت گرادیان سریع بهترین عملکرد را در پیش‌بینی قیمت اوراق اختیار معامله نسبت به دیگر الگوریتم‌های یادگیری ماشین مورد مطالعه و همچنین مدل بلک شولز داشته است. سکوت نوش‌آبادی (۱۴۰۲) در پایان‌نامه خود به مقایسه عملکرد مدل‌های ارزش‌گذاری اوراق اختیار معامله تحت نرخ سود تصادفی در بورس اوراق بهادار تهران پرداخته است. در این پژوهش از داده‌های اختیار معامله‌هایی که از سال ۱۳۹۷ تا آذر ۱۴۰۱ در بورس اوراق بهادار تهران مورد معامله قرار گرفته‌اند استفاده شده است. این داده‌های مالی از سایت شرکت مدیریت فناوری بورس تهران جمع‌آوری شده‌اند. در این پژوهش مقادیر پیش‌بینی شده که از هر یک از مدل‌ها به دست آمده است با قیمت اوراق اختیار معامله در بورس اوراق بهادار مورد مقایسه قرار گرفته است. بر اساس معیار خطای جذر میانگین مربعات و همچنین نتایج رگرسیون برازش شده، مشخص شد که قیمت‌گذاری اوراق اختیار معامله با نرخ سود تصادفی عملکرد بهتری نسبت به مدل بلک شولز داشته است. حدادی و نصرالهی (۱۴۰۲) در پژوهشی به مقایسه قیمت‌گذاری اختیار معامله با تلاطم تصادفی در مدل هستون و هستون ناندی پرداختند. برای انجام این مطالعه از داده‌های مربوط به قیمت سهم ایران خودرو در بازه ۱۳۹۹/۹/۱ تا ۱۴۰۲/۹/۲۳ استفاده شده است. این داده‌های مالی از سایت شرکت مدیریت فناوری بورس تهران جمع‌آوری شده‌اند. در این پژوهش تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آر انجام شده است. پس از قیمت‌گذاری اوراق اختیار معامله توسط هر سه مدل بلک شولز، هستون و هستون ناندی و مقایسه نتایج به دست آمده، مشخص شد که برای ارزش‌گذاری اختیار معامله، مدل هستون ناندی در مقایسه با دو مدل بلک شولز و هستون، در همه حالات کوتاه‌مدت، میان‌مدت و بلندمدت عملکرد بهتری دارد.

سود و همکاران (۲۰۲۳) در پژوهشی به قیمت‌گذاری اوراق اختیار معامله با استفاده از یادگیری ماشین پرداختند. در این پژوهش از داده‌های مربوط به شاخص S&P500 از سال ۲۰۱۸ تا ۲۰۱۹ استفاده شده است. این داده‌های مالی از سایت بورس اوراق بهادار شیکاگو جمع‌آوری شده‌اند. در این پژوهش مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل‌های یادگیری ماشین باقیمت اوراق اختیار معامله در بازار مقایسه شده و بر اساس معیار جذر میانگین مربعات خطا مشخص شد که قیمت‌گذاری اوراق اختیار معامله با استفاده از مدل‌های یادگیری ماشین عملکرد بهتری نسبت به مدل بلک شولز داشته است. زوی و ناس<sup>۱</sup> (۲۰۲۳) در پژوهشی به قیمت‌گذاری اختیار معامله با استفاده از مدل‌های یادگیری عمیق بر اساس شبکه‌های عصبی حافظه طولانی کوتاه‌مدت و واحد بازگشتی گیتی<sup>۲</sup> پرداخته‌اند. در این پژوهش از داده‌های مربوط به بورس لندن از سال ۲۰۲۰ تا ۲۰۲۱ پرداخته شده است. این داده‌های مالی از وبسایت بورس لندن جمع‌آوری شده‌اند. در این پژوهش مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل‌های یادگیری ماشین باقیمت اوراق اختیار معامله در بازار مقایسه شده و بر اساس معیار میانگین مربعات خطا<sup>۳</sup> مشخص شد که قیمت‌گذاری اوراق اختیار معامله با استفاده از مدل‌های یادگیری ماشین عملکرد بهتری نسبت به مدل بلک شولز داشته است. لیو و ژانگ<sup>۴</sup> (۲۰۲۳) در پژوهشی به قیمت‌گذاری اوراق اختیار معامله به وسیله الگوریتم حافظه طولانی کوتاه‌مدت پرداختند. در این پژوهش از داده‌های مربوط به اختیار معامله‌های ETF50 معامله‌شده در بورس اوراق بهادار شانگهای از اکتبر ۲۰۲۰ تا ژوئن ۲۰۲۱ استفاده می‌شود. این داده‌های مالی از وبسایت بورس شانگهای جمع‌آوری شده‌اند. در این پژوهش به مقایسه مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل‌های یادگیری ماشین و قیمت اوراق اختیار معامله در بازار بر اساس معیارهای میانگین مربعات خطا، جذر میانگین مربعات خطا، میانگین خطای مطلق و درصد میانگین خطای مطلق<sup>۵</sup> پرداخته شده است. از الگوریتم‌های شبکه عصبی بازگشتی، حافظه طولانی کوتاه‌مدت، جنگل تصادفی<sup>۶</sup> و ماشین بردار پشتیبان در این پژوهش استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد که حافظه طولانی کوتاه‌مدت بهترین عملکرد را در پیش‌بینی قیمت اوراق اختیار معامله نسبت به دیگر الگوریتم‌های یادگیری ماشین مورد مطالعه و همچنین مدل بلک شولز داشته است. جایارمان، ژو و ربایی<sup>۷</sup> (۲۰۲۲) در پژوهشی به ارزیابی رویکردهای یادگیری ماشین مبتنی بر داده برای قیمت‌گذاری اوراق اختیار معامله پرداختند. در این پژوهش از داده‌های مربوط به ۲۹۵ سهام شاخص S&P500 سال ۲۰۲۲ استفاده شده است. این داده‌های مالی از سایت بورس اوراق بهادار شیکاگو جمع‌آوری شده‌اند. در این پژوهش به

1. Zouaoui & Naas
2. Gated Recurrent Unit
3. Mean squared error
4. Liu & Zhang
5. Mean Absolute Percentage Error
6. Random forest
7. Jayaraman, Zho & Rabaa'i



مقایسه مقادیر پیش بینی شده توسط مدل های یادگیری ماشین و قیمت اوراق اختیار معامله در بازار بر اساس معیار میانگین مربعات خطا پرداخته شده است. از الگوریتم های درخت تصمیم<sup>۱</sup>، شبکه عصبی، جنگل تصادفی و تقویت گرادیان سریع در این پژوهش استفاده شده است. نتایج نشان می دهد که جنگل تصادفی بهترین عملکرد را در پیش بینی قیمت اوراق اختیار معامله نسبت به دیگر الگوریتم های یادگیری ماشین مورد مطالعه و همچنین مدل بلک شولز و مدل هستون داشته است.

بررسی پژوهش های داخلی انجام شده در این حوزه نشان می دهد که با توجه به نوپا بودن بازار اختیار معامله در ایران، موضوع قیمت گذاری اوراق اختیار معامله با استفاده از الگوریتم های یادگیری ماشین به طور شایسته مورد توجه قرار نگرفته و این حوزه ظرفیت پژوهش های بیشتری دارد.

از سوی دیگر، بررسی پژوهش های خارجی نشان می دهد که الگوریتم حافظه طولانی کوتاه مدت یکی از معتبرترین و پرکاربردترین الگوریتم های مورد استفاده در این مطالعات است. با این حال، در پژوهش های داخلی تاکنون از این الگوریتم برای قیمت گذاری اوراق اختیار معامله در ایران استفاده نشده است.

در همین راستا پژوهش حاضر به بررسی اثربخشی قیمت گذاری اوراق اختیار معامله با استفاده از مدل های یادگیری ماشین در مقایسه با مدل بلک شولز پرداخته و از الگوریتم حافظه طولانی کوتاه مدت نیز در این راستا استفاده نموده است.

### پرسش های پژوهش

**پرسش اصلی اول:** عملکرد الگوریتم های یادگیری ماشین در قیمت گذاری اوراق اختیار معامله در مقایسه با مدل بلک شولز چگونه است؟

**پرسش فرعی اول:** عملکرد الگوریتم ماشین بردار پشتیبان در قیمت گذاری اوراق اختیار معامله در مقایسه با مدل بلک شولز چگونه است؟

**پرسش فرعی دوم:** عملکرد الگوریتم تقویت گرادیان در قیمت گذاری اوراق اختیار معامله در مقایسه با مدل بلک شولز چگونه است؟

**پرسش فرعی سوم:** عملکرد الگوریتم پرسپترون چندلایه در قیمت گذاری اوراق اختیار معامله در مقایسه با مدل بلک شولز چگونه است؟

**پرسش فرعی چهارم:** عملکرد الگوریتم حافظه طولانی کوتاه مدت در قیمت گذاری اوراق اختیار معامله در مقایسه با مدل بلک شولز چگونه است؟

**پرسش اصلی دوم:** عملکرد الگوریتم های یادگیری ماشین در قیمت گذاری اوراق اختیار معامله در مقایسه با مدل بلک شولز متناسب با دوره قرارداد اوراق اختیار معامله چگونه است؟

**پرسش اصلی سوم:** عملکرد الگوریتم های یادگیری ماشین در قیمت گذاری اوراق اختیار معامله در مقایسه با مدل بلک شولز متناسب با ارزندگی اوراق اختیار معامله چگونه است؟

## روش‌شناسی پژوهش

جامعه آماری این پژوهش شامل اوراق اختیار معامله‌ای است که از فروردین ۱۳۹۷ تا اردیبهشت ۱۴۰۳ در بورس اوراق بهادار تهران مورد معامله قرار گرفته‌اند. این پژوهش به دنبال مقایسه عملکرد مدل‌های یادگیری ماشین و مدل بلک شولز در قیمت‌گذاری اوراق اختیار معامله در بورس اوراق بهادار تهران خواهد بود. بنابراین باید تاریخچه معاملات این اوراق را دریافت کرد و بر اساس قیمت بازار، خطای مدل‌ها اندازه‌گیری شوند. اما تمامی داده‌ها از قابلیت اتکای لازم برخوردار نیستند. بنابراین باید داده‌هایی انتخاب شوند که از عمق لازم جهت اجرای مدل‌ها برخوردار باشند. در این راستا ۲ فیلتر زیر را در نظر گرفته می‌شود:

۱. تعداد روزهای معاملاتی هر یک از اوراق اختیار معامله باید حداقل برابر با ۵۰ روز باشد.
  ۲. تعداد روزهای معاملاتی نماد حداقل برابر با ۰,۷ تعداد روزهای کل دوره معاملاتی باشد.
- سپس در راستای افزایش قابلیت اتکای مدل ۲ فیلتر دیگر لحاظ می‌شود. داده‌هایی که قیمت بازار آن‌ها کمتر از ۱۰ ریال می‌باشند و همچنین داده‌هایی که سررسید آن‌ها کمتر از ۵ روز می‌باشند، حذف می‌شوند. چراکه قیمت اختیار معامله در این شرایط نوسان بیشتری دارد. در نهایت آزمون با روش خارج از نمونه‌ای انجام می‌شود. به این معنی که مدل با ۸۰ درصد داده‌ها آموزش داده‌شده و با ۲۰ درصد دیگر داده‌ها مورد آزمون قرار می‌گیرد. بعد از اعمال کردن این محدودیت‌ها در مجموع از ۱۴۳۳۷ ردیف داده برگرفته شده از ۱۴۴ اوراق اختیار معامله مربوط به ۱۰ نماد جهش، شتاب، شپنا، فملی، فولاد، های وب، وصادر، خودرو، خساپا، شستا و تجارت برای اجرا کردن مدل و آزمون مدل‌ها استفاده شد. داده‌های مربوط به این پژوهش از سایت شرکت مدیریت فناوری بورس تهران و سایت فرابورس جمع‌آوری شده‌اند.

برای بررسی پرسش اول پژوهش از تمامی داده‌های جمع‌آوری شده استفاده می‌شود. برای بررسی پرسش دوم پژوهش، لازم است داده‌ها بر اساس دوره قرارداد اوراق اختیار معامله دسته‌بندی شوند و سپس نتایج حاصل از پیش‌بینی، باقیمت اوراق اختیار معامله در بازار مقایسه شود. برای بررسی پرسش سوم پژوهش نیز، لازم است داده‌ها بر اساس ارزندگی اوراق اختیار معامله دسته‌بندی شوند و سپس نتایج حاصل از پیش‌بینی، باقیمت اوراق اختیار معامله در بازار مقایسه شود.

در این پژوهش برای قیمت‌گذاری اوراق اختیار معامله از مدل بلک شولز و ۴ مدل یادگیری ماشین تقویت‌گرادیان سریع، ماشین بردار پشتیبان، حافظه طولانی کوتاه‌مدت و پرسپترون چندلایه استفاده می‌شود. در راستای مقایسه پیش‌بینی‌های حاصل از این مدل‌ها از معیارهای آماری میانگین خطا مطلق و جذر میانگین مربعات خطا استفاده شده است. در این پژوهش، پس از مرتب‌سازی داده‌ها و حذف داده‌های پرت، در راستای افزایش بهره‌وری مدل‌ها، داده‌ها به‌صورت استاندارد تبدیل شدند. علاوه بر این، برای دستیابی به نتایج پایدارتر و قابل‌اعتمادتر، از پنجره غلطان<sup>۱</sup> در اجرای مدل‌ها استفاده شد.



در این پژوهش برای مرتب‌سازی و دسته‌بندی داده‌ها از نرم‌افزار اکسل استفاده شده است. تجزیه و تحلیل داده‌ها نیز با استفاده از پایتون انجام شده است.

### متغیرهای پژوهش

متغیرهای این پژوهش همان ورودی‌های مدل بلک شولز هستند که از آن‌ها به‌عنوان ورودی‌های مدل‌های یادگیری ماشین نیز استفاده می‌شود. در مدل بلک شولز ۵ عامل در قیمت‌گذاری اوراق اختیار معامله دخیل هستند. این عوامل عبارت‌اند از: قیمت دارایی پایه، قیمت اعمال، مدت‌زمان باقیمانده تا سررسید، نوسان‌های قیمت دارایی پایه و نرخ بهره بدون ریسک.

**دارایی پایه:** هر دارایی قابل معامله‌ای است که ارزش یک ابزار مشتقه از آن مشتق می‌شود و قیمت دارایی پایه قیمتی است که دارایی پایه با آن در بازار معامله می‌شود (چوی<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۲۲). قیمت دارایی پایه را می‌توان از سایت شرکت مدیریت فناوری بورس تهران استخراج کرد.

**قیمت اعمال:** در اوراق اختیار معامله، قیمتی است که در قرارداد مشخص می‌شود و خریدار اختیار معامله می‌تواند در تاریخ انقضا، دارایی پایه را با این قیمت خریداری یا بفروشد. به عبارت ساده‌تر، قیمت اعمال، قیمتی است که در قرارداد برای خرید یا فروش دارایی پایه تعیین شده است (چادهوری<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۲۰). قیمت اعمال اوراق را می‌توان از سایت شرکت مدیریت فناوری بورس تهران استخراج کرد.

**مدت‌زمان باقیمانده تا سررسید:** نشان می‌دهد که چه مدت‌زمانی تا انقضای قرارداد باقیمانده است و چه زمانی می‌توان قرارداد را اعمال کرد (چوی و همکاران، ۲۰۲۲). این متغیر را نیز همانند دو متغیر قبلی به‌راحتی می‌توان از سایت شرکت مدیریت فناوری بورس تهران استخراج کرد.

**نوسان قیمت دارایی پایه:** به میزان تغییرات قیمت یک دارایی در طول زمان اشاره دارد. به عبارت ساده‌تر، این مفهوم نشان می‌دهد که قیمت یک دارایی تا چه اندازه ممکن است بالا و پایین برود (چادهوری ، ۲۰۲۰). برای محاسبه میزان نوسان‌پذیری باید قیمت دارایی‌های پایه را در روزهای معاملاتی اوراق اختیار معامله جمع‌آوری کرده و برای آن‌ها بازده لگاریتمی محاسبه شود. در گام بعد برای محاسبه میزان نوسان‌پذیری در هرروز، باید انحراف استاندارد بازده لگاریتمی ۳۰ روز قبل قیمت دارایی پایه را با استفاده از نرم‌افزار اکسل به دست آورد.

**نرخ بهره بدون ریسک:** به سودی گفته می‌شود که یک سرمایه‌گذار می‌تواند بدون تحمل هیچ‌گونه ریسکی در طول یک دوره زمانی مشخص به دست آورد. به عبارت ساده‌تر، این نرخ است که شما می‌توانید با سرمایه‌گذاری در یک دارایی کاملاً امن مانند اوراق قرضه دولتی به دست آورید (سلاک و فلوگر<sup>۳</sup>،

1. Choi  
2. Chowdhury  
3. Cieslak & Pflueger

۲۰۲۳). داده‌های نرخ بهره بدون ریسک مربوط به اوراق اختیار معامله نیز از سایت فرابورس جمع‌آوری می‌شوند. باتوجه‌به اینکه در بازار ایران نرخ بهره بدون ریسک دقیقی وجود ندارد، در این پژوهش از نرخ بهره اوراق اخزا با سررسیدهای مشابه با اوراق اختیار معامله استفاده شده است.

## مدل‌ها

### مدل بلک شولز

مدل قیمت‌گذاری بلک شولز یکی از مدل‌هایی بود که توانست تحول عظیمی در بازار مشتقات مالی ایجاد کند. این مدل به‌عنوان یکی از اساسی‌ترین مدل‌های قیمت‌گذاری مشتقات مالی مطرح بوده و همچنین پایه و اساس شکل‌گیری بسیاری از مدل‌های مالی در سالیان گذشته بوده است. در واقع سادگی و آسان بودن محاسبات این مدل، سبب شده بعد از گذشت سالیان طولانی همچنان مورد استفاده قرار بگیرد. علی‌رغم تمام مواردی که گفته شد، مدل بلک شولز ایراداتی دارد که سبب شده نتایج آن با شرایط بازار همخوانی نداشته باشد. مشکلاتی همانند مفروضات مدل، عدم تطبیق با توزیع آماری داده‌های قیمت سهام، فرض بازار کامل، عدم دخالت هزینه معاملات، هزینه نقدشوندگی و عدم کاربرد در قیمت‌گذاری اوراق آمریکایی، بر مدل بلک - شولز مترتب می‌باشند. (ابوالی، ۱۳۹۸ به نقل از بلک و شولز، ۱۹۷۳).

### تقویت گرادیان سریع

تقویت گرادیان سریع یک الگوریتم یادگیری ماشینی قدرتمند است که برای مسائل رگرسیون و طبقه‌بندی به کار می‌رود. این الگوریتم در واقع نسخه بهبودیافته الگوریتم تقویت گرادیان است. در الگوریتم تقویت گرادیان در هر مرحله یک درخت تصمیم به مدل اضافه می‌شود اما در الگوریتم تقویت گرادیان سریع در هر مرحله به‌طور هم‌زمان چندین درخت تصمیم به مدل اضافه می‌شوند. این ویژگی سبب می‌شود تا این الگوریتم بتواند به‌طور مؤثرتری با پیچیدگی‌های غیرخطی در داده‌ها مقابله کند. همچنین الگوریتم تقویت گرادیان سریع نسبت به الگوریتم تقویت گرادیان نیاز به تنظیمات کمتری دارد که این ویژگی کارکردن با این الگوریتم را آسان‌تر می‌کند (ازمی و بالیگا، ۲۰۲۰).

### ماشین بردار پشتیبان

در سال ۱۹۹۵ واپنیک و همکاران یک روش جدید قدرتمند را بر پایه نظریه یادگیری آماری توسعه دادند و آن را ماشین بردار پشتیبان نامیدند. ماشین بردار پشتیبان الگوریتمی قدرتمند در یادگیری ماشین است که برای طبقه‌بندی و رگرسیون به کار می‌رود. این الگوریتم یک نوع الگوریتم یادگیری ماشین

نظارت شده بوده و در دسته یادگیری خطی قرار می‌گیرد. شیوه کار به این صورت است که الگوریتم ماشین بردار پشتیبان سعی می‌کند داده‌ها را به وسیله یک ابرصفحه جداکننده از هم جدا کند. بهترین ابرصفحه‌ای که می‌تواند رسم شود، ابرصفحه‌ای است که بیشترین فاصله را از بردارهای پشتیبان داشته باشد. به فاصله‌ای که میان ابرصفحه و بردارهای پشتیبان وجود دارد، حاشیه می‌گویند. در واقع به طور کلی هدف اصلی ماشین بردار یافتن ابرصفحه‌ای است که بیشترین حاشیه را داشته باشد. (جان<sup>۱</sup>، ۲۰۲۱).

### پرسپترون چندلایه

پرسپترون چندلایه نوعی شبکه عصبی مصنوعی است که برای حل طیف گسترده‌ای از مسائل یادگیری ماشین، از جمله طبقه‌بندی، رگرسیون و پیش‌بینی سری زمانی به کار می‌رود. پرسپترون چندلایه از چندین لایه نرون مصنوعی به هم پیوسته تشکیل شده است که به عنوان پرسپترون نیز شناخته می‌شوند. هر پرسپترون یک تابع فعال‌سازی غیرخطی را برای ترکیب ورودی‌های خود اعمال می‌کند و خروجی خود را به پرسپترون‌های لایه بعدی ارسال می‌کند (عبدالزیام و سلیمان<sup>۲</sup>، ۲۰۲۳).

### حافظه طولانی کوتاه‌مدت

حافظه طولانی کوتاه‌مدت نوعی شبکه عصبی بازگشتی است که برای غلبه بر مشکل محو شدن گرادیان که در شبکه‌های عصبی بازگشتی رایج بود، طراحی شده است. محو شدن گرادیان مشکلی است که در آن، زمانی که شبکه بر روی مجموعه داده‌های بزرگ آموزش داده می‌شود، گرادیان‌ها (پارامترهایی که برای تنظیم وزن اتصالات در شبکه استفاده می‌شوند) به تدریج کوچک‌تر می‌شوند. این امر می‌تواند منجر به مشکلاتی در یادگیری شبکه و رسیدن به بهترین عملکرد شود. حافظه طولانی کوتاه‌مدت با اضافه کردن سلول‌های حافظه به معماری شبکه عصبی بازگشتی، این مشکل را حل می‌کنند. سلول‌های حافظه به الگوریتم حافظه طولانی کوتاه‌مدت اجازه می‌دهد تا اطلاعات را برای مدت طولانی‌تری حفظ کنند و در نتیجه برای یادگیری وابستگی‌های بلندمدت در داده‌ها بسیار مؤثر هستند (بنابو<sup>۳</sup>، ۲۰۲۱).

### تجزیه و تحلیل داده‌ها و آزمون فرضیه‌ها:

#### آمار توصیفی

پارامترهای جمع‌آوری شده شامل قیمت دارایی پایه، زمان باقیمانده تا سررسید، نرخ بهره بدون ریسک، قیمت اعمال و قیمت بازار اوراق اختیار معامله هستند. برای این پارامترها شاخص‌های میانگین، انحراف معیار، کمینه، چارک اول، میانه، چارک سوم و بیشینه اندازه‌گیری می‌شود.

1. Jun
2. Abd-elaziem & Soliman
3. Benabou



### جدول ۱. تحلیل توصیفی متغیرهای پژوهش

| پارامترها                      | میانگین | انحراف معیار | کمینه | چارک اول | چارک سوم | بیشینه |
|--------------------------------|---------|--------------|-------|----------|----------|--------|
| قیمت دارایی پایه               | ۳۵۲۱.۳۰ | ۳۴۲۱.۶۵      | ۳۹۸   | ۱۳۰۴     | ۳۳۴۹     | ۱۵۶۱۰  |
| زمان باقیمانده تا سررسید       | ۰.۴۵    | ۰.۲۷         | ۰.۰۵  | ۰.۲۲     | ۰.۶۸     | ۰.۷۵   |
| نرخ بهره بدون ریسک             | ۰.۲۶    | ۰.۳          | ۰.۱۹  | ۰.۲۴     | ۰.۳۰     | ۰.۳۰   |
| قیمت اعمال                     | ۲۸۲۸.۰۸ | ۲۹۰۴.۳۱      | ۴۰۰   | ۱۱۶۵     | ۲۸۰۰     | ۱۳۷۲۰  |
| قیمت بازار اوراق اختیار معامله | ۹۲۲.۳۸  | ۱۲۸۱.۳۷      | ۱۱    | ۲۵۴      | ۱۰۱۷     | ۸۹۷۷   |

منبع: محاسبات پژوهش

همان‌طور که در جدول نمایش داده شده است کمینه و بیشینه قیمت دارایی پایه برای اوراقی که انتخاب شده است به ترتیب ۳۹۸ ریال و ۱۵۶۱۰ ریال بوده است. همچنین قیمت اعمال برای این اوراق میان ۴۰۰ ریال و ۱۳۷۲۰ ریال بوده است.

### برآورد مدل‌های پژوهش

**پرسش اول:** عملکرد الگوریتم‌های یادگیری ماشین در قیمت‌گذاری اوراق اختیار معامله در مقایسه با مدل بلک شولز چگونه است؟

در راستای بررسی پرسش اول پژوهش باید از کل مجموعه داده‌های پژوهش برای پیش‌بینی قیمت اوراق اختیار معامله با استفاده از مدل بلک شولز و مدل‌های یادگیری ماشین استفاده شود. به منظور مقایسه نتایج به دست آمده از مدل‌ها نیز از معیارهای آماری میانگین خطا مطلق و جذر میانگین مربعات خطا استفاده می‌شود.

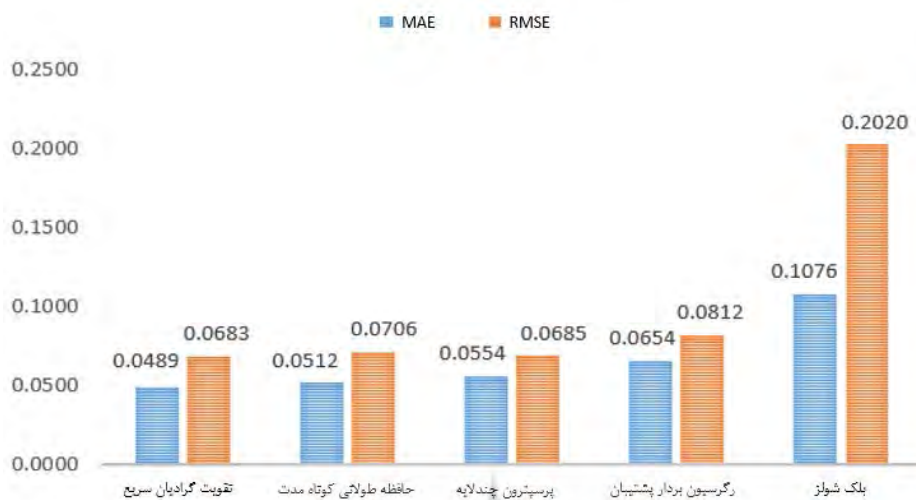
جدول ۲ میزان دقت الگوریتم‌های یادگیری ماشین و مدل بلک شولز در پیش‌بینی قیمت اوراق اختیار معامله را نشان می‌دهد. در این پژوهش از ۴ الگوریتم پرسپترون چندلایه، ماشین بردار پشتیبان، تقویت گرادین سریع و حافظه طولانی کوتاه‌مدت در راستای پیش‌بینی قیمت اوراق اختیار معامله استفاده شده است.

### جدول ۲. بررسی میزان دقت الگوریتم‌های یادگیری ماشین و مدل بلک شولز در پیش‌بینی قیمت اوراق

| اختیار معامله | MAE    | مدل                    |
|---------------|--------|------------------------|
| RMSE          | ۰.۰۴۸۹ | تقویت گرادین سریع      |
| ۰.۰۶۸۳        | ۰.۰۵۱۲ | حافظه طولانی کوتاه‌مدت |
| ۰.۰۶۹۵        | ۰.۰۵۵۴ | پرسپترون چندلایه       |
| ۰.۰۶۸۵        | ۰.۰۶۵۴ | رگرسیون بردار پشتیبان  |
| ۰.۰۸۱۲        | ۰.۱۰۷۶ | بلک شولز               |
| ۰.۲۰۲۰        |        |                        |

منبع: محاسبات پژوهش

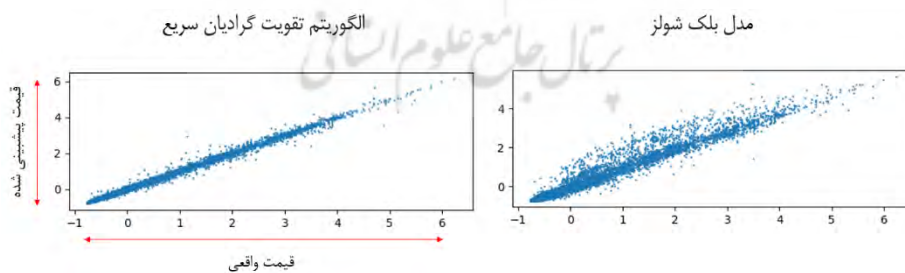
در نمودار ۱ به مقایسه دقت الگوریتم‌های یادگیری ماشین و مدل بلک شولز در پیش‌بینی قیمت اوراق اختیار معامله پرداخته شده است.



**نمودار ۱.** مقایسه دقت الگوریتم‌های یادگیری ماشین و مدل بلک شولوز در پیش‌بینی قیمت اوراق اختیار معامله

همان‌طور که مشاهده می‌شود عملکرد تمامی الگوریتم‌های یادگیری ماشین در پیش‌بینی قیمت اوراق اختیار معامله بهتر از مدل بلک شولوز بوده است. در این میان الگوریتم تقویت گرادیان سریع هم بر اساس معیار میانگین خطای مطلق و هم بر اساس معیار جذر میانگین مربعات خطا، کمترین خطا و بهترین عملکرد را در پیش‌بینی قیمت اوراق اختیار معامله از خود نشان داده است. براین اساس در ادامه به مقایسه عملکرد الگوریتم تقویت گرادیان سریع و مدل بلک شولوز در پیش‌بینی قیمت اوراق اختیار معامله پرداخته می‌شود.

در نمودار ۲ به مقایسه مقادیری که مدل بلک شولوز و الگوریتم تقویت گرادیان سریع پیش‌بینی کرده‌اند با مقادیر واقعی پرداخته شده است.



**نمودار ۲.** مقادیر پیش‌بینی شده در برابر مقادیر واقعی برای مدل بلک شولوز و الگوریتم تقویت گرادیان سریع

همان‌طور که مشاهده می‌شود نمودار الگوریتم تقویت گرادیان سریع نسبت به مدل بلک شولز بسیار خطی‌تر بوده که این نشان‌دهنده دقت بالاتر این الگوریتم نسبت به مدل بلک شولز است. پرسش دوم: عملکرد الگوریتم‌های یادگیری ماشین در قیمت‌گذاری اوراق اختیار معامله در مقایسه با مدل بلک شولز متناسب با دوره قرارداد اوراق اختیار معامله چگونه است؟ برای بررسی پرسش دوم پژوهش باید در ابتدا داده‌ها را دسته‌بندی کرد. براین اساس اوراق اختیار معامله متناسب با دوره قرارداد به دودسته اوراق کوتاه‌مدت و اوراق بلندمدت تقسیم می‌شوند. باتوجه‌به اینکه در بازار ایران اوراق اختیار معامله به دودسته اوراق ۶ماهه و ۱۲ماهه تقسیم می‌شوند، در این پژوهش اوراق ۶ماهه به‌عنوان اوراق کوتاه‌مدت و اوراق ۱۲ماهه به‌عنوان اوراق بلندمدت در نظر گرفته می‌شوند. میزان دقت الگوریتم‌های یادگیری ماشین و مدل بلک شولز در پیش‌بینی قیمت اوراق اختیار معامله کوتاه‌مدت و بلندمدت به شکل زیر است:

### جدول ۳. مقایسه میزان دقت الگوریتم‌های یادگیری ماشین و مدل بلک شولز در پیش‌بینی قیمت اوراق

| اختیار معامله کوتاه‌مدت و بلندمدت |        | مدل                    | دوره قرارداد |
|-----------------------------------|--------|------------------------|--------------|
| RMSE                              | MAE    | تقویت گرادیان سریع     | دوره قرارداد |
| ۰.۰۷۶۴                            | ۰.۰۵۲۷ | حافظه طولانی کوتاه‌مدت |              |
| ۰.۱۰۴۹                            | ۰.۰۷۲۴ | پرسپترون چندلایه       | کوتاه‌مدت    |
| ۰.۱۱۹۵                            | ۰.۰۸۴۲ | ماشین بردار پشتیبان    |              |
| ۰.۱۳۰۸                            | ۰.۰۹۸۴ | بلک شولز               | بلندمدت      |
| ۰.۲۱۷۴                            | ۰.۱۱۵۵ | تقویت گرادیان سریع     |              |
| ۰.۰۶۴۲                            | ۰.۰۳۶۰ | حافظه طولانی کوتاه‌مدت | بلندمدت      |
| ۰.۰۶۹۲                            | ۰.۰۴۵۲ | پرسپترون چندلایه       |              |
| ۰.۰۸۱۳                            | ۰.۰۵۷۲ | ماشین بردار پشتیبان    | بلندمدت      |
| ۰.۰۹۳۶                            | ۰.۰۵۸۴ | بلک شولز               |              |
| ۰.۱۸۳۹                            | ۰.۰۹۱۵ |                        |              |

منبع: محاسبات پژوهش

همان‌طور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود الگوریتم تقویت گرادیان سریع خطای کمتر و عملکرد بهتری نسبت به مدل بلک شولز در پیش‌بینی قیمت اوراق اختیار معامله متناسب با دوره قرارداد اوراق اختیار معامله از خود نشان داده است. نکته قابل‌تأمل در این قسمت این است که الگوریتم‌های یادگیری ماشین و مدل بلک شولز خطای کمتری در پیش‌بینی قیمت اوراق اختیار معامله بلندمدت از خود نشان داده‌اند و این بدان معناست که این مدل‌ها قیمت اوراق اختیار معامله بلندمدت را نسبت به اوراق اختیار معامله کوتاه‌مدت، با دقت بهتری می‌توانند پیش‌بینی کنند.

پرسش اصلی سوم: عملکرد الگوریتم‌های یادگیری ماشین در قیمت‌گذاری اوراق اختیار معامله در مقایسه با مدل بلک شولز متناسب با ارزندگی اوراق اختیار معامله چگونه است؟  
 برای بررسی پرسش دوم پژوهش باید در ابتدا داده‌ها را دسته‌بندی کرد. براین اساس اوراق اختیار معامله از نظر ارزندگی به سه دسته در سود، به قیمت و در زیان تقسیم می‌شوند. در داده‌های مورد بررسی قرار گرفته تعداد اوراق به قیمت بسیار کم بوده و به همین دلیل در این بخش مورد تحلیل قرار نگرفته‌اند. بنابراین در این پژوهش داده‌ها از نظر ارزندگی به دودسته در سود و در زیان تقسیم شده‌اند. میزان دقت الگوریتم‌های یادگیری ماشین و مدل بلک شولز در پیش‌بینی قیمت اوراق اختیار معامله در سود و در زیان به شکل زیر است:

**جدول ۴.** مقایسه میزان دقت الگوریتم‌های یادگیری ماشین و مدل بلک شولز در پیش‌بینی قیمت اوراق

| اختیار در سود و در زیان |        | مدل                    | دوره قرارداد |
|-------------------------|--------|------------------------|--------------|
| RMSE                    | MAE    | تقویت گرادیان سریع     | در سود       |
| ۰.۰۷۴۳                  | ۰.۰۵۰۲ | حافظه طولانی کوتاه‌مدت |              |
| ۰.۰۹۷۹                  | ۰.۰۶۵۲ | پرسپترون چندلایه       |              |
| ۰.۰۹۶۵                  | ۰.۰۶۶۷ | ماشین بردار پشتیبان    |              |
| ۰.۱۱۵۰                  | ۰.۰۷۴۱ | بلک شولز               | در زیان      |
| ۰.۲۰۹۱                  | ۰.۱۱۲۲ | تقویت گرادیان سریع     |              |
| ۰.۰۸۸۴                  | ۰.۰۵۸۲ | حافظه طولانی کوتاه‌مدت |              |
| ۰.۱۱۷۷                  | ۰.۰۸۲۹ | پرسپترون چندلایه       |              |
| ۰.۱۹۵۴                  | ۰.۱۳۴۸ | ماشین بردار پشتیبان    |              |
| ۰.۲۰۵۲                  | ۰.۱۳۲۴ | بلک شولز               |              |
| ۰.۶۰۴۵                  | ۰.۳۳۰۴ |                        |              |

منبع: محاسبات پژوهش

همان‌طور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود الگوریتم تقویت گرادیان سریع خطای کمتر و عملکرد بهتری نسبت به مدل بلک شولز در پیش‌بینی قیمت اوراق اختیار معامله متناسب با ارزندگی اوراق اختیار معامله از خود نشان داده است. نکته قابل‌تأمل در این قسمت این است که الگوریتم‌های یادگیری ماشین و مدل بلک شولز خطای کمتری در پیش‌بینی قیمت اوراق اختیار معامله در سود از خود نشان داده‌اند و این بدان معناست که این مدل‌ها قیمت اوراق اختیار معامله در سود را نسبت به اوراق اختیار معامله در زیان، بادقت بهتری می‌توانند پیش‌بینی کنند.

### بحث و نتیجه‌گیری

یکی از عوامل کلیدی در توسعه اقتصادی کشورها، بازارهای مالی است. گسترش بازارهای مالی و افزایش تنوع ابزارها و اوراق موجود در این بازارها می‌تواند منجر به جذب بیشتر سرمایه‌ها و در نهایت به توسعه اقتصادی کمک کند. از جمله ابزارهای مالی جذاب برای سرمایه‌گذاران، اوراق اختیار معامله است که

باهداف مدیریت ریسک به بازارهای مالی معرفی شده‌اند. بنابراین، قیمت‌گذاری صحیح این اوراق از اهمیت ویژه‌ای برای سرمایه‌گذاران برخوردار است. در حال حاضر یکی از اساسی‌ترین مدل‌هایی که در بازارهای مالی برای قیمت‌گذاری اوراق اختیار معامله از آن استفاده می‌شود، مدل بلک شولز است. اما مدل بلک شولز مفروضات محدودکننده زیادی داشته که سبب عدم دقت تجربی مدل می‌شود. در این پژوهش از مدل‌های یادگیری ماشین برای حل این مشکل استفاده شده است. دلیل این امر این است که مدل‌های یادگیری ماشین در استفاده از مبانی ریاضیاتی محدودیتی نداشته و می‌توانند بدون در نظر گرفتن مفروضات خاص، مدل‌هایی بسازند که دقت بالایی در پیش‌بینی قیمت اوراق اختیار معامله داشته باشند.

در این پژوهش، برای بررسی اثربخشی قیمت‌گذاری اوراق اختیار معامله با استفاده از مدل‌های یادگیری ماشین در مقایسه با مدل بلک شولز، از داده‌های مربوط به ۱۴۴ اختیار معامله استفاده شد که در بازه زمانی فروردین ۱۳۹۷ تا اردیبهشت ۱۴۰۳ در بورس اوراق بهادار تهران مورد معامله قرار گرفته‌اند. بررسی پرسش اول و پرسش‌های فرعی آن نشان داد که تمامی الگوریتم‌های یادگیری ماشین استفاده شده در این پژوهش، عملکرد بهتری نسبت به مدل بلک شولز از خود نشان دادند که این امر تأیید کننده برتری الگوریتم‌های یادگیری ماشین نسبت به مدل بلک شولز در پیش‌بینی قیمت اوراق اختیار معامله است. در راستای بررسی عملکرد مدل‌ها متناسب با دوره قرارداد اوراق و ارزندگی آن‌ها، پرسش‌های دوم و سوم نیز مطرح گردید. نتایج بررسی پرسش دوم نشان می‌دهد که الگوریتم‌های یادگیری ماشین، هم در اوراق کوتاه‌مدت و هم در اوراق بلندمدت، خطای کمتری نسبت به مدل بلک شولز داشته و عملکرد بهتری ارائه می‌دهند. همچنین، یافته دیگر این بخش نشان می‌دهد که تمامی مدل‌ها (اعم از یادگیری ماشین و بلک شولز) قیمت اوراق بلندمدت را با دقت بیشتری نسبت به اوراق کوتاه‌مدت پیش‌بینی می‌کنند. نتایج پرسش سوم نیز حاکی از عملکرد بهتری الگوریتم‌های یادگیری ماشین نسبت به مدل بلک شولز بود چراکه این الگوریتم‌ها هم در اوراق در سود و هم در اوراق در زیان عملکرد بهتری را از خود نشان دادند. بررسی نتایج نیز نشان می‌دهد که تمامی مدل‌ها قیمت اوراق در سود را با دقت بیشتری نسبت به اوراق در زیان محاسبه می‌کنند.

باتوجه به نوپا بودن بازار اختیار معاملات در ایران تا به حال پژوهش‌های محدودی در این زمینه انجام گرفته است. بررسی‌های انجام گرفته نشان داد که تاکنون صرفاً یک پژوهش در ایران (سعدایی جهرمی، ۱۴۰۲) به قیمت‌گذاری اوراق اختیار معامله با استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین پرداخته است. مقایسه میان نتایج حاصل از پژوهش حاضر و پژوهش سعدایی جهرمی (۱۴۰۲) نشان داد که نتایج پژوهش حاضر با نتایج این پژوهش با یکدیگر تطابق دارند. همچنین جست‌وجو میان پژوهش‌های خارجی نیز نشان داد که نتایج پژوهش حاضر با نتایج پژوهش‌های سود و همکاران (۲۰۲۳)، زوای و ناس (۲۰۲۳)، لیو و ژانگ (۲۰۲۳) و جایارمان، ژو و ربایی (۲۰۲۲) تطابق دارد.

گفتنی است که می‌توان از دیگر الگوریتم‌های یادگیری ماشین مثل شبکه عصبی واحد بازگشتی گیتی و جنگل تصادفی نیز برای قیمت‌گذاری اوراق اختیار معامله استفاده کرد و به مقایسه دقت آن الگوریتم‌ها با دقت الگوریتم تقویت گرادیان سریع پرداخت تا بتوان الگوریتم‌های کارآمدتری را برای پیش‌بینی قیمت اوراق اختیار معامله در بازار بورس ایران شناسایی کرد.

همانند سایر پژوهش‌ها، این پژوهش نیز با محدودیت‌هایی مواجه بوده است که بر نتایج آن تأثیر گذاشته‌اند. موارد زیر به‌عنوان مهم‌ترین محدودیت‌های این پژوهش قابل ذکر هستند:

۱. عمق کم بازار اختیار معامله، به‌عنوان یک محدودیت ذاتی، بر قابلیت نمونه‌گیری و انتخاب اوراق اختیار معامله تأثیر گذاشته است. این محدودیت، امکان بررسی جامع و متنوع اوراق اختیار معامله را در این پژوهش کاهش داده است.
۲. بسیاری از اوراق اختیار معامله در بازار بورس تهران به دلیل قیمت توافقی نامناسب، دارای روزهای معاملاتی بسیار کمی بوده یا در بعضی موارد هیچ‌گونه روز معاملاتی نداشتند. این امر سبب می‌شود که قابلیت استفاده از این اوراق برای انجام این پژوهش وجود نداشته باشد.
۳. پایگاه اطلاعاتی مناسبی که بتوان تمام اطلاعات مربوط به اوراق اختیار معامله را به‌صورت یک جا از آن استخراج کرد وجود ندارد و به دلیل پراکندگی زیاد اطلاعات موردنیاز، محقق مجبور است برای دستیابی به اطلاعات کامل، به منابع متعددی مراجعه کند.

#### ملاحظات اخلاقی

حامی مالی: مقاله حامی مالی ندارد.  
 مشارکت نویسندگان: تمامی نویسندگان در نوشتن مقاله مشارکت داشته‌اند.  
 تعارض منافع: بنابر اظهار نویسندگان در این مقاله هیچ‌گونه تعارض منافی وجود ندارند.  
 تعهد کپی‌رایت: طبق تعهد نویسندگان حق کپی‌رایت رعایت شده است.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی  
 پرتال جامع علوم انسانی



## References

- Abd-elaziem, A. H; & Soliman, T. H. (2023). A Multi-Layer Perceptron (MLP) Neural Networks for Stellar Classification: A Review of Methods and Results. *International Journal of Advances in Applied Computational Intelligence*, 3(10): 54216.
- Abvali, M; Khaliliaraghi, M; Hasanabadi, H; & Yaghoobnezhad, A. (2019). Optional trading pricing with a new analytic method for the Black Scholes equation. *Financial Management Strategy*, 7(3), 135-155. (In Persian)
- Abvali, M, Khaliliaraghi, M, Hasanabadi, H, & Yaghobnezhad, A. (2021). Option pricing by Nikivorou-Ovarov differential resolution method. *Journal of Securities Exchange*, 14(55 ), 118-137. (In Persian)
- Amiri, M. (2020). Option Pricing Under Black– Scholes, Boness and Binomial Tree Models-Evidence from the Gold Coin Option Contracts in Iran Mercantile Exchange. *Journal of Securities Exchange*, 13(50 ), 141-170. (In Persian)
- Amiri, M; Mirzapourbabajan, A; & Akbari Moghaddam, B. (2019). Profitability analysis of trading strategies in the options market (Case study: Gold options contracts in the Iran Commodity Exchange). *Knowledge Investment*, 8(30), 93-114. (In Persian)
- Azmi, S. S; & Baliga, S. (2020). An overview of boosting decision tree algorithms utilizing AdaBoost and XGBoost boosting strategies. *Int. Res. J. Eng. Technol*, 7(5): 6867-6870.
- Baillie, R. T. & Morana, C. (2009). Modelling long memory and structural breaks in conditional variances: An adaptive FIGARCH approach. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 33(8):. 1577-1592.
- Ban, G. Y; El Karoui, N; & Lim, A. E. (2018). Machine learning and portfolio optimization. *Management Science*, 64(3), 1136-1154.
- Behradmehr, N; & Tahmasebi, N. (2022). Pricing of gold options contracts in the Iran Commodity Exchange: Black-Scholes model and bid-ask spread. *Financial Economics (Financial Economics and Development)*, 16(3), 69-91. (In Persian)
- Benabou, L. (2021). Development of LSTM networks for predicting viscoplasticity with effects of deformation, strain rate, and temperature history. *Journal of Applied Mechanics*, 88(7): 071008.
- Black, F; & Scholes, M. (1973). The pricing of options and corporate liabilities. *Journal of political economy*, 81(3), 637-654.
- Choi, J; Kwak, M; Tee, C. W; & Wang, Y. (2022). A Black–Scholes user's guide to the Bachelier model. *Journal of Futures Markets*, 42(5): 959-980.
- Chowdhury, R; Mahdy, M. R. C; Alam, T. N; Al Quaderi, G. D; & Rahman, M. A. (2020). Predicting the stock price of frontier markets using machine learning and modified Black–Scholes Option pricing model. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 555, 124444.

Cieslak, A; & Pflueger, C. (2023). Inflation and asset returns. *Annual Review of Financial Economics*, 15(1), 433-448.

Clark, T. E. & Davig, T. (2011). Decomposing the declining volatility of long-term inflation expectations. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 35(7): 981-999.

Dastranj, E; Sahebi Fard, H; Abdolbaghi Ataabadi, A; Hejazi, S. R; & Motamednezhad, A. (2020). Power option pricing Under Heston model (Evidences of Tehran stock exchange). *Journal of Investment Knowledge*, 9(33), 241-257. (In Persian)

Fathi, S. & Hashemi, S. H. S. (2020). The Effect of Selective Macroeconomic Variables on the Options Market Efficiency; Meta-Analysis of the Violation of Options Arbitrage Restrictions. *Journal of Financial Management Perspective*, (30): 81-98.

Hadadi, M. R; & Nasrallahi, H. (2023). Comparing option pricing with stochastic volatility in Heston and Heston-Nandi models. *Financial Research*, 25(4), 577-595. (In Persian)

Heston, S. L. (1993). A closed-form solution for options with stochastic volatility with applications to bond and currency options. *The review of financial*

Heston, S. L. & Nandi, S. (2000). A closed-form GARCH option valuation model. *The review of financial studies*, 13(3): 585-625.

Hull, J. & White, A. (1987). The pricing of options on assets with stochastic volatilities. *The journal of finance*, 42(2): 281-300.

Hull, J. C. & Basu, S. (2016). Options, futures, and other derivatives. *Pearson Education India*.

Jafari Sarasht, D. (2022). Option contracts. *Encyclopedia of Economics*, 5(1), -. (In Persian)

Jayaraman, J. D; Zhu, X; & Rabaa'i, A. A. (2022). An Evaluation of Data Driven Machine Learning Approaches to Option Pricing. *Proceedings of the Northeast Business & Economics Association*, 45-48.

Jo, T. (2021). Machine learning foundations. Machine Learning Foundations. *Springer Nature Switzerland AG*.

Jun, Z. (2021). The development and application of support vector machine. *In Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1748, No. 5, p. 052006). IOP Publishing.

Koosha, E; Seighaly, M; & Abbasi, E. (2024). Comparing the Performance of Algorithmic Trading Systems based on Machine Learning in the Cryptocurrency Market. *Financial Management Strategy*, 12(1):161-190.

Lin, W. Y; Hu, Y. H; & Tsai, C. F. (2011). Machine learning in financial crisis prediction: a survey. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)*, 42(4), 421-436.

Liu, Y; & Zhang, X. (2023). Option pricing using lstm: A perspective of realized skewness. *Mathematics*, 11(2): 314.

Melino, A. & Turnbull, S. M. (1990). Pricing foreign currency options with stochastic volatility. *Journal of econometrics*, 45(1-2): 239-265.

Nasrollahi, H; Haddadi, M. R; & Goudarzi, M. (2023). Generalized Black-Scholes Model under Garch Volatility with Conditional value-at-risk Calculation in Derivative Pricing. *Financial Management Strategy*, 11(4), 51-70.

Pandey, T. N; Jagadev, A. K; Choudhury, D; & Dehuri, S. (2013). Machine learning-based classifiers ensemble for credit risk assessment. *International Journal of Electronic Finance*, 7(3-4), 227-249.

Parsemanesh, F; Masoudi, N; Vakilzadeh Dizaji, R; & Gharibeh, A. (2022). Effects of option contracts in Iranian and French law. *Iranian Journal of Political Sociology*, 5(2), 871-897. (In Persian)

Peymany, M; Amiri, M; & Sokout, S. M. (2023). Option Pricing Using Stochastic Interest Rate in Tehran Stock Exchange. *Journal of Financial Management Perspective*, 13(41), 91-115. (In Persian)

Rafiee, M. Hesarzadeh, R; & Nasirzadeh, F. (2020). The impact of Tedan system analytical reports on the informational efficiency of Tehran Stock Exchange. *Journal of Financial Management Perspective*, 10(32): 109-130.

Raza, S. A. Ahmed, M; & Aloui, C. (2022). On the asymmetrical connectedness between cryptocurrencies and foreign exchange markets: Evidence from the nonparametric quantile on quantile approach. *Research in International Business and Finance*, 61: 101627.

Saadai Jahromi, S. (2023). Option pricing using machine learning. Master's thesis, Allameh Tabataba'i University, Tehran, Iran. (In Persian)

Sekoot Noshabady, M. (2023). Comparing the performance of option pricing models under stochastic interest rates in Tehran Stock Exchange. Master's thesis, Allameh Tabataba'i University, Tehran, Iran. (In Persian)

Sen, J; Sen, R; & Dutta, A. (2022). Introductory chapter: machine learning in finance-emerging trends and challenges. *Algorithms, Models and Applications*, 1.

Sood, S. Jain, T. Batra, N. & Taneja, H. C. (2023, February). Black-Scholes option pricing using machine learning. *In Proceedings of International Conference on Data Science and Applications: ICDSA 2022*, Volume 1 (pp. 481-493). Singapore: Springer Nature Singapore.

Stein, E. M. & Stein, J. C. (1991). Stock price distributions with stochastic volatility: an analytic approach. *The review of financial studies*, 4(4): 727-752.

Tang, Y. Song, Z. Zhu, Y. Yuan, H. Hou, M; Ji, J. & Li, J. (2022). A survey on machine learning models for financial time series forecasting. *Neurocomputing*, 512: 363-380.

Wiggins, J. B. (1987). Option values under stochastic volatility: Theory and empirical estimates. *Journal of financial economics*, 19(2): 351-372.

Zouaoui, H. & Naas, M. N. (2023). Option pricing using deep learning approach based on LSTM-GRU neural networks: Case of London stock exchange. *Data Science in Finance and Economics*, 3(3): 267-284.

#### COPYRIGHTS



This license allows others to download the works and share them with others as long as they credit them, but they can't change them in any way or use them commercially.

