Archive of SID

International Journal of Industrial Engineering & Production Management (2017)

September 2017, Volume 28, Number 1
Pp 87- 99

http://IJIEPM.iust.ac.ir/

Development a New Hybrid Modeling Approach for European Option Pricing

Ali Mohamad Kimiagari*, Ehsan Haji Zadeh, Hosein Dastkhan & Majid Ramezani

Ali Mohamad Kimiagari, *Industrial Engineering Faculty,.Amir Kabir University of Technology*
Ehsan Haji Zadeh, *Industrial Engineering Faculty,.Amir Kabir University of Technology*
Hosein Dastkhan, *Industrial Engineering Faculty,.Amir Kabir University of Technology*
Majid Ramezani, *Industrial Engineering Faculty, Shahab Danesh University*

Keywords

Option pricing,
GARCH-type models,
Black-Scholes model,
Non-parametric models.

ABSTRACT

One of the important risk management tools in financial markets, is financial derivatives. In this study, we investigate the problem of European option pricing. The most key input to option pricing models is volatility. For accurate modeling of volatility, we use three famous GARCH type models including GARCH, EGARCH, GJR-GARCH. With using the results of the best GARCH-type model, we develop two non-parametric models based on Neural Networks and Neuro-Fuzzy Networks to price call options for S&P 500 index. We compare the obtained results with those of Black-Scholes model and show that the Black-Scholes model in not appropriate for at-the-money options. Furthermore, by comparing the Neural Network and Neuro-Fuzzy approaches with Black-Scholes model, we observe that the accuracy of non-parametric models are better than the Black-Scholes model.

© 2017 IUST Publication, IJIEPM Vol. 28, No. 1, All Rights Reserved

www.SID.ir

Archive of SID

نشـــریه بین المللـــی مهنـــدسی صنـــایع و مدیـــریت تولیـــد

شمـــاره ۱، جلـــد ۲۸، بهار ۱۳۹۶

صفحـــه ۸۸-۹۹

ISSN: 2008-4870

http://IJIEPM.iust.ac.ir/

ارائه یک مدل ترکیبی جدید به منظور قیمت گذاری قراردادهای اختیار اروپایی

علی محمد کیمیاگری*، احسان حاجی زاده، حسین دستخوان و مجید رمضانی

کلمات کلیدی

قیمت‌گذاری اختیار معامله، مدل های سری زمانی گارچ، مدل بلک‌شولز، مدل‌های ناپارامتری.

چکیده:

امروزه در بازارهای معتبر مالی در سراسر دنیا، از قراردادهای اختیار معامله به عنوان یکی از ابزارهای مهم در مدیریت ریسک سرمایه‌گذاری استفاده می‌شود. در این پژوهش مسئله قیمت‌گذاری قراردادهای اختیار از نوع اروپایی مورد بررسی قرار می‌گیرد. نوسانات بازده شاخص یکی از پارامترهای مؤثر در قیمت‌گذاری اختیار معامله محسوب می‌شود. به منظور محاسبه دقیق نوسانات بازده، از سه مدل سری زمانی گارچ شامل مدل‌های GARCH، EGARCH و GJR-GARCH استفاده می‌شود. خروجی بهترین این مدل‌ها، به عنوان ورودی مدل بلک شولز و مدل‌های ناپارامتری (شبکه های عصبی مصنوعی و عصبی فازی) برای قیمت‌گذاری اختیار معامله قرار می‌گیرد. برای پیاده سازی مدل های پیشنهادی از داده‌های واقعی قراردادهای اختیار روی شاخص اس اند پی ۵۰۰ که از نوع قراردادهای اختیار اروپایی است، استفاده شده است. مقایسه نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که مدل بلک‌شولز برای قیمت‌گذاری اختیار معاملات شاخص اس اند پی ۵۰۰ به خصوص زمانی که قیمت توافقی نزدیک به قیمت شاخص باشد. همچنین با مقایسه مدل‌های ارائه شده بر اساس شبکه های عصبی و عصبی فازی با مدل بلک شولز، می‌توان دریافت که دقت مدل‌های ناپارامتری به مراتب بهتر از مدل بلک شولز است.

۱. مقدمه

نوسانات و عدم اطمینان موجود از وضعیت آینده در بازارهای مالی باعث زیان‌های شدید به بازیگران اقتصادی و حتی خروج آنها از بازار و عدم رقابت سایرین به ورود به این عرصه شده است. به منظور پاسخ گویی به این مسئله بازار، انواع مشتقات مالی طراحی شده است. قیمت‌گذاری اختیار معاملات، یکی از انواع اوراق مشتقه قدیمی و معروف در حوزه‌ی مسائل مالی می باشد. از آنجائیکه اختیار، هزینه پایین‌تری در مقایسه با خود سهم دارد، به عنوان یک ابزار قدرتمند در معاملات به کار گرفته می‌شود و تا حد بسیار بالایی ریسک را کاهش داده و در نتیجه درآمد را افزایش می‌دهد. یکی از پارامترهای مهمی که تأثیر فراوانی در قیمت‌گذاری اختیار معاملات دارد، نوسانات بازده سهم می‌باشد، لذا مدل‌سازی و تخمین مناسب این پارامتر به عنوان یکی از مسائل مهم در حوزه مالی مطرح است. در این تحقیق نیز با توجه به اهمیت موضوع و نقش مدیریت ریسک در تصمیم گیری های مالی، دو مسئله مدل سازی نوسانات بازده شاخص سهام و قیمت گذاری اختیار معامله مورد توجه قرار می گیرد.

تاریخ وصول: ۹۳/۰۸/۰۳

تاریخ تصویب: ۹۴/۰۲/۰۹

***نویسنده مسئول مقاله: علی محمد کیمیاگری**، دانشکده مهندسی صنایع و مدیریت سیستم ها، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران.

kimiagar@aut.ac.ir

احسان حاجی زاده، دانشکده مهندسی صنایع و مدیریت سیستم ها، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران.

حسین دستخوان، دانشکده مهندسی صنایع و مدیریت سیستم ها، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران.

مجید رمضانی، گروه مهندسی صنایع، موسسه آموزش عالی شهاب دانش، قم، ایران.

www.SID.ir

Archive of SID

۲. پیشینه پژوهش

تاکنون پژوهش‌های زیادی در دو حوزه مدل‌سازی نوسانات و قیمت‌گذاری اختیار انجام گرفته است.

یاو[i] و همکاران (۲۰۰۰) از شبکه‌های عصبی بازگشتی برای پیش‌بینی قیمت اختیار معاملات شاخص نیکی ۲۲۵[ii] استفاده کردند. نتایج آنها نشان داد، در بازارهایی با نوسان شدید، مدل قیمت‌گذاری بر اساس شبکه های عصبی بهتر از مدل بلک شولز عمل می‌کند. همچنین، آنها به این نتیجه رسیدند که مدل بلک شولز در قیمت‌گذاری اختیار معاملاتی که قیمت تعیین شده در قرارداد با قیمت فعلی شاخص برابر باشد، جواب‌های قابل قبولی ارائه می‌دهد. آنها همچنین روش نوسانات تاریخی را برای تخمین نوسانات بازده به‌کار بردند.

ونگ[iii] (۲۰۰۹) در پژوهش خود، مدل ترکیبی جدیدی را برای قیمت گذاری اختیار معاملات پیشنهاد داد. او در واقع از ارائه‌ی مدل خود دو هدف را دنبال می‌کند:

۱- ارائه‌ی یک مدل جدید برای نوسانات قیمت بازار سهام به شرطی که اثرات نامتقارنی که بر قیمت وارد می شود را پوشش دهد. برای این منظور آنها مدل Grey-GJR-GARCH را ارائه کردند تا خطاهای غیرخطی و تصادفی موجود را کاهش داده و قدرت پیش‌بینی را برای معاملات اختیار افزایش دهد.

۲- ترکیب مدل Grey-GJR-GARCH با شبکه های عصبی مصنوعی (با توجه به قابلیت انعطاف پذیری آن) برای پوشش روابط غیر خطی بین داده های مالی موجود.

استفاده از این مدل جدید، قدرت پیش‌بینی را به طور چشمگیری افزایش و خطاهای موجود را کاهش داد.

حمید و اقبال[iv] (۲۰۰۴) ، شبکه های عصبی را پیش بینی نوسانات شاخص S&P 500 به کار بردند. آنها نتایج مدل خود را با مدل نوسانات ضمنی BAM مقایسه کردند. نتایج آنها نشان داد که مدل حاصله از شبکه های عصبی به عنوان مدلی مناسب برای این زمینه کاربرد می تواند به کار رود.

مورلیا[v] و همکاران (۲۰۰۴)، شبکه‌های عصبی را برای قیمت گذاری اختیار معاملات در بازار بورس یونان به کار بردند. آنها مدل خود را در دو نوع معامله اختیار اروپایی و آمریکایی آزمایش کرده و نتایج آن نشان داد که در صورت آموزش دقیق شبکه، پیش بینی با دقت بالا و در مدت زمان معقول حاصل خواهد شد.

چنگ[vi] و وی[vii] (۲۰۰۹) برای پیش‌بینی و مدل‌سازی نوسانات قیمت شاخص TAIEX مدلی جدید مبتنی بر روش یادگیری تطبیقی ارائه کردند. در واقع آنها در مدل خود، نوسانات شاخص TAIEX را به طور معناداری متأثر از شاخص‌های مطرح بازار مانند NASDAQ و Dow Jones در نظر گرفته و برای مدل‌سازی آن از تغییرات شاخص‌های مطرح بازار استفاده کردند. آنها به این نتیجه رسیدند که مدل ارائه شده از سایر مدل‌های مطرح در پیش‌بینی بازار بورس تایوان جواب بهتری را ارائه می‌کند.

خالوزاده و همکاران (۱۳۷۸)، با استفاده از تحلیل غیرخطی بر روی قیمت سهام یکی از شرکت‌ها در بازار بورس تهران، ماهیت فرآیند مربوط به سری زمانی قیمت آن شرکت را مشخص کردند. دیدگاه مورد مطالعه در تحقیق آنها، براساس نظریه‌ی آشوب است و نشان می‌دهند که رفتار فرآیند مربوط به سری زمانی قیمت سهام مورد مطالعه رفتاری آشوبگرانه‌ی ضعیف است، تمایز این‌گونه رفتار با رفتار تصادفی، پیش‌بینی رفتار سهم را ممکن می‌سازد.

ابونوری و موتمنی (۱۳۸۵)، بررسی همزمان اثر اهرمی و بازخورد نوسانات در بازار سهام تهران را مورد بررسی قرار دادند و نشان دادند که وجود اثر اهرمی با توجه به داده‌های شاخص کل بازار رد نمی‌شود؛ به عبارت دیگر، کاهش بازده موجب افزایش نوسانات در این بازار می‌شود.

اصفهانیان و امین ناصری (۱۳۸۷) به ارائه یک مدل شبکه عصبی به منظور پیش بینی کوتاه مدت قیمت نفت خام پرداختند. در فرایند توسعه این مدل تاثیر انواع متغیرهای فنی و بنیادی، پیش پردازش مناسب داده ها، انواع الگوریتم‌های یادگیری بهبود یافته و انواع شبکه بررسی شده است.

در این تحقیق سعی بر آن است تا سه مدل سری زمانی گارچ که در ادبیات موضوع کاربردی بیشتری داشته است را روی داده های شاخص اس اند پی ۵۰۰ پیاده سازی کرده و نوسانات حاصل از مدل ارجح را با تخمین تاخیر زمانی بهینه به عنوان ورودی برای مدل های بلک – شولز و مدل های ارائه شده بر اساس شبکه های عصبی و عصبی فازی در نظر گرفت. نوآوری مقاله را می توان از دو منظر دانست: از منظر اول، ما سه مدل سری زمانی گارچ را روی داده های واقعی تست می‌کنیم. در تحقیقات گذشته عموماً Lag در نظر گرفته شده برای مدل GARCH (۱و۱) بوده است که در این تحقیق Lag بهینه با استفاده از شاخص های AIC و BIC محاسبه شده است. همچنین لازم به ذکر است کار جمع آوری داده در ارتباط با قیمت گذاری اختیار معامله کاری بسیار دشوار است و داد های این تحقیق به صورت روزانه و در طول یکسال جمع آوری شده است و بر اساس شاخص moneyness (نزدیکی قیمت اعمال قرارداد با قیمت دارایی) به سه بخش تقسیم شده است. از منظر دوم، می توان به ترکیب مدل های GARCH و مدل های ناپارامتری در قیمت گذاری اختیار معامله که در برگیرنده شرایط واقعی در سری های زمانی مالی نیز هست، اشاره نمود. همچنین مدل ANFIS در قیمت گذاری اختیار معامله که تا به حال به کار گرفته نشده است، در این تحقیق به کار گرفته شده و نتایج آن با مدل شبکه عصبی مقایسه می‌شود.

www.SID.ir

Archive of SID

۳. روش‌شناسی پژوهش

قراردادهای اختیار واقعی نوعی از قراردادهای مدیریت ریسک است که در تولید و زنجیره تامین نیز استفاده می‌شود (نصوحی و ملاوردی، ۲۰۱۱). علاوه بر این نوع از قراردادها، دو نوع اختیار معامله در بازار بورس وجود دارد که در ادامه بیان می‌شود (Jiang, 2005):

قرارداد اختیار فروش[viii]: این قرارداد به دارنده‌ی آن، حق فروش یک دارایی در تاریخ معین و با قیمت مشخص را می دهد.

قرارداد اختیار خرید[ix]: این قرارداد به دارنده‌ی آن، این حق را می دهد تا دارایی را در تاریخ معینی و با قیمت مشخصی خریداری نماید.

پنج عامل مهمی که قیمت اختیار معامله را تحت تأثیر قرار می دهند عبارتند از:

۱. قیمت جاری سهم یا شاخص[x] (S)،
۲. قیمت توافقی[xi] (X)،
۳. مدت زمان باقی‌مانده تا سررسید[xii] (T)،
۴. نوسانات قیمت سهم یا شاخص[xiii] (σ)،
۵. نرخ بهره بدون ریسک[xiv] (r).

اگر این شاخص در محدوده‌ی $1-\alpha \le S/X \le 1+\alpha$ قرار گیرد، اختیار معامله در حالتی قرار می گیرد که قیمت توافقی نزدیک به قیمت فعلی شاخص (At-the-money option) است .

اگر این شاخص در محدوده‌ی $S/X > 1+\alpha$ قرار گیرد، اختیار معامله در حالتی قرار می گیرد که قیمت توافقی کمتر از قیمت فعلی شاخص (In-the-money option) است.

اگر این شاخص در محدوده‌ی $S/X < 1+\alpha$ قرار گیرد، اختیار معامله در حالتی قرار می گیرد که قیمت توافقی بیشتر از قیمت فعلی شاخص (Out-of-the-money option) است.

مدل قیمت‌گذاری اختیار معامله

بلک، شولز و مرتون گام بزرگی در قیمت گذاری اوراق اختیار معامله برداشتند. نتیجه کار آنها ارائه مدلی بود که تحت عنوان «مدل بلک – شولز» معروف گشت (Black & Scholes, 1973). معادلات مدل بلک-شولز برای قیمت اختیار خرید معامله (C) از نوع اروپایی که سود سهامی پرداخت نمی‌کنند، عبارت است از:

$$C = S_0 N(d_1) - X e^{-rT} N(d_2) \qquad (۱)$$

که d_1 و d_2 از روابط زیر به‌دست می‌آید:

$$d_1 = \frac{\ln(\frac{S_0}{X}) + (r + \frac{\sigma^2}{2})T}{\sigma\sqrt{T}} \qquad (۲)$$

$$d_2 = \frac{\ln(\frac{S_0}{X}) + (r - \frac{\sigma^2}{2})T}{\sigma\sqrt{T}} = d_1 - \sigma\sqrt{T} \qquad (۳)$$

که در معادلات بالا، $N(x)$ تابع توزیع احتمالی تجمعی یک متغیر با توزیع نرمال استاندارد است.

مدل‌سازی نوسانات قیمت

کاربرد اغلب ابزارهای اقتصادسنجی سری‌های زمانی برای مدل‌سازی میانگین شرطی متغیرهای تصادفی است؛ در حالی‌که اغلب تئوری‌های اقتصادی برای کار با واریانس شرطی یا نوسانات یک فرآیند طراحی شده است. نوسانات بازارهای مالی، محققان را به ایجاد مدل‌های کاربردی برای اندازه‌گیری و پیش‌بینی نوسانات بازده سهام و شاخص قیمت بازار بورس متمایل کرده است. دسته‌ی مهمی از این مدل‌ها، مدل‌های گارچ هستند.

در بررسی داده‌های سری زمانی معمولاً فرض ثابت بودن واریانس طی زمان را در نظر می گیرند، اما در عمل واریانس در دوره‌های مختلف ثابت نیست. برای حل مشکل واریانس ناثابت، یا باید داده‌ها را به نحوی تبدیل کرد تا همگنی واریانس حاصل شود یا از مدل‌هایی استفاده شود که پذیرای ناهمگنی در واریانس باشند. یک خانواده معروف از این مدل‌ها، خانواده مدل‌های مشروط به ناهمگنی واریانس می باشد که در زمینه‌های مختلفی همچون اقتصاد، فیزیک، نظریه‌های مدارهای الکتریکی و غیره بسیار مفید شناخته شده‌اند. این مدل‌ها اتورگرسیو شرطی با پراکندگی متغیر نامیده می‌شوند.

یکی از بهبودهایی که در زمینه مدل‌سازی نوسانات انجام شد، ارائه مدل‌های ARCH[xv] توسط انگل[xvi] بود (Engle, 1982). اولین کاربرد این مدل برای مدل‌سازی تورم انگلستان بود و تا به حال این مدل، برای مدل‌سازی بسیاری از داده‌های مالی و اقتصادی کشورهای مختلف به کار رفته است. توسعه این مدل منجر به کسب جایزه نوبل اقتصاد برای انگل شد. انگل در آنالیز مدل های مربوط به تورم به این نکته دست یافت که خطاهای بزرگ و کوچک پیش‌بینی در خوشه‌ها قرار می گیرند و از مفهوم واریانس شرطی در مدل‌سازی نوسانات استفاده کرد. نتیجه‌ی این تحقیقات منجر به ایجاد مدل ARCH شد.

بولرسلو[xvii] با بسط مدل ARCH اولیه، مدل GARCH[xviii] را ایجاد کرد. نوآوری این مدل نسبت به مدل اولیه ARCH این است که به واریانس های شرطی گذشته اجازه داده شد تا در معادلات ۴ تا ۷ وارد شوند. مدل نهایی GARCH را می توان به صورت زیر نوشت:

www.SID.ir

Archive of SID

$$\sigma_t^2 = K + \sum_{i=1}^{p} G_i \sigma_{t-i}^2 + \sum_{i=1}^{q} A_i \varepsilon_{t-i}^2 \quad (۴)$$

$$\sum_{i=1}^{p} G_i + \sum_{j=1}^{q} A_i < 1 \quad (۵)$$

$$K > 0 \quad (۶)$$

$$G_i \geq 0 \;\; i = 1,2,..., p \qquad A_i \geq 0 \;\; i = 1,2,..., q \quad (۷)$$

یکی از جاهایی که این مدل به کار گرفته شد و نتایج قابل توجهی به دست آمد، مشاهدات تجربی بلک بود. مدل EGARCH با قاعده بودن این آزمایشات را از طریق ساختن تخمین واریانس شرطی به عنوان تابعی از اندازه و علامت مقادیر باقی مانده پس افت آشکار می سازد. بر خلاف مدل خطی GARCH(p, q)، این مدل محدودیتی روی پارامترهای A_i و G_i برای تضمین غیر منفی بودن واریانس شرطی، نمی گذارد. عبارت بالا، به ε_i اجازه می دهد تا مقادیر مثبت و منفی به خود بگیرد تا اثرات متفاوت آن روی نوسانات قیمت در نظر گرفته شود. این مدل یک مدل نا متقارن است زیرا عبارت $\varepsilon_{t-i}/\sigma_{t-i}^{2\,1/2}$ به دلیل ضریب L_i پشت آن قرار می گیرد، ماهیتی منفی به خود می گیرد و عموماً شک های مثبت نوسانات کمتری نسبت به شک های منفی ایجاد می کند.

مدل دیگری که برای پوشش اثرات اهرمی و شک‌های نامتقارن به‌وجود آمد، مدل GJR[xx] است که در سال ۱۹۹۳ میلادی توسط گلوستن [xxi] و همکاران، به وجود آمد (Glosten, Jagannathan & Runkle, 1993). مدل GJR(p,q) را می‌توان به صورت زیر نمایش داد:

$$\sigma_t^2 = k + \sum_{i=1}^{p} G_i \sigma_{t-i}^2 + \sum_{j=1}^{q} A_j \varepsilon_{t-i}^2 + \sum_{j=1}^{q} L_j S_{t-j} \varepsilon_{t-j}^2 \quad (۹)$$

مشروط بر آن که:

$$\sum_{i=1}^{p} G_i + \sum_{j=1}^{q} A_j + \frac{1}{2}\sum_{j=1}^{q} L_j < 1 \quad (۱۰)$$

$$K > 0, \quad G_i \geq 0, \;\; A_j \geq 0, \;\; A_j + L_J \geq 0 \quad (۱۱)$$

همچنین در معادله S_{t-j} تابع علامت است و اگر $\varepsilon_{t-j} < 0$ باشد، آنگاه مقدار یک و در غیر اینصورت مقدار صفر به خود می‌گیرد.

مدل EGARCH[xix] (Exponential GARCH) برای اولین بار توسط نلسون و کائو ارائه شد (Nelson & Cao, 1992) . یکی از دلایلی که موجب به وجود آمدن این مدل شد، وجود اثرات اهرمی در داده‌های مالی است. مدل EGARCH با عبارت زیر نشان داده می شود:

$$\log \sigma_t^2 = K + \sum_{i=1}^{p} G_i \log \sigma_{t-i}^2 + \sum_{i=1}^{q} A_i \left|\varepsilon_{t-i}\right| / \sigma_{t-i}^{2\,1/2} + \sum_{i=1}^{q} L_i \varepsilon_{t-i} / \sigma_{t-i}^{2\,1/2} \quad (۸)$$

در این مقاله، برای تخمین پارامترهای مدل‌های گارچ، تابع درستنمایی (Maximum likelihood function) برای متغیر $\varepsilon_t = \sigma_t Z_t$ که یک متغیر تصادفی مستقل و معین است، تعریف می‌شود.

در اینجا، به دلیل اینکه تابع توزیع ε_t نرمال فرض شده است و از تابع لگاریتمی درستنمایی (Log-Likelihood Function) استفاده می شود. تابع LLF طبق رابطه زیر خواهد بود:

$$' = -\frac{T}{2}\log(2\pi) - \frac{1}{2}\sum_{t=1}^{T}\log\sigma_t^2 - \frac{1}{2}\sum_{t=1}^{T}\varepsilon_t^2\sigma_t^2 \quad \text{رابطه (۱۲)}$$

با جایگزینی رابطه‌ی $\varepsilon_t = Y_t - C - \sum_{i=1}^{R}\phi_i Y_{t-i} - \sum_{j=1}^{M}\theta_j\varepsilon_{t-j}$ و با توجه به رابطه بازگشتی σ_t^2 رابطه‌ی LLF تابعی از پارامترهای مدل خواهد بود که به صورت یک مسأله بهینه‌سازی غیرخطی با محدودیت، می‌توان آن را حل نمود. یکی از روش‌هایی که برای انتخاب و مقایسه‌ی مدل‌های گارچ به‌کار می رود، استفاده از معیارهای اطلاعاتی آکایک (AIC) و اطلاعاتی بیزی (BIC) است که به‌ترتیب توسط آکایک [xxii] و شواتز [xxiii] ارائه شده است (Akaike, 1974. & Schwarz, 1978). با توجه به این معیارها، مدل‌هایی که دارای مقادیر منفی‌تری باشند، ارجحیت بیشتری دارند و مقادیر آنها برای مقایسه بین مدل‌های مختلف به‌کار می‌رود.

پیاده‌سازی مدل‌های گارچ

قبل از وارد شدن به مبحث پیاده‌سازی مدل‌های گارچ، آزمون‌هایی باید روی داده‌های مورد نظر صورت گیرد تا مناسب بودن مدل‌های مذکور برای پیاده‌سازی روی آن داده‌ها را تصدیق کند. یکی از فرضیاتی که در مدل Black-Scholes وجود دارد

www.SID.ir

Archive of SID

این است که تغییرات رفتار بین قیمت ها و مشاهدات را مستقل از هم فرض نموده و فرض می کند که از تابع توزیع نرمال پیروی می کنند. اما در واقع در اکثر داده ها و سری های زمانی مالی نوعی همبستگی بین رفتار مشاهدات وجود دارد که برای مدلسازی این همبستگی (خاصیت autoregressive) از مدل های گارچ می‌شود.

یکی از روش‌هایی که برای این منظور انجام می‌شود، استفاده از توابع خود همبستگی و خودهمبستگی جزئی است. رابطه‌ی تابع خود همبستگی xxi v (ACF) به صورت رابطه‌ی زیر نمایش داده می‌شود:

$$= \frac{\sum_{i=1}^{n-k}(z_i-\bar{z})(z_{i+k}-\bar{z})}{\sum_{i=1}^{n}(z_i-\bar{z})^2} \qquad -1 \le \rho_k \le 1 \qquad (۱۳)$$

ρ_k : مقدار تابع خودهمبستگی سری زمانی با تأخیر k

z_i و z_{i+k} : مقادیر متغیرها یا داده‌های سری زمانی در مرحله زمانی i و مرحله با تأخیر زمانی k

$\bar{z}$: مقدار میانگین مربوط به متغیرها

تابع دیگری که برای شناخت وابستگی زمانی در ساختار یک سری زمانی، به کار می‌رود، تابع خودهمبستگی جزئی xxv (PACF) می‌باشد. اگر ϕ_k تابع خودهمبستگی جزئی سری زمانی با تأخیر k باشد، رابطه‌ی تابع خودهمبستگی جزئی (PACF) به صورت رابطه نشان داده می‌شود:

$$\phi_k(k) = \frac{\rho_k - \sum_{i=1}^{k-1}\phi_i(k-1)\rho_{k-1}}{1-\sum_{i=1}^{k-1}\phi_i(k-1)\rho_i} \qquad (۱۴)$$

ϕ_k: مقدار تابع خودهمبستگی جزئی سری زمانی با تأخیر k

اعتبارسنجی مدل‌های گارچ

یکی از معیارهایی که برای سنجیدن قدرت پیش‌بینی مدل‌های گارچ استفاده می‌شود، استفاده از نوسانات تحقق‌یافته xxvi است (Pezzo & Uberti, 2006. Yao, Li & Tan, 2000. Sharma, 1998). در واقع، مقدار نوسانات تحقق یافته، از طریق معادله‌ی انحراف معیار که با توجه به مقادیر آتی داده‌ها محاسبه شده، مشخص محاسبه می‌شود. مقدار این شاخص از طریق رابطه‌ی زیر به‌دست می‌آید:

$$RSD_t = \left[\frac{\sum_{j=t}^{t+n}(R_j-\bar{R})^2}{n}\right]^{1/2} \qquad (۱۵)$$

که در رابطه‌ی بالا، R_j، بازده سهم یا شاخص در دوره‌ی j ام و n، تعداد دوره‌ی پیش‌بینی است.

۴. مدل ارائه شده

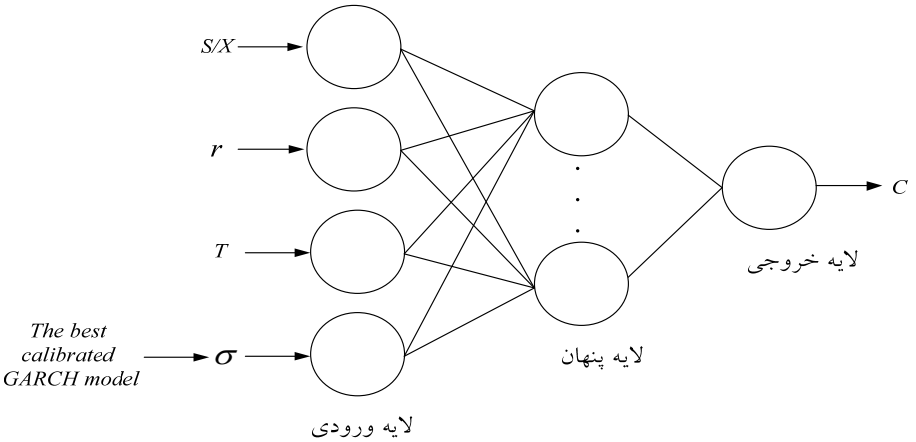
همانطور که اشاره شد، این تحقیق به توسعه ی مدلی جدید در قیمت گذاری اختیار معاملات می پردازد. در تحقیقات گذشته، داده‌های ورودی برای آموزش شبکه به اشکال مختلفی به شبکه داده شده‌اند. کی xxvi i و همکاران (۱۹۹۶)، ورودی‌های شبکه را به شکل (S,r,T,X,σ) برای قیمت‌گذاری اختیار معاملات S&P 500 انتخاب کردند. مسیحی و امرائی (۱۳۸۸) نیز با به کارگیری تبدیل موجک، الگوی همزمان به الگوهای منفرد تشکیل دهنده تفکیک شده و در ادامه با به کارگیری تحلیل مولفه های اصلی در کنار یک شبکه عصبی احتمالی نوع الگوها را مشخص کردند. در تحقیقی دیگر، لجبسیاجیر xxvi i i و همکاران (۱۹۹۵)، مجموعه $(S/X, r, T, \sigma)$ را به عنوان ورودی برای قیمت‌گذاری اختیار معاملات SPI 200 انتخاب کردند. در این تحقیق هر دو شکل ورودی مورد آزمایش قرار گرفت و به علت خطای کمتر و یادگیری بهتر شبکه، ورودی‌های مناسب به شکل $(S/X, r, T, \sigma)$ انتخاب شده است. شکل ۱ ساختار کلی شبکه عصبی را به‌ازای ورودی و خروجی‌های مشخص شده برای قیمت‌گذاری اختیار معامله نشان می‌دهد. تمام داده ها غیر از نوسانات بازده، از روی داده های تاریخی قابل حصول است. به منظور تخمین نوسانات بازده نیز از بین مدل های گارچ معرفی شده در این تحقیق، بهترین مدل انتخاب خواهد شد. انتخاب بهترین مدل بستگی به داده های مورد مطالعه دارد. مدل های GARCH، EGARCH و GJR انواع مختلف و مرسومی از مدل های گارچ هستند که بسته به نوع داده و بهترین برازش، روی داده ها پیاده سازی می‌شود. هر یک از این مدل ها در برگیرنده ویژگی های خاصی هستند که با توجه به ماهیت داده ها، بهترین برازش را روی داده ها دارند. هدف از پیاده‌سازی و به کار گیری این سه مدل، یافتن بهترین مدل گارچ با استفاده از شاخص های AIC و BIC و بهترین برازش با توجه به داده های واقعی استفاده شده می‌باشد.

تعداد لایه‌ها در مدل نهایی ۳، تعداد نرون‌های لایه ورودی ۴ (با توجه به تعداد متغیرهای ورودی) و تعداد نرون‌های لایه میانی

www.SID.ir

Archive of SID

۱۰ عدد انتخاب شده است. بهترین تابع بررسی شده برای لایه میانی، تابع لگاریتم سیگموئید انتخاب گردید. تابع فعال‌ساز (جمع کننده) تابع خطی در نظر گرفته شده است. مقادیر قیمت واقعی اختیار معاملات نیز به عنوان خروجی به شبکه عصبی داده شد تا شبکه بر اساس آن آموزش یابد. ۷۰٪، ۲۰٪ و ۱۰٪ کل داده‌ها به ترتیب برای آموزش، اعتبارسنجی و آزمایش اختصاص داده شد. الگوریتم یادگیری استفاده شده در این قسمت، الگوریتم پس انتشار خطا است.

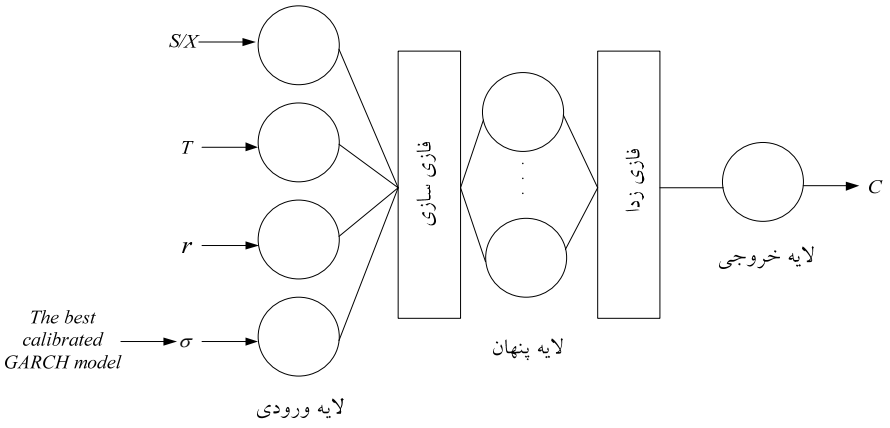


نمودار ۱. مدل قیمت‌گذاری اختیار معامله براساس براساس شبکه عصبی

برای انتخاب ساختار مناسب برای آموزش سیستم عصبی‌فازی، مدل‌های مختلف با تغییرات پارامترهای لازم برای آموزش از قبیل تعداد تابع عضویت‌های هر ورودی و نوع تابع عضویت مورد بررسی قرار گرفت و مدل نهایی پیش‌بینی انتخاب گردید.

در این قسمت نیز هر دو حالت بیان شده در ورودی مورد بررسی قرار گرفت و در نهایت ورودی‌ها به‌صورت $(\sigma, r, T, S/X)$ انتخاب گردید. نمودار ۲ ساختار کلی سیستم عصبی‌فازی را به‌ازای ورودی و خروجی‌های مشخص شده برای قیمت‌گذاری اختیار معامله نشان می‌دهد.

تعداد تابع عضویت برای ورودی‌های نوسانات، نرخ بهره بدون ریسک، تاریخ انقضاء و نسبت (S/X) به‌ترتیب ۲، ۲، ۳ و ۴ انتخاب شده است. نوع تابع عضویت برای دو متغیر اول، گوسین و برای دو متغیر دوم گوسین ترکیبی استفاده شده است. الگوریتم یادگیری استفاده شده، الگوریتم پس‌انتشارخطا است.



نمودار ۲. مدل قیمت‌گذاری اختیار معامله براساس سیستم عصبی‌فازی

۵. یافته های پژوهش

یکی از علل انتخاب شاخص S&P 500 برای پیاده سازی مدل‌های ارائه شده در این تحقیق این است که اختیار معاملاتی که روی شاخص صورت می‌گیرد از نوع اروپایی است و مدل بلک‌شولز زمانی به‌کار می‌رود که اختیار معاملات مورد نظر از نوع اروپایی باشد؛ در

www.SID.ir

Archive of SID

نتیجه می‌توان نتایج حاصل از مدل‌های ارائه شده را با مدل بلک شولز مقایسه نمود.

برای این منظور، قراردادهای اختیار معامله‌ای که روی این شاخص معامله می‌شود از تاریخ ۶ آگوست تا تاریخ ۲۳ اکتبر از سایت وال استریت ژورنال[xxi x] به صورت روزانه جمع آوری گردید. از آنجائیکه داده‌ی جمع آوری شده به صورت خام است، لذا می بایستی عملیاتی روی آن صورت گیرد تا به شکل داده‌ی ورودی و مناسب برای مدل بلک‌شولز آماده گردد. داده‌های ورودی به مدل بلک‌شولز عبارتند از: قیمت فعلی شاخص، قیمت توافقی، نوسانات بازده، تاریخ انقضاء قرارداد و نرخ بهره بدون ریسک.

قیمت فعلی شاخص با توجه به قیمت هر روز شاخص تعیین می‌گردد. قیمت توافقی اختیار معامله نیز با توجه به قرارداد به راحتی مشخص می‌شود. سومین جمعه هر ماه قرارداد اختیار معامله باطل می‌شود، لذا برای محاسبه تاریخ انقضاء قرارداد، مقدار روز باقی‌مانده تا سومین جمعه برای هر روز محاسبه شد. در ادامه عدد حاصل به سال تبدیل شده و به عنوان تاریخ انقضاء قرارداد در نظر گرفته شد. مقادیر نرخ بهره صورت‌حساب‌های خزانه‌داری دولت آمریکا نیز به عنوان نرخ بهره بدون ریسک در نظر گرفته شده است. مقادیر روزانه‌ی آن برای جایگزینی در هر روز از سایت دپارتمان خزانه‌داری آمریکا[xxx] استخراج شده است. مقادیر نوسانات نیز از طریق مقادیر نوسانات بازده خروجی مدل EGARCH(3,3) - مدل ارجح بین مدل‌های سری زمانی گارچ منطبق شده روی داده‌های موردنظر – جایگذاری شده است.

به منظور تحلیل حساسیت جواب ها، از داده های تست که داده های واقعی که به صورت روزانه جمع آوری شده، استفاده می شود. از آنجائیکه در این تحقیق هر کدام از عوامل تاثیر گذار در قیمت اختیار معامله مدام در حال تغییر است، می توان گفت که داده های تست به نوعی تحلیل حساسیت را روی مدل های ارائه شده انجام می دهند و در برگیرنده شرایط مختلف است.

پس از استخراج داده و آماده‌سازی آن به شکل داده ورودی برای مدل بلک‌شولز، آنها بر اساس قیمت توافقی و شاخص S/X به ۳ دسته مجزا تقسیم شدند. در اینجا، مقدار پارامتر α معادل ۰/۰۵ انتخاب می‌شود.

جدول ۱. تقسیم بندی داده های اختیار معامله

نوع اختیار معامله	تعداد داده های آزمایش
Out-of-the-money ($S/X \le 1-\alpha$)	۱۷۷۴
At-the-money ($1-\alpha \le S/X \le 1+\alpha$)	۲۱۱۵
In-the-money ($S/X > 1-\alpha$)	۳۲۰۹

به منظور تحلیل حساسیت جواب ها، از داده های تست که داده های واقعی که به صورت روزانه جمع آوری شده، استفاده می شود. از آنجائیکه در این تحقیق هر کدام از عوامل تاثیر گذار در قیمت اختیار معامله مدام در حال تغییر است، می توان گفت که داده های تست به نوعی تحلیل حساسیت را روی مدل های ارائه شده انجام می دهند و در برگیرنده شرایط مختلف است. برای اعتبارسنجی هریک از مدل‌ها از شاخص‌های مجذور میانگین مربعات خطای استاندارد[xxxi] (RMSE)، میانگین قدرمطلق خطا[xxxii] (MAE) و میانگین قدرمطلق درصد خطا[xxxiii] (MAPE) استفاده می‌شود. برای محاسبه هر یک از شاخص‌ها خروجی به‌دست آمده از هر یک از مدل‌ها (قیمت اختیار معامله با توجه به متغیرهای ورودی) با قیمت واقعی اختیار معامله در بازار مقایسه می‌شود.

به طور متداول، از برخی معیارهای ارزیابی برای نشان دادن چگونگی یادگیری ارتباط داده‌ها در شبکه عصبی استفاده می‌شود. برای مسائل پیش‌بینی، این معیارها معمولاً مربوط به خطای بین خروجی‌های پیش‌بینی شده و خروجی مطلوب واقعی است. جدول برخی از معیارهای عملکرد متداول برای مسائل پیش‌بینی را نشان می‌دهد. در تمام معیارها x_i نشان‌دهنده‌ی خروجی مطلوب، $\hat{x}_i$ نشان‌دهنده‌ی مقدار پیش‌بینی شده در لحظه‌ی iام و n تعداد مشاهدات است.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(\hat{x}_i - x_i)}{n}} \qquad (۱۶)$$

www.SID.ir

Archive of SID

$$MAE = \sum_{i=1}^{n} \frac{|\hat{x}_i - x_i|}{n} \quad (۱۷)$$

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} \left| \frac{\hat{x}_i - x_i}{x_i} \right| \quad (۱۸)$$

همانطور که اشاره شد، در این تحقیق از سه مدل مرسوم در دسته مدل های سری زمانی گارچ استفاده شده است و پس از برازش هر یک از مدل ها و انتخاب تاخیر زمانی مناسب، مدل ارجح به منظور تخمین بهترین نوسانات و ورودی مدل های شبکه عصبی و عصبی فازی ارائه شده مورد استفاده قرار می گیرد. جدول ۲ مقادیر شاخص های AIC و BIC برای هر یک از مدل ها را نشان می دهد. همانطور که مشاهده می شود میزان بهینه تاخیر زمانی در هریک از مدل ها عددی غیر از یک می شود در صورتیکه در تحقیقات پیشین عموماً میزان بهینه این مقدار عدد یک در نظر گرفته شده است. در این میان مدل ارجح براساس شاخص های بیان شده مدل EGARCH(3,3) می باشد.

جدول ۲. مقادیر شاخص های AIC و BIC به ازای هر مدل با تاخیر های زمانی (۱و۱) و بهینه

مدل های گارچ	*(p,q)*	AIC	BIC
EGARCH	(3,3)*	-18150.6	-18072.9
EGARCH	(1,1)	-18067.1	-18025.3
GARCH	(2,2)*	-17961.5	-17913.7
GARCH	(1,1)	-17943.1	-17907.3
GJR-GARCH	(3,3)*	-18072.1	-17994.4
GJR-GARCH	(1,1)	-18061.3	-18019.4

* نشان دهنده مقدار بهینه تاخیر زمانی در هر مدل است.

به منظور حصول اطمینان از انتخاب بهترین مدل جهت تخمین نوسانات بازده، هر یک از مدل های استفاده شده با تاخیر زمانی بهینه جهت تخمین نوسانات بازده به کار برده شده و به عنوان ورودی به مدل بلک شولز مورد استفاده قرار گرفته شده است. جدول ۳ نتایج حاصل از پیاده سازی مدل بلک شولز با استفاده از مدل های گارچ در تخمین قیمت اختیار معامله در سه حالت متفاوت را نشان می دهد. همانطور که جدول ۳ نشان می دهد نتایج حاصل از مدل بلک شولز زمانی که تخمین های قیمت اختیار معامله زمانی که از مدل EGARCH(3,3) به منظور تخمین نوسانات مورد استفاده قرار می گیرد دارای خطای کمتری است.

جدول ۳. پیاده سازی مدل بلک- شولز با هر یک از مدل های سری زمانی گارچ

Moneyness	معیار اندازه گیری خطا								
	RMSE			MAE			MAPE		
	GJR - B.S.	GARCH-B.S.	EGARCH-B.S.	GJR-B.S.	GARCH-B.S.	EGARCH-B.S.	GJR-B.S.	GARCH-B.S.	EGARCH-B.S.
In	5.128	6.457	4.397*	5.872	7.024	4.837*	1.027	1.113	0.973*
At	18.178	21.609	16.286*	15.128	16.160	12.759*	0.646	0.729	0.540*
Out	34.635	39.162	31.023*	30.354	33.643	27.212*	0.357	0.417	0.232*

* نشان دهنده مقدار بهینه خطا در هر معیار است.

پس از حصول اطمینان از انتخاب مدل EGARCH(3,3) به منظور تخمین دقیق نوسانات بازده، مقادیر تخمین نوسانات بازده حاصل از این مدل، به عنوان ورودی در مدل های ایجاد شده با شبکه عصبی و شبکه عصبی فازی مورد استفاده قرار گرفت. جدول ۴، نتایج حاصل از هریک از مدل ها را با توجه به معیارهای اندازه گیری مختلف نشان می دهد. همانطور که نتایج حاصل نشان می دهد با توجه به شاخص های RMSE و MAE در دو حالت In-the money و Out-of-the money مدل EGARCH-ANFIS نتایج بهتری و با توجه به شاخص MAPE مدل EGARCH-ANN نتایج بهتری را ارائه کرده است. همچنین هر یک از مدل های ارائه شده، نتایج بسیار مطلوب تری نسبت به مدل بلک-شولز ارائه کرده است.

www.SID.ir

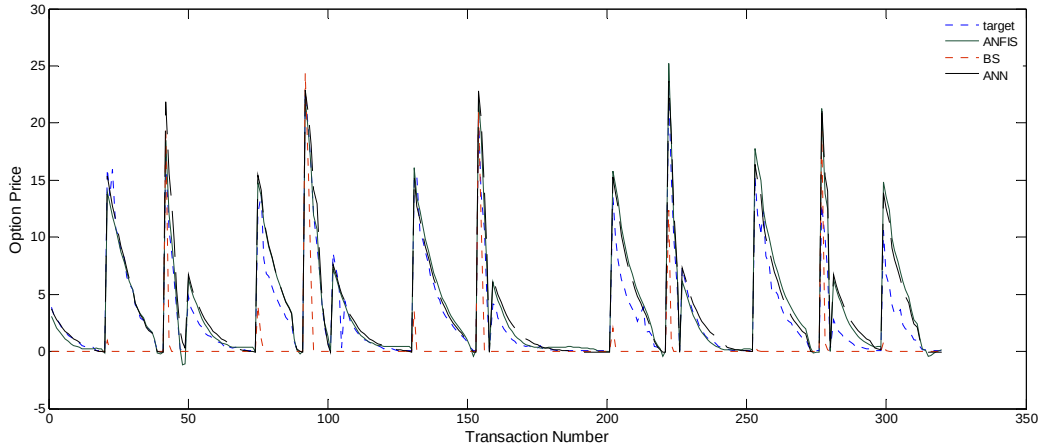
Archive of SID

جدول ۴. مقایسه عملکرد مدل های ارائه شده و مدل بلک-شولز

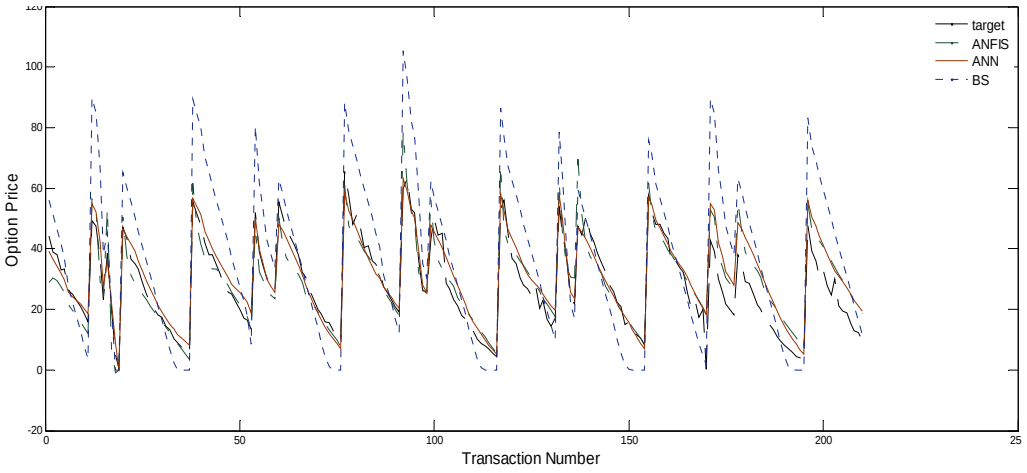
معیار اندازه گیری خطا									
RMSE			MAE			MAPE			Moneyness
EGARCH-ANFIS	EGARCH-ANN	EGARCH-B.S.	EGARCH-ANFIS	EGARCH-ANN	EGARCH-B.S.	EGARCH-ANFIS	EGARCH-ANN	EGARCH-B.S.	
1.684*	1.719	4.397	1.787*	1.815	4.837	1.296	0.922*	0.973	In
6.416	5.606*	16.286	5.02	4.331*	12.759	0.556	0.526*	0.54	At
8.476*	8.871	31.023	6.760*	7.147	27.212	0.067	0.063*	0.232	Out

* نشان دهنده مقدار بهینه خطا در هر معیار است.

نمودار های ۳ تا ۵ به ترتیب، عملکرد هر یک از مدل های ارائه شده را به ترتیب در حالت های In-the-money، At-*the-money* و *Out-of-the-money* نشان می دهد.



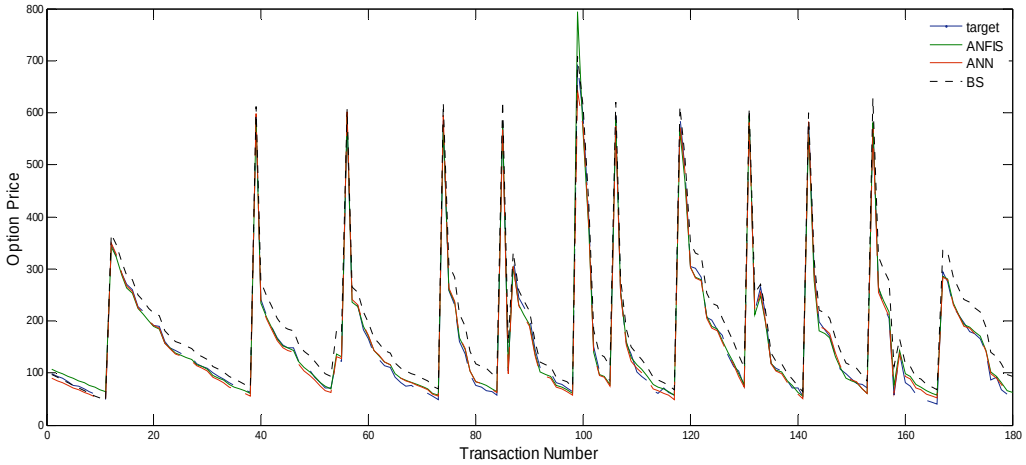
نمودار ۳. عملکرد تخمین قیمت اختیار معامله هر یک از مدل های ارائه شده در حالت In-the-money



نمودار۴. عملکرد تخمین قیمت اختیار معامله هر یک از مدل های ارائه شده در حالت At-the-money

www.SID.ir

Archive of SID



نمودار ۵. عملکرد تخمین قیمت اختیار معامله هر یک از مدل های ارائه شده در حالت Out-of-the-money

۶. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در سال های اخیر، به دلیل حجم قابل توجه معاملات و گردش مالی زیاد در حوزه مشتقات مالی، قیمت گذاری دقیق این اوراق از اهمیت بالایی نزد تحلیل گران و فعالان بازار سرمایه برخوردار است. بدین منظور، تحقیقات زیادی به منظور توسعه مدل های قیمت گذاری اختیار معامله ارائه شده است. یکی از مدل های معروفی که کاربرد فراوانی در قیمت گذاری اختیار معاملات اروپایی دارد، مدل بلک- شولز است که علیرغم استفاده فراوان آن، محدودیت هایی نیز دارد. برای کاهش این محدودیت ها و تخمین دقیق تر قیمت گذاری اوراق اختیار معامله، در این مقاله، دو مدل براساس شبکه های عصبی و عصبی فازی ارائه شده است و عملکرد آنها روی داده های واقعی اختیار معامله شاخص اس اند پی ۵۰۰ آزمایش شده است. همچنین یکی از پارامترهای بسیار مهم در تخمین قیمت اختیار معامله، نوسانات بازده است. بدین منظور و تخمین دقیق نوسانات، از مدل های سری زمانی مالی استفاده شده است که عبارتند از GARCH، EGARCH و GJR-GARCH . پس از تخمین پارامترهای هر یک از مدل ها و شناسایی تاخیر زمانی بهینه آنها، مدل ارجح انتخاب گردید و نوسانات حاصل از آن به عنوان ورودی برای مدل بلک-شولز و مدل های ارائه شده مورد استفاده قرار گرفت. نتایج حاصل از پیاده سازی مدل های ارائه شده بر مبنای شبکه عصبی و عصبی فازی با توجه به معیارهای ارزیابی عملکرد استفاده شده، نشان می دهد که مدل های ارائه شده در هر سه دسته بندی اختیار معامله شامل in-the-money، at-the-money و out-of-the-money نتایج بسیار خوبی ارائه کرده اند.

پی نوشت

1. Yao
2. Nikkei 225
3. Wang
4. Hamid & Iqbal
5. Morrellia
6. Cheng
7. Wei
8. Put option contract
9. Call option contract
10. Stock price
11. Exercise price
12. Exercise date
13. Volatility
14. Risk-free interest rate
15. Autoregressive Conditional Heteroskedasticity
16. Engle
17. Bollerslev
18. Generalized ARCH
19. Exponential GARCH
20. Glosten Jagannathan Runkle model
21. Glosten
22. Akaike
23. Schwarz
24. AutoCorrelation function
25. Partial AutoCorrelation Function
26. Realized volatility
27. Qi
28. Lajbcygier
29. Wallstreet Journal
30. Treasury
31. Root Mean Square Error
32. Mean Absolute Error
33. Mean Absolute Percentage Error

منابع

[۱] ابونوری، ا. و موتمنی، م. بررسی همزمان اثر اهرمی و بازخورد نوسانات در بازار سهام تهران. مجله تحقیقات اقتصادی، (۱۳۸۵)، جلد ۷۶، صفحات ۱۱۷-۱۰۱.

www.SID.ir

Archive of SID

[۲] اصفهانیان، م و امین ناصری، ا. ارائه یک مدل شبکه عصبی جهت پیش بینی کوتاه مدت قیمت نفت خام، نشریه بین المللی علوم مهندسی صنایع و مدیریت تولید،(۱۳۸۷)، جلد ۱، شماره ۱۹، صفحات ۳۵-۲۷.

[۳] خالو زاده، ح.، خاکی صدیق، ع. و کارولوکس. بررسی قابلیت‌پیش‌بینی نوسانات قیمت سهام در بازار بورس تهران، نشریه علمی – تخصصی دانشگاه صنعتی اصفهان (استقلال)، (۱۳۷۸)، جلد ۱، صفحات ۲۰۰-۱۹۳.

[۴] مسیحی، ا. و امرائی، ح. تحلیل الگوهای همزمان در نمودارهای کنترل فرایند آماری با استفاده از شبکه عصبی، نشریه بین المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید،(۱۳۸۸)، جلد ۳، شماره ۲۰، صفحات ۲۳-۱۵.

[5] Akaike, H. A new look at the statistical model indentification. IEEE trans. Automatic Control, (1974), Vol. 19, pp. 716-723.

[6] Black, F. & Scholes, M. The pricing of options and corporate liabilities. Journal of Political Economy, (1973), Vol. 3, pp. 637-659.

[7] Cheng, C. H. & Wei, L. Y. Volatility model based on multi-stock index for TAIEX forecasting. Expert Syetem With Application, (2009), Vol. 36, pp. 6187-6191.

[8] Engle, R. F. Autoregressive Conditional Heteroscedasticity with Estimates of Variance of United Kingdom Inflation. Econometrica, (1982), Vol. 50, pp. 987-1008.

[9] Glosten, L. R., Jagannathan, R. & Runkle, D. On the relation between the expected value and the volatility of the nominal excess return on stocks. Journal of Finance, (1993), Vol. 48, pp. 1779-1801.

[10] Hamid, S. A. & Iqbal, Z. Using neural networks for forecasting volatility of S&P 500. Journal of business research, (2004), Vol. 57, pp. 1116-1125.

[11] Jiang, l. Mathematical Modeling and Methods of Option Pricing, 2nd Edition, World Scientific Publishing, (2005).

[12] Lajbcygier P, Boek C, Palaniswami M, Flitman A. Neural network pricing of all ordinaries SPI options on futures. In: Refenes A-PN, Abu-Mostafa Y, Moody J, Weigend A, editors. Neural networks in financial engineering, Proceedings of 3rd International Conference On Neural Networks in the Capital Markets, Oct 1995, London. World Scienti®c, (1996), pp. 64-77.

[13] Morellia, M. J. Montagnab, G. Nicrosinib, O. Treccanib, M. Farinad, M. & Paolo A. Pricing financial derivatives with neural networks. Physica A, (2004), Vol. 338, pp.160-165.

[14] Nelson, D. B. and Cao, C.Q. Inequality constraints in the univariate GARCH model, Journal of Business and Economic Statistics, (1992), Vol. 10, pp. 229-235.

[15] Nosoohi I. & Mollaverdi N. Modeling of Capacity Reservation and Supplier Selection Based on Option Contract, International Journal of Industrial Engineering & Production Research, (2011), Vol. 22, pp. 135-141.

[16] Pezzo R. & Uberti, M. Approaches to forecasting volatility: Models and their performances for emerging equity markets. Chaos, Solitons and Fractals, (2006), Vol. 29, pp. 556-565.

[17] Qi M, Maddala GS. Option pricing using artificial neural networks: the case of S&P 500 index call options. In: Refenes A-PN, Abu-Mostafa Y, Moody J, Weigend A, editors. Neural networks in financial engineering, Proceedings of 3rd International Conference On Neural Networks in the Capital Markets, Oct 1995, London.World Scientific, (1996), pp. 78-91.

[18] Schwarz, G. Estimating the dimension of model. Annuals of Statistics, (1978), Vol. 6, pp. 461-464.

www.SID.ir

Archive of SID

[19] Sharma, N. Forecasting Oil Price Volatility, Master Thesis, Virginia Polytechnic Institute State University, (1998).

[20] Wang Y. H. Nonlinear neural network forecasting model for stock index option price: Hybrid GJR-GARCH approach. Expert System with Applications, (2009), Vol. 36, pp. 564-570.

[21] Yao, J. Li Y. & Tan, C. L. Option price forecasting using neural networks. Omega, (2000), Vol. 28, pp. 455-466.

[22] www.online.wsj.com
[23] www.ustreas.gov

www.SID.ir