فصلنامه مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار
شماره چهل و دوم / بهار ۱۳۹۹

کاربرد مدل حرکت براوونی هندسی تعمیم یافته توسط فرآیند رژیم سوئیچینگ مارکوف درشبیه سازی قیمت سهام: رویکرد پویایی شناسی سیستمی

ناهید مالکی نیا [۱]
حسین عسگری آلوج [۲]
ظاهر سپهریان [۳]

تاریخ دریافت مقاله : ۹۸/۰۶/۱۱ تاریخ پذیرش مقاله : ۹۸/۰۷/۲۹

چکیده

در این پژوهش تغییرات قیمت سهام شرکت ایران خودرو پذیرفته شده در بورس اوراق بهادار تهران در دوره زمانی ۱۳۸۷/۹/۲۳ الی ۱۳۹۶/۱۲/۱۳ با هدف مدل سازی، بر اساس مدل حرکت براوونی هندسی تعمیم یافته بافرآیندرژیم سوئیچینگ مارکوف که شکل تعمیم یافته مدل حرکت براوونی هندسی می باشد، برروی مقوله پیش بینی مورد مطالعه قرار گرفته است. مدل پژوهش با استفاده از رویکرد پویایی شناسی سیستمی و نرم افزار Vensim DSS ابتدا در قالب نمودار علی-معلولی و پس از مشخص نمودن متغیرهای حالت و جریان، درقالب نمودارحالت و جریان تک حلقه‌ای و دو حلقه‌ای طراحی وشبیه سازی برای قیمت پایانی روزانه سهام انجام گرفت. دو پارامتر ریشه اختلال و گام زمانی به عنوان پارامترهای تحلیل حساسیت شناسایی و بکارگرفته شد. ابتدا خطای شبیه سازی به ازای تغییرات تصادفی در ریشه اختلال ۲۲/۷۴ درصد و درگام زمانی ۳۰/۳۵ درصد برآورد شد. بعلت بالا بودن خطای شبیه سازی بالاتر از حد قابل قبول ۱۵درصد، هر دو پارامترکالیبره شدند. جهت تخمین مناسبی از محدوده پارامترهای کالیبراسیون ازروش آزمون وخطا و مشاهده میدانی رفتارسیستم استفاده گردید. خطای شبیه سازی پس ازکالیبراسیون به ازای پارامتر ریشه اختلال از ۲۲/۷۴ درصد به ۸/۵ درصد و به ازای گام زمانی از ۳۰/۳۵ درصد به ۳/۶۳ درصد کاهش یافت. دقت شبیه سازی به ازای پارامتر ریشه اختلال از۷۷/۲۶ درصد به ۹۱/۵ درصد و به ازای گام زمانی از ۶۹/۶۵ درصد به ۹۶/۳۷ درصد افزایش یافت. نتایج نشان می‌دهد بابهینه سازی پارامترهای کالیبراسیون میزان ریشه‌های خطا به حالت ایده آل رسیده یعنی خطای نابرابری کوواریانس‌ها به سمت عدد یک و خطای نابرابری مبنا و خطای نابربری واریانس‌ها به سمت عدد صفر نزدیک شده ونشان از صحت عملکرد مدل پژوهش در شبیه سازی قیمت سهام دارد.

کلمات کلیدی

پویایی شناسی سیستم، حرکت براوونی هندسی، رانش، رژیم سوئیچینگ مارکوف،کالیبراسیون

۱-گروه حسابداری و مدیریت ، واحد بیله سوار، دانشگاه آزاد اسلامی بیله سوار ، ایران nahid.malekiniya@iaubsm.ac.ir
۲-گروه حسابداری و مدیریت، واحد بیله سوار، دانشگاه آزاد اسلامی ، بیله سوار ، ایران(نویسنده مسئول)**hosein.asgari@ut.ac.ir**
۳-گروه ریاضی ، واحد بیله سوار، دانشگاه آزاد اسلامی ، بیله سوار ، ایران. sepehrian2000@yahoo.com

مقدمه

اولین و مهم ترین عاملی که در اتخاذ سرمایه گذاری در بورس فراروی سرمایه‌گذار قرار دارد عامل قیمت سهام است که به تبع آن مقوله ارزیابی و پیش بینی قیمت آینده نیز مطرح می‌شود. پیش بینی قیمت سهام همواره مورد توجه بسیاری از سهام داران و تحلیل گران بوده است (خوچیانی، حسینی و شجاعی۱۳۹۷). مدلسازی نوسان قیمت در بازارهای سهام به لحاظ مواردااستفاده آن در پیش بینی قیمت سهام، موضوع با اهمیتی به نظر می رسد بر این اساس در دهه های اخیر مدلهای متفاوت و گوناگونی برای تخمین و پیش بینی نوسان مورد بهره برداری قرار گرفته است(نبوی چاشمی و مختاری نژاد، ۱۳۹۵).

روش رایج برای مطالعهٔ رفتار پویای متغیرهای اقتصادی ومالی، استفاده از مدل‌های خطی سری زمانی است. این مدل‌ها در توضیح رفتارهای غیرخطی ناتوان است(محسنی و سخت کار مدلل، ۱۳۹۶). فرآیندهای تصادفی، معادلات دیفرانسیل تصادفی و ریاضیات مالی جایگاه مهمی در تبیین رفتار سری‌های زمانی قیمت سهام دارند. مدل‌های مبتنی بر معادلات دیفرانسیل تصادفی می‌توانند رفتار بسیاری از متغیرهای اقتصادی را تبیین کنند به طوری که به عنوان یک مدل تولید کننده فرآیند خلق داده و پیش بینی کننده رفتار آتی متغیرها در تحقیقات تجربی و اقتصادسنجی مورد استفاده قرار گیرند(پورمرادی، شعبانی و سام دلیری، ۱۳۹۵).

یکی از فرآیندهای تصادفی بسیار مهم در چارچوب کاربرهای ریاضیات مالی فرآیند تصادفی حرکت براوونی هندسی می‌باشد که در مطالعات بسیاری کمیت‌های تصادفی با استفاده از این فرآیند تولید می شوند(عسگری، ۱۳۹۴). ازآنجایی که پیش بینی رفتارقیمت سهام نقطه شروعی برای ارزیابی اوراق مشتقه وسایرقراردادهای مالی می‌باشد مدلسازی رفتارقیمت سهام بعنوان یک وظیفه مهم درفایننانس بشمارمی‌رود (بونگیورنو[1]،گویا[2]و ویو ۲۰۱۷). حرکت براوونی هندسی ریشه درپدیده‌های فیزیکی داشته وتقریبا حدود۲۰۰ سال پیش کشف شده است (دابرو، ۲۰۱۶) و در امور مالی برای اولین بار در پایان نامه دکترای لوئیس باکلر (۱۹۰۰) تحت عنوان تئوری حدس و گمان بکاررفته وبه طور طبیعی بعنوان یک محدودیت ازگام تصادفی متقارن بوجود می‌آید (بودرو و رنو، ۲۰۱۹).

توزیع نرمال نقش مرکزی درحرکت براوونی هندسی بازی می‌کند. حرکت براونی یک فرایند گاوسی است و شرایط را برای زمانی که یک فرآیند گاوسی حرکت براونی است شناسایی می‌کند. حرکت براوونی ویژگی های انعکاس و تقارن بی شماری را برآورده می کند. یک نوع

متداول از حرکت براونی دارای تابع میانگین خطی و همچنین یک پارامتر واریانس اضافی است (دابرو، ۲۰۱۶).

پویایی شناسی سیستمی یک روش بازخورد اطلاعاتی از بالا به پایین است که توسط پروفسور فارستر(۱۹۹۴) پیشنهاد شده است. این رویکرد در تصویرسازی وتجسم ساختارمدل‌ها هم در پویایی‌های بردارقیمت مفیداست. اساس این روش ساختارهای بازخورد با درجه بالای غیرخطی، چندحلقه‌ای است. رویکردپویایی شناسی سیستمی یک رویکردتوسعه یافته برای تجسم، تحلیل و درک بازخوردهای پیچیده پویا است(نصیرزاده، خانزادی و میر،۲۰۱۸). ابزارهای نموداری مانند نمودارهای حلقه علی[۳] (CLD) و نمودارهای جریان سهام(SFDs) [۳]، برای تصویرسازی ساختار یک سیستم پیچیده استفاده می شود (احمد، طاهر،محمد سوکی و عبدالرحیم،۲۰۱۶). رویه اصلی مدل‌سازی پویایی شناسی سیستمی مراحل تحلیل سیستم، ایجادمدل مفهومی ،ایجادیک مدل کمی، اعتبارسنجی مدل ودرنهایت شبیه‌سازی آن راپوشش می‌دهد(ژیکون[۴]، ونیان[۵]، شنگان[۶]، زژو[۷] ،۲۰۱۸).

یکی ازمشهورترین مدل‌های معادلات دیفرانسیل تصادفی مدل بلک– شولز است که نقش مهمی درقیمت گذاری دارایی‌های پرمخاطره بازی می‌کند. مدل بلک شولز یا مدل مالتوسین تصادفی دربین کاربردهای دیگر آن، می‌تواند برای مدل سازی قیمت سهام در بورس سهام یا رشد جمعیت موجودات زنده با منابع فراوان تحت تصادفات محیطی بکاررود(برومن[۸]، ۲۰۱۹).

مدل بلک-شولز بیان می‌کندپویایی های قیمت از حرکت براوونی هندسی باضرایب ثابتی ازرانش وتلاطم تبعیت می‌کند درحالی که قیمت سهام ازحرکت براوونی هندسی بارانش وتلاطم متغیر در طول زمان پیروی می نماید(بونگیورنو،گویا و ویو، ۲۰۱۷). در مدل بلک – شولز قیمت دارایی پایه از فرایند حرکت براونی هندسی تبعیت می‌کند که در آن عامل رانش و تلاطم‌قیمت دارایی ثابت فرض شده است، لذا به همین دلیل نمی‌تواند رفتار دینامیک یا تصادفی در تغییرات قیمت را پیش بینی یا توضیح دهد. با توجه به وابستگی بین بازار سهام و مشتقات، رفتار قیمت دارایی پایه رامی توان با استفاده از ویژگی‌های فرایند مارکوف سوئیچینگ و اهمیت رژیم اقتصادی مدل‌سازی نمود (محسنی وسخت کار مدلل، ۱۳۹۶). بنابراین پژوهش حاضرقصددارد با استفاده از خواص فرایند مارکوف و مفهوم رژیم های اقتصادی با این فرض که دریک بازار، عامل رانش وتلاطم قیمت بازارسهام وابسته به زمان وتصادفی است، رفتار قیمت سهام را با فرآیندرژیم سوئیچینگ دینامیکی ورویکردپویایی شناسی سیستمی مدل سازی نماید. از آنجا

که این مدل با واقعیت اقتصادی کشور مطابقت داردو عامل رانش وتلاطم در دوره های زمانی طولانی نمی تواند ثابت فرض شود، این پژوهش بابکارگیری مدل رژیم سوئچینک و تصادفی در نظر گرفتن این کمیت مهم مالی در صدد رفع یکی ازانتقادات وارده برمدل حرکت براوونی هندسی است. درراستای رسیدن به این اهداف پژوهش حاضربدنبال پاسخ به سوال اصلی زیر :

۱- آیا مدل حرکت براوونی هندسی تعمیم یافته بافرآیندرژیم سوئیچینگ مارکوف توانایی شبیه سازی قیمت سهام را با بکارگیری رویکرد پویایی شناسی سیستمی دارد؟

در جهت پاسخ به‌سوال اصلی پژوهش سعی می‌شود تا رفتار قیمت سهام‌شرکت ایران خودرو بعنوان یکی از بزرگترین واصلی‌ترین شرکت اثرگذاردرصنعت خودرو با استفاده از رویکرد پویایی شناسی سیستمی درقالب مدل حرکت براوونی هندسی تعمیم یافته بافرآیندرژیم سوئیچینگ مارکوف وبکارگیری حلقه های علی ومعلولی شبیه سازی گردد.

پیشینه پژوهش

یکی ازانواع فرآیندهای تصادفی مهم که دراکثرمدل های ریاضیات مالی به کارمی رودحرکت براوونی هندسی می‌باشد . براساس تعریف ارزش فرآیندتصادفی $(X_t)t\geq 0$ یک حرکت براوونی هندسی باانحراف $\mu \epsilon R$ ووایانس $\sigma^2 > ۰$ می باشد ، اگروفقط اگر $(X_t)t\geq 0$ جوابی برای معادله دیفرانسیل تصادفی زیرباشد :

رابطه۱)
$$\frac{dX_t}{X_t} = \mu dt + \sigma dW_t$$

که دررابطه‌ی شماره۱، $(W_t)t\geq ۰$ یک حرکت‌براوونی استانداردیک‌بعدی با $\mu =۰$ و $\mu = ۱$ است. جهت شبیه سازی این فرایندبایدمعادله‌ی دیفرانسیل تصادفی حل شود. نکته‌ی قابل توجه درخصوص معادلات دیفرانسیل تصادفی این است که جواب اینگونه معادلات به صورت یک فرآیندتصادفی می‌باشد وتفاوت اساسی این نوع معادلات دیفرانسیل درمقایسه بامعادلات دیفرانسیل معمولی درهمین نکته نهفته است. برای حل معادله دیفرانسیل از روشی مرسوم به نام لم ایتو استفاده می‌شودبه صورت رابطه زیر :

رابطه ۲)
$$\frac{dX_t}{X_t} = \mu dt + \sigma dW_t$$

باانتگرال گیری ازطرفین :

رابطه ۳)
$$\int_0^t \frac{\mathrm{d}X_t}{X_t} = \mu t \ + \ \sigma W_t$$

حال برای محاسبه انتگرال سمت چپ لم ایتو برای $x>0$ به کارگرفته می‌شود با فرض :

رابطه ۴)
$$F(t, X_t) = ln\ (X_t)$$

رابطه ۵)
$$d(\ln(X_t)) = \frac{1}{X_t} dX_t + \frac{1}{2}(-\frac{1}{{X_t}^2})(dX_t)^2$$

باتوجه به رابطه ۶ و۷ :

رابطه ۶)
$$dt.dt \ = \ dt.dwt \ = \ dwt\,.dt \ = \ 0\,, dwt\,.dwt \ = \ dt$$

رابطه ۷)
$$(dX_t)^2 = dX_t\,.dX_t$$

می‌توان رابطه ۶ را دررابطه ۵ جای‌گذاری کرد :

رابطه ۸)
$$\frac{dX_t}{X_t} = d(ln(X_t)) + \frac{1}{2}\sigma^2 dt$$

پس ازجای‌گذاری کل رابطه ۷ درمعادله انتگرال اولیه رابطه زیرحاصل می‌شود :

رابطه ۹)
$$ln\left(\frac{X_t}{X_0}\right) = \left(\mu - \frac{1}{2}\sigma^2\right) t + \sigma W_t$$

تابع نمائی رابطه ۹ باگرفتن exp :

رابطه ۱۰)
$$X_t = X_0\ e^{\left\{\left(\mu - \frac{1}{2}\sigma^2\right)t + \sigma W_t\right\}}$$

که عبارت رابطه جواب معادله دیفرانسیل تصادفی $\frac{dX_t}{X_t} = \mu dt \ + \ \sigma dW_t$ یا همان حرکت براوونی هندسی است .

دریک بازار مالی رانش و تلاطم قیمت بازار وابسته به زمان است. بنابراین درمدل سازی مالی فرض ثابت بودن نرخ انتشار ایده خوبی نخواهدبود. لذا بایستی حداقل تعداد قابل توجهی از رژیم‌های انتشار در نظرگرفته شوند تا رفتار واقعی یک بازار مالی قابل پیش‌بینی باشد. همچنین در یک اقتصاد معمولا دو دوره‌ی کسب و کار متمایز تورم و رکود وجود دارد که در چرخه تورم سرمایه گذار انتظار بازده بالاتری از دارایی‌ها دارد و بر عکس. همچنین ریسک بازار معمولا با واریانس استاندارد قیمت بازارسنجیده می‌شود. بنابراین مهم است که تلاطم رابرای دوره‌های

مختلف کسب وکار متغیرلحاظ کردکه در این صورت سوئیچینگ بین این دو نوع دوره کسب و کار درفضای مارکوف فرض می گردد. با این تفاسیر روند اصلی مدلسازی دراین بخش با بکارگیری مدل حرکت براوونی هندسی تعمیم یافته با یک فرآیندرژیم سوئیچینگ مارکوف در مدل قیمت گذاری دارایی‌های پایه به شرح زیر انجام می‌گیرد:

فرض کنید فرایند تحت تاثیر متغیر تصادفی غیرقابل مشاهده X_t قرار گرفته است، که رژیم یا حالت نامیده می‌شود. در اینصورت فرایند دررژیم X_t قرارخواهدگرفت. بنابراین می‌توان مدل حرکت براوونی هندسی برای دارایی پایه را برای هر تعداد متناهی رژیم به صورت زیر در نظر گرفت:

$$dS_t = \mu_{X_t} S_t + \sigma_{X_t} S_t \, dW_t \qquad \text{رابطه ۱۱)}$$

که درآن μ_{X_t} عامل رانش و σ_{X_t} عامل تلاطم تصادفی یانوسان پذیری دارایی پایه به زنجیر مارکوف X_t هستندکه درهررژیم مقادیرمتفاوتی را می‌توانند اختیارنمایند، همچنین W_t فرایند براوونی استانداردتعریف شده روی فضای احتمال ریسک خنثی (Ω, F, Q) ومستقل از زنجیر مارکوف X_t می باشد و S_t قیمت دارایی پایه(سهام عادی) با مدل رژیم سوئچینک است. این مدل قابلیت آن را دارد که تغییرات متناوب و تکراری رژیم‌های اقتصادی را به صورت درون زا در نظر بگیرد، همچنین اثر لبخند نوسانات بازار را به خوبی توصیف کند(نیسی ،چمنی انباجی و شجاعی منش ، ۱۳۹۱).

دیفرانسیل مدل حرکت براوونی هندسی $dS = \alpha S dt + \sigma S dwt$ است جایی که α و σثابت هستند و w_t یک فرایند وینراست $\alpha S dt$ بخش قطعی و $\sigma S dwt$ بخش تصادفی است αو σ را می‌توان با داده های مربوط به مقدار S در گذشته تخمین زد. در این مقاله ، α و σ را در هر زمان گذشته تخمین زده شد، از روش عددی برای آماده سازی تابع درجه دوم براساس زمان استفاده و آنها را روی آخرین مقدار ثابت تنظیم می کنند. در نهایت، مدل حرکت براوونی هندسی به معادله $dS = \alpha(t) S dt + \sigma(t) S dwt$ تعمیم یافت(اسماعیل پور محمد عزیزی و نیسی ، ۲۰۱۸).

درپژوهشی از مدل بلک-شولز تعمیم یافته که در آن عامل تلاطم، تصادفی درنظرگرفته شده است. در واقع با استفاده از خواص فرایند مارکوف و مفهوم رژیم‌های اقتصادی، رفتار قیمت دارایی پایه را با رژیم سوئیچینگ دینامیکی مدل‌سازی نموده است. در مدل ارائه شده، متغیرهای

وضعیت غیرقابل مشاهده برای نوسانات سهام به‌وسیله فرایند مارکوف مدل می‌شوند و پارامترهای رانش و نوسان مقادیر مختلف وابسته به وضعیت از مدل مارکوف پنهان را اختیار می‌کنند. همچنین نشان می دهد که مدل مذکور در یک معادله دیفرانسیل جزیی با شرایط اولیه و مرزی صدق می‌کند(امامی، ۱۳۹۳).

درپژوهشی رفتار قیمت سهام با استفاده از معادلات دیفرانسیل تصادفی الگوسازی شده و به منظور مدل سازی رفتار شاخص قیمت از دو معادله دیفرانسیل تصادفی استفاده شده است که عبارتند از: حرکت براونی هندسی و حرکت براونی هندسی همراه با گارچ غیرخطی. براساس نتایج این پژوهش حرکت براونی هندسی همراه با گارچ غیرخطی در هر سه گروه از داده‌های مورد بررسی دارای عملکرد بهتر نسبت به حرکت براونی هندسی است(مولایی ، برزانی و صمدی، ۱۳۹۵).

در پژوهشی از مدل مارکوف سوئیچینگ دو حالته در بازار انرژی، قیمت هدف با مدل سوئیچینگ تخمین زده شد و پارامترها نیز با استفاده از برنامهٔ متلب تعیین شده است. با توجه به رابطهٔ بین قیمت کل و متغیرهای تعریف‌شده در این پژوهش، می‌توان نتیجه گرفت که مدل غیرخطی نسبتا بهتر از مدل خطی است و بهتر است برای پیش‌بینی قیمت سهام، از مدل‌های غیرخطی روش مارکوف سوئیچینگ استفاده شود(محسنی و سخت کار مدلل، ۱۳۹۶).

پژوهشی باهدف مقایسه پیش بینی قیمت سهام صنایع دارویی با استفاده از مدل آریما و مدل تصادفی حرکت براوونی هندسی انجام و برآورد مدل تصادفی از نرم افزار R و روش رگرسیونی آریما با نرم افزار EVIEWS9 انجام شده است. نتایج حاصل از پژوهش نشان می‌دهد مدل آریما بر مدل تصادفی حرکت براوونی هندسی برتری دارد(خوچیانی ، حسینی و شجاعی، ۱۳۹۷).

درپژوهشی جهت شبیه سازی رفتار شاخص قیمت سهام بورس اوراق بهادار تهران از یک مسیر ساز پویای تصادفی در چارچوب الگوی بلک شولز بهره گرفته شده است. نتایج نشان می‌دهد امکان شبیه سازی روند بلندمدت تا حدودی فراهم شده است و آزمون مقایسه فرم توزیع داده های شبیه سازی شده، بسیار نزدیک با داده‌های واقعی می‌باشد. اگرچه، عدم توانایی پیش بینی نوسانات شدیددردوره موردبررسی یکی ازمعایب این الگوبشمارمی رود(زارع ،رضایی سخا و زارع، ۱۳۹۷).

در پژوهش دیگر پیش بینی قیمت را با استفاده از مدل های معادلات دیفرانسیل تصادفی انجام داده‌اند. مدل‌هایی که بر پایه معادلات دیفرانسیل تصادفی هستند و در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفته‌اند مدل حرکت براونی هندسی و مدل انتشار-پرش مرتون می‌باشند. از مدل حرکت براونی هندسی برای مدل‌سازی و پیش بینی داده‌هایی که دارای پرش نیستند و از مدل انتشار-پرش مرتون برای داده‌هایی که دارای پرش هستند، استفاده شده است. با استفاده از روش حداکثر درستنمایی این مدل‌ها را کالیبره شده و پارامترهای مجهول مدل‌ها را محاسبه شده است. در نهایت برای بررسی کارایی مدل‌های مذکور، پیش بینی را با استفاده از مدل‌های سری زمانی نیز انجام داده و نتایج آن‌ها را با هم مقایسه نموده است(عمرانی، ۱۳۹۸).

برای شبیه سازی مسیرهای قیمت سهام پژوهشی با استفاده از روش حرکت براونی هندسی و آزمون اینکه آیا قیمت سهام شبیه سازی شده با قیمت سهام درواقعیت مطابقت دارد یا خیر انجام یافته است. یافته‌ها نشان می‌دهد در تمام افق‌های زمانی شانس اینکه قیمت سهام شبیه سازی شده در همان جهت قیمت واقعی بورس حرکت نماید، اندکی بیشتر از ۵۰ درصد است (ردی وکلینتون، ۲۰۱۶).

پژوهشی باهدف زیرسوال بردن فرض تلاطم ثابت از یک مدل با نوسانات غیرثابت استفاده نموده است. نویسندگان یک فرآیند رژیم سوئیچینگ را معرفی می‌کنند که در هر رژیم این فرآیند توسط حرکت براوونی هندسی هدایت می‌شود. در این پژوهش از معیارهای اطلاعاتی بیزین وآکائیک استفاده شده و یک مقایسه پیش بینی ازمدل‌ها را برای دو شرکت نمونه انجام داده است. نتایج نشان می‌دهد که حرکت براوونی هندسی با رژیم برازش بهتری از مدل حرکت براوونی هندسی ارائه می‌نماید(پدرو و مانوئل، ۲۰۱۶).

درپژوهشی مدل اصلی حرکت براوونی هندسی باپارامترهای ثابت توسعه داده شده است. بنابر این فرایند رانش μ و تلاطم σ راوابسته به زمان ومتغیردرنظرگرفته است. در این زمینه، استراتژی SLS منجر به تضمین سود مورد انتظار معاملات مثبت در هر لحظه از زمان می شود. در این پژوهش، این نتایج به حرکت براوونی هندسی با پویایی‌های قیمت تعمیم یافته است که به این دو پارامتراجازه داده می‌شود تا بطور مداوم و پیوسته بازمان تغییرنمایند و محدودیتی در میزان تغییر آنها وجود ندارد(پریمبس[۹]و راس بارمیش[۱۰]، ۲۰۱۸).

پژوهش دیگر چگونگی استفاده از پویایی شناسی سیستمی در زمینه حسابداری مدیریت و گزارشگری شرکت و مزایای ترکیب این رویکرد و ابزارهای گزارش‌دهی شرکت را برای توسعه

دانش جدید ومفید برای ارائه و رویارویی با پیچیدگی پویای ضمنی در حوزه تجارت تأیید می‌کند (کلوف[11]، برنابه[12] و مارتین، ۲۰۱۹).

حرکت هندسی براونی سوئیچینگ رژیم برای مدل سازی یک حرکت براوونی هندسی بکار می‌رود که درآن ضرایب به طور تصادفی مطابق با زنجیره مارکوف تغییرمی‌کند. در این مطالعه، نویسنده توصیف کاملی از ویژگی تکراری این فرآیند ارائه می‌دهد. علاوه بر این، ویژگی‌های کمی از حرکت هندسی براونی سوئیچینگ رژیم با سوئیچینگ دو حالته بررسی شده‌است تا تفاوت بین حرکت براوونی هندسی با سوئیچینگ‌و بدون سوئیچینگ را نشان‌دهد(شائو ، ۲۰۱۸).

روش شناسی پژوهش

با توجه به معیارها و ضوابطی که سازمان بورس اوراق بهادار برای پذیرش، ادامه فعالیت و نحوه گزارشگری شرکت‌ها تعیین کرده است، اطلاعات مربوط به شرکت‌های عضو بورس از کیفیت بالاتری برخوردار بوده، منسجم‌تر و همگن‌تر است. شرکت ایران خودرو بعنوان یکی ازبزرگترین واصلی ترین شرکت درصنعت خودرو بعلت قرارگرفتن درلیست ۵۰ شرکت فعال بورسی واثرگذاری درخورتوجه درشاخص صنعت خودرو بعنوان نمونه پژوهش انتخاب گردید. افق زمانی پژوهش ۱۰ ساله ازتاریخ ۱۳۸۷/۰۹/۲۳ تا ۱۳۹۶/۱۲/۱۳ انتخاب گردید.

مدل تحلیلی پژوهش

یکی از ساده ترین مدل‌های تصادفی، مدل تصادفی با جمله رانش و نوسانات تصادفی ثابت است. این مدل تحت عنوان حرکت براونی هندسی نیز شناخته شده و فرآیندی است که بلک، شولز و مرتون نیز در مدل‌سازی قیمت اوراق مشتقه به عنوان معادله دیفرانسیل تصادفی حاکم بر رفتار قیمت دارایی پایه در نظر گرفتند. براساس تعریف ارزش یک فرایندتصادفی مثل قیمت سهام S_t یک حرکت براوونی هندسی با عامل رانش واقعی μ وتلاطم تصادفیσ می‌باشد اگر و فقط اگر S_t جوابی برای معادله دیفرانیسل تصادفی زیر باشد:

$$dSt = S_t\,\mu\,dt + S_t\,\sigma\,dW \qquad \text{رابطه ۱۲)}$$

جهت شبیه سازی باید معادله دیفرانسیل تصادفی فوق حل شود. اینگونه معادلات به صورت یک فرایند تصادفی می‌باشد. در خصوص رفتار دقیق قسمت تصادفی اطلاعاتی در دسترس نبوده وتنها در خصوص توزیع آن می‌توان قضاوت کرد. اضافه کردن این جزء تصادفی به مدل ساده اولیه موجب ایجاد یک معادله دیفرانسیل تصادفی می شود که به روش‌های معمول قابل حل

نبوده و نیازمند تکنیک‌های حسابان تصادفی است. برای حل معادله دیفرانسیل فوق که به مدل حرکت براوونی هندسی مشهوراست ازروش پیچیده ریاضی به نام لم ایتو استفاده می‌شودکه بدلیل محاسبات پیچیده نیازبه دانش ریاضی دارد. رویکردپویایی شناسی سیستمی واستفاده از نرم افزارVensim DSSکاربرپسندتربوده ونیازی به دانش پیچیده انتگرال گیری وحل معادلات دیفرانسیلی ندارد. دراین بخش بدون اثبات ریاضی جواب معادله دیفرانسیل تصادفی فوق صرفاً جواب نهایی معادله دیفرانسیل تصادفی یادشده اکتفامی شودکه نشان دهنده حرکت براونی هندسی است:

$$S_t = S_0.\exp\left(\left(\mu - \frac{1}{2}\sigma^2\right)t + \sigma W_t\right)$$ رابطه ۱۳)

بنابراین فرض می‌شودکه قیمت سهام ازیک فرایندتصادفی پیروی می‌کند وفرایندتصادفی، یک معادله دیفرانسیل تصادفی SDE [۱۳]به صورت رابطه زیر می‌باشد که بمنظور آزمون فرضیه‌های پژوهش ازآن استفاده می‌شود:

$$dS_t = S_t\,\mu\,dt + S_t\,\sigma\,\varepsilon\sqrt{dt}$$ رابطه ۱۴)

دراین رابطه dSt خالص تغییردرقیمت سهام عادی، S_t قیمت سهام عادی درزمان t ام ، μ عامل رانش (میانگین تغییرات قیمت پایانی روزانه سهام عادی)، dt گام زمانی، σ انحراف معیارقیمت پایانی روزانه سهام عادی، dW عامل فرایند براوونی، ε توزیع نرمال استاندارد بامیانگین صفروانحراف معیاریک و $\sqrt{dt}$ریشه دوم گام زمانی می باشد.

تعریف متغیرهای کلیدی و طراحی نمودارعلی _حلقوی پویایی های سیستم پژوهش

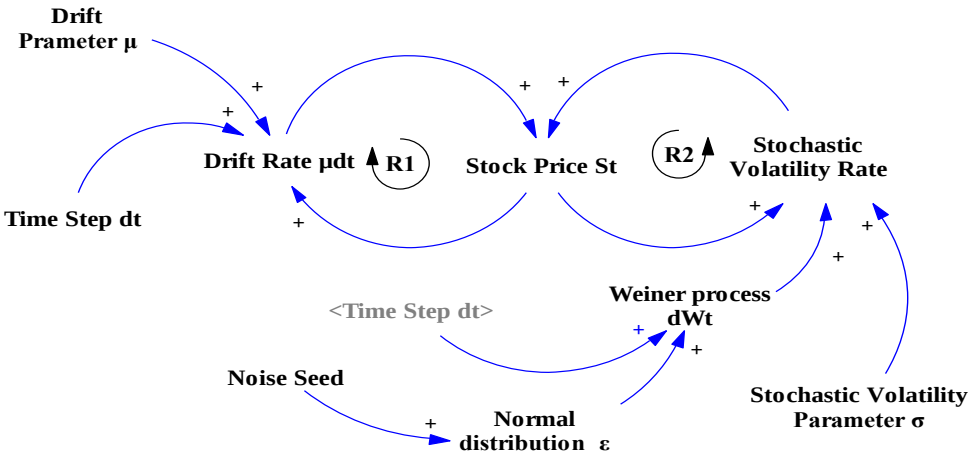
برای تبیین ارتباط بین متغیرها در روش پویایی شناسی سیستمی، ارتباط این متغیرها بر اساس روابط علت و معلولی در نمودارعلی معلولی نمایش داده شده و برای انجام عملیات شبیه سازی، این متغیرها در قالب متغیرهای نرخ وحالت گروه بندی شده و در نهایت نمودارحالت و جریان مربوط ترسیم می‌شود. برای بیان مدل مفهومی پژوهش به تفکیک متغیرهای درون‌زا [۱۴] و برون‌زا [۱۵] (طبق جدول ۱) اقدام ودرقالب نمودارعلی –حلقوی ترسیم نموده و سپس با بکارگیری نمادهای خاص ازپیش تعریف شده، متغیرهای پژوهش به تفکیک متغیرهای حالت و جریان شناسایی و از نمودارعلی–حلقوی برای تبدیل به نمودارحالت و جریان استفاده خواهدشد

جدول۱: معرفی متغیرهای کلیدی پژوهش به تفکیک درون زا وبرون زا

فارسی	لاتین	نوع متغیر
قیمت اولیه سهام	Initial Stock Price	برون زا
قیمت سهام	Stock Price	درون زا
نرخ رانش	Drift Rate	درون زا
پارامترانش روزانه	Daily Drift Parameter	برون زا
گام زمانی	Time Step	برون زا
ریشه دوم گام زمانی	Square Root of Time Step	درون زا
نرخ عامل تلاطم تصادفی	Stochastic Volatility Rate	درون زا
عامل فرایندبراوونی (وینر)	Wiener Process	درون زا
پارامتر تلاطم تصادفی	Daily Stochastic Volatility Parameter	برون زا
توزیع نرمال استاندارد	Standard Normal Distribution	درون زا
ریشه اختلال تصادفی (نویز)	Noise Seed	برون زا

منبع : متغیرهای مدل پژوهش

مدل پژوهش درقالب نمودارعلی –حلقوی(طبق نمودار ۱) ترسیم و وابستگی بین متغیر حالت سیستم ونرخ خالص تغییرنشان داده می‌شود. قبل ازترسیم نمودارحالت وجریان، ابتدا بایستی وضعیت متغیرهای حالت وجریان را بااستفاده ازنمودارعلی – حلقوی تعیین نمود (استرمن ،۱۳۹۵).



نمودار ۱ : مدل مفهومی پژوهش درقالب نمودارعلی – حلقوی طراحی شده توسط نرم افزار Vensim DSS(منبع : مدل پژوهش)

(R) نماد حلقه تقویت کننده درمدل می‌باشد. هرپیکان نشان دهنده یک رابطه علی است. علامت (+) نشان می‌دهد که در صورت ثابت ماندن سایرمتغیرها، اگرعلت x افزایش (کاهش)یابد، معلول y بیشتر(کمتر) از قبل، افزایش (کاهش) می یابد. علامت (-)نشان می‌دهدکه درصورت ثابت ماندن سایر متغیرها، اگر علتx افزایش (کاهش) یابد، معلولy کمتر (بیشتر) ازقبل، کاهش (افزایش) می‌یابد. حلقه های بازخوردی – مثبت (تقویت کننده) باعلامت (R) و حلقه های بازخوردی منفی (تعادلی) باعلامت (B) نمایش داده شده است.

حلقه های تقویتی عامل رانش (R۱) و عامل تلاطم تصادفی (R۲)

حلقه عامل رانش تاثیرگذاری جمله نرخ رانش رابرقیمت سهام، طبق مدل حرکت براوونی هندسی نشان می دهد. درصورت ثابت ماندن سایرمتغیرهای مدل، اگرعامل نرخ رانش افزایش یابد، قیمت سهام بیشترازقبل افزایش یافته و سیرصعودی می پیماید، ولی اگرعامل نرخ رانش کاهش یابد، قیمت سهام کمتر ازقبل کاهش یافته و سیرنزولی پیموده، افت می‌نماید. و حلقه تلاطم تصادفی نیز تاثیرگذاری جمله نرخ تلاطم تصادفی را برقیمت سهام، طبق مدل حرکت براوونی هندسی نشان می‌دهد. درصورت ثابت ماندن سایرمتغیرهای مدل، اگرعامل نرخ تلاطم تصادفی افزایش یابد، قیمت سهام بیشترازقبل افزایش یافته و سیرصعودی می پیماید، ولی اگرعامل نرخ تلاطم تصادفی کاهش یابد، قیمت سهام کمتر ازقبل کاهش یافته و سیرنزولی پیموده، افت می‌نماید.

طراحی نمودارپویایی های سیستم وتعیین وضعیت متغیرهای نرخ وحالت

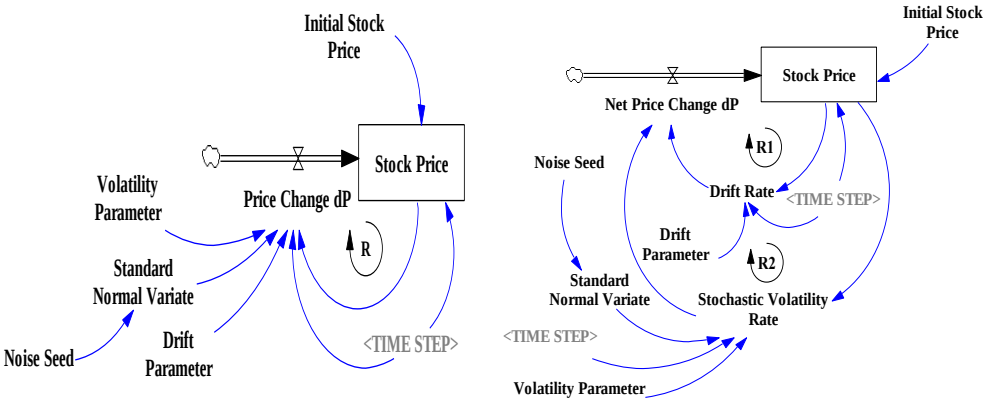
نمودارهای علی – حلقوی دربسیاری ازمواردبرای درک روابط علی، وابستگی های متقابل و فرایندهای بازخوردی مناسب بوده ونقش موثری درارائه مدل مفهومی وذهنی ازسیستم دارد. متغیرهای مورداستفاده دراین نمودارب سه گروه متغیرهای حالت ، نرخ یا جریان، کمکی، ثابت و سایه طبقه بندی می‌شوند. جدول ۲ نیز متغیرهای کلیدی پژوهش رابه تفکیک متغیرهای حالت وجریان نشان می‌دهد:

جدول۲: معرفی متغیرهای مورداستفاده به تفکیک متغیرهای حالت وجریان

فارسی	نماد ریاضی	معادلات تبیینی	نوع متغیر
قیمت اولیه سهام	$S0$	۱۲۹۵ ریال	ثابت
قیمت سهام شبیه سازی	St	Price change/Time Step= dSt / dt	حالت
خالص تغییرقیمت سهام	dSt	Drift Rate 1 - Drift Rate 2 + Volatility Rate	جریان
نرخ رانش	$St\mu dt$	*Price*Drift Parameter*TIMESTEP=* $St\mu dt$	کمکی
عامل رانش روزانه	μ	*GET XLS DATA ('?SymbolTrade_IROIKCO_Stock Price' ,Sheet1,a,c2)*	ثابت
گام زمانی	dt	۱ Day	ثابت
ریشه دوم گام زمانی	$\sqrt{dt}$	SQRT(TIME STEP) =$\sqrt{dt}$	کمکی
نرخ تلاطم تصادفی	$St\sigma\varepsilon\sqrt{dt}$	Price * Volatility Parameter * Standard Normal Distribution * SQRT(TIME STEP)	کمکی
عامل فرایندبراوونی	dW	$\varepsilon\sqrt{dt}$	کمکی
عامل تلاطم روزانه	σ	*GET XLS DATA ('?SymbolTrade_IROIKCO_Stock Price' ,Sheet1,a,d2)*	ثابت
توزیع نرمال استاندارد	ε	RANDOM NORMAL(-10, 10 , 0, 1 , Noise Seed)	کمکی
ریشه اختلال (نویز)	Ns	۱	ثابت

(منبع : یافته های پژوهش)

پس ازتعریف متغیرهای پژوهش به تفکیک متغیرهای حالت وجریان، مدل پژوهش در قالب نمودارحالت وجریان ترسیم و وابستگی بین متغیرحالت سیستم ونرخ خالص تغییرنشان داده می‌شود. نمودار۲و ۳ مدل مفهومی پژوهش را درقالب نمودارحالت وجریان تک حلقه ای و دو حلقه‌ای که توسط نرم افزار Vensim DSSطراحی شده را نشان می‌دهد:



نمودار۲: مدل مفهومی پژوهش درقالب نمودارجریان وحالت تک حلقه ای (سمت چپ) و حالت دو حلقه ای (سمت راست) طراحی شده در Vensim DSS (منبع : مدل پژوهش)

یافته های پژوهش

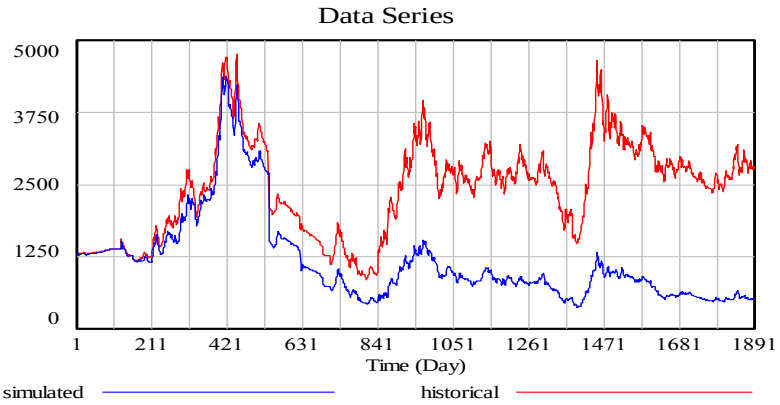
شبیه سازی واعتبارسنجی مدل پژوهش

برای اعتبارسنجی مدل شبیه سازی شده به یک پارامتر اعتبارسنجی نیاز هست که قبل از کالیبراسیون انجام می شود. در صورتی که خروجی نرم افزار با پارامترهای پیش فرض اولیه در محاسبه قیمت سهام بیش از خطای قابل قبول ۱۵ درصد باشد، انجام کالیبراسیون ضروری خواهد شد. پس از انجام کالیبراسیون دوباره اعتبارسنجی مدل انجام می‌شود تا مشخص شود آیا مقدار خطای شبیه سازی به مقادیر استاندارد خود رسیده است یا خیر(رحیم اف ونعمتی، ۲۰۱۵).

جدول۳: نتایج حاصل ازشبیه سازی قیمت سهام با ۱ = Noise Seed

متغیر	تعداد	کمینه	بیشینه	میانگین	میانه	انحراف معیار	انحراف معیار استاندارد
قیمت پایانی سهام (تاریخی)	۱۸۹۱	۸۵۵	۴۷۶۲	۲۴۱۰	۲۵۳۵	۸۲۰/۹	۰/۳۴۰۶
قیمت پایانی سهام (شبیه سازی)	۱۸۹۱	۳۶۹/۷	۴۳۸۴	۱۱۷۳	۹۲۷/۸	۷۶۶/۹	۰/۶۵۳۹
تغییرقیمت	۱۸۹۱	-۷۳۵/۸	۱۶۹/۶	-۰/۴۱۲۲	-۰/۷۷۸۸	۳۴/۸۷	-۸۴/۵۹
پارامترارانش فیزیکی	۱۸۹۱	-۰/۱۸۵۱	۰/۱۴۸۴	۰/۰۰۰۴۱	-۰/۰۰۰۷۱	۰/۰۲۰۶۹	۵۰/۴۳
نرخ رانش فیزیکی ۱	۱۸۹۱	-۴۸۰/۶	۱۶۰	۰/۲۲۱۲	-۰/۶۶۱۵	۲۹/۵۶	۱۳۳/۶
پارامترتلاطم تصادفی	۱۸۹۱	۰	۰/۱۲۶۸	۰/۰۰۸۳۳	۰/۰۰۵۳۲	۰/۰۰۹۶۴	۱/۱۵۶
مربعات تلاطم تصادفی /۲	۱۸۹۱	۰	۰/۰۰۸۰۴	۸/۱۰e-۰۵	۱/۴۰e-۰۵	۰/۰۰۰۳۱	۳/۹۳۶
نرمال استاندارد	۱۸۹۱	-۳/۶۰۵	۳/۱۶۵	-۰/۰۲۷۳	-۰/۰۱۰۱۶	۰/۹۹۲۲	-۳۶/۳۵
نرخ تلاطم تصادفی	۱۸۹۱	-۲۵۵/۲	۹۱/۶۱	-۰/۶۳۳۴	۰	۱۴/۶	-۲۳/۰۵

منبع : یافته های پژوهش



نمودار۴: شبیه سازی قیمت سهام شرکت ایران خودرو طی دوره زمانی ۱۳۸۷/۹/۲۳ الی ۱۳۹۶/۱۲/۱۳(منبع : یافته های پژوهش)

تحلیل حساسیت

برای بدست آوردن پارامترهای مناسب جهت کالیبراسیون، تحلیل حساسیت انجام می‌شود. اگر پارامتر حساس شناخته شد، در مراحل بعدی به عنوان پارامتر کالیبراسیون از آن استفاده

می‌شود، در غیر این صورت از لیست پارامترهای کالیبراسیون حذف می‌شود. درمدل پژوهش دو پارامتر منشا نویز وگام زمانی به عنوان پارامترهای تحلیل حساسیت شناسایی شدند. بااستفاده ازروش شبیه سازی مونت کارلو به ازای تعداد تکرار متفاوت غیرمتناوب مابین ۱۰۰ تا ۵۰۰۰ تکرار، قیمت سهام شرکت ایران به ازای تغییردرپارامتربرون زای ریشه اختلال شبیه سازی درمحدوده ۱۰ و۱۰- باتابع یکنواخت تصادفی شد و نتیجه این تحلیل حساسیت درجدول ۴ گزارش شده است.

جدول۴. تحلیل حساسیت قیمت سهام ایران خودرو به ازای تغییرات تصادفی ریشه اختلال وگام زمانی

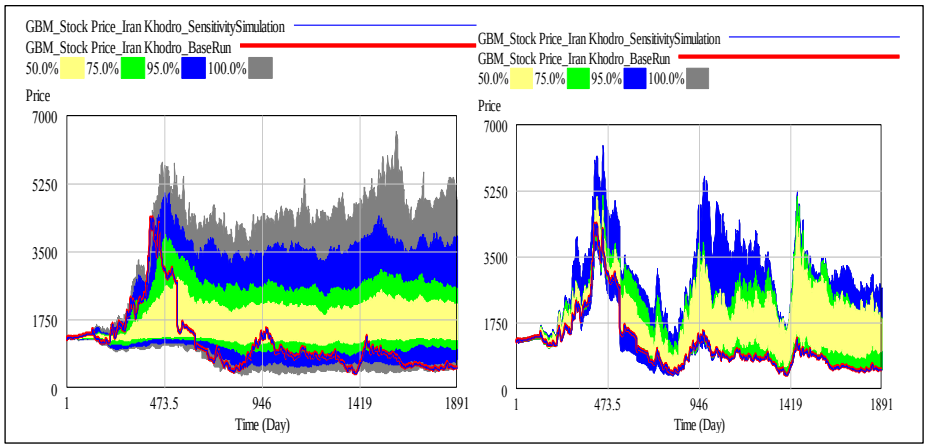
تعداد شبیه سازی	تحلیل حساسیت متوسط قیمت سهام	
	به ازای تغییرات تصادفی پارامتریشه اختلال	به ازای تغییرات تصادفی پارامتر گام زمانی
۱۰۰	۱۸۲۶	۱۶۳۸
۵۰۰	۱۸۷۵	۱۶۸۳
۱۰۰۰	۱۸۷۱	۱۶۹۶
۲۰۰۰	۱۸۶۸	۱۶۸۲
۵۰۰۰	۱۸۷۳	۱۶۹۶
متوسط قیمت	۱۸۶۲	۱۶۷۹

منبع : یافته های پژوهش

همانطوری که درجدول ۴ قابل مشاهده است متوسط قیمت سهام شبیه سازی به ترتیب پارامتر ریشه اختلال و گام زمانی ۱۸۶۲ و ۱۶۷۹ ریال است که نسبت به متوسط قیمت سهام تاریخی به ارزش ۲۴۱۰ ریال که درجدول۳ گزارش شده است، دارای خطای پیش بینی به میزان ۲۲/۷۴ درصد و ۳۰/۳۵ درصد است. چون خروجی نرم افزار با پارامترهای پیش فرض اولیه در محاسبه قیمت سهام بیشتر از خطای قابل قبول ۱۵ درصد می‌باشد، انجام کالیبراسیون به ازای هر دو پارامتر یعنی ریشه اختلال و گام زمانی ضروری بنظر می‌رسد.

جهت تخمین مناسبی از محدوده ریشه اختلال ازروش آزمون وخطا و مشاهده میدانی رفتارسیستم استفاده گردید، چراکه استفاده از مقادیر خارج از محدوده مشخص نه تنها اعتبار شبیه سازی را کاهش می‌دهد بلکه معمولا شبکه شبیه سازی شده را دچار مشکل می‌کند. نمودار۵ تغییرات قیمت سهام شرکت ایران خودرو رابه ازای تغییرات ریشه اغتشاش درمحدوده

۱۰ و ۱۰- وتعداد ۵۰۰ تکرار و تغییرات گام زمانی درمحدوده ۰ و ۱ روز وتعداد ۱۰۰۰ تکرارشبیه سازی مونت کارلو نشان می‌دهد.



نمودار۵: تحلیل حساسیت قیمت سهام به ازای تغییرات تصادفی پارامتر ریشه اختلال / منشانویز 10=> Noise seed =>-10 و ۵۰۰ تکرار(سمت راست) و تحلیل حساسیت قیمت سهام شرکت ایران خودرو به ازای تغییرات تصادفی پارامترگام زمانی ۰=> Time Step =>۱ و 1000تکرار(سمت چپ) (منبع : یافته های پژوهش)

بهینه سازی پیش بینی به روش کالیبراسیون

پی آزمایی بهینه بودن معمولا به ۲ روش انجام می‌گیرد :

۱- کالیبراسیون

۲- سیاست گذاری

دراین پژوهش بهینه سازی به روش کالیبراسیون انجام گرفت . مراحل پی آزمایی بهینه بودن به روش کالیبراسیون به شرح زیرانجام می‌گیرد :

۱-مقایسه باداده های واقعی

کالیبراسیون شامل یافتن مقادیر ثابت مدل است که باعث می‌شود مدل منحنی‌های رفتاری ایجاد کند که به بهترین شکل با داده‌های دنیای واقعی سازگار باشد. برای دستیابی به تناسب بهتر بین داده‌های دنیای واقعی و خروجی شبیه سازی، می‌توان بصورت دستی ثابت‌های مدل را تغییر داد، دراین صورت برازش یک مدل پیچیده با بسیاری از ثابت‌های بهینه سازی و بسیاری

از متغیرها یا مجموعه داده‌ها بسیار زمان بر خواهدبود. درمدل‌های پیچیده با استفاده از بهینه‌سازی، ونسیم به طور خودکار ثابت های مورد نظر مدل را تغییر داده و بهترین برازش بین خروجی شبیه سازی و داده های دنیای واقعی راجستجو می‌کندکه دراین پژوهش ازروش دوم استفاده می‌شود.

۲-تنظیم جریمه (یابازده)

در بهینه سازی به روش کالیبراسیون، جریمه مشخص می‌کند که کدام متغیر (ها) را می‌توان برازش نمود.وزنها برای متوازن کردن اندازه‌های عددی متغیرهای مختلف عمل می‌کنند. جهت کالیبره ونزدیکترنمودن هرچه بیشتر قیمت سهام باداده های واقعی این وزن عددی نزدیک به صفر حدود 1/00e-14 انتخاب می‌شود.

۳-تنظیم پارامترهای بهینه سازی

پس از تعریف جریمه لازم است تاپارامترهای بهینه سازی مدل تعریف شود تا به همراه حداکثر و حداقل محدوده تعریف شده برای هر پارامترتغییرنماید و نسیم برای پیدا کردن مقادیر بهینه ثابت به منظور مطابقت خروجی با داده‌های دنیای واقعی، شبیه سازی‌های مختلفی به روش مونت کارلو را بر روی مدل انجام می‌دهد. حداکثر جریمه یا بهترین برازش خروجی شبیه سازی با داده‌های واقعی به صورت یک عدد نمایش داده می‌شود و مقادیر ثابت لازم است به آن جریمه برسد. دراین پژوهش از پارامترهای پیش فرض ونسیم استفاده شده و حداقل و حداکثر محدوده برای پارامترهای تحلیل حساسیت مابین ۱۰ و ۱۰- تنظیم می‌شود .

۴- تعدیل مدل

ثابت‌های‌موجود در مدل تعدیل‌می‌شود تا مقادیرداده‌شده توسط بهینه‌سازی اعمال گردد. در این‌پژوهش پس ازیافتن ثابت‌های بهینه دوباره مدل‌تعدیل وشبیه‌سازی دوباره انجام‌خواهدگرفت.

پس از ساخت مدل شبیه سازی شده، اعتبار مدل سنجش و در صورتی که خطای پارامتر اعتبارسنجی آن با واقعیت بیشتر از مقدار استاندارد باشد، کالیبراسیون انجام می شود. بنابراین کالیبراسیون به عنوان فرایندی برای مرتب سازی و انتخاب دقیق پارامترهای ورودی انجام می شود تا مدل SD همانطور که در نظر گرفته شده است رفتار نماید(کاواتسکی[۱۶]، ۲۰۱۷). درمرحله تحلیل حساسیت پارامترهای کالیبراسیون یعنی منشا نویزوگام زمانی شناسایی شده و در مرحله کالیبراسیون این پارامترها بنحوی کالیبره وتنظیم می‌شوند تا اختلاف میان پارامتر

اعتبارسنجی(قیمت سهام) در مدل شبیه سازی شده و واقعیت به مقدار مجاز رسیده و خطای شبیه سازی به مقدار استاندارد برسد. جدول ۶ پارامترهای پیش فرض بهینه‌سازی به روش کالیبراسیون رانشان می‌دهد.

جدول۶: پارامترهای بهینه سازی به روش کالیبراسیون

پارامترهای بهینه سازی	مقدار	پارامترهای بهینه سازی	مقدار
ماکزیمم تکرار	۱۰۰۰	ضریب دلتای مونت کارلو	۰/۰۰۰۱
تلورانس فاکتوریل	۰/۰۰۰۳	ضریب پرش مونت کارلو	۰/۰۵
ضریب تلورانس	۲۱	ضریب اپسیلون مونت کارلو	۰/۰۱
ضریب گامای مونت کارلو	۰/۰۵	وزن کالیبراسیون	۱۴e-۱/۰۰

منبع : یافته های پژوهش

برای تعیین مقدار دقیق پارامتر کالیبراسیون ریشه اختلال جهت نزدیک شدن نتایج به واقعیت، قیمت سهام شبیه سازی درمقایسه با قیمت سهام تاریخی با وزن کالیبراسیون ۱/۰۰e-۱۴ بعنوان پارامتراعتبارسنجی انتخاب شد. همچنین عامل ریشه اختلال بعنوان پارامتر بهینه سازی درمحدوده ۱۰ و۱۰- تنظیم شده و با ۱۰۰۰ تکراروتلورانس فاکتوریل ۰/۰۰۰۳ کالیبراسیون انجام شد. جدول۷ نتیجه فرایندکالیبراسیون مدل به ازای تغییرات تصادفی درریشه اختلال درمحدوده تعیین شده ۱۰و۱۰- را نشان می‌دهد. همانطوری که درجدول ۷ گزارش شده است حداکثرجریمه به ازای بهینه سازی ریشه اختلال بمیزان ۲/۵۷۱۴۹ درشبیه سازی تکرار ۹ حاصل شده است .

جدول۷: بهینه سازی به روش کالیبراسیون به ازای تغییرات تصادفی پارامترریشه اختلال / منشانویز

پارامتر	کمینه	بیشینه	شبیه سازی	ارزش	حداکثرجریمه ۱۷
منشا نویزمدل اولیه	-۱۰	۱۰	۱	۱/۵۰۴	-۴/۳۷e-۱۹
منشا نویزمدل بهینه	-۱۰	۱۰	۹	۲/۵۷۱۴۹	-۲/۹۱e-۲۰

منبع : یافته های پژوهش

پس از انجام کالیبراسیون دوباره اعتبارسنجی مدل به ازای پارامتربهینه ریشه اختلال انجام شد تا مشخص شود مقدارخطای شبیه سازی به مقادیر استاندارد خود رسیده است یاخیر. بنابراین ریشه اختلال روی مقدار۲/۵۷۱۴۹ تنظیم شده و نتایج حاصل از اعتبارسنجی شبیه سازی

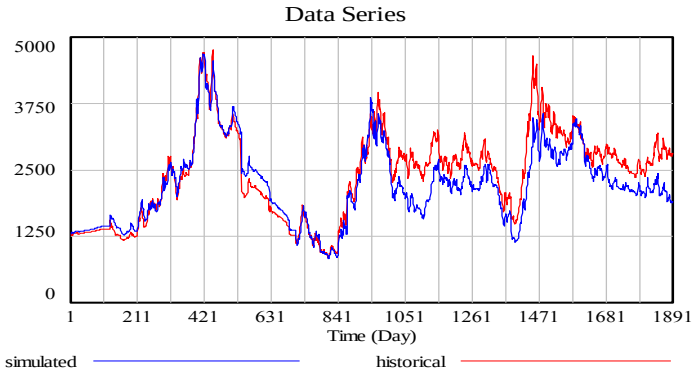
قیمت سهام پس از فرایند کالیبراسیون به ازای پارامتر ریشه اختلال درجدول ۸ گزارش گردیده است.

جدول ۸: نتایج حاصل ازشبیه سازی قیمت سهام با ۲/۵۷۱۴۹ = Noise Seed

متغیر	تعداد	کمینه	بیشینه	میانگین	میانه	انحراف معیار	انحراف معیار استاندارد
قیمت پایانی سهام(تاریخی)	۱۸۹۱	۸۵۵	۴۷۶۲	۲۴۱۰	۲۵۳۵	۸۲۰/۹	۰/۳۴۰۶
قیمت پایانی سهام(شبیه سازی)	۱۸۹۱	۸۳۲/۱	۴۶۸۶	۲۲۰۶	۲۱۶۴	۷۳۲/۸	۰/۳۳۲۳
خالص تغییرقیمت	۱۸۹۱	-۵۴۸/۵	۵۰۰/۱	۰/۳۱۹۹	-۰/۹۸۷	۵۵/۶۸	۱۷۴/۱
رانش	۱۸۹۱	-۰/۱۸۵۱	۰/۱۴۸۴	۰/۰۰۰۴۱	-۰/۰۰۰۷۱	۰/۰۲۰۶۹	۵۰/۴۳
نرخ رانش	۱۸۹۱	-۵۷۱/۲	۲۲۴	۰/۰۵۵۷۷	-۱/۱۴۴	۴۸/۹۱	۸۷۷
پارامترتلاطم تصادفی	۱۸۹۱	۰	۰/۱۲۶۸	۰/۰۰۸۳۳	۰/۰۰۵۳۲	۰/۰۰۹۶۴	۱/۱۵۶
مربعات تلاطم تصادفی /۲	۱۸۹۱	۰	۰/۰۰۸۰۴	۰/۰۰۰۰۸۱	۰/۰۰۰۰۱۴	۰/۰۰۰۳۱	۳/۹۳۶
نرمال استاندارد	۱۸۹۱	-۳/۶۰۵	۳/۱۶۵	-۰/۰۲۷۳	-۰/۰۱۰۱۶	۰/۹۹۲۲	-۳۶/۳۵
نرخ تلاطم تصادفی	۱۸۹۱	-۳۰۸/۸	۳۴۰/۲	۰/۲۶۴۱	۰	۳۰/۴۹	۱۱۵/۵

منبع : یافته های پژوهش

بامطالعه جدول ۸ می توان دریافت که خطای پیش بینی پس ازکالیبراسیون به ازای پارامتریشه اختلال بمیزان ۲/۵۷۱۴۹ از ۲۲/۷۳ درصد به ۸/۵ درصد کاهش یافته است. نمودار۷ نتیجه بهینه سازی شبیه سازی قیمت سهام شرکت ایران خودرو را به ازای ریشه اختلال۲/۵۷۱۴۹ نشان می‌دهد.



نمودار۷: بهینه سازی شبیه سازی قیمت سهام ایران خودرو به ازای تغییرات تصادفی ریشه اختلال (منبع : یافته های پژوهش)

برای تعیین مقدار دقیق پارامتر کالیبراسیون گام زمانی نیز، همانندمرحله قبل قیمت سهام شبیه سازی درمقایسه با قیمت سهام تاریخی باوزن کالیبراسیون۱/۰۰e-۱۴بعنوان پارامتر اعتبارسنجی انتخاب شد. همچنین عامل گام زمانی بعنوان پارامتربهینه سازی درمحدوده ۱ و۰ تنظیم شده و با ۱۰۰۰ تکراروتلورانس فاکتوریل ۰/۰۰۰۳ کالیبراسیون انجام شد. جدول ۹ نتیجه فرایندکالیبراسیون مدل به ازای تغییرات تصادفی درگام زمانی را درمحدوده تعیین شده ۱۰و۱۰- نشان می‌دهد. همانطوری که درجدول ۹ گزارش شده است حداکثرجریمه به ازای بهینه سازی گام زمانی بمیزان ۰/۹۴۹۴۲۸ درشبیه سازی تکرار ۲۴ حاصل شده است .

جدول۹: بهینه سازی شبیه سازی قیمت سهام به روش کالیبراسیون به ازای تغییرات تصادفی پارامترگام زمانی

پارامتر	کمینه	بیشینه	شبیه سازی	ارزش	حداکثرجریمه
گام زمانی مدل اولیه	۰	۱	۱	۱	-۴/۳۷e-۱۹
گام زمانی مدل بهینه	۰	۱	۲۴	۰/۹۴۹۴۲۸	-۹/۰۸e-۲۱

منبع : یافته های پژوهش

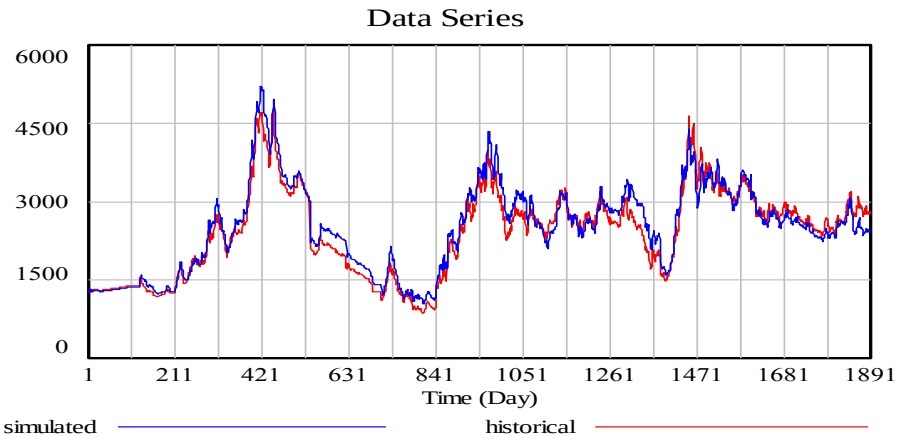
پس از انجام کالیبراسیون دوباره اعتبارسنجی مدل به ازای پارامتربهینه گام زمانی انجام شد تا مشخص شود مقدارخطای شبیه سازی به مقادیر استاندارد خود رسیده است یا خیر. بنابراین گام زمانی مدل نهایی روی مقدار۰/۹۴۹۴۲۸تنظیم شده ونتایج حاصل ازاعتبارسنجی شبیه سازی قیمت سهام پس ارفرایندکالیبراسیون به ازای پارامترگام زمانی درجدول ۱۰ گزارش شد .

جدول ۱۰: نتایج حاصل ازشبیه سازی قیمت سهام با ۰/۹۴۹۴۲۸ =Time Step

متغیر	تعداد	کمینه	بیشینه	میانگین	میانه	انحراف معیار	انحراف معیار استاندارد
قیمت پایانی سهام(تاریخی)	۱۸۹۱	۸۵۵	۴۷۶۲	۲۴۱۰	۲۵۳۵	۸۲۰/۹	۰/۳۴۰۶
قیمت پایانی سهام(شبیه سازی)	۱۹۹۲	۸۳۱/۹	۵۳۱۴	۲۳۴۰	۲۳۹۷	۸۴۸/۱	۰/۳۶۲۴
تغییرقیمت	۱۹۹۲	-۴۲۲/۴	۲۷۸/۵	۰/۷۳۰۱	-۰/۸۲۵۲	۵۲/۱۷	۷۱/۴۶
پارامترارانش	۱۹۹۲	-۰/۱۸۱۴	۰/۱۴۵۹	۰/۰۰۰۴۱	-۰/۰۰۰۷۵	۰/۰۱۹۲۴	۴۶/۵۲
رانش روزانه	۱۸۹۱	-۰/۱۸۵۱	۰/۱۴۸۴	۰/۰۰۰۴۱	-۰/۰۰۰۷۱	۰/۰۲۰۶۹	۵۰/۴۳
نرخ رانش	۱۹۹۲	-۴۶۰/۴	۲۰۱/۱	۰/۳۹	-۱/۳۸۴	۴۶/۱۸	۱۱۸/۴
پارامترتلاطم تصادفی	۱۹۹۲	۰	۰/۰۸۰۹۹	۸/۳۳e-۰۳	۶/۳۶e-۰۵	۰/۰۰۸۰۱	۰/۹۶۲۲
تلاطم تصادفی روزانه	۱۸۹۱	۰	۰/۱۲۶۸	۸/۳۳e-۰۳	۵/۳۲e-۰۳	۰/۰۰۹۶۴	۱/۱۵۶
مربعات تلاطم تصادفی /۲	۱۹۹۲	۰	۰/۰۰۳۲۸	۶/۷۰e-۰۵	۲/۰۰e-۰۵	۰/۰۰۰۱۷	۲/۶۱۱
نرمال استاندارد	۱۹۹۲	-۳/۶۰۵	۳/۱۶۵	-۲/۷۴e-۰۲	-۱/۷۷e-۰۲	۰/۹۹۱	-۳۶/۱۱
نرخ تلاطم تصادفی	۱۹۹۲	-۱۸۳/۳	۱۶۸/۵	۳/۴۰e-۰۱	-۱/۵۰e-۰۵	۲۶/۸۹	۷۹/۰۵

منبع : یافته های پژوهش

بامطالعه جدول۱۰ می‌توان دریافت که خطای پیش بینی پس ازکالیبراسیون به ازای پارامتر گام زمانی بمیزان۰/۹۴۹۴۳ از ۳۰/۳۵ درصد به ۳/۶۳ درصد کاهش یافته است. نمودار۸ نتیجه بهینه سازی شبیه سازی قیمت سهام شرکت ایران خودرو را به ازای گام زمانی۰/۹۴۹۴۳ نشان می‌دهد. بامقایسه نتایج جدول ۸ و۱۰ مشاهده می شودکه تاثیرکالیبراسیون پارامترگام زمانی برقیمت سهام بیشتر از پارامتر ریشه اختلال بوده وخطای شبیه سازی بیشترکاهش یافته و قیمت سهام به داده های تاریخی نزدیکترمی‌شوند.



نمودار۸: بهینه سازی شبیه سازی قیمت سهام شرکت ایران خودرو به ازای تغییرات تصادفی گام زمانی (منبع : یافته های پژوهش)

برای اطمینان از اعتبارعملکرد الگو و روابط تعریف شده آزمون محاسبهٔ میزان خطا جهت محاسبه خطای پارامتراعتبارسنجی براساسPRMSE[۱۸]، MAE [۱۹]و RMSE [۲۰] انجام شد ونتایج حاصل درجدول ۱۱ به ازای بهترین ترکیب پارامترهای کالیبراسیون گزارش شد.

جدول۱۱: آزمون معیارهای خطا: MAE, RMSE, PRMSE درترکیب مختلف پارامترهای کالیبراسیون

پارامترهای بهینه سازی	RMSE	PRMSE	MAPE	APE	SPE
ریشه اختلال ۱ – گام زمانی ۱	۷۰۲/۴	۰/۲۸۸۴	۰/۲۳۰۸	۳۰۴/۴	۱۶۸/۸
ریشه اختلال ۲/۵۷۱– گام زمانی ۱	۲۱۸/۲	۰/۰۹۶۹۶	۰/۰۷۶۷۴	۸۶/۵۹	۱۳/۳۸
ریشه اختلال ۱- گام زمانی۰/۹۴۹۲۴۸	۱۶۰/۳	۰/۰۶۸۷۶	۰/۰۵۱۵۸	۵۹/۵۹	۶/۲۶۷

منبع : یافته های پژوهش

خلاصه آمارهای برازش تاریخی (استرمن، ۱۹۸۴) برای مدل های پویایی سیستم بعنوان یک آزمون اعتبارسنجی استاندارد محسوب می شود. این آمار برای تجزیه و تحلیل و تشخیص نتایج حاصل از کالیبراسیون مدل جزئی نیز مفید است. کالیبراسیون مدل جزئی معمولاً به فرایند تکرار فرموله کردن ساختار، برآورد پارامتر، تحلیل برازش، باقیمانده وفرموله کردن دوباره نیاز دارد و این فرایند تا رسیدن به سازه ای مطابق با دانش جاری درموردسیستم واقعی تکرار

می‌شود تا توانایی توضیح رفتار مشاهده شده را دارا باشد(روخلیو،۱۹۹۸). روش دیگر برای سنجش انحراف مقادیر شبیه سازی شده از داده های واقعی محاسبه UT[۲۱] است که همواره دارای مقداری بین صفر و یک خواهد بود؛ هرچه این مقدار به صفر نزدیک‌تر باشد، مقادیرشبیه سازی شده و واقعی، انحراف کمتری از یکدیگردارند. با توجه به اهمیت خطا در پیش بینی، شناخت منابع خطا و کاهش آن می‌تواند در افزایش اعتماد به نتایج الگو بسیار مؤثر باشد. تیل[۲۲](۱۹۹۶) ریشه های خطا را ناشی از سه عامل می‌داند:

۱- خطای نابرابری مبنا(U^m) [۲۳] : زمانی که خروجی‌های الگو با داده‌ها با هم سنخیت نداشته باشند که به آن خطای سیستماتیک می‌گویند؛

۲- خطای نابرابری واریانس(U^s) [۲۴]: زمانی که واریانس‌های داده‌های واقعی و شبیه سازی با هم تفاوت زیادی داشته باشند؛

۳- خطای نابرابری کوواریانس ها(U^c) [۲۵]: زمانی که نتایج الگو و داده‌ها با هم همبستگی نداشته باشند که دراصطلاح خطای غیرسیستماتیک نامیده می‌شود. برای محاسبه ریشه‌های خطا از رابطه زیر استفاده می‌شود

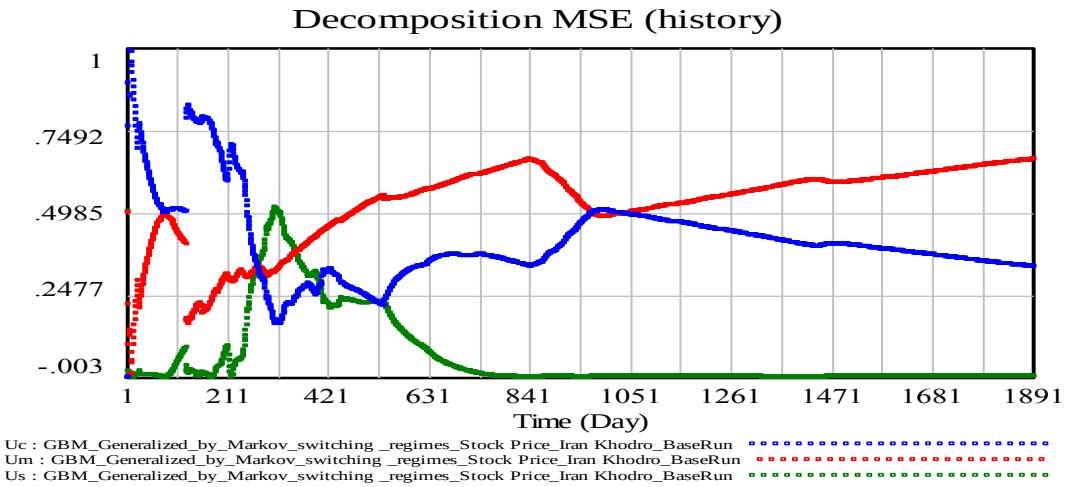
در حالت بهینه هرچقدر میزان خطای سیستماتیک وغیرسیستماتیک کمتر شود، به مفهوم صحت عملکردمدل شبیه سازی است. در حالت ایده ال $U^m = U^s = 0$ و $U^c = 1$ خواهدشد ومجموع این خطاها باید برابر یک باشد[۲۶].

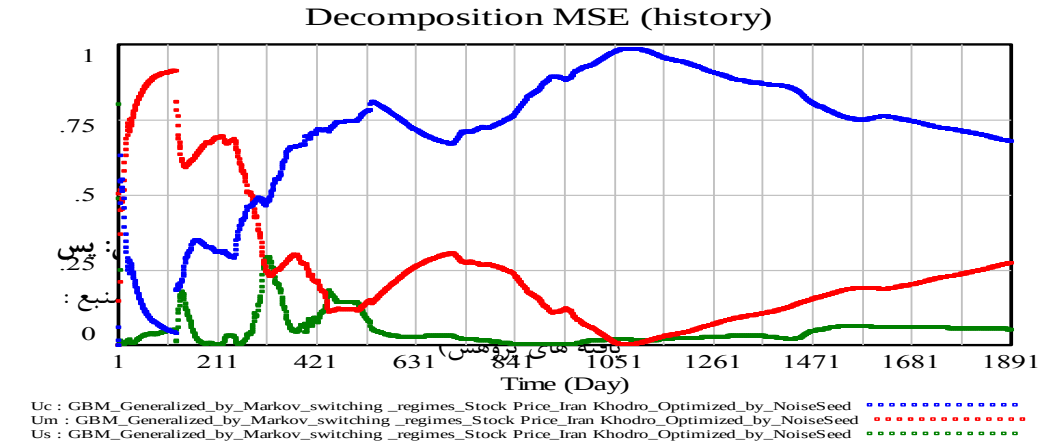
جدول ۱۲. آزمون شناسایی ریشه های خطا: MAE, RMSE, PRMSE در ترکیب های مختلف پارامترهای کالیبراسیون

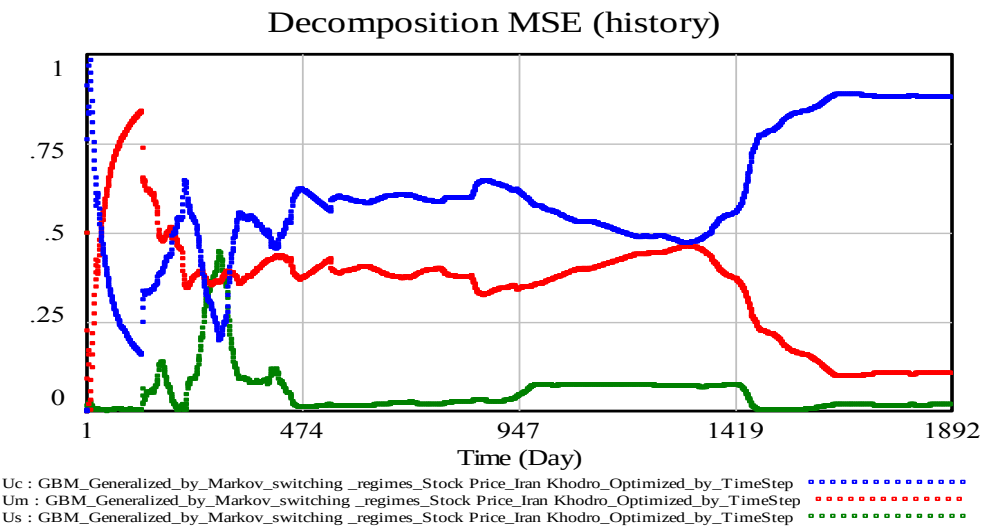
ترکیب پارامترهای کالیبراسیون	ریشه خطا			مجموع ریشه خطا
	خطای نابرابری مبنا	خطای نابرابری واریانس	خطای نابرابری کوواریانس ها	
ریشه اختلال ۱ – گام زمانی ۱	۰/۵۲۵	۰/۰۶	۰/۴۱۵	۱
ریشه اختلال ۲/۵۷۱– گام زمانی ۱	۰/۲۴۸	۰/۰۴۵	۰/۷۰۷	۱
ریشه اختلال ۱- گام زمانی۰/۹۴۹۴۲۸	۰/۳۵۲	۰/۰۴۹	۰/۵۹۹	۱

منبع : یافته‌های پژوهش

باتوجه به نتایج گزارش شده درجدول ۱۲ ومشاهده نمودار۱۰ می‌توان دریافت که با بهینه‌سازی پارامترهای کالیبراسیون میزان ریشه‌های خطا به حالت ایده آل یعنی خطای نابربری کوواریانس‌ها به سمت عدد یک و خطای نابرابری مبنا و خطای نابربری واریانس‌ها به سمت عدد صفر نزدیک شده و نشان از صحت عملکرد مدل پژوهش یعنی مدل حرکت براوونی هندسی تعمیم یافته با فرآیندرژیم سوئیچینگ مارکوف دارد. نمودار۱۰ تفکیک ریشه‌های میانگین مجذور خطای شبیه‌سازی را به ازای ترکیبات متفاوت پارامترهای‌کالیبراسیون قبل از کالیبراسیون (نمودارباالایی) وپس ازآن (نمودارمیانی وپائینی) نشان می‌دهد.







بحث، نتیجه گیری و پیشنهادها

این پژوهش فرایند قیمت گذاری تصادفی و چگونگی مدل‌سازی این فرایند را در قالب پویایی شناسی سیستمی را برای شرکت ایران خودرو طی دوره زمانی ۱۳۸۷ تا۱۳۹۶ تشریح می‌نماید. مدل حرکت براوونی هندسی تعمیم یافته بافرآیندرژیم سوئیچینگ مارکوف یکی ازمهمترین فرایندهای تصادفی برای مدل‌سازی قیمت گذاری سهام شرکت‌ها باتوجه به محیط اقتصادی هرکشوری بشمارمی‌رود. مدل پویایی شناسی سیستمی با محاسبه مقادیرمتوسط شبیه سازی مونت کارلوبه ازای مقادیرمتفاوتی ازپارامترهای مدل حرکت براوونی‌هندسی اعتبارسنجی گردید.

سهم اصلی این پژوهش نمایش تبدیل فرآیندپیچیده قیمت‌گذاری دررشته فاینانس به مدل‌های پویایی شناسی سیستمی است که ازلحاظ کاربردی ساده تروملموس تربوده و نیازی به درک فرآیند پیچیده قیمت‌گذاری نیست. هرچند رویکرد پویایی شناسی سیستمی رویکرد مشهور برای رفتار با سیستم‌های پیچیده بشمارمی‌رود، با وجود این رویکرد پویایی شناسی سیستمی مزایا و معایب خودراداراست (ژیکون ،ونیان، شنگان و زژو، ۲۰۱۸). نرم افزارهای پویایی شناسی سیستمی تصویرروشن وواضحی هم ازساختارمدل‌های مالی ازجمله حرکت براوونی هندسی وهم بردارپویایی های قیمت فراهم می‌نمایند.

درپارامترهای پیش فرض مدل، خطای شبیه سازی به ازای تغییرات تصادفی درریشه اختلال ۲۲/۷۴ درصد و درگام زمانی۳۰/۳۵ درصد برآوردشد. بعلت بالابودن خطای شبیه‌سازی

بالاترازحدقابل قبول ۱۵درصد هردو پارامترکالیبره شدند. جهت تخمین مناسبی از محدوده پارامترهای کالیبراسیون ازروش آزمون وخطا و مشاهده میدانی رفتارسیستم استفاده گردید. خطای شبیه سازی پس ازکالیبراسیون به ازای پارامتر ریشه اختلال از ۲۲/۷۳ درصد به ۸/۵ درصد ونیز به ازای پارامترگام زمانی از از ۳۰/۳۵ درصد به ۳/۶۳ درصد کاهش یافت. بنابراین دقت شبیه‌سازی به ازای پارامتر ریشه اختلال از۷۷/۲۶ درصد به ۹۱/۵ درصد و به ازای پارامترگام زمانی ۶۹/۶۵ درصد به ۹۶/۳۷ درصد افزایش یافت. همچنین یافته‌ها نشان می‌دهدکه با بهینه‌سازی پارامترهای کالیبراسیون میزان ریشه های خطا به حالت ایده آل رسیده یعنی خطای نابربری کوواریانس‌ها به سمت عدد یک و خطای نابرابری مبنا و خطای نابربری واریانس‌ها به سمت عدد صفر نزدیک شده و نشان ازصحت عملکرد مدل حرکت براوونی هندسی تعمیم یافته با فرآیندرژیم سوئیچینگ مارکوف درشبیه‌سازی قیمت سهام دارد. نتایج حاصل ازاین پژوهش با یافته‌های مطالعات نیسی، چمنی انباجی و شجاعی منش (۱۳۹۱)، مولایی ، برازنی و صمدی (۱۳۹۵)، نبوی چاشمی و مختاری نژاد (۱۳۹۵)، پورمرادی، شعبانی و سام دلیری (۱۳۹۵) ومحسنی، سخت کار مدلل (۱۳۹۶)، پدرو و مانوئل (۲۰۱۶)، پریمبس و راس بارمیش (۲۰۱۶) سازگاری داشته و با یافته‌های خوچیانی، حسینی و شجاعی(۱۳۹۷)، زارع، رضایی سخا و زارع (۱۳۹۷) و ردی وکلینتون (۲۰۱۶)درتناقض می باشد. پیشنهادمی شود جهت مقایسه دقت شبیه سازی قیمت سهام از سایر معادلات دیفرانسیل تصادفی با رویکرد پویایی شناسی سیستمی استفاده گردد.

منابع

۱) استرمن ، جان د. (۱۳۹۵). پویایی شناسی کسب وکار (تفکر سیستمی ومدل سازی برای جهانی پیچیده)، ترجمه: برارپورکوروش ودیگران، جلداول، انتشارات سمت.

۲) امامی، سوفیا(۱۳۹۳). قیمت گذاری اختیار معامله و مدل رژیم سوئیچینگ، پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد، دانشگاه گیلان، دانشکده علوم ریاضی.

۳) پورمرادی، مرضیه؛ شعبانی، زینب؛ سام دلیری ، لیلا(۱۳۹۵). رویکرد معادلات دیفرانسیل تصادفی در پیش بینی متغیرهای مالی – مطالعه موردی سهام ایران خودرو در بورس تهران، نهمین کنفرانس انجمن ایرانی تحقیق درعملیات دانشگاه صنعتی شیراز.

۴) خوچیانی، رامین؛ حسینی، سیدمحمد حسین؛ شجاعی، فاطمه (۱۳۹۷). مقایسه پیش بینی مدل های خطی و غیرخطی برای قیمت سهام صنایع دارویی بر پایه معادلات دیفرانسیل تصادفی، همایش تولید ملی و اشتغال پایدار، چالش ها و راهکارها، بروجرد، دانشگاه آیت اله بروجردی (ره).

۵) رحیم اف، کامران؛ نعمتی ، امید(۲۰۱۵) . کالیبراسیون مدلهای شبیه سازی شده با استفاده از نرم افزار Aimsun، اولین کنفرانس بین المللی انسان، معماری، مهندسی عمران و شهر ، تبریز.

۶) زارع، هاشم؛ رضایی سخا، زینب؛ زارع، محمد(۱۳۹۷). یک الگوی تعادلی برای شبیه سازی تصادفی رفتاربازارسهام ایران: رهیافتی ازاقتصادفیزیک، راهبردمدیریت مالی، سال ششم، (۲۱)، ۷۳-۱۰۴.

۷) نبوی چاشمی، سیدعلی؛ مختاری نژاد، ماریه (۱۳۹۵). مقایسه مدلهای حرکت براونی و براونی کسری و گارچ در برآورد نوسانات بازده سهام، مجله مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار، (۲۹)، ۲۵-۴۴.

۸) عسکری، محسن(۱۳۹۴). بررسی حرکت براونی کسری و نقش آن در تحلیل روند قیمت سهام ، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شاهد، گروه علوم پایه.

۹) عمرانی، سمیه (۱۳۹۸). پیش بینی قیمت با استفاده از معادلات دیفرانسیل تصادفی و سری‌های زمانی، پایان نامه کارشناسی‌ارشد، دانشگاه خوارزمی، دانشکده علوم اقتصادی، تهران.

۱۰) مولایی، صابر؛ برزانی، محمدواعظ؛ صمدی، سعید (۱۳۹۵). الگو سازی رفتار قیمت سهام با استفاده از معادلات دیفرانسیل تصادفی با نوسان تصادفی، دانش مالی تحلیل اوراق بهادار (مطالعات مالی)، ۹(۳۲)، ۱-۱۳.

۱۱) محسنی، رضا ؛ سخت کارمدلل، لیلا (۱۳۹۶). برآورد قیمت سهام بازار انرژی شامل نفت، گاز و زغال‌سنگ: مقایسهٔ مدل‌های خطی و غیرخطی رژیم سوئیچینگ مارکوف، مجله مطالعات مدیریتی، ۱۰(۳)، ۷۱۵-۷۲۸.

۱۲) نیسی، عبدالساده ؛ چمنی انباجی، رویا ؛ شجاعی منش، لیلی(۱۳۹۱). سه مدل اساسی در ریاضیات مالی، مجله مدلسازی پیشرفته ریاضی، ۲(۱)، ۹۶- ۷۷.

13) Ahmad, S.; Tahar, R.M.; Muhammad-Sukki, F.; Munir, A.B.; Rahim, R.A., (2016). Application of system dynamics approach in electricity sector modelling: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews,56,29–37.

14) Asgari, Mohsen (2015). Investigating Fractional Brownian Motion and Its Role in Analysis of Stock Price Trend, MSc Thesis, Shahed University, Department of Applied Sciences(in Persian).

15) Azizi S.M.E.P.M., Neisy A. (۲۰۱۸). A New Approach in Geometric Brownian motion Model. In: Cao BY. (eds) Fuzzy Information and Engineering and Decision, Advances in Intelligent Systems and Computing, vol ۶۴۶.

16) Bongiorno E.G., Goia A., Vieu P. (2017). On the Geometric Brownian Motion assumption for financial time series. In: Aneiros G., G. Bongiorno E., Cao R., Vieu P. (eds) Functional Statistics and Related Fields. Contributions to Statistics. Springer, Cham.

17) Braumann Carlos A, (2019). Introduction to Stochastic Differential Equations with Applications to Modelling in Biology and Finance (Chapter 8: Study of geometric Brownian motion (the stochastic Malthusian model or Black–Scholes model)), John Wiley & Sons Ltd

18) Boudreault Mathieu, Renaud Jean-François (2019). Actuarial Finance: Derivatives, Quantitative Models and Risk Management, One (Chapter 14: Brownian motion), John Wiley & Sons, Inc.

19) Cleofe Giorgino Maria, Barnabè Federico, Martin Kunc (2019). Integrating qualitative system dynamics with accounting practices: The case of integrated reporting and resource mapping, System research and behavioral science, 1-22.

20) Dobrow Robert P., (2016). Introduction to Stochastic Processes with R (Chapter 8: Brownian motion), John Wiley & Sons, Inc.
21) Emami, Sophia (2014). Option Pricing and Switching Regime Model, Masters Thesis, University of Guilan, and Faculty of Mathematical Sciences (in Persian).
22) Forrester, J.W.,(1994). System dynamics, systems thinking, and soft, O.R. System Dynamic Review, 10, 245–256.
23) Kavetsky, Carlos,(2017). Calibrating a System Dynamic Model within an Integrative Framework to Test Foreign Policy Choices, Electronic Theses and Dissertations. 5578, 1-197
24) Khuchiyani Ramin, Hosseini Seyed Mohammad, Shojaee Fatemeh (2018). Comparison of Linear and Nonlinear Forecasting Models of Pharmaceutical Stocks Based on Stochastic Differential Equations, Conference of National Production and Sustainable Employment, Challenges and Solutions, Boroujerd, Ayatollah Boroujerdi University(in Persian).
25) Krishna Reddy, Vaughan Clinton,(2016). Simulating Stock Prices Using Geometric Brownian motion: Evidence from Australian Companies, Australasian Accounting, Business and Finance Journal, 10(3), 23-47.
26) Mola'i, Saber; Barzani, Mohammadvaez; Samadi Saeed (2016). Modeling of Stock Price Behavior using Stochastic Differential Equations by Stochastic Volatility, Financial Knowledge of Securities Analysis ,Financial Studies, 9 (32), 13-1(in Persian).
27) Mohseni, Reza; SakhtKar madlal, Leila (1396). Estimating Stock price of Energy Market including Oil, Gas, and Coal: Comparison of Linear and Nonlinear Markov Switching Regime Models, Iranian Journal of Management Studies, 10 (3), 715-728(in Persian).
28) Nabavi Chashmi, Seyed Ali; Mokhtarinejad, Marieh (2016). Comparison of Brownian Motion and Fractional Brownian motion and Garch Models in Estimating of Stock Returns Volatility, Journal of Financial Engineering and Securities Management, (29), 44- 25(in Persian).
29) Nisi, AbdulSadeh; Chamani Enbaji, Roya; Shojaee Manesh, Leily (2012). Three Basic Models in Financial Mathematics, Journal of Advanced Mathematical Modeling, 2 (1), 77-96(in Persian).
30) Omrani, Somayeh (2019). Price Forecasting using Stochastic Differential Equations and Time Series, MSc Thesis, Kharazmi University - Faculty of Economics Sciences, Tehran (in Persian).

31) Pedro P. Mota & Manuel L. Esquível, (2016). Model selection for stock prices data, Journal of Applied Statistics, 43:16, PP2977-2987.
32) Pourmoradi, Marzieh; Shabani, Zeinab; Sam Deliri, Leila (2016). Approach of Stochastic Differential Equations in Predicting of Financial Variables - A Case Study of Iran Khodro Stock in Tehran Stock Exchange(TSE), 9th Iranian Association Conference of Operational Research of Shiraz Industrial University (in Persian).
33) Primbs James A., RossBarmish B.,(2018). On Robustness of Simultaneous Long-Short Stock Trading Control with Time-Varying Price Dynamics , IFAC-PapersOnLine , 50(1), 12267-12272.
34) Rahimov, Kamran; Nemati, Omid (2015). Calibration of simulated models using Aimsun software, 1st International Conference on Human, Architecture, Civil and Urban Engineering, Tabriz (in Persian).
35) Shao, J. Chin. Ann. Math. Ser. B (۲۰۱۸). Ergodicity and First Passage Probability of Regime-Switching Geometric Brownian Motions, Chinese Annals of Mathematics, Series B, 39(4), ۷۳۹–۷۵۴
36) Sterman, J.D.,(1984). Appropriate Summary Statistics for Evaluating the Historical Fit of System Dynamics Models. Dynamica, 10, 51-66.
37) Sterman, John D. (2016). Business Dynamics (Systems Thinking and Modeling for a Complex World), Bararpour kouroush et al., Vol1, Samt publications (in Persian).
38) Steven P. Lalley, (2016). Stochastic Differential Equations, University of Chicago, Department of Statistics, Working paper, 1-11.
39) Zare, Hashem; Rezaei Sakha, Zeinab; Zare, Mohammad (2018). An Equilibrium Model for Stochastic Simulation of Iranian Market Behavior: An Approach from Physical Economics, Financial Management Strategy, 6 (21), pp. 104-73(in Persian).
40) Zhikun Ding, Wenyan Gong, Shenghan Li and Zezhou Wu(2018). System Dynamics versus Agent-Based Modeling: A Review of Complexity Simulation, sustainability, 10, 2484; 1-13.

یادداشت‌ها :

1 - Bongiorno
2 - Goia
3 - Stock–flow diagrams
4 - Zhikun
5 - Wenyan
6 - Shenghan
7- Zezhou
8- Braumann
9 - Primbs
10- Ross Barmish
11 - Cleofe
12 - Barnabè
13 - Stochastic Differential Equation

۱۴ - متغیرهای درون زا : متغیرهایی هستندکه پژوهشگرقصدمدل کردن آنهارابه طورصریح داردوازاین رودرداخل مرزمدل قراردارند.

۱۵ - متغیر های برون زا : متغیر های حالتی هستند که قصد مدل کردن آنها به طورصریح وجودنداردوازاین رودربیرون ازمرزمدل قراردارند وبایستی ازداده های آماری وروشهای برآوردی جهت تخمین مقادیرآنهااستفاده نمود.

16 - Kavetsky
17 - Maximum payoff
18 - Percentage of Root Mean Squares Error
19 - Mean Absolute Percent Error
20 -Root Mean Square Error

21 - U-Theil's (UT) $= \sqrt{\frac{\frac{1}{n}\sum_{t=1}^{n}(y_t^s - y_t^a)^2}{\frac{1}{n}\sum_{t=1}^{n}(y_t^s)^2 + \frac{1}{n}\sum_{t=1}^{n}(y_t^a)^2}}$

22 - Theil

23 - $U^m = (\overline{y^s} - \overline{y^a})^2 / [\frac{1}{n}\sum_{t=1}^{n}(y_t^s - y_t^a)^2] = (\overline{y^s} - \overline{y^a})^2 / MSE$

$\overline{y^a}$متوسط اطلاعات واقعی، $\overline{y^s}$ متوسط اطلاعات شبیه سازی می باشد.

24 - $U^s = (\mathrm{S}_s - \mathrm{S}_a)^2 / [\frac{1}{n}\sum_{t=1}^{n}(y_t^s - y_t^a)^2] = (\mathrm{S}_s - \mathrm{S}_a)^2 / MSE$

همچنین S_s و S_a به ترتیب، انحراف معیار داده های شبیه سازی شده و واقعی می باشد.

25 - $U^c = [2(1-\mathrm{r})(\mathrm{S}_s\mathrm{S}_a)] / [\frac{1}{n}\sum_{t=1}^{n}(y_t^s - y_t^a)^2] = [2(1-\mathrm{r})(\mathrm{S}_s - \mathrm{S}_a)] / MSE$

26 - $U^m + U^s + U^c = 1$