فصلنامه بورس اوراق بهادار شمارهٔ ۵۳ بهار ۱۴۰۰ سال چهاردهم ـ تاریخ دریافت: ۹۸/۰۶/۱۹ تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۹/۱۸ ص ۱۱۵-۱۳۷

پیش‌بینی شاخص کل قیمت سهام با استفاده از الگوی خاکستری

رستم رنجبر ناوی[۱]
علی ارشدی [۲]
حسن چناری[۳]

چکیده

پیش‌بینی بازار سهام به‌عنوان یک کار پر چالش در حوزه‌ی پیش‌بینی سری‌های زمانی مالی در نظر گرفته شده است. علت مهم این امر عدم وجود قطعیت در نحوه‌ی حرکت بازار سهام می‌باشد. هم‌چنین تحلیل داده‌های سری زمانی قیمت‌های سهام به علت غیرخطی بودن و وجود نویز زیاد مشکل می‌باشد. هدف این پژوهش پیش‌بینی بازار سرمایه با استفاده از الگوی پیش‌بینی خاکستری بهبود یافته در بورس اوراق بهادار تهران است. برای این منظور از شاخص کل قیمت سهام (TEPIX) استفاده شد. یافته‌های حاصله بیان‌گر این است که که الگوریتم خاکستری بهبود یافته برازش یافته با به حداقل رساندن خطای پیش‌بینی یک الگوریتم مناسب برای پیش‌بینی نوسان شاخص کل قیمت سهام می‌باشد.

واژگان کلیدی: الگوریتم خاکستری، سری زمانی، شاخص کل، قیمت سهام
طبقه‌بندی موضوعی: C63, C22, C02

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

۱. گروه حسابداری، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
۲. دانشجوی دکتری حسابداری، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران
۳. گروه حسابداری، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران (نویسنده مسئول) ha_chenari@yahoo.com

مقدمه

سرمایه‌گذاری امری ضروری و حیاتی در راستای رشد و توسعه‌ی اقتصادی هر کشور است. از سوی دیگر وجود بازار فعال و پویای پول و سرمایه از مشخصه‌های کشورهای صنعتی توسعه یافته است. امروزه دولت‌ها به تنهایی قادر نیستند این هدف مهم را تحقق بخشند. برای این‌که وجوه لازم جهت این سرمایه‌گذاری فرآهم آید، بایستی یک‌سری منابع برای تأمین سرمایه وجود داشته باشد. هم‌چنین در هر سیستم اقتصادی گروهی با فعالیت و صرفه‌جویی‌های مناسب پس‌اندازی برای آینده ایجاد می‌کنند. در صورتی‌که این پس‌اندازها با مکانیزم صحیحی به بخش تولید هدایت شوند علاوه‌بر بازده‌ای که برای صاحبان سرمایه ایجاد می‌کنند، می‌توانند به‌عنوان مهم‌ترین عامل تأمین سرمایه برای راه‌اندازی طرح‌های اقتصادی جامعه نیز مفید باشند. از طرفی افراد جامعه زمانی‌که سرمایه‌گذاری می‌کنند توقع دارند سودهای متعددی دریافت کنند. در واقع افراد حاضرند به ازای دریافت بازدهی مورد انتظار، سرمایه‌گذاری کنند. به این ترتیب سرمایه‌گذاری را می‌توان از دست دادن وجوهی در زمان حال به امید کسب منافع مورد انتظار آتی تعریف کرد.

پیش‌بینی بازار سهام از گذشته تا به‌حال به‌عنوان کاری پر چالش در نظر گرفته شده است. یکی از دلایل مهم این امر عدم وجود قطعیت در نحوه‌ی حرکت بازار سهام می‌باشد. دلایل زیادی برای این عدم قطعیت وجود دارد که می‌توان به عامل‌های مختلفی مانند وضعیت کلی اقتصاد یک کشور و انتظارات سهام‌داران و خرید و فروشندگان سهام نسبت به وضعیت آتی بازار و هم‌چنین تحولات سیاسی اشاره کرد. هم‌چنین از نقطه‌نظر فنی قیمت‌های سهام در روند زمان، تشکیل یک سری زمانی را می‌دهند که این سری زمانی به علت غیرخطی بودن و وجود نویز زیاد در آن باعث سختی بیشتر در تحلیل داده‌ها می‌شود. میزان سود به‌دست آمده از سرمایه‌گذاری و داد و ستد در بازار سهام به‌طور مستقیم با قابلیت پیش‌بینی آن رابطه‌ی مستقیم دارد. به همین علت پیش‌بینی جهت حرکت شاخص بازار سهام یکی از مهم‌ترین موضوع‌های حوزه‌ی مدیریت مالی می‌باشد. دو فرضیه‌ی اصلی درباره‌ی امکان پیش‌بینی در این حوزه وجود دارد که به‌طور گسترده توسط کارشناسان مالی پذیرفته شده است. این دو شامل فرضیه‌ی بازار کارا و فرضیه‌ی گام تصادفی است (لفظی قاضی، ۱۳۹۱، ۴). اصولا یکی از اهداف اساسی تجزیه و تحلیل‌های اقتصادی، پیش‌بینی صحیح متغیرهای اقتصادی و در نتیجه کمک‌رسانی به سیاست‌گذاران در جهت اخذ تصمیات صحیح و متناسب با مقادیر پیش‌بینی شده است. بازارهای مالی از جمله نظام‌هایی است که با دیگر سیستم‌ها بسیار متفاوت است و علت آن به‌خاطر مکانیسم و بازخور پیچیده‌ای است که دارد. اساساً، بازارهای مالی یک محیط نامطمئنی

هستند که افراد به مبادله و تجارت ریسک مشغول می‌باشند و اگر بتوان آینده را پیش‌بینی نمود دیگر ریسکی در کار نخواهد بود یا بسیار کاهش می‌یابد. در حقیقت در بازارهای مالی ما به‌دنبال آینده می‌گردیم که چه اتفاقی خواهد افتاد (سینایی‌مهر، ۱۳۹۲، ۲۷). هدف این پژوهش پیش‌بینی بازار سرمایه با استفاده از الگوی پیش‌بینی خاکستری در بورس اوراق بهادار تهران است.

چارچوب نظری و پیشینه پژوهش

ادبیات نظری در زمینه‌ی پیش‌بینی بازار، سابقه‌ای بسیار طولانی دارد. در مالی مدرن، پژوهش‌های بسیاری در جهت تبیین اجزای قابل پیش‌بینی بازار سهام انجام پذیرفته است. در عین حال بخشی از جامعه‌ی سرمایه‌گذار، همواره در تلاش برای پیگیری قواعد معامله بوده است. این قواعد به‌گونه‌ای طراحی می‌شوند که سودآوری را بر مبنای اجزای قابل پیش‌بینی تبیین شده ممکن سازند. علاوه بر قواعد عمومی مبادله، برخی سرمایه‌گذاران فردی، عقیده دارند که استفاده از توانایی سرمایه‌گذاران حرفه‌ای برای ایجاد بازده مازاد حایز اهمیت است. این گروه از سرمایه‌گذاران، سرمایه‌گذاری در صندوق‌های سرمایه‌گذاری فعال را به صندوق‌های غیرفعال ترجیح می‌دهند. ادبیات نظری بر وجود موارد غیرعادی اشاره دارد که خبر از پیش‌بینی‌پذیری بازار می‌دهند، برخی از این موارد غیرعادی مربوط به خصایص سری‌های زمانی می‌شود که از جمله‌ی آن‌ها می‌توان اثر ژانویه، حباب‌ها، بازگشت به میانگین و نوسان‌پذیری توصیف نشده را نام برد. بخش دیگری از این موارد با تحلیل سری‌های مقطعی توضیح داده می‌شوند مانند اثر شرکت‌های کوچک و نسبت قیمت به عایدی. با مطالعه‌ی بیشتر این موارد غیرعادی، پژوهش‌گران به این نتیجه رسیده‌اند که بسیاری از این موارد مثل اثر ژانویه و بازگشت به میانگین می‌توانند به یکدیگر مرتبط باشند (Serletis and Rosenberg, 2007). بخش بزرگی از نظریه‌های مالی بر مبنای مدل‌های گام تصادفی برای قیمت، بازده و ... توسعه یافته است. این در حالی است که طی ۲۰ سال گذشته، نظریات مالی در حال فاصله گرفتن از گام تصادفی بوده و به موضوعات دیگری از جمله بازگشت به میانگین پرداخته‌اند. در فولکلور ادبیات مالی چنین پنداشته می‌شود که بازگشت به میانگین نشانه‌ای از رد کارایی بازار بوده و در مقابل فرض گام تصادفی قرار می‌گیرد. شمار پژوهش‌گرانی که این پنداشت را نادرست می‌دانند اندک است. (Exley, et al., 2004)

در مقاله‌ای با عنوان بازگشت به میانگین بیان می‌کنند که وجود بازگشت به میانگین الزاما نشانه‌ای از عدم کارایی در بازار نیست؛ آن‌ها عقیده دارند که بازگشت به میانگین به بازار می‌تواند به‌دلیل تغییر ریسک‌گریزی یا توزیع بازده طی زمان رخ دهد (چناری، ۱۳۹۱، ۱).

سری‌های زمانی در تحلیل‌های تجربی داده‌های مهمی به‌شمار می‌روند. این سری‌ها ترتیبی از داده‌ها هستند که در بازه‌های زمانی مساوی به‌صورت گسسته جمع‌آوری می‌شوند (Lai., Chung., & Tseng, 2010). سری‌های زمانی در بسیاری از زمینه‌ها مانند اقتصاد، تجارت، بازرگانی، علوم مهندسی، علوم طبیعی و علوم اجتماعی کاربرد دارند (Ye., Zhang., Zhang., Fujita & Gong, 2016). در ادبیات امروزی مالی، بحث‌های فراوانی درباره‌ی گسستگی قیمت بازارهای مالی مطرح است (کفایی و رحمانی، ۱۳۹۳، ۳۴۷). وابستگی مشاهدات مجاور از خصوصیت ذاتی و اصلی سری‌های زمانی مالی است، بنابراین پیدا کردن این وابستگی و توصیف آن و پیش‌بینی مقادیر آتی حایز اهمیت است (شهریاری و همکاران، ۱۳۹۵، ۵۱۰).

در این میان شاخص به‌عنوان معیاری آماری، قابلیت مقایسه‌ی وضعیت کنونی را نسبت به گذشته فراهم آورده و بررسی و تحلیل آن اطلاعات مفیدی را به کارشناسان و افراد ذی‌ربط در آن حوزه ارایه می‌دهد. شاخص‌های قیمت سهام در تمام بازارهای مالی دنیا، به مثابه‌ی یکی از مهم‌ترین معیارهای سنجش عملکرد بورس اوراق بهادار اهمیت زیادی دارند و شاید مهم‌ترین دلیل توجه روزافزون به آن‌ها این نکته باشد که شاخص‌های یاد شده از تجمیع حرکت‌های قیمتی سهام تمام شرکت‌ها یا طبقه‌ی خاصی از شرکت‌های موجود در بورس، به‌دست می‌آیند (Wang., Wang., Zhang., & Guo, 2012).

داده‌های تاریخی نشان می‌دهد ویژگی‌های پیچیده‌ی شاخص کل قیمت مانند غیرخطی بودن، عدم قطعیت، نوسان و پویایی پیش‌بینی آن‌را دشوار می‌کند و نتایج پیش‌بینی را با عدم قطعیت زیادی مواجه می‌سازد که خود تأثیر قابل توجهی در بازده سرمایه‌گذاران، صندوق‌های سرمایه‌گذاری، نهادهای سرمایه‌گذاری و سایر فعالان این حوزه به همراه دارد (درودی و ابراهیمی، ۱۳۹۵، ۶۱۷).

با توجه به این‌که برای محاسبه‌ی شاخص کل قیمت سهام از آخرین اطلاعات تغییرات قیمت‌های سهام شرکت‌ها و حجم معاملات آن‌ها استفاده می‌شود، پس عوامل موثر بر قیمت سهام شرکت‌ها بر شاخص کل بورس نیز اثرگذار است. به‌طور طبیعی عوامل زیادی در شکل‌گیری اطلاعات و دیدگاه‌های طرفین بازار و در نهایت قیمت سهام شرکت‌ها موثر است. بخشی از این عوامل داخلی و بخشی نیز ناشی از وضعیت متغیرهایی در خارج از محدوده‌ی اقتصاد داخلی است (صمدی و همکاران، ۱۳۸۶، ۲۷).

ثبات اقتصادی از جمله مهم‌ترین عوامل اثرگذار بر سرمایه‌گذاری در هر کشوری است و از جمله مسایلی که بر بازارهای سرمایه در دنیا و هم‌چنین بر میزان سرمایه‌گذاری در این بازارها نقش

دارند متغیرهای کلان اقتصادی است (سعیدی و امیری، ۱۳۸۷، ۱۱۴). برای مثال هر تغییر در هر یک از متغیرهای ابزاری یا کنترل دولت مانند نرخ ارز، مخارج دولت، حجم پول و مالیات‌ها بر متغیرهایی در بازار اوراق بهادار ایران نظیر ارزش بازاری سهام و حجم معاملات می‌تواند تأثیر داشته و منجر به تغییر مسیر حرکت هر یک از آن‌ها در طول زمان شود (واعظ برزانی و همکاران، ۱۳۸۹، ۳۷). قیمت جهانی نفت به‌عنوان یک متغیر برون‌زای قدرتمند می‌تواند بسیاری از متغیرهای اقتصاد کلان از جمله شاخص قیمت را تحت‌تأثیر قرار دهد. اگرچه افزایش قیمت نفت باعث افزایش تولید ناخالص ملی برای کشورهای صادر کننده‌ی نفت می‌شود، باید در نظر داشت که مصرف کننده‌ی نهایی محصولات و مشتقات نفتی، به‌طور عمده کشورهای در حال توسعه هستند و این امر می‌تواند هزینه‌ی تولید به تبع آن سود شرکت‌ها را تحت‌تأثیر قرار دهد و از این مسیر بر شاخص بورس موثر واقع شود (سعیدی و امیری، ۱۳۸۷، ۱۱۴).

نرخ ارز نیز یکی دیگر از عوامل تعیین کننده از طریق سودآوری و کارآیی پروژه‌های سرمایه‌گذاری است. از آن‌جایی که نرخ ارز بر قیمت کالاهای داخلی و خارجی تأثیرگذار است، نقشی اساسی در شاخص بورس اوراق بهادار دارد. وقتی ارزش پول داخلی یک کشور در برابر ارزهای خارجی کاهش یابد، ارزش میزان صادرات افزایش خواهد یافت که منتج به آن خواهد شد که جریان‌های نقدی برای شرکت‌هایی که در زمینه‌ی صادرات کالاها و خدمات فعالیت دارند بهبود یابد و ارزش سهام آن‌ها و به‌دنبال آن شاخص قیمت سهام بورس اوراق بهادار افزایش یابد (فتحی و همکاران، ۱۳۹۵، ۷۷).

در پژوهشی به مطالعه‌ی جنبه‌های فراکتالی پدیده‌ی آشوب با تأکید بر مدل‌های کلان اقتصادی پرداختند. یافته‌های حاصل از پژوهش بیان‌گر این است که شاخص‌های مورد مطالعه در بازار سرمایه دارای روند غیرخطی و حافظه‌ی بلندمدت با شدت بیشتری است.(Machado., et al, 2016)

در پژوهشی با استفاده از روش کوانتیل‌ها نشان دادند که بین بازده شاخص سهام و حجم معاملات در بازارهای سرمایه‌ی کشورهای حوزه‌ی اقیانوس آرام رابطه‌ی علیت گرانجری غیرخطی وجود دارد؛ یعنی برای سطح بازده‌های بالا، رابطه‌ی علیت گرانجری مثبت و برای سطح بازده‌های کم رابطه‌ی علیت گرانجری منفی بوده است و برای دوره‌هایی که تلأطم بازده شدید بوده رابطه‌ی علیت گرانجری معنی‌دار نبوده است.(Gebka.and Wohar, 2013)

با روش‌های نوسان‌زدایی از روند سری‌های زمانی تعداد سهام مبادله شده در بازار سهام ایالات متحده طی بازه‌ی زمانی ۲۰۱۱ – ۱۹۲۹ به مطالعه‌ی تغییرات همبستگی پیاپی حجم معاملات روزانه‌ی

بازار سهام پرداختند. یافته‌های پژوهش بیان‌گر این است که ممکن است چرخه‌های تجاری به تغییر همبستگی حجم معاملات و بازدهی سهام طی زمان منتهی شود. (Ou, 2012)

مشبکی و همکاران (۱۳۹۲) در مطالعه‌ای به بررسی پیش‌بینی شاخص بورس اوراق بهادار تهران با استفاده از انفیس پرداختند. یافته‌های حاصل از پژوهش بیان‌گر این است که مدل‌های ساده‌تر در پیش‌بینی شاخص دارای دقت و عملکرد بیشتر هستند و پیش‌بینی‌های انفیس نسبت به شبکه‌های عصبی مصنوعی پس‌انتشار خطا دقیق‌تر هستند. بر این اساس انفیس تکنیکی امیدوار کننده برای سرمایه‌گذاران در پیش‌بینی شاخص بازده کل بورس اوراق بهادار تهران است. پویان‌فر و همکاران (۱۳۹۴) در پژوهشی به استفاده از روش هیبرید انتخاب ویژگی و الگوریتم نزدیک‌ترین همسایگی برای پیش‌بینی جهت حرکتی روزانه‌ی شاخص ۵۰ شرکت برتر بورس اوراق بهادار تهران پرداختند. یافته‌های حاصل از پژوهش بیان‌گر این است که روش هیبرید نسبت به سایر روش‌های استفاده شده در پیش‌بینی جهت حرکتی روزانه‌ی شاخص ۵۰ شرکت برتر بورس اوراق بهادار تهران برخوردار می‌باشد. خواجوی و عبدی (۱۳۹۵) در پژوهشی به تجزیه و تحلیل ابعاد فراکتال بر شاخص بازده نقدی و قیمت سهام در بورس اوراق بهادار تهران پرداختند. یافته‌های حاصل از آزمون‌های مختلف پژوهش، بیان‌گر آن است که سری زمانی شاخص بازده نقدی و قیمت، مستقل و تصادفی نیست و دارای حافظه‌ی بلندمدت می‌باشد. رستمی و همکاران (۱۳۹۵) نیز پژوهشی به بررسی هم‌حرکتی میان بازده شاخص صنایع مختلف در بورس اوراق بهادار تهران با بازده بازارهای نفت، طلا، دلار و یورو با استفاده از تحلیل موجک پرداختند. یافته‌های حاصل از پژوهش بیان‌گر آن است که ارتباط معناداری میان بازده شاخص صنایع مختلف در بورس اوراق بهادار تهران با بازده بازارهای نفت، طلا، دلار و یورو وجود دارد. هم‌چنین در بازه‌های زمانی کوتاه‌تری ارتباطی قوی میان متغیرهای مستقل و وابسته وجود دارد و قدرت تبیین و توضیح‌دهندگی شاخص صنایع مختلف از شدت بیشتری برخوردار است.

متغیر پژوهش

شاخص کل: نشان‌دهنده‌ی وضعیت کلی اقتصاد کشور است، افزایش این شاخص به‌طور معمول به‌معنی رونق و بهبودی در اوضاع و احوال اقتصادی و کاهش آن گویای بحران رکود است. محاسبه‌ی شاخص قیمت سهام مستلزم در اختیار داشتن اطلاعات کامل پایه‌ای و آخرین اطلاعات از تغییرات قیمت‌های سهام و حجم معاملات آن‌هاست به این جهت این شاخص توسط سازمان کارگزاران بورس اوراق بهادار یا موسسات تخصصی مستقل از بورس، محاسبه می‌شود. تغییرات شاخص کل قیمت سهام

به دنبال تغییرات در مقدار سهام مورد معامله و تغییرات قیمت آن‌ها پدید می‌آید این تغییرات ناشی از عوامل درون‌سازمانی و برون‌سازمانی است که منظور از عوامل درونی بیشتر به اوضاع و احوال درون شرکت‌ها با توجه به سرمایه‌گذاری‌های جدید، سودآوری، زیان‌دهی کارایی تصمیمات مجمع عمومی و مدیریت شرکت‌هاست. منظور از عوامل برونی یا برون‌سازمانی اثرگذار بر قیمت سهام شرکت‌ها، قوانین مالی و مالیاتی، بحران‌های سیاسی و اقتصادی داخلی، ثبات یا بی‌ثباتی حکومت‌ها، جنگ‌ها و تهدیدهای سیاسی منطقه‌ای یا بین‌المللی است. شاخص کل بورس تهران از فروردین ماه ۱۳۶۹ اقدام به محاسبه و انتشار شاخص قیمت خود با نام تیپیکس (TEPIX) نموده است. این شاخص ۵۲ شرکت که در آن زمان کل شرکت‌های پذیرفته شده در بورس را شامل می‌شدند، در بر می‌گرفت. شاخص مزبور با استفاده از فرمول زیر محاسبه می‌گردد (کرباسی یزدی و همکاران، ۱۳۹۱، ۹۳):

$$\text{TEPIXt} = \frac{\sum_{i=1}^{n} P\,it\,qit}{Dt}$$

P_{it} : قیمت شرکت iام در زمان t

q_{it} : تعداد سهام منتشره‌ی شرکت iام در زمان t

D_t : عدد پایه در زمان t که در زمان مبدا برابر $\sum pioqio$ بوده است

P_{io} : قیمت شرکت iام در زمان مبدا

q_{io} : تعداد سهام منتشره‌ی شرکت iام در زمان مبدا

n : تعداد شرکت‌های مشمول شاخص

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی

نظریه سیستم خاکستری

در دنیای واقعی سیستم‌های گوناگون و فراوانی وجود دارد که هر یک از آن‌ها، اجزا و زیرسیستم‌های خاص خود را دارند و برای شناخت آن‌ها باید علاوه‌بر شناخت این اجزا، روابط بین آن‌ها و هم‌چنین ساختار سیستم نیز معلوم شود. اگر اطلاعات واضح و شفاف یک سیستم را بارنگ سفید و اطلاعات کاملاً ناشناخته یک سیستم با رنگ سیاه تجسم شود، در این‌صورت اطلاعات مربوط به بیشتر سیستم‌های موجود در طبیعت اطلاعات سفید (کاملاً شناخته شده) و یا سیاه (کاملا ناشناخته) نیستند، بلکه مخلوطی از آن دو یعنی به‌رنگ خاکستری هستند. این‌گونه سیستم‌ها را سیستم‌های خاکستری می‌نامند که اصلی‌ترین مشخصه‌ی آن‌ها، کامل نبودن اطلاعات مربوط به آن سیستم است (David, 1994). هدف تئوری سیستم‌های خاکستری و کاربردهای آن ایجاد پلی بین

علوم اجتماعی و علوم طبیعی است که در آن خاکستری بودن به‌معنای کمبود و نقص اطلاعات و عدم اطمینان است. (محمدی و مولای، ۱۳۸۹، ۱۲۹).

نمودار ۱. مدل مفهومی سیستم خاکستری

در سال ۱۹۸۲ دنگ از دانشگاه علوم و فن‌آوری هازمونگ چین نخستین مقاله‌ی پژوهشی خود را در راستای نظریه‌ی خاکستری در نشریه‌ی بین‌المللی تحت‌عنوان مسایل کنترل سیستم‌های خاکستری منتشر کرد (Deng, 1989). دنگ بر روی پیش‌بینی و کنترل سیستم‌های اقتصادی و سیستم‌های فازی مطالعات فراوانی داشت و با سیستم‌های با عدم قطعیت بالا مواجه بود. شاخص‌های این سیستم‌ها به‌سختی با ریاضیات فازی و یا آمار و احتمالات توصیف می‌شد. ریاضیات فازی به‌طور کلی با مسایلی مواجه است که عدم قطعیت توسط خبرگان به‌وسیله‌ی توابع عضویت گسسته/ پیوسته قابل بیان است. آمار و احتمالات نیز به توابع توزیع و نمونه‌گیری بالا جهت رسیدن به روایی لازم نیاز دارد (Sifeng., Yaoguo., & Zhigeng, 2006). هر دوی این روش‌ها نیاز به حجم داده‌های فراوان دارد. مزیت اصلی نظریه‌ی سیستم‌های خاکستری نیاز به حجم داده‌های کم است. در واقع نظریه‌ی سیستم‌های خاکستری به‌عنوان یک روش بسیار موثر برای حل مسایل با داده‌های گسسته و اطلاعات ناقص مطرح شده است (Wang, 2004).

نظریه‌ی سیستم‌های خاکستری شامل پنج بخش اصلی است که عبارت‌اند از: پیش‌بینی خاکستری، رابطه‌ی خاکستری، تصمیم خاکستری، برنامه‌ریزی خاکستری، کنترل خاکستری. مدل پیش‌بینی خاکستری را می‌توان به‌عنوان هسته‌ی اصلی نظریه‌ی خاکستری دانست. کاربرد اصلی نظریه‌ی خاکستری در شرایط عدم قطعیت با داده‌های کم و اطلاعات ناکافی است. مزیت نظریه‌ی خاکستری بر نظریه‌ی فازی در این است که نظریه‌ی خاکستری شرایط فازی بودن را در برمی‌گیرد. به‌عبارت بهتر نظریه‌ی خاکستری می‌تواند به‌خوبی در شرایط فازی عمل کند. به‌کارگیری نظریه‌ی فازی مستلزم تشخیص تابع عضویت مربوطه بر اساس تجربه‌ی خبرگان است اما نظریه‌ی خاکستری

بدون در نظر داشتن تابع عضویت و براساس محدوده‌ی اطلاعات در دسترس نیز به‌خوبی عمل می‌کند (جوانمرد و فقیدیان، ۱۳۹۳، ۹۷).

مدل پیش‌بینی خاکستری

در مدل‌های پیش‌بینی خاکستری، مقادیر آینده را برای سری‌های زمانی که در بازه‌های زمانی یکسان اندازه‌گیری شده‌اند، پیش‌بینی می‌کنند. اساس پیش‌بینی این مدل‌ها بر پایه‌ی جدیدترین مجموعه داده‌ها شکل می‌گیرد و تمامی داده‌های مورد استفاده برای پیش‌بینی دارای مقادیری مثبت‌اند و این دنباله داده‌ها ثابت هستند (Kayacan., Ulutas., & Kaynak, 2010). وظیفه‌ی اصلی نظریه‌ی سیستم‌های خاکستری، استخراج قانون حاکم بر سیستم، با استفاده از دنباله‌ی سری داده‌های موجود است. این فرآیند به‌عنوان اولین دنباله خاکستری شناخته شده است. در نظریه‌ی سیستم‌های خاکستری مدل $GM(n,m)$ به‌عنوان مدل پیش‌بینی خاکستری مشخص می‌شود که در آن n بیان‌گر درجه‌ی معادله‌ی دیفرانسیل استفاده شده در مدل است و m بیان‌گر تعداد متغیرهای موجود در مدل است. مدل GM (۱و۱) اساس مدل کلاسیک پیش‌بینی خاکستری، مدل نمایی است (Lin., Lee., & Chang, 2009). در واقع مدل کلاسیک GM (۱و۱) برای پیش‌بینی قیمت نقدی را می‌توان در سادگی مدل‌سازی، اجرای مدل و هم چنین در استفاده از تعداد داده‌های زمانی کم‌تر دانست. همان‌گونه که مشاهده می‌شود به منظور مدل‌سازی مدل GM (۱و۱) از سری زمانی استفاده شده است. محققان پیش‌بینی خاکستری به منظور مدل‌سازی از معادله دیفرانسیل با درجه ۱ بیشتر استفاده می‌نمایند، زیرا آنان مدل GM (۱و۱) را به‌عنوان اصلی‌ترین مدل پیش‌بینی در نظریه‌ی خاکستری معرفی می‌نمایند. معادله‌ی دیفرانسیل خطی مدل به‌صورت رابطه‌ی ۱ تعریف می‌شود (جوانمرد و فقیدیان، ۱۳۹۳، ۹۷).

$$\frac{a^n x_1^{(1)}}{at^n} + a_1 \frac{a^{n-1} x_t^{(1)}}{dt^{n-1}} + \ldots + a_{n-1} \frac{d\, x_t^{(1)}}{dt} + a_n x_t^{(1)} = b_1 x_1^{(1)}(t) + b_2 x_2^{(1)}(t) + \ldots + b_m x_{m-1}^{(1)}(t) \qquad (1)$$

حال اگر $m = 1$ و $n = 1$ باشد معادله دیفرانسیل در رابطه‌ی ۲ حاصل می‌گردد،

$$\frac{dx_1^{(1)}}{dt} + a_1 x_1^{(1)} = b \qquad (2)$$

به‌منظور هموارسازی خط سیر تصادفی داده‌های اولیه مدل به جهت استفاده در مدل M/(۱و۱) این داده‌ها تحت عملکرد اپراتور AGO[4] اپراتور جمع‌کننده قرار می‌گیرند (Kayacan., Ulutas.,

[4] Accumulating Generation Operation

and Kaynak, 2010). در واقع مهم‌ترین و عمومی‌ترین رویه در روند تولید دنباله‌ی خاکستری را می‌توان اپراتور AGO دانست. به‌عبارت بهتر این اپراتور الگوی نظم درونی داده‌ها و یا روند سری داده‌ها نمایان می‌کند. $X^{(0)}$ را به‌عنوان دنباله‌ی اصلی داده‌ها در نظر گرفته می‌شود. $x^{(0)}=\left(x^{(0)}(1),x^{(0)}(2),...,x^{(0)}(n)\right)$ و پس از عملکرد اپراتور AGO دنباله $x^{(1)}$ را به‌دست آورده می‌شود.

$$\{x\hat{}((\cdot))(k)\}=x\hat{}((\cdot))=\sum\nolimits_{-}(k=1)\hat{}1\ \ [x\hat{}((\cdot))(k)]\ ,\ \sum\nolimits_{-}(k=1)\hat{}2$$

$$[x\hat{}((\cdot))(k)],...,\sum\nolimits_{-}(k=1)\hat{}n\ \ \ [x\hat{}((\cdot))(k)$$

معادله‌ی دیفرانسیلی که در مدل خاکستری از آن استفاده می‌شود، متفات از سایر معادلات دیفرانسیل است. سایر معادلات دیفرانسیل را برای مفاهیم پیوسته و دیفرانسیل‌پذیر استفاده می‌کنند، اما در صورتی‌که سیستم خاکستری قادر به استفاده از دنباله‌ی داده‌های گسسته به‌منظور ساختن مدل است. آن‌هم در زمانی‌که مفاهیم نه دیفرانسیل پذیرند و نه پیوسته، به علاوه، معادلات دیفرانسیل عادی در محیط‌های بی‌کران (نامتناهی) اطلاعاتی استفاده می‌شوند، در صورتی‌که دنباله‌ی داده‌های خاکستری متعلق به فضای اطلاعاتی متناهی هستند. مدل (۱و۱) GM در نظریه‌ی خاکستری به‌شرح زیر تعریف می‌گردد.

$$\sum\nolimits_{i=0}^{h} a_i \frac{d^{(i)}x_1^{(1)}}{dt^i}=\sum\nolimits_{j=2}^{N} b_j x_j^{(1)} \qquad (۴)$$

و اگر $h=1$ و $N=1$ باشد،

$$x^{(0)}(k)+az^{(1)}(k)-b_2 \Rightarrow x^{(0)}(k)+az^{(1)}(k)=b \qquad (۶)$$

a را ضریب توسعه (بهبود) و b را ضریب ورود خاکستری یا پارامتر کنترل خاکستری می‌نامند (Wang, et al., 2012). معادله سفیده شده دیفرانسیل خاکستری را می‌توان به‌وسیله‌ی این دو مقدار تولید گردد.

$$\frac{dx^{(1)}(t)}{dt}+ax^{(1)}=b$$

رابطه‌ی بین معادله دیفرانسیل خاکستری و معادله‌ی سفید شده آن به‌صورت رابطه ۸ است (Shang, 2013).

$$x^{(0)}(k)=x^{(1)}(k)-x^{(1)}(k-1)\approx\frac{dx^{(1)}(t)}{dt} \qquad (۸)$$
$$z^{(1)}(k)=x^{(1)}(t)$$

به‌منظور حل کردن و به‌دست آوردن مقادیر a و b باید دنباله داده‌های اصلی و مقدار a و b باید دنباله‌ی داده‌های اصلی و مقدار $z^{(1)}(t)$ را در معادله‌ی دیفرانسیل خاکستری قرار دارد و به این ترتیب n-1 معادله خطی به‌دست می‌آید (جوانمرد و فقیدیان، ۱۳۹۳، ۹۸).

$$\begin{aligned} &x^{(0)}(2)+az^{(1)}(2)=b\\ &x^{(0)}(3)+az^{(1)}(3)=b\\ &\quad\vdots\\ &x^{(0)}(n)+az^{(1)}(n)=b \end{aligned} \qquad (۹)$$

تولید $az^{(1)}(n)$ از دنباله $x^{(1)}$ به‌شرح زیر بیان می‌گردد.

$$\begin{aligned} &z^{(1)}=\left(z^{(1)}(2),...,z^{(1)}(n)\right)\\ &z^{(1)}(k)=\alpha x^{(1)}(k)+(1-\alpha)x^{(1)}(k-1) \qquad (۱۰)\\ &k=2,...,n\ ,\ \alpha\in(0,1) \end{aligned}$$

چن معمولاً مقدار α را برابر ۰/۵ در نظر می‌گیرند و بدین‌ترتیب دنباله $z^{(1)}$ را می‌توان دنباله‌ی میانگین سری $x^{(1)}$ دانست. البته تعیین و به‌کارگیری مقادیر متفاوتی برای α موضوع پژوهش بسیاری از پژوهش‌گران بوده است و هم‌چنین تعیین مدلی برای دنباله $z^{(1)}$ نیز منجر به ارایه‌ی مدل‌های بهبود یافته خاکستری نیز شده است (Chen and Chang, 2008). در مقاله خود ابراز داشتند که،

$$\frac{d\,x_1^{(1)}}{dr}=\lim_{\Delta t\to 0}\frac{x_1^{(1)}(t+\Delta t)-x_1^{(1)}(t)}{\Delta t} \qquad (۱۱)$$
$$\frac{d\,x_1^{(1)}(t)}{dt}=x^{(1)}(t+1)-x^{(1)}(t)=x^{(0)}(t+1) \qquad when\ \Delta t\to 1$$

معادلات خطی می‌توانند به فرم ماتریسی زیر تبدل شوند.

$$\hat{B\theta} = Y$$

$$Y = \begin{matrix} x^{(0)}(2) \\ x^{(0)}(3) \\ x^{(0)}(n) \end{matrix} \quad ; \quad B = \begin{bmatrix} -z^{(1)}(2) & 1 \\ -z^{(1)} & 1 \\ \vdots & \vdots \\ -z^{(1)}(n) & 1 \end{bmatrix} . \; ; \; \hat{\theta} = \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} \qquad (12)$$

با استفاده از روش حداقل مربعات، به شرح زیر بیان می گردد،

$$\hat{\theta} = \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix} = (B^T B)^{-1} B^T Y \qquad (13)$$

راه حل دوم برای محاسبه مقادیر a,b استفاده از معادلات چند جمله‌ای است،

$$a = \frac{CD - (n-1)E}{(n-1)F - C^2} \quad ; \quad b = \frac{DF - CE}{(n-1)F - C^2}$$

$$C = \sum_{k=2}^{n} z^{(1)}(k) \quad ; \quad D = \sum_{k=2}^{n} x^{(0)}(k) \qquad (14)$$

$$; \; E = \sum_{k=2}^{n} z^{(1)}(k) x^{(0)}(k) \; ; \; F = \sum_{k=2}^{n} \left(z^{(1)}(k) \right)^2$$

حال با تعیین مقادیر a,b می توان به حل معادله سفید شده زیر پرداخت،

$$\frac{dx^{(1)}(t)}{dt} + a x^{(1)}(t) = b \qquad (15)$$

و از حل آن نتایج زیر حاصل می‌شود.

$$\frac{dx^{(1)}(t)}{dt} = -a\left(x^{(1)}(t) - \frac{b}{a} \right) \qquad \frac{d\left(x^{(1)} t - \frac{b}{a} \right)}{at} = -a\left(x^{(1)} t - \frac{b}{a} \right) \qquad (16)$$

می‌شود.

$$\hat{x^{(1)}}(n+1) = \left(x^{(0)}(1) - \frac{b}{a} \right) e^{-n} + \frac{b}{a} \qquad (17)$$

همان‌طور که در روند بالا برای فرمول‌بندی مشاهده گردید، در این روند به‌جای استفاده از دنباله‌ی اصلی داده‌ها از دنباله‌ی تولید شده توسط اپراتور AGO استفاده شده است. بنابراین لازم و ضروری است که اپراتور جدیدی را معرفی نماییم. معکوس جمع IAGO، این اپراتور برابر است با،

$$x^{(0)}(i) = x^{(1)}(i) - x^{(1)}(i-1) \qquad x^{(0)}(1) = x^{(1)}(1) \qquad (18)$$

حال فرمول پیش‌بینی مدل با استفاده از اپراتور معکوس جدول برابر است با،

$$\hat{x^{(0)}}(k+1) = \left(x^{(0)}(1) - \frac{b}{a} \right) e^{-ak} . (1 - e^{a}) \; ; \; k = 1, 2, \ldots \qquad (19)$$

برای پیش‌بینی در گام «p» با استفاده از دنباله داده‌های اولیه می‌توان فرمول زیر را بیان نمود،

$$\hat{x}^{(0)}(k+p)=\left(x^{(0)}(1)-\frac{b}{a}\right)(1-e^{a})e^{-a(n+p-1)} \qquad (20)$$

ارایه مدل پیش‌بینی بهبود یافته‌ی خاکستری

پس از ارایه و کاربردی شدن مدل پیش‌بینی خاکستری، پژوهش‌گران بسیاری در صدد بهبود این مدل‌ها برآمدند. هر کدام از پژوهش‌گران با توجه به بار اطلاعاتی در زمینه‌ی تخصصی خود به ارایه‌ی روش‌های متنوعی پرداختند. لازم به یادآوری است روش‌های ارایه شده توسط آنان نتایج بهتری در زمینه‌ی افزایش دقت پیش‌بینی‌ها به همراه داشت. برخی از پژوهش‌گران مدل‌های خاکستری را با مدل‌های متداول پیش‌بینی ترکیب کردند. مانند ترکیب مدل‌های خاکستری با مدل‌های شبکه‌ی عصبی و یا ترکیب این مدل‌ها با الگوریتم ژنتیک. برخی دیگر از پژوهش‌گران (Hsu and Wang, 2007) به برآورد پارامترهای مدل با استفاده از متد بیزین پرداختند. گروهی دیگر بر روی سری باقیمانده‌ها متمرکز شدند. آنان عقیده داشتند کارایی سری باقی‌مانده‌های مدل (۱و۱) GM به یکسان بودن علامت باقی‌مانده‌های مدل وابسته است. در حالی که می‌دانیم این رویداد به‌صورت کلی بسیار کم اتفاق می‌افتد (Hsu and Chen, 2003., Hsu, 2003). به‌منظور افزایش کارایی علامت باقی‌مانده‌های مدل (۱و۱) GM مطالعات زیادی صورت گرفت. برخی از مطالعات به برآورد علامت باقی‌مانده‌های مدل می‌پردازد. برای نمونه در سال ۲۰۰۴ مقاله‌ای با عنوان «مدل بهبود یافته پیش‌بینی خاکستری» منتشر شد (Hsu and Chen, 2003) در این مقاله از شبکه‌های عصبی برای برآورد علامت باقی‌مانده‌های مدل استفاده شده بود و برای پیش‌بینی تقاضای انرژی از ترکیب باقی مانده‌های اصلاح شده و برآورد علامت باقی مانده‌های مدل استفاده نمودند. در همان سال در مقاله‌ای دیگر (Hsu, 2003) از زنجیره‌ی مارکوف جهت برآورد علامت باقی‌مانده استفاده گردید. در سال ۲۰۱۱ مقاله‌ای در تایوان منتشر شد (Lee, 2011). پژوهشگر این مقاله جهت برآورد علامت باقی مانده‌های (۱و۱) GM از الگوریتم ژنتیک استفاده نمودند. آنان بر این عقیده بودند که استفاده از این روش نسبت به سایر روش‌ها منجر به افزایش دقت پیش‌بینی‌ها می‌شود. در این مقاله جهت برآورد علامت باقی‌مانده‌ها از مدل ساده رگرسیون خطی استفاده شود. ابتدا بر اساس مدل (۱و۱) GM به پیش‌بینی $\hat{r}^{(0)}(k)$ می‌پردازیم و مدل زیر حاصل می‌شود.

$$\hat{r}_{GM}{}^{(0)}(k)=\left(r^{(0)}(2)-\frac{b_r}{a_r}\right)(1-e^{a_r})a^{-a_r(k-1)} \quad ; \; k=1,2,... \qquad (21)$$

همان‌طور که اشاره شد در این مدل برای برآورد علامت سری باقیمانده‌ها از رگرسیون خطی استفاده می‌کنیم. اگر r را خطای حاصل از پردازش مدل رگرسیون خطی و مدل‌نمایی بدانیم و آن‌را به‌صورت زیر تعریف کنیم.

$r_k =$ (مقدار برآورد شده داده kام) – (مقدار اصلی داده kام)

و بر اساس آن داشته باشیم،

$$\begin{cases} c(k)=۱ & if\ r_k > ۰ \\ c(k)=۰ & if\ r_k \le ۰ \end{cases} \qquad (۲۲)$$

به تابع دیگری مانند رابطه **۲۳** می‌رسیم،

$$i(k)=\begin{cases} ۱ & if c(k)=۱ \\ -۱ & if c(k)=۰ \end{cases} \quad ;\ k=۱,۲,... \qquad (۲۳)$$

حال بر اساس تطبیق مدل‌های ارایه شده در مقالات (Hsu and Chen, 2003) به مدل زیر دست پیدا می‌کنیم (جوانمرد و فقیدیان، ۱۳۹۳، ۹۹).

$$\hat{x}^{(\cdot)}(k)=\hat{x}_{GM}{}^{(\cdot)}+i(k)\hat{r}_{GM}{}^{(\cdot)}(k)=\left(x^{(\cdot)}(۱)-\frac{b}{a}\right)(۱-e^{a})\left(e^{-a(k-۱)}\right)+ \qquad (۲۴)$$

$$i(t)\left(r^{(\cdot)}(۲)-\frac{b_r}{a_r}\right)(۱-e^{a_r})(e^{-a_r(k-۱)})$$

معیارهای ارزیابی مدل

مارتین و وات در سال ۱۹۸۹ به این نکته اشاره کردند که برای مقایسه مدل‌های پیش‌بینی نه‌تنها باید تکنیک‌های مورد استفاده در مدل را با یکدیگر مقایسه کرد، بلکه باید با این مقایسه در سرتاسر داده-های پیش‌بینی شده نیز صورت بگیرد (Hsu, 2003). برای مقایسه‌ی دقت مدل‌های ارایه شده از سه ابزار متداول MSE,MAE,MAPE استفاده می‌کنیم.

$$MAE=\frac{۱}{n}\sum_{k=۲}^{n}|x^{(\cdot)}(k)-\hat{x}^{(\cdot)}(k)|,\ MSE=\frac{۱}{n}\sum_{k=۲}^{n}\left(x^{(\cdot)}(k)-\hat{x}^{(\cdot)}(k)\right)^{۲} \qquad (۲۵)$$

$$MAPE=\frac{۱}{n}\sum_{k=۲}^{n}\left|\frac{x^{(\cdot)})(k)-\hat{x}^{(\cdot)}(k)}{x^{(\cdot)}(k)}\right|\ ۱۰۰\%$$

برای مقایسه قدرت پیش‌بینی مدل‌ها توسط ابزار RMSEP, MAPE چهار منطقه را تعیین تعیین شده است. اگر این مقادیر کمتر از ۱۰٪ باشند قدرت پیش‌بینی مدل را می‌توان دقت پیش‌بینی علم دانست و اگر بین ۱۰٪ تا ۲۰٪ باشد پیش‌بینی خوبی است و اگر در محدوده ۲۰٪ تا ۵۰٪ باشد

قدرت پیش‌بینی به‌صورت قابل قبول است و اگر بیشتر از ۵۰٪ باشد، پیش‌بینی نادقیقی است (جوانمرد و فقیدیان، ۱۳۹۳، ۱۰۷).

توصیف داده‌های پژوهش

در جدول ۱ توصیف شاخص کل قیمت سهام ارایه می‌شود:

جدول ۱. آمار توصیفی شاخص کل قیمت سهام

نام متغیر	دامنه	کمینه	بیشینه	میانگین	چولگی	کشیدگی
سری زمانی شاخص کل قیمت سهام	۸۷۲۹۰/۶	۲۲۱۰	۸۹۵۰۰/۶۰	۲۳۵۹۰/۶۴۶۱	۱/۳۱۲	۰/۲۲۳

آزمون گام تصادفی

برای تعیین این‌که سری زمانی شاخص کل قیمت سهام از فرآیند گام تصادفی پیروی می‌کند یا دارای خاصیت بازگشت به میانگین است از آزمون نسبت واریانس استفاده شد:

جدول ۲. یافته‌های حاصل از آزمون گام تصادفی

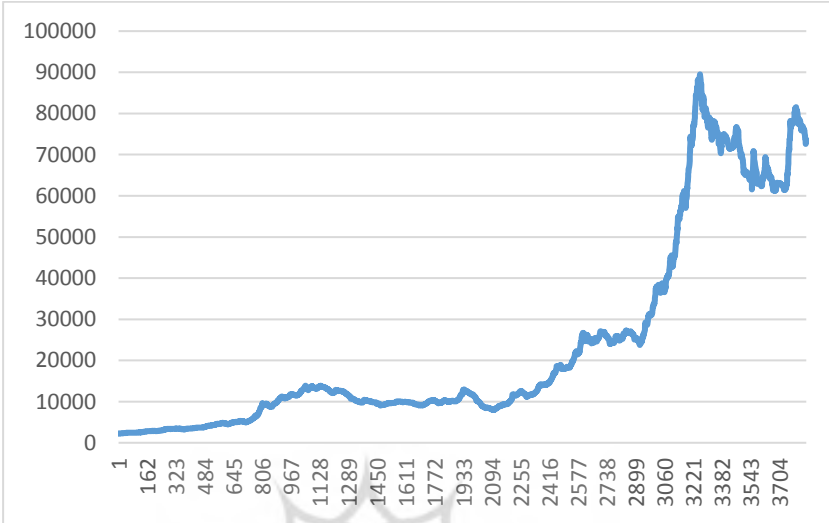
آزمون	آماره آزمون	درجه آزادی	سطح معنی‌داری
بیشینه‌ی |z|	۳۴/۷۴۵۹۵	۳۸۵۳	۰/۰۰۰۰
والد (چی – اسکوار)	۱۳۰۶/۹۵۸	۴	۰/۰۰۰۰

با توجه نتایج حاصل از آزمون گام تصادفی و آماره‌ی آزمون و سطح معنی‌داری محاسبه شده می‌توان نتیجه‌گیری کرد که سری زمانی شاخص کل قیمت سهام از فرآیند گام تصادفی پیروی می‌کند. گام تصادفی به این معنی است که شوک‌های وارده به قیمت‌های سهام اثر دایمی دارند و قیمت‌ها به مسیر روندی قبلی خود باز نمی‌گردند. هم‌چنین طبق فرآیند گام تصادفی نوسان‌پذیری قیمت‌های سهام می‌تواند در بلندمدت بدون هیچ محدودیتی افزایش یابد.

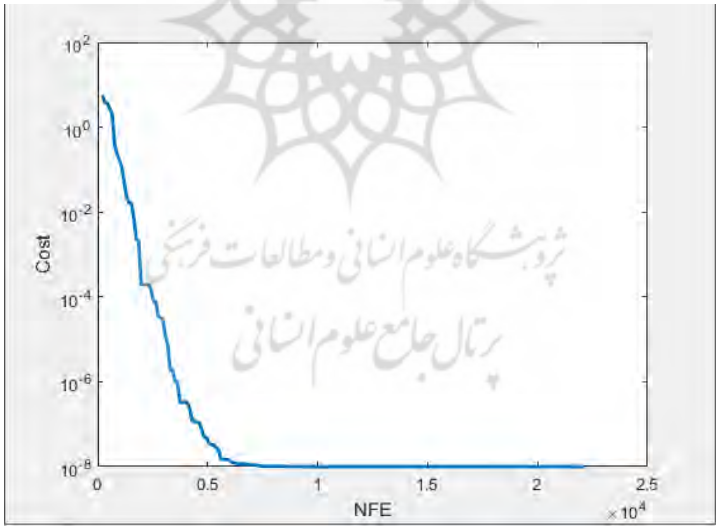
یافته‌های پژوهش

پس از خاتمه‌ی برنامه‌نویسی و پیاده‌سازی کامل مدل ترکیبی ارائه شده، با وارد کردن داده‌های شرکت‌های مورد بررسی، به پیش‌بینی شاخص کل قیمت سهام پرداخته می‌شود. تعداد تکرارها در

این روش به طور متوسط ۴۵۰ بار می‌باشد که نمودار میزان بهبود خطای مدل در شکل زیر نمایش داده شده است.

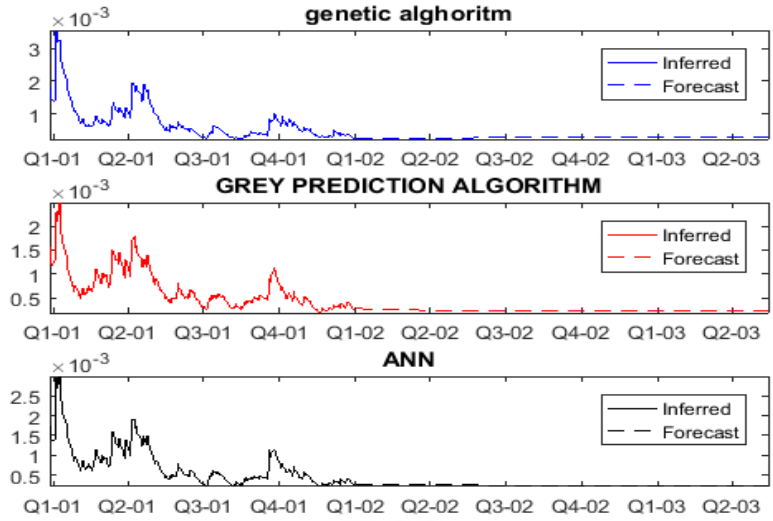


نمودار ۲. روند تغییرات روزانه‌ی سری زمانی شاخص کل قیمت سهام



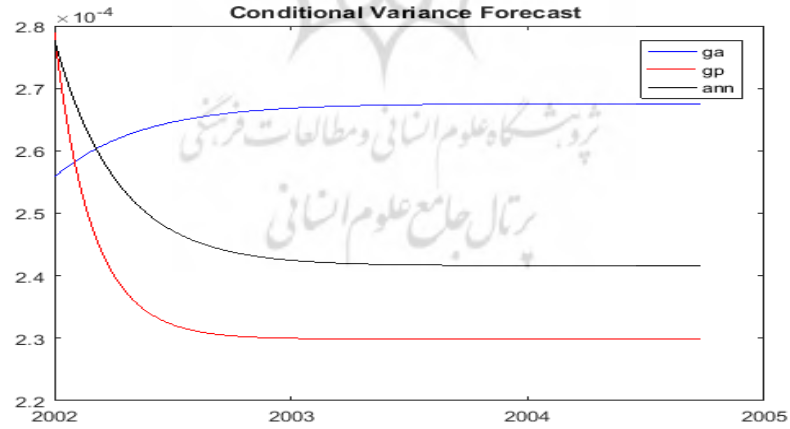
نمودار ۳. میزان بهبود خطای مدل

در نمودارهای زیر مقایسه‌ی روش پیشنهادی (ترکیب الگوریتم خاکستری و ژنتیک) با روش‌های الگوریتم خاکستری و شبکه‌ی عصبی مصنوعی نشان داده شده است.



نمودار ۴. مقایسه‌ی مدل بهبود یافته (ترکیب الگوریتم خاکستری و ژنتیک) با مدل الگوریتم خاکستری و شبکه‌ی عصبی

با توجه به نمودار ۴ و نتایج ارایه شده سرعت همگرایی برای پیش‌بینی شاخص کل قیمت سهام به این صورت است که مدل بهبود یافته (ترکیب الگوریتم خاکستری و ژنتیک) سرعت همگرایی بیشتری نسبت به همگرایی مدل الگوریتم خاکستری و مدل الگوریتم شبکه‌ی عصبی دارد. بنابراین خطا در مدل بهبود یافته (ترکیب الگوریتم خاکستری و ژنتیک) کمتر و پیش‌بینی دقیق‌تر است.



نمودار ۵. نمودار نتایج شبیه‌سازی شاخص کل قیمت سهام (پیش‌بینی واریانس شرطی)

با توجه به نمودار شبیه‌سازی شاخص کل قیمت سهام (پیش‌بینی واریانس شرطی)، پیش‌بینی واریانس شرطی در مدل الگوریتم خاکستری و مدل الگوریتم شبکه‌ی عصبی سیر نزولی داشته و منفی

می‌باشد در حالی‌که در مدل بهبود یافته (ترکیب الگوریتم خاکستری و ژنتیک) سیر صعودی داشته و مثبت هست. بنابراین پیش‌بینی در مدل مدل بهبود یافته (ترکیب الگوریتم خاکستری و ژنتیک) دقیق‌تر هست.

آزمون تعیین خطای پیش‌بینی

برای مقایسه‌ی کارایی روش‌های پیش‌بینی از معیارهای MSE (میانگین مربعات خطا)، MAE (میانگین قدرمطلق خطا) و MAPE (میانگین قدرمطلق خطای درصدی) استفاده شده است که در جدول ۳ یافته‌های مربوط به آزمون تعیین خطای پیش‌بینی مدل‌های الگوریتم خاکستری، الگوریتم شبکه‌ی عصبی و الگوریتم خاکستری بهبود یافته ارایه می‌شود:

جدول ۳. یافته‌های حاصل از خطای پیش‌بینی مدل‌ها

آزمون	MSE (میانگین مربعات خطا)	MAE (میانگین قدرمطلق خطا)	MAPE (میانگین قدرمطلق خطای درصدی)
الگوی الگوریتم خاکستری	۰/۰۰۷	۰/۰۶۶	۰/۰۰۸۲
الگوی الگوریتم شبکه‌ی عصبی	۰/۰۰۴۱۹	۰/۰۵۰۰۷	۰/۰۰۶۴۷۵
الگوی الگوریتم پیشنهادی (خاکستری بهبود یافته)	۰/۰۰۱۹۸۱	۰/۰۳۰۱۴	۰/۰۰۰۲۴

یافته‌های حاصل از آزمون خطای پیش‌بینی نشان می‌دهد که مقادیر محاسبه شده از سطح خطای ۱۰ درصد کم‌تر است؛ بنابراین قدرت پیش‌بینی مدل را می‌توان علمی محسوب کرد. در بین الگوهای آزمون شده سطح خطای محاسبه شده برای الگوریتم پیشنهادی (خاکستری بهبود یافته) نسبت به سایر الگوریتم‌ها پایین‌تر و از صحت و دقت پیش‌بینی بیشتری برخوردار می‌باشد.

بحث و نتیجه‌گیری

در دنیای رقابتی امروز، استفاده از الگوی پیش‌بینی مناسب و کارا در پیش‌بینی قیمت کالاها و سودهای سهام و تنظیم بازار نقش اساسی دارد. شاخص کل قیمت از عوامل گوناگون و گاه متناقضی تأثیر می‌پذیرد که تحلیل این رفتار غیرخطی و پر نوسان، مستلزم استفاده از الگوریتم‌های پیچیده است. پیش‌بینی نوسان شاخص کل بورس اوراق بهادار تهران برای سرمایه‌گذاران در راستای اتخاذ تصمیم‌های منطقی که در پی بیشینه کردن منافع خود هستند، بسیار با اهمیت است. با توجه به اهمیت شاخص کل قیمت سهام و هم‌چنین پیش‌بینی نوسان شاخص کل هدف پژوهش بر این بنا نهاده شد که

اقدام به پیش‌بینی شاخص کل قیمت سهام با استفاده از الگوریتم خاکستری و مقایسه آن با الگوریتم شبکه‌ی عصبی و ارایه‌ی الگوریتم بهبود یافته در راستای پیش‌بینی دقیق شود. یافته‌های حاصل از پیاده‌سازی الگوریتم‌های فوق بیان‌گر این است که سطح خطای الگوریتم خاکستری بهبود یافته نسبت به الگوریتم خاکستری و شبکه‌ی عصبی با استفاده از معیارهای MSE (میانگین مربعات خطا)، MAE (میانگین قدرمطلق خطا)، MAPE (میانگین قدرمطلق خطای درصدی) کم‌تر و قدرت و دقت پیش‌بینی بیشتری را دارا می‌باشد. بنابراین می‌توان بیان کرد که الگوریتم خاکستری بهبود یافته برازش یافته با به حداقل رساندن خطای پیش‌بینی یک الگوریتم مناسب برای پیش‌بینی نوسان شاخص کل قیمت سهام می‌باشد. در حالت کلی یافته‌ها بیان‌گر توان بالای پیش‌بینی کنندگی الگوریتم فوق می‌باشد.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

منابع و مآخذ

۱. پویان‌فر، احمد؛ فلاح‌پور، سعید؛ نوروزی یان‌لکوان، عیسی و امیرحسین فرهادی شولی (۱۳۹۴). استفاده از روش هیبرید انتخاب ویژگی و الگوریتم نزدیک‌ترین همسایگی برای پیش‌بینی جهت حرکتی روزانه‌ی شاخص ۵۰ شرکت برتر بورس اوراق بهادار تهران، مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار، شماره‌ی ۲۵، ص‌ص: ۲۰-۱.

۲. جباری، رامین (۱۳۹۰). ارزیابی عملکرد و انتخاب پرتفوی از صندوق‌های سرمایه‌گذاری، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد، دانشگاه علامه‌طباطبایی.

۳. جوانمرد، حبیب‌اله؛ فقیدیان، سیده فاطمه (۱۳۹۳). پیش‌بینی قیمت نفت خام اوپک با به‌کارگیری مدل پیش‌بینی خاکستری، فصلنامه‌ی مدل‌سازی اقتصادی، سال هشتم، شماره‌ی ۳، ص‌ص: ۱۱۴-۹۱.

۴. چناری، حسن (۱۳۹۱). بررسی بازگشت به میانگین قیمت سهام در بورس اوراق بهادار تهران، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب.

۵. خواجوی، شکراله و هادی عبدی طالب‌بیگی (۱۳۹۵). تجزیه و تحلیل ابعاد فراکتال بر شاخص بازده نقدی و قیمت سهام شرکت‌های پذیرفته شده در بورس اوراق بهادار تهران، دانش سرمایه‌گذاری، سال پنجم، شماره‌ی ۱۸، صص: ۹۳-۷۹.

۶. کرباسی یزدی، حسین؛ نوری‌فرد، یداله؛ چناری، حسن (۱۳۹۱). مطالعه‌ی پدیده‌ی بازگشت به میانگین در بورس اوراق بهادار تهران با استفاده از آزمون ریشه واحد، دانش سرمایه‌گذاری، دوره‌ی ۱، شماره‌ی ۴، ص‌ص: ۱۰۴-۸۷.

۷. درودی، دیاکو؛ ابراهیمی، سید بابک (۱۳۹۵). ارایه‌ی روش هیبریدی نوین برای پیش‌بینی شاخص کل قیمت بورس اوراق بهادار، تحقیقات مالی، دوره‌ی ۱۸، شماره‌ی ۴، ص‌ص: ۶۳۲ – ۶۱۳.

۸. سعیدی. پرویز؛ امیری، عبداله (۱۳۸۸). بررسی رابطه‌ی متغیرهای کلان اقتصادی با شاخص کل بورس اوراق بهادار تهران، فصلنامه‌ی مدل‌سازی اقتصادی، سال دوم، شماره‌ی ۲، ص‌ص: ۱۳۰ – ۱۱۱.

۹. سینایی‌مهر، حمید (۱۳۹۲). الگوی بهینه‌سازی ترکیب پرتفوی سرمایه‌گذاری بیمه با رویکرد تئوری خاکستری و الگوریتم ژنتیک، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی.

۱۰. شهریاری، حمید؛ آقایی، عبداله؛ نژاد افراسیابی، مریم (۱۳۹۵). پیش‌بینی سری‌های زمانی مالی با استفاده از روش هالت – وینترز چند گام جلوتر، تحقیقات مالی، دوره‌ی ۱۸، شماره‌ی ۳، ص‌ص: ۵۱۸ – ۵۰۵.

۱۱. صمدی، سعید؛ شیرانی فخر، زهره؛ داورزاده، مهتاب (۱۳۸۶). بررسی میزان اثرپذیری شاخص قیمت سهام بورس اوراق بهادار تهران از قیمت جهانی نفت و طلا (مدل‌سازی و پیش‌بینی)، بررسی‌های اقتصادی، دوره‌ی ۴، شماره‌ی ۲، ص‌ص: ۵۲ – ۲۵.

۱۲. فتحی، سعید؛ گوگردچیان، احمد؛ شهرکی، کاوه؛ عجم، علی‌رضا (۱۳۹۵). بررسی اثر تروریسم بر بازده شاخص کل بورس اوراق بهادار تهران، فصلنامه‌ی بورس اوراق بهادار، سال نهم، شماره‌ی ۳۳، ص‌ص: ۹۲ – ۷۱.

۱۳. کفایی، محمدعلی؛ رحمانی‌فضلی، هادی (۱۳۹۳). محاسبهٔ ریسک رویدادی (مطالعهٔ موردی: بورس اوراق بهادار تهران)، تحقیقات مالی، دوره‌ی ۱۶، شماره‌ی ۲، ص‌ص: ۳۵۸ – ۳۴۵.

۱۴. لفظی قاضی، هادی (۱۳۹۱). پیش‌بینی بازار سهام با استفاده از کاوش تکاملی قوانین انجمنی میان تراکنشی، پایان نامه‌ی کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس.

۱۵. محمدی، علی؛ مولایی، نبی (۱۳۸۹). کاربرد تصمیم‌گیری چند معیاره‌ی خاکستری در ارزیابی عملکرد شرکت‌ها، فصلنامه‌ی مدیریت صنعتی، دوره‌ی ۲، شماره‌ی ۴، ص‌ص: ۱۴۲ – ۱۲۵.

۱۶. مشبکی، اصغر؛ کردنائیج، اسداله و سجاد فرازمند (۱۳۹۲). پیش‌بینی شاخص بورس اوراق بهادار تهران با استفاده از انفیس، مدیریت دارایی و تأمین مالی، سال اول، شماره‌ی ۱، ص‌ص: ۴۴ – ۲۷.

۱۷. واعظ برزانی، محمد؛ دلالی اصفهانی، رحیم؛ صمدی، سعید؛ فعال‌جو، حمیدرضا (۱۳۸۹). ارزیابی نقش نظارتی دولت در بورس اوراق بهادار ایران در چارچوب یک الگوی کنترل بهینه، پژوهش‌نامه‌ی اقتصادی، سال دهم، شماره‌ی ۱، ص‌ص: ۵۰ – ۳۱.

18. Chen Ch. & Chang Y. (2008). Airline brand equity, brand preference, and purchase intentions-The moderating effects of switching costs. Journal of Air Transport Management, 14, 40-42.
19. David, S. A., Machado, J. A. T., Quintino, D. D., & Balthazar, J. M. (2016). Partial chaos suppression in a fractional order macroeconomic model. Mathematics and Computers in Simulation, 122, 55-68.
20. Gebka, B., & Wohar, M. E. (2013). Causality between trading volume and returns: Evidence from quantile regressions. International Review of Economics & Finance, 27, 144-159.
21. Hsu, L. C., & Wang, C. H. (2007). Forecasting the output of integrated circuit industry using a grey model improved by the Bayesian analysis. Technological Forecasting and Social Change, 74(6), 843-853
22. Hsu, C. C., & Chen, C. Y. (2003). Applications of improved grey prediction model for power demand forecasting. Energy Conversion and management, 44(14), 2241-2249.
23. Hsu, L. C. (2003). Applying the grey prediction model to the global integrated circuit industry. Technological Forecasting and Social Change, 70(6), 563-574.

24. Julong, D. (1989). Introduction to grey system theory. The Journal of grey system, 1(1), 1-24.
25. Kayacan, E., Ulutas, B., & Kaynak, O. (2010). Grey system theory-based models in time series prediction. Expert systems with applications, 37(2), 1784-1789.
26. Lai, C. P., Chung, P. C., & Tseng, V. S. (2010). A novel two-level clustering method for time series data analysis. Expert Systems with Applications, 37(9), 6319-6326.
27. Lin, Y. H., Lee, P. C., & Chang, T. P. (2009). Adaptive and high-precision grey forecasting model. Expert systems with applications, 36(6), 9658-9662.
28. Ng, D. K. (1994). Grey system and grey relational model. ACM SIGICE Bulletin, 20(2), 2-9.
29. Ou, S. L. (2012). Forecasting agricultural output with an improved grey forecasting model based on the genetic algorithm. Computers and electronics in agriculture, 85, 33-39.
30. Sifeng, L., Yaoguo, D., & Zhigeng, F. (2004). Grey system theory and its application. Beijing: Sciences Publishing House, 12, 82-88.
31. Shang-Lingou,. (2013). Forecasting agricultural output with an improved grey forecasting model based on the genetic algorithm. Computers and Electronics in agriculture, 85: 33-39.
32. Tourani-Rad, A., Liu, M. H., & Shrestha, K. M. (2008). Analysis of the long-term relationship between macro-economic variables and the Chinese stock market using heteroscedastic cointegration. Managerial Finance.
33. Tsaur, R. C. (2010). The development of an interval grey regression model for limited time series forecasting. Expert systems with applications, 37(2), 1200-1206.
34. Wang, J. J., Wang, J. Z., Zhang, Z. G., & Guo, S. P. (2012). Stock index forecasting based on a hybrid model. Omega, 40(6), 758-766.
35. Wang, C. H. (2004). Predicting tourism demand using fuzzy time series and hybrid grey theory. Tourism management, 25(3), 367-374.
36. Ye, F., Zhang, L., Zhang, D., Fujita, H., & Gong, Z. (2016). A novel forecasting method based on multi-order fuzzy time series and technical analysis. Information Sciences, 367, 41-57.
37. Ziliang, W., & Sifeng, L. (2005, October). Extension of grey superiority analysis. In 2005 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics (Vol. 1, pp. 616-621). IEEE

Prediction of Stock Price Index Using Gray Model

Rostam Ranjbar Navi[5]
Ali Arshadi[6]
Hassan Chenari[7]

Abstract:
Stock market prediction is considered as a challenging task in the area of forecasting of financial time series. The main reason for this is the lack of certainty about how the stock market moves. Stock price data analysis is difficult due to the nonlinearity and the high noise level. The purpose of this paper is to forecast the capital market using the improved gray prediction pattern in Tehran Stock Exchange. For this purpose, the total stock price index (TEPIX) was used. The obtained results indicated that the improved gray algorithm fitted with minimizing the prediction error is an appropriate algorithm for predicting the fluctuation of the total stock price index

Keywords: Gray algorithm, Time series, Total stock price index

JEL Classification: C63, C22, C02

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

5. Department of Accounting, South Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
6. Ph.D Student, Department of Accounting, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran
7 Department of Accounting, South Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran (Corresponding Author). ha_chenari@yahoo.com