

## پیش‌بینی روند حرکتی قیمت سهام با استفاده از XCS مبتنی بر الگوریتم ژنتیک و یادگیری تقویتی

احمد رضا پاکرانی<sup>۱</sup>

تاریخ پذیرش: ۹۵/۴/۲۷

تاریخ دریافت: ۹۵/۱/۲۱

### چکیده

پیشرفت‌ها در حوزه هوش مصنوعی و یادگیری ماشین به خصوص در زمینه محاسبات تکاملی نه تنها ما را قادر به تجزیه و تحلیل مؤثرتر داده‌ها نموده است، بلکه این امکان را فراهم ساخته که از آن‌ها برای فهم هرگونه الگوی زیربنایی بازارهای مالی استفاده گردد. اقتصاددانان، آماردانان و مدرسان امور مالی همواره علاقه‌مند به توسعه و آزمایش مدل‌های رفتاری قیمت سهام بوده‌اند. XCS سامانه‌ای مرکب از الگوریتم ژنتیک و یادگیری تقویتی است که به صورت برخط با محیط در تعامل بوده و توانایی یادگیری از تجربه‌های خود را دارد. در این پژوهش مدلی ارائه می‌گردد که با استفاده از XCS به پیش‌بینی روند حرکت قیمت سهام روز آتی یکی از شرکت‌های فعال در بازار بورس تهران بر اساس داده‌های تاریخی و استفاده از نمایه‌های فنی مختلف پرداخته است. سپس دقت پیش‌بینی مدل پیشنهادی در مقایسه با مدل قدم زدن تصادفی سنجیده شده است. نتایج حاکی است که مدل پیشنهادی در مقایسه با مدل قدم زدن تصادفی از دقت پیش‌بینی بالاتری برخوردار است.

واژه‌های کلیدی: پیش‌بینی، قیمت سهام، تحلیل فنی، سیستم‌های طبقه‌بند یادگیر توسعه یافته (XCS).

۱- مربی و عضو هیأت علمی گروه کامپیوتر، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد داراب، ایران (نویسنده مسئول) pakraei@iaudarab.ac.ir

## ۱- مقدمه

تحقیقات در زمینه یادگیری ماشین نظیر محاسبات تکاملی و تشخیص الگو بوده است. پیشرفت در این زمینه نه تنها ما را قادر به تجزیه و تحلیل دقیق تر و مؤثرتر داده‌ها می‌سازد بلکه ما را قادر به درک الگوی اساسی موجود در بازارهای مالی می‌نماید. بهره‌برداری مؤثر از این روش‌های جدید محاسبات باعث می‌گردد که سرمایه‌گذاران و شرکت‌ها تصمیم‌های آگاهانه‌تری اخذ نمایند (Tsang and Jaramillo, 2004).

در پژوهش‌های اخیر الگوریتم‌های تکاملی مختلف همانند شبکه‌های عصبی<sup>۱</sup> (NN) و الگوریتم ژنتیک<sup>۲</sup> (GA) به‌طور گسترده برای پیش‌بینی بازارهای مالی به گرفته شده‌اند. علاوه بر اینها اخیراً محافل علمی دنیا با معرفی حوزه سیستم‌های طبقه‌بند یادگیر<sup>۳</sup> (LCSs) توانسته‌اند امیدهایی برای غلبه بر برخی مشکلات رایج شبکه‌های عصبی نظیر فقدان قدرت توضیح دهنده‌گی و واریانس بالا در نتایج را به متخصصان نشان دهند.

این تحقیق ضمن ارائه توصیفی درباره یکی از انواع سیستم‌های طبقه‌بند یادگیر موسوم به سیستم طبقه‌بند توسعه یافته<sup>۴</sup> (XCS) از آن برای پیش‌بینی روند حرکتی قیمت سهام یکی از شرکت‌های حاضر در بازار اوراق بهادار تهران استفاده کرده و سپس دقت عمل آن را مورد سنجش قرار داده است. البته ابزارهای تجاری مختلفی برای پیش‌بینی قیمت بر اساس داده‌های فنی و بنیادی وجود دارد، اما نمونه‌هایی که با استفاده از یادگیری ماشین و بدون نظارت و به‌صورت برخط سعی در مدل‌سازی و پیش‌بینی روند قیمت سهم داشته باشند بسیار نادر هستند. با بهره‌برداری از چنین ابزاری امکان کسب سود برای معامله‌گران حرفه‌ای و حتی سرمایه‌گذاران مبتدی در قالب یک سیستم راهنما و یا پشتیبان تصمیم وجود دارد.

بازار سهام، بازاری است پویا که به‌سرعت تحت تأثیر تغییرات قرار می‌گیرد، اولاً به دلیل اینکه اساس مایه و طبیعت تمامی بازارهای مالی چنین است و ثانیاً، به خاطر اینکه تحت تأثیر ترکیبی از عوامل شناخته شده همانند قیمت بسته شدن روز قبل، تغییر حجم مبادلات، بیشترین و کمترین قیمت‌های روز و عوامل ناشناخته‌ای همانند انتخابات ریاست جمهوری، تحولات منطقه، شایعات بازار و احساسات سرمایه‌گذاران است (Tsaih, 1998). بنابراین بسیاری از سرمایه‌گذاران سهام ترجیح می‌دهند بر روی روش‌های قابل اعتماد در پیش‌بینی روند قیمت‌های آتی در موقعیت‌های مختلف و در تصمیم‌گیری‌های آنی حساب باز کنند به این دلیل که، توانایی پیش‌بینی روند و نه مقدار دقیق قیمت آتی سهام، مهم‌ترین عامل در کسب ثروت از طریق پیش‌بینی‌های مالی است (Choudhry and Garg, 2008).

پیش‌بینی قیمت سهام از جمله مسائل چالش برانگیز است. تئوری‌هایی همانند فرضیه بازار کارا بر این فرض استوار هستند که قیمت سهام به‌طور کامل قابل پیش‌بینی نیست، زیرا تمامی اطلاعات مربوط به یک سهام (نظیر داده‌های فنی و بنیادی) قیمت جاری سهام را تحت تأثیر قرار داده‌اند و نمی‌توان از آن‌ها برای پیش‌بینی قیمت در آینده استفاده کرد و بکارگیری آن‌ها برای پیش‌بینی قیمت سهام بی‌معنی است و نتیجه‌ای در بر نخواهد داشت. از سوی دیگر هستند افرادی که معتقدند قیمت سهام، روندها و الگوهای گذشته را دنبال می‌کنند و بنابراین می‌توان با استفاده از شاخص‌هایی که از داده‌های فنی و بنیادی به دست می‌آیند قیمت سهام را پیش‌بینی نمود.

در سال‌های اخیر علاوه بر پژوهش پیرامون روش‌های سنتی پیش‌بینی بازار سهام همانند سری‌های زمانی، تجزیه و تحلیل و پیش‌بینی قیمت سهام و یا تغییرات شاخص موضوع تعداد بسیاری از

## ۲- مبانی نظری و مروری بر پیشینه پژوهش

در خصوص مدل‌های رفتاری و پیش‌بینی قیمت سهام دو نظریه اساسی مطرح است نظریه اول اینکه بازار سهام غیرقابل پیش‌بینی است که فرضیه‌هایی نظیر بازار کارا و تئوری قدم زدن تصادفی بر اساس آن شکل گرفته‌اند و نظریه دوم اینکه بازار سهام و مدل‌های رفتاری آن قابل پیش‌بینی است و این ادعا به‌عنوان مبنایی برای روش‌های مختلف پیش‌بینی قیمت سهام نظیر تحلیل‌های فنی، بنیادی و غیره مطرح است.

### ۲-۱- فرضیه بازار کارا

فرضیه بازار کارا دارای اشکال مختلفی است. در ابتدایی‌ترین شکل، فرضیه بازار کارا بیان می‌کند که بازارها تحت تأثیر اطلاعات می‌باشند یعنی تمامی اطلاعات در دسترس که برای کسب سود می‌توانند مفید باشند، به سرعت جذب قیمت سهام شده و نمایان می‌گردند و قیمت سهام ممکن است تنها در واکنش به اطلاعات جدید و غیرقابل پیش‌بینی، افزایش و یا کاهش یابد. به‌طور کلی در یک بازار کارا، قیمت‌ها علائم مناسب و صحیحی برای تخصیص منابع هستند در چنین بازاری افراد حقیقی و حقوقی می‌توانند تصمیم‌های متنوعی در زمینه سرمایه‌گذاری گرفته و از بین اوراق بهاداری که توسط شرکت‌ها عرضه می‌گردد، بهترین انتخاب‌ها را انجام دهند.

فرضیه بازار کارا قیمت سهام را انعکاس اطلاعات شناخته‌شده می‌داند و جریان آینده اخبار که مشخص‌کننده قیمت‌ها در آینده می‌باشند را تصادفی و ناشناخته در نظر می‌گیرد. این نظریه به‌صورت تلویحی بیان می‌کند که امکان عواید بالای حد متوسط در بازار سهام از طریق معامله وجود ندارد. طبق این فرضیه امکان کسب درآمد تنها از طریق شانس و یا معامله از طریق اطلاعات داخلی (خصوصی) میسر است.

## ۲-۲- نظریه قدم زدن تصادفی

یکی از مهم‌ترین مدل‌های که شرایط حاکم بر بازار سهام را توضیح می‌دهد تئوری قدم زدن تصادفی است. بر اساس این مفهوم قیمت سهام غیرقابل پیش‌بینی است و الگوی تغییر قیمت‌ها همانند یک فرایند قدم زدن تصادفی عمل می‌نماید. فرضیه بازار کارا بر اساس نظریه قدم زدن تصادفی و برای آزمون آن مطرح شد. در حقیقت این نظریه برخلاف عقیده عده‌ای که معتقد هستند با به‌کارگیری روش‌های خاص می‌توان به تشریح و پیش‌بینی رفتار قیمت پرداخت مطرح می‌گردد.

### ۲-۳- انواع روش‌های پیش‌بینی

از زمان پیدایش بازارهای سهام تاکنون روش‌های مختلفی برای پیش‌بینی قیمت سهام به وجود آمده است. می‌توان گفت در عمل چهار استراتژی برای پیش‌بینی روند قیمت‌ها وجود دارد که عبارت‌اند از: تجزیه و تحلیل فنی، تجزیه و تحلیل بنیادی، سری‌های زمانی سنتی و روش‌های یادگیری ماشین (Kalyvas, 2001).

### ۲-۳-۱- تجزیه و تحلیل بنیادی<sup>۵</sup> (FA)

تجزیه و تحلیل بنیادی بیشتر مربوط به شرکت است تا به سهام (Shah, 2007) هدف از این روش پیش‌بینی، تخمین ارزش واقعی سهام به‌منظور سرمایه‌گذاری و تعیین ارزش حقیقی سهام از طریق بررسی پارامترهای نظیر رشد، پرداخت سود سهام، نرخ بهره، ریسک سرمایه‌گذاری، سطح فروش، نرخ مالیات و غیره است. از تجزیه و تحلیل بنیادی ترجیحاً برای سرمایه‌گذاری‌های بلندمدت استفاده می‌شود زیرا داده‌های بنیادی نظیر پرداخت سود سهام، درآمد و ترازنامه‌های یک شرکت فقط چندین بار در طول سال منتشر می‌شوند.

تحلیلگران بنیادی بر این باور هستند که بازار سهام تحت تأثیر عوامل منطقی قرار می‌گیرد تا اینکه

تکنسین‌ها با بررسی نمودارهای بین روزی، روزانه، هفتگی و ماهیانه و زمانی، سهام را در کوتاه‌مدت، میان‌مدت و بلندمدت تحلیل می‌نمایند (کنی، ۱۳۸۳).

تجزیه و تحلیل فنی همانند پیش‌بینی وضع هوا قطعاً به یک پیش‌بینی مطلق در آینده منجر نمی‌شود. تکنسین‌ها بازار را هشتاد درصد تحت تأثیر عوامل روانی و بیست درصد تحت تأثیر عوامل منطقی می‌دانند. در بیشتر موارد از نمودارهای قیمت به منظور تشخیص روندهایی که به نظر می‌رسد بر اساس عرضه و تقاضا شکل گرفته‌اند و اغلب نکات قابل توجه دارند، استفاده می‌شود. هدف تکنسین‌ها این است که روندها را شناسایی کرده و از آن‌ها برای تجارت و سرمایه‌گذاری و نهایتاً کسب سود استفاده نمایند.

### ۲-۳-۳- سری‌های زمانی سنتی<sup>۷</sup>

روش سری‌های زمانی سنتی داده‌های تاریخی را تجزیه و تحلیل کرده و جهت‌گیری قیمت‌ها در آینده را به صورت تابع خطی از داده‌های تاریخی پیش‌بینی می‌نماید. در اقتصادسنجی<sup>۸</sup> دو نوع استراتژی اساسی پیش‌بینی سری زمانی وجود دارد که عبارت‌اند از رگرسیون ساده و رگرسیون چند متغیره (Kalyvas, 2001).

تجزیه و تحلیل رگرسیون برای پیش‌بینی متغیر وابسته با استفاده از سایر متغیرهای مستقل استفاده می‌شود. رگرسیون ساده یا خطی روشی است که تنها از یک متغیر مستقل استفاده می‌کند در حالی که رگرسیون چند متغیره فنی است که برای به دست آوردن متغیر وابسته از بیش از یک متغیر مستقل استفاده می‌کند.

### ۲-۳-۴- الگوریتم‌های یادگیری ماشین

طیف وسیعی از الگوریتم‌های یادگیری ماشین همانند تقویت<sup>۹</sup>، ماشین‌های بردار پشتیبان<sup>۱۰</sup>، K نزدیک‌ترین همسایه<sup>۱۱</sup>، الگوریتم ژنتیک، یادگیری

تحت تأثیر عوامل روانی قرار گیرد. تجزیه و تحلیل بنیادی تحت تأثیر عوامل روانی نیست، زیرا از روی سوابق تاریخی، الگوهای قیمت و داده‌های فنی که در هر زمانی و در کسری از ثانیه تغییر می‌کنند، محاسبه نشده‌اند.

شاخص‌های به دست آمده از داده‌های بنیادی که با توجه به دارایی‌ها، درآمدها، سود سهام و میزان فروش در بازار محاسبه شده‌اند، برای پیش‌بینی قیمت سهام در آینده به کار می‌روند. شاخص‌های بنیادی متعددی برای کمک به پیش‌بینی قیمت سهام وجود دارد، اما به کارگیری تنها یک شاخص برای تولید سیگنال‌های خرید و یا فروش کافی نیست. این شاخص‌ها معیاری برای سنجش میزان مطلوبیت یک سرمایه‌گذاری می‌باشند. از جمله شاخص‌های بنیادی می‌توان به مواردی نظیر سود هر سهم، قیمت به نسبت درآمد، نسبت سرمایه در گردش، رشد درآمد‌های پیش‌بینی شده، نسبت پرداخت سود هر سهم، عملکرد سود سهام اشاره کرد.

### ۲-۳-۲- تجزیه و تحلیل فنی<sup>۶</sup> (TA)

تجزیه و تحلیل فنی در ارتباط با تأثیرات قیمت بر اساس روندها، الگوها و شاخص‌های دیگر با استفاده از تجزیه و تحلیل سری‌های زمانی است. روش تحلیل فنی بر پایه سه اصل اساسی بنا شده است، که در تمامی بازارهای جهان صدق می‌کند و عبارتند از: اولاً همه چیز یک سهم در قیمت آن سهم منعکس می‌گردد. ثانیاً اینکه قیمت‌ها به صورت روندهایی حرکت می‌کنند که این روندها در برابر تغییرات مقاومت می‌کنند و ثالثاً روندهای بازار تکرار می‌شوند (کنی، ۱۳۸۳).

می‌توان تحلیل فنی را بر پایه عرضه و تقاضا تعریف نمود. استفاده‌کنندگان از تحلیل‌های فنی با استفاده از نمودارها، قیمت‌های تاریخی نظیر قیمت باز شدن، قیمت بسته شدن، کمترین قیمت و بیشترین قیمت و همچنین حجم سهام مبادله شده روند قیمت سهام در آینده را مشخص می‌نمایند.

اطلاعات در حال حاضر در قیمت فعلی ظهور یافته‌اند و کسب هرگونه درآمد هنگفت بر اساس پیش‌بینی از آن‌ها در آینده غیرممکن است.

Burton (۱۹۹۹) در آزمایش قدم زدن تصادفی خود اثبات نمود که قیمت سهام مطلقاً تصادفی است. این بدین معنی است که قیمت روز بعد کاملاً مستقل از اطلاعات فعلی و اطلاعات قیمت روزهای گذشته است.

Lo and Mackinlay (۲۰۰۲) نشان دادند که قیمت سهام یک‌روند طولانی‌مدت را دنبال می‌کنند و بنابراین قابل پیش‌بینی هستند. آن‌ها بازار هفتگی سهام در ایالات متحده را از سال ۱۹۶۲ الی ۱۹۸۵ بررسی و نشان دادند که می‌توان فرضیه قدم زدن تصادفی را به راحتی رد کرد.

تاریخچه استفاده از سیستم‌های طبقه‌بند یادگیر در پیش‌بینی بازار سهام برمی‌گردد به مدلی که Schulenburg (۲۰۰۱) در رساله دکتری خود با استفاده از سیستم‌های طبقه‌بند یادگیر و ترکیبی از نمایه‌های مختلف فنی ارائه و کارایی آن‌ها را آزمایش نمود.

Stone (۲۰۰۴) در رساله دکتری خود به ارزیابی کارایی سیستم‌های طبقه‌بند یادگیر مبتنی بر قدرت (ZCS) برای پیش‌بینی بازار مبادلات ارز پرداخته و اثر سیستم‌های طبقه‌بند یادگیر و الگوریتم ژنتیک را مقایسه نموده است. همچنین تحقیق انجام‌شده به‌وسیله Chen and Chen (۲۰۰۵) نشان داده که قیمت سهام و نوسانات شاخص را می‌توان با استفاده از سیستم‌های طبقه‌بند یادگیر توسعه یافته (XCS) و نمایه‌های فنی به‌گونه‌ای پیش‌بینی کرد که با تخمین دقیق منجر به کسب سود خوبی گردد.

Chen and Chen (۲۰۰۷) از XCS برای پیش‌بینی نوسانات قیمت سهام و ارزش شاخص استفاده کرده در مدل او از میانگین‌های متحرک و حجم اطلاعات برای تولید پیام‌های موردنیاز سیستم استفاده شده است.

تقویتی و شبکه‌های عصبی و غیره وجود دارند که برای پیش‌بینی نوسانات قیمت در مبادلات سهام قبل از رخداد واقعی آن‌ها در جهت کاهش یا افزایش قیمت به کار گرفته شده‌اند (Kalyvas, 2007) (Shah, 2001).

با توجه به اینکه بازار سهام یکی از پیچیده‌ترین و سرکش‌ترین بازارها در بین بازارهای مالی است. برای مواجهه با چنین مسئله پیچیده‌ای سیستم‌های طبقه‌بند یادگیر ممکن است راه‌حلی را پیشنهاد دهند. آن‌ها یکی از انواع الگوریتم‌های یادگیری ماشین، چندبعدی و مبتنی بر قانون هستند که منشأ حیات و تکاملشان زیست‌شناسی تکاملی و هوش مصنوعی است. سیستم‌های طبقه‌بند یادگیر دارای دو خانواده اساسی سیستم‌های مبتنی بر قدرت<sup>۱۲</sup> و مبتنی بر دقت<sup>۱۳</sup> هستند که در کاربردهای مختلف به کار گرفته شده‌اند. الگوریتم<sup>۱۴</sup> ZCS سرآمد خانواده سیستم‌های مبتنی بر قدرت و XCS سرآمد خانواده الگوریتم‌های مبتنی بر دقت و گل سرسبد سیستم‌های طبقه‌بند یادگیر است.

## ۲-۴- پیشینه پژوهش

کندال (۱۹۵۳) در آزمایش قدم زدن تصادفی خود نشان داد که قیمت سهام به‌طور کامل تصادفی است و هیچ رابطه‌ای با عملکردش در گذشته ندارد. زمانی که روند قیمت غیرقابل‌پیش‌بینی به نظر می‌رسد، تأییدی بر بی‌خردی و ناکارآمدی بازار است. با این حال در تجزیه و تحلیل دقیق‌تر مشخص شد که حرکت تصادفی قیمت نه یک حرکت غیرمنطقی بلکه نشانی از عملکرد خوب یا کارآمد بازار است (Bodie et al., 1998).

فرضیه بازار کارا فاما (۱۹۷۰) و مدل شرط‌بندی<sup>۱۵</sup> ساموئل سون (Samuelson, 1965) (Mandelbrot, 1966) کاربرد تجزیه و تحلیل فنی، بنیادی و هرگونه استراتژی پیش‌بینی قیمت سهام در آینده بر اساس داده‌های تاریخی، عمومی و خصوصی را رد کرده و بر این باور هستند که تمامی این

در ایران سابقه استفاده از XCS در مسائل اقتصادی برمی‌گردد به تحقیقی که حقیقی و همکارانش (۱۳۹۱) پیرامون پیش‌بینی ورشکستگی سهام شرکت‌های حاضر در بورس با استفاده از سیستم‌های طبقه‌بند یادگیر XCS انجام داده‌اند. آن‌ها با استفاده از اطلاعات پایگاه داده UCI و الگوریتم XCS عامل هوشمندی را طراحی نموده‌اند که می‌تواند با دقت نسبتاً بالایی امکان ورشکستگی یا عدم ورشکستگی شرکت‌های حاضر در بورس را پیش‌بینی نماید.

در زمینه پیش‌بینی روند قیمت‌ها طی روزهای آتی بازار بورس تهران با استفاده از XCS تحقیقی انجام‌نشده است اما در یکی از پژوهش‌های اخیر نیکو اقبال و همکارانش (۱۳۹۳) به مقایسه دقت عملکرد مدل‌های شبکه عصبی ایستا و پویا در پیش‌بینی بازدهی شاخص قیمت در بازار بورس تهران پرداخته و نشان داده‌اند که شبکه عصبی ایستای فازی نسبت به سایر شبکه‌های عصبی ایستا و پویا دارای دقت عمل بیشتری در پیش‌بینی بازدهی شاخص قیمت است.

در پژوهشی دیگر فلاح‌پور و همکارانش (۱۳۹۲) سعی کردند مدلی ارائه نمایند تا بر اساس آن بتوان روند حرکتی قیمت سهام شرکت‌های موردنظر در بازار بورس تهران را با دقت بالایی پیش‌بینی نمود. بر همین اساس آن‌ها یک مدل ترکیبی برای پیش‌بینی روند حرکتی قیمت سهام با استفاده از ماشین بردار پشتیبان بر پایه الگوریتم ژنتیک ارائه کردند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که مدل ترکیبی ماشین بردار پشتیبان بر پایه الگوریتم ژنتیک عملکرد خوبی داشته و نسبت به روش ماشین بردار پشتیبان ساده از دقت بالاتری برخوردار است.

یکی از پژوهش‌های مربوط به پیش‌بینی شاخص بورس اوراق بهادار در سال‌های اخیر به روش شبکه‌های عصبی انجام شده است (سینایی، مرتضوی و تیموری اصل، ۱۳۸۴) نتایج نشان داده که

شبکه‌های عصبی عملکرد بهتری نسبت به مدل خطی ARIMA برای پیش‌بینی شاخص قیمت دارند. در پژوهشی (منجمی، ابزری و رعیتی شوازی، ۱۳۸۸) قیمت سهام در بازار بورس اوراق بهادار، به کمک شبکه عصبی فازی و الگوریتم ژنتیک پیش‌بینی شده و نتایج آن با روش شبکه عصبی مصنوعی مقایسه شده است. نتایج نشان داده است که مدل ترکیبی شبکه‌های عصبی فازی و الگوریتم‌های ژنتیک پیش‌بینی‌های بسیار بهتری داشته و در مقایسه با شبکه‌های عصبی منفرد، از سرعت و توانایی تقریب قوی تری برای پیش‌بینی سهام برخوردار است.

عبادی (۱۳۸۸)، در مطالعه خود به پیش‌بینی شاخص کل قیمت سهام در بازار بورس تهران با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی پرداخت و نشان داد، شبکه عصبی در برآوردن شاخص کل قیمت سهام بورس اوراق بهادار تهران از کارایی بالایی برخوردار است.

حسن زاده (۱۳۸۸)، قیمت سهام را با استفاده از برنامه‌نویسی ژنتیک پیش‌بینی کرده است. فرضیه نخست او افزایش متوسط خطا در نتیجه افزایش تعداد روزهای پیش‌بینی بود. این فرضیه در همه موارد تأیید شد. فرضیه دوم، نسبت اجرای بهینه به تعداد روزهای پیش‌بینی را بزرگ‌تر مساوی یک نشان داد. این فرضیه تنها در ۷۵ درصد موارد تأیید شد.

حسینی (۱۳۸۸)، در پایان نامه کارشناسی ارشد خود به پیش‌بینی قیمت سهام با استفاده از شبکه‌های عصبی در بازار بورس شیراز پرداخته است. در این پژوهش مدل سازی و پیش‌بینی رفتار بازار بورس به کمک شبکه عصبی انجام گرفت. نامبرده به‌منزله مطالعه موردی، سه شرکت را انتخاب کرد. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که شبکه عصبی پیشنهاد شده می‌تواند قیمت بسته روز آینده هر سه شرکت را با دقت بسیار خوبی پیش‌بینی کند. این پژوهش نشان داد، اگر متغیرهای ورودی را از داده‌های فنی استفاده کنیم، می‌توانیم شرکت‌های

مختلف یا حتی صنعت‌های مختلف را تنها با یک شبکه مطالعه کنیم.

هاشمی (۱۳۸۹)، بررسی تأثیر فاکتورهای رفتاری بر پیش‌بینی قیمت سهام با استفاده از مدل شبکه‌های عصبی رگرسیونی و جلو سو را مورد توجه قرارداد و با مطالعه سهام ده شرکت تشکیل‌دهنده شاخص داوجونز به این نتیجه رسید که فاکتورهای رفتاری در پیش‌بینی قیمت سهام نه شرکت از ده شرکت مؤثر هستند و دقت پیش‌بینی را به طرز چشمگیری افزایش می‌دهند.

اشهر (۱۳۸۹)، در پایان‌نامه کارشناسی ارشد خود در دانشگاه یزد، شاخص سهام را با استفاده از الگوریتم پرواز پرندگان تخمین زد و سپس نتیجه آن را با مدل‌های سنتی رایج در بورس اوراق بهادار تهران مقایسه کرد. نتایج پژوهش حاکی از آن است که الگوریتم پرواز پرندگان نسبت به تمام مدل‌های سنتی، دقیق‌ترین پیش‌بینی را ارائه می‌کند که این مدل هوشمند خطای برآورد را نسبت به بهترین مدل سنتی بهبود می‌بخشد. همچنین، الگوریتم پرواز پرندگان واریانس خطا را نسبت به مدل‌های سنتی بسیار کاهش می‌دهد که این نشان‌دهنده دقت بالای این مدل هوشمند در پیش‌بینی است.

یکی از انواع سیستم‌های طبقه‌بند یادگیر که امروزه به طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرد ابداع زیرکانه ویلسون بانام XCS است (Wilson, 1995). XCS مخفف سیستم طبقه‌بند توسعه‌یافته است و از دسته سیستم‌های طبقه‌بند مبتنی بر دقت است و به این دلیل که میزان برازندگی طبقه‌بندها بر اساس دقت در تخمین پاداش دریافتی به‌جای خود تخمین پاداش دریافتی تعیین می‌گردد، متفاوت از سایر سیستم‌های طبقه‌بند است. XCS یک ماشین یادگیرنده برخط است که رفتارش را از طریق تعامل با محیط باگذشت زمان بهبود می‌بخشد و تنها هدفش این نیست که پاداش بیشتری دریافت نماید بلکه هدفش به حداکثر رساندن میزان پاداش‌های دریافتی در طولانی‌مدت از طریق یادگیری و کسب تجربه است. به سیستم حداقل اطلاعات داده می‌شود و بنابراین بیشتر دانش خود را از طریق تلاش برای تطبیق با محیط خودش کسب می‌نماید. در حقیقت به سیستم چگونگی انجام کارها نشان داده نمی‌شود (یادگیری بدون ناظر) اما اجازه داده می‌شود که طی چرخه‌های ورود داده‌ها، انتخاب عمل و تقویت داشته‌های خود، یاد بگیرد. اگر کارش را خوب انجام داد پاداش دریافت می‌کند وگرنه مجازات می‌شود.

### ۳- توضیح الگوریتم و مدل پیشنهادی

#### ۳-۱- توضیحی بر الگوریتم XCS

سیستم‌های طبقه‌بند یادگیر (LCS) ترکیبی از الگوریتم ژنتیک و یادگیری تقویتی هستند که توسط هلند (۱۹۷۵) ابداع شده‌اند. این سامانه‌ها مجموعه‌ای از قوانین به شکل «اگر شرط آنگاه عمل» را در یک سیستم تولید ایجاد می‌کنند. الگوریتم ژنتیک به منظور کشف قوانین جدید و جستجوی فضای حل مسئله به کار گرفته می‌شود درحالی‌که یادگیری تقویتی قوانین موجود را ارزش‌گذاری می‌کند. با مرور تمامی حالات ممکن شرط/عمل یادگیری تقویتی به‌گونه‌ای شرط‌ها و عمل‌ها را به یکدیگر نگاشت می‌کند که میزان پاداش دریافتی را بیشینه نماید.

#### ۳-۱-۱- بررسی اجمالی چارچوب XCS

XCS مجموعه‌ای از طبقه‌بندها (جمعیت) به شکل شرط، عمل و پیش‌بینی است که هر طبقه‌بند عضو مجموعه به‌وسیله ۵ قسمت از سایرین متمایز شده است.

(۱) شرط یا  $C \in \{1, 0, \#\}^L$  به منظور تشخیص این‌که چه طبقه‌بندهای قابل تطبیق با ورودی دریافت شده از محیط را دارند، استفاده می‌شود.

(۲)  $A \in \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$  عملی است که یک طبقه‌بند پیشنهاد می‌کند.

(۳) پیش‌بینی یا  $p$ ، تخمینی از میزان پاداش مورد انتظار است، در حالتی که طبقه‌بند انتخاب‌شده و عمل پیشنهادی آن به محیط اعمال گردد.



مشخص شوند. ۴ طبقه‌بندی از جمعیت که در شکل ۱ متمایز نشان داده شده‌اند همان‌های هستند که قسمت شرط آن‌ها با ورودی (۰۰۱۱) جور است و مجموعه جورها یا [M] را تشکیل می‌دهند در صورتی که هیچ طبقه‌بندی از جمعیت قابلیت تطبیق با ورودی را نداشته باشد سیستم به کمک عملیات پوشش<sup>۱۶</sup> از روی ورودی به‌طور تصادفی طبقه‌بندی را ایجاد می‌کند که دارای تعداد مشخصی علامت # در برخی از موقعیت‌های خود است. قسمت عمل آن را نیز به‌طور تصادفی از بین عمل‌های ممکن تعیین و برای پارامتر پیش‌بینی آن نیز مقدار اولیه پایینی در نظر گرفته می‌شود. عملیات پوشش در شروع به کار سیستم به دفعات به کار گرفته می‌شود و با گذر زمان قوانین جدید به کمک عمل اکتشاف و از روی قوانین موجود ایجاد می‌شوند. به‌عنوان مثال اگر هیچ طبقه‌بندی عضو جمعیت وجود نداشته باشد که با ورودی ۱۱۰۱۱۰۱۰ جور باشد طبقه‌بند جدیدی همانند 10 ⇒ 1#01#01#0 به کمک عملیات پوشش ایجاد می‌گردد. در ادامه کار XCS پس از ایجاد مجموعه جورها، آرایه پیش‌بینی P(A) را برای هر یک از عمل‌های ممکن تشکیل داده و میزان پاداش دریافتی به ازای هر عمل را تخمین می‌زند. در شکل ۱ در مجموعه جورها دو طبقه‌بند پیش‌بینی ۱ و دوتای دیگر پیش‌بینی عمل ۰ را داشته‌اند. XCS میانگین وزنی برانزنگی پیش‌بینی‌ها برای هر یک از عمل‌ها را بر اساس رابطه ۲ محاسبه می‌نماید.

(۲)

$$\text{میانگین وزنی برانزنگی} = \frac{\sum \text{prediction} * \text{fitness}}{\sum \text{fitness}}$$

$$P(1) = \frac{43*99 + 27*3}{99+3} = 42.57$$

به‌طور مشابه می‌توان P(0) را محاسبه نمود که مقدار آن برابر با ۱۶٫۶ خواهد بود.

بنابراین P(A)، میانگین وزنی برانزنگی تخمین پیش‌بینی پاداش تمامی طبقه‌بندهای عضو مجموعه جورها [M] برای هر عمل را نمایش می‌دهد. XCS

(۴) خطای تخمین  $\epsilon$  که تخمینی از میانگین تفاوت مابین پاداش دریافتی (R) و مقدار تخمینی طبقه‌بند مزبور را نشان می‌دهد. در واقع انحراف مطلق میانگین خطای تخمینی با توجه به پاداش دریافتی را محاسبه می‌کند.

(۵) برانزنگی F، میزان برانزنگی یک طبقه‌بند است و تخمینی از دقت نسبی و تراز شده از مقدار تخمینی است.

به‌طور ساده می‌توان یک طبقه‌بند را به‌صورت رابطه ۱ نمایش داد

رابطه (۱)

$$\langle \text{Condition} \rangle : \langle \text{Action} \rangle \Rightarrow \text{Prediction}$$

در صورتی که ۱ به معنی افزایش، ۰ کاهش و # نامشخص باشد اگر طبقه‌بندی همانند زیر موجود باشد

$$10##1\# : 1 \Rightarrow 632.6$$

تفسیرش این است که اگر بیت اول و پنجم ۱ باشد و بیت دوم ۰ و مابقی بیت‌ها # (نامشخص) باشند هنگامی که عمل ۱ به محیط اعمال شود تخمین پاداش ۶۳۲٫۶ خواهد بود. با توجه به قسمت شرط این طبقه‌بند با تعداد  $m^n$  ورودی جور است که n تعداد بیت‌های # (نامشخص) آن و m تعداد عمل‌های ممکن (۰ و ۱) است که اینجا  $2^3 = 8$  خواهد بود.

100010

100011

100110

100111

...

### ۳-۱-۲- چرخه یادگیری XCS

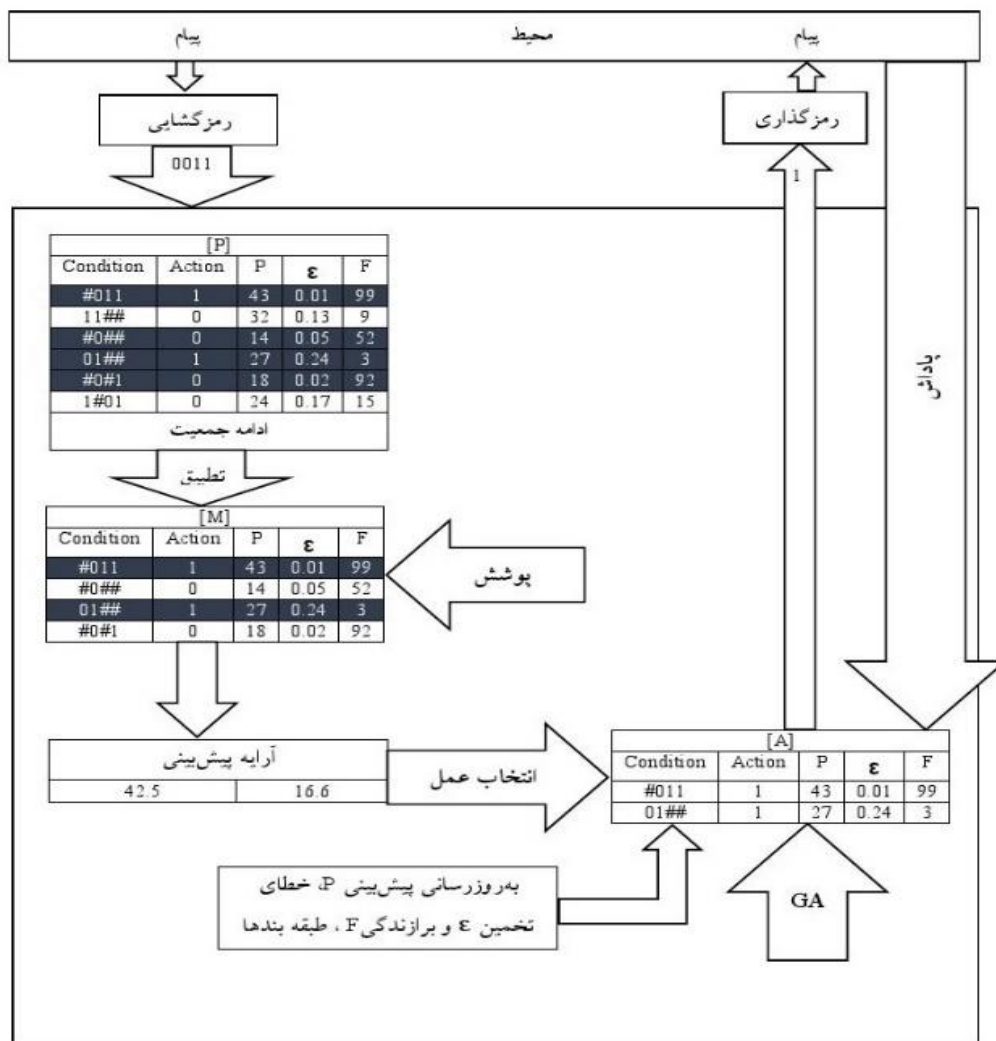
در ابتدا معمولاً [p] یا همان جمعیت طبقه‌بندها تهی است. سیستم پیام‌های محیط را دریافت نموده و آن‌ها را به‌گونه‌ای که برای ورود به XCS مناسب باشد رمزگشایی می‌کند. پس از دریافت ورودی (۰۰۱۱) XCS آن را با جمعیت طبقه‌بندها مطابقت می‌دهد تا طبقه‌بندهای که با ورودی جور هستند



سیستم عمل تعیین‌شده را اجرا کرده و به‌صورت پیام مناسبی آن را به محیط ارسال می‌نماید. در چرخه بعد صحت عمل پیشنهادشده بر اساس بازخورد محیط مورد قضاوت قرار می‌گیرد. به خاطر انتخاب عمل صحیح پاداش ۱۰۰۰ به سیستم داده می‌شود و برای انتخاب عمل اشتباه پاداش ۰ برای سیستم در نظر گرفته می‌شود. این پاداش برای به‌روزرسانی پارامترهای طبقه‌بندهای عضو مجموعه عمل [A] که پیشنهاددهنده آن عمل بوده‌اند استفاده می‌گردد.

اغلب اوقات بر اساس یک سیاست حریصانه بهترین عمل را از روی آرایه تخمین انتخاب می‌کند و در برخی مواقع و با احتمالی کم، عملی که کمتر بهینه باشد را به تصادف از روی آرایه پیش‌بینی انتخاب می‌نماید. پس از انتخاب یک عمل تمامی طبقه‌بندهای عضو مجموعه جورها که آن را پیشنهاد نموده‌اند مجموعه عمل [A] را تشکیل می‌دهند.

در شکل ۱ بهترین عمل (دارای بیشترین مقدار پیش‌بینی در آرایه تخمین) انتخاب‌شده و دو طبقه‌بندی که از آن حمایت کرده‌اند از مجموعه جورها انتخاب و به مجموعه عمل اضافه‌شده‌اند.



شکل ۱- گردش کار XCS

## ۳-۱-۳- به روزرسانی پارامترها

در هنگام ایجاد یک طبقه‌بند مقادیر مربوط به پارامترهای آن با مقادیر کم مقداردهی اولیه می‌شوند که این مقادیر با گذشت زمان اصلاح شده و بهبود می‌یابند. کدهای زیر نحوه به‌روزرسانی میزان برازندگی و سایر پارامترهای متعلق به یک طبقه‌بند عضو مجموعه عمل [A] را نشان می‌دهند که از کار Butz and Wilson (۲۰۰۱) اقتباس شده است.

۱- پیش‌بینی

$$\text{Prediction} \leftarrow \text{Prediction} + \beta * (\text{Reward} - \text{prediction})$$

۲- خطای پیش‌بینی

$$\text{Prediction error} \leftarrow \text{Prediction error} + \beta * (|\text{Reward} - \text{prediction}| - \text{Prediction error})$$

۳- میزان برازندگی

UPDATE FITNESS ([A])

AccuracySum ← 0

Initialize accuracy vector k

for each classifier cl in [A]

if (Prediction error < ε<sub>0</sub>)

k(cl) ← 1

else

$$k(cl) \leftarrow \alpha * (\text{prediction error} / \varepsilon_0)^{-\nu}$$

AccuracySum ← AccuracySum + k(cl)

for each classifier cl in [A]

$$\text{fitness} \leftarrow \text{fitness} + \beta * \left( \frac{k(cl)}{\text{AccuracySum} - \text{fitness}} \right)$$

قوانین موجود در مجموعه عمل [A] به کار گرفته می‌شود. GA دو والد را با توجه به نسبت میزان برازندگی آن‌ها از مجموعه عمل [A] انتخاب می‌نماید سپس از روی آن‌ها به کمک عملیات تعویض و جهش دو فرزند ایجاد شده و در جمعیت طبقه‌بندها [P] با یکدیگر به رقابت می‌پردازند. اگر طبقه‌بند جدید قابل پوشش توسط طبقه‌بند دیگری باشد به جمعیت اضافه نمی‌شود و در طبقه‌بند موجود ادغام می‌گردد. میزان طبقه‌بندهای عضو جمعیت ثابت است و در صورت وجود طبقه‌بند مازاد عملیات حذف طبقه‌بندها رخ می‌دهد. اگر طبقه‌بندی تجربه زیادی داشته باشد ولی میزان برازندگی‌اش کم باشد شانس حذفش بیشتر خواهد بود؛ اما هرچقدر که یک طبقه‌بند جامع‌تر باشد بدین معنی که دارای تعداد کاراکتر # بیشتری باشد عضو مجموعه‌های عمل بیشتری خواهد بود و در نتیجه بیشتر در چرخه زادوولد شرکت نموده و سریع‌تر گسترش پیدا می‌کنند و بنابراین از GA انتظار می‌رود دقت را تکامل بخشیده و راه‌حل‌های درنهایت جامعیت را به‌عنوان خروجی تولید نماید.

## ۳-۲- طرح‌ریزی مدل پیشنهادی مبتنی بر

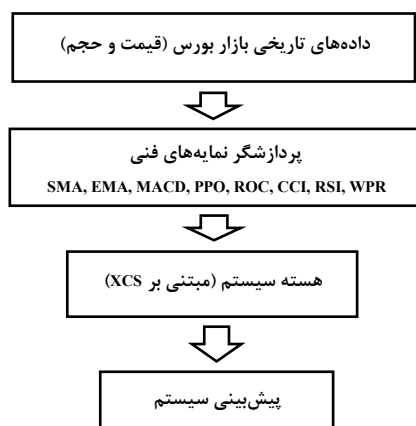
## XCS

در شکل ۲ طرح مدل پیشنهادی به تصویر کشیده شده است. هدف نهایی سیستم پیش‌بینی روند قیمت سهام در روز آتی است. برای این منظور از اطلاعات روز قبل سهام از قبیل قیمت (قیمت‌های باز شدن، بسته شدن، بالاترین قیمت و کمترین قیمت) و حجم استفاده شده است. با استفاده از این داده‌ها و به کمک فرمول‌های ریاضی نمایه‌های فنی مختلفی محاسبه و مقادیرشان مشخص گردیده است. انواع مختلفی از نمایه‌های فنی وجود دارند که می‌توان از آن‌ها برای انواع مختلف از سهام موجود در بازار استفاده کرد. در اینجا مجموعاً ۸ نمایه فنی SMA, EMA, MACD, PPO, ROC, CCI, RSI, WPR که به‌طور معمول و به‌صورت گسترده توسط

جای که  $\alpha, \varepsilon_0, \nu$  پارامترهای برای به‌روزرسانی میزان برازندگی و  $\beta$  نرخ یادگیری است که برای به‌روزرسانی پیش‌بینی، خطای پیش‌بینی و میزان برازندگی استفاده می‌شود. مقادیر ثابت عددی برای  $\alpha, \varepsilon_0, \nu, \beta$  برابر است با  $\alpha = 0.1, \varepsilon_0 = 10, \nu = 5, \beta = 0.2$  (Butz and Wilson, 2001).

۳-۱-۴- تکامل قوانین<sup>۱۷</sup>

XCS از الگوریتم ژنتیک<sup>۱۸</sup> (GA) برای تکامل تدریجی قوانین استفاده می‌کند. اگر میانگین زمان از آخرین مرتبه‌ای که الگوریتم ژنتیک به کار گرفته شده است از یک‌میزان مشخص بیشتر باشد، پس از آن الگوریتم ژنتیک برای تولید قوانین جدید از روی



شکل ۲- طرحی از مدل پیشنهادی

#### ۴- روش‌شناسی پژوهش

این پژوهش کاربردی بوده، مبتنی بر پژوهش‌های میدانی است؛ یعنی بر مبنای اطلاعات جمع‌آوری‌شده از یکی از شرکت‌های فعال در بازار بورس تهران، فرضیه پژوهش مورد آزمون قرار گرفته است. در این پژوهش، ابتدا پیش‌بینی روند حرکتی قیمت سهام در روز آتی به کمک مدل قدم زدن تصادفی انجام گرفت و دقت پیش‌بینی این روش محاسبه شد. سپس مدلی پیشنهادی مبتنی بر XCS به کار گرفته شده و دقت پیش‌بینی این روش نیز محاسبه شده است. در آخر به مقایسه دقت پیش‌بینی روش قدم زدن تصادفی و مدل پیشنهادی پرداخته شده است.

هدف اصلی این پژوهش طرح مدلی است که با استفاده از XCS و همچنین دریافت داده‌های پیشین بازار و به کمک نمایه‌های فنی، بدون ناظر و به کمک یادگیری تقویتی و شبیه‌سازی بازار الگوی تغییر قیمت‌ها در بازار سرمایه را کشف و نهایتاً روند حرکتی قیمت یک روز آتی را پیش‌بینی نماید. منظور از روند حرکتی قیمت سهام، مثبت یا منفی بودن قیمت پایانی سهام در یک روز بعد تعریف شده است. فرض پژوهش بر این استوار است که اگر قیمت پایانی سهم موردنظر در روز بعد نسبت به امروز مثبت باشد خروجی یک تعریف شود در غیر این صورت اگر قیمت پایانی سهم موردنظر در روز بعد

سرمایه‌گذاران استفاده می‌شوند به کار گرفته شده‌اند. کارایی برخی از این نمایه‌های فنی برای بازار بورس تهران اثبات شده است (نبوی چامشی، سید علی، ۱۳۹۰). هرکدام از این نمایه‌ها سیگنالی مبنی برافزایش یا کاهش قیمت تولید می‌کنند. مقادیر به‌دست‌آمده از نمایه‌های مختلف به‌منظور ساخت و ایجاد یک بردار بیتی (۰ و ۱) که وضعیت یا حالت بازار را نشان می‌دهند با یکدیگر ترکیب شده‌اند. اگر نمایه‌ای سیگنالی افزایش صادر کرده مقدار یک و اگر سیگنال کاهش صادر کرده مقدار صفر برای آن نمایه در بردار بیتی ذکر شده در نظر گرفته شده است. لازم به ذکر است که ترتیب قرار گرفتن مقادیر مربوط به نمایه‌های مختلف بر روی بردار بیتی مذکور مهم است و در کل آزمایش یکسان در نظر گرفته شده است. بردار بیتی حاصل شده به‌عنوان ورودی که حاصل حسگرهای محیطی در ارتباط با بازار است به XCS داده شده و XCS با بهره‌برداری از دانشی که طی تجربه‌های قبلی کسب کرده است خروجی لازم را تولید نموده است. خروجی یک حاکی از پیش‌بینی مثبت بودن قیمت روز بعد و خروجی صفر حاکی از پیش‌بینی منفی بودن قیمت در روز بعد است. در روز بعد اگر XCS پیش‌بینی درستی از وضعیت قیمت ارائه داده باشد، توسط سیستم پاداش دریافت کرده و در صورتی که پیش‌بینی نادرستی از وضعیت بازار ارائه کرده باشد توسط سیستم مجازات شده است. بدین ترتیب XCS در هرروز با توجه به پاداش یا مجازات دریافتی داشته‌های خود را تقویت نموده و سعی در کاهش خطای پیش‌بینی داشته است.

(۴)

$$P(\text{Hit rate} > k) = 1 - P(\text{Hit rate} \leq k) = 1 - \text{binom cdf}(k, n, 0.5)$$

که binom cdf تابع توزیع تجمعی است.

#### ۴-۲- داده‌های پژوهش

در این پژوهش از داده‌های تاریخی قیمت و حجم مبادلات شرکت ایران خودرو که یکی از شرکت‌های فعال صنعت خودرو ایران و بازار بورس تهران است استفاده شده است. تنها دلیل استفاده از داده‌های مرتبط با این شرکت تنها به خاطر تعداد روزهای معامله مورد نیاز به منظور آموزش و بهره‌برداری از مدل است. داده‌های مورد نیاز از شرکت مدیریت فن‌آوری بورس تهران گردآوری شده است. این داده‌ها شامل تاریخ، قیمت آغازین، بالاترین و پایین‌ترین قیمت ثبت شده برای یک روز، قیمت پایانی و حجم سهام معامله شده است. برای آزمایش و سنجش کارایی سیستم از سوابق تاریخی معاملات سهام شرکت ایران خودرو طی ۱۶۰۰ روز معامله بین تاریخ‌های ۱۳۸۰/۱۰/۰۵ الی ۱۳۸۸/۰۳/۲۷ استفاده شده است.

#### ۴-۳- یافته‌های پژوهش

برای اینکه درستی دقت پیش‌بینی دو مدل با یکدیگر مقایسه شود به تعداد ۱۰ مرتبه آزمایش بر روی داده‌های یکسان تکرار و نتایج حاصل از پیش‌بینی هر دو مدل ثبت گردید. میزان دقت هر دو مدل بر اساس میانگین تعداد پیش‌بینی‌های صحیح آن‌ها به ازای هر ۵۰ پیش‌بینی پس از ۱۰ مرتبه آزمایش ثبت شده است. منظور از پیش‌بینی صحیح یعنی زمانی که روند واقعی بازار مثبت بوده و خروجی مدل هم مثبت برآورد شده است و یا زمانی که روند واقعی بازار منفی بوده و خروجی مدل هم منفی برآورد شده است. لازم به ذکر است که نیمی از داده‌های مورد استفاده توسط مدل پیشنهادی صرف

منفی باشد خروجی صفر تولید شود. فرضیه پژوهش بدین صورت تعریف شده است که مدل پیشنهادی مبتنی بر XCS عملکرد بهتری از مدل قدم زدن تصادفی برای پیش‌بینی روند حرکت قیمت سهام در روز آتی دارد.

#### ۴-۱- مدل قدم زدن تصادفی<sup>۱۹</sup>

در مدل قدم زدن تصادفی، الگوریتم برای هرروز معامله پیش‌بینی افزایش و یا کاهش قیمت داشته است. در صورتی که الگوریتم پیش‌بینی درستی داشته به‌عنوان مثال پیش‌بینی افزایش قیمت داشته باشد و قیمت پایانی سهام مورد نظر افزایش یافته و یا پیش‌بینی کاهش قیمت داشته و قیمت پایانی کاهش یافته است موفقیت و در غیر این صورت شکست در نظر گرفته شده است. در نتیجه این یک آزمایش برنولی است و توزیع آن، توزیعی است گسسته که مقادیر ۱ (در صورت موفقیت) و ۰ (در صورت شکست) را می‌گیرد. اگر احتمال موفقیت در یک آزمایش برنولی  $p$  باشد آنگاه احتمال شکست برابر  $q=1-p$  خواهد بود. الگوریتم برای پیش‌بینی روزهای معاملاتی  $X$  که مستقل از یکدیگر هستند به کار گرفته شده است و توزیع آن توزیعی دوجمله‌ای است.<sup>۲۰</sup> در علم آمار و احتمال توزیع دوجمله‌ای، توزیعی گسسته از تعداد موفقیت‌ها در دنباله‌ای شامل  $X$  آزمایش مستقل برنولی همه با احتمال موفقیت  $p$  است. اگر فرض شود که تعداد روزهای افزایش و کاهش قیمت طی یک دوره زمانی یکسان باشد، آنگاه احتمال اینکه  $K$  پیش‌بینی از مجموع پیش‌بینی‌ها صحیح باشد از رابطه ۳ به دست می‌آید.

(۳)

$$P(\text{Hit rate} = k) = \binom{n}{k} 0.5^k * (1 - 0.5)^{n-k}$$

و این به معنای تبعیت  $P(\text{Hit rate} \leq k)$  از توزیع دوجمله‌ای است و بنا بر رابطه ۴ خواهیم داشت:

می‌گیرد. فرض صفر این آزمون آن است که واریانس متغیر دقت پیش‌بینی در دو گروه تفاوت معناداری باهم ندارند و فرض جایگزین آن مبنی بر تفاوت معنادار در واریانس متغیر دقت پیش‌بینی بین دو گروه مورد مطالعه است. نتایج حاصل از آزمون در جدول ۲ آورده شده است. با توجه به سطح معناداری (۰,۰۱۸) حاصل از آزمون لون برای متغیر دقت پیش‌بینی، شرط برابری واریانس رد شده بدین معنی که واریانس‌ها در دو نمونه برابر نمی‌باشند.

جدول ۲- نتیجه آزمون همگونی واریانس لون

سطح معناداری	آماره آزمون F
۰,۰۱۸	۶,۲۸۰

در ادامه با استفاده از آزمون t نمونه‌های زوجی حاصل از دو مدل آزمایشی با یکدیگر مقایسه شد. در صورتی که اختلاف معناداری وجود داشته باشد فرضیه صفر مبنی بر عدم اختلاف در دقت پیش‌بینی مدل پیشنهادی XCS و قدم زدن تصادفی رد شده و در غیر این صورت فرضیه صفر پذیرفته می‌شود. با توجه به نتایج آزمون t (جدول ۳) به دلیل کمتر بودن سطح معناداری آزمون (۰,۰۰۰) از مقدار ۰,۰۵، فرض صفر رد می‌گردد. به عبارتی دیگر دقت پیش‌بینی در میان دو مدل دارای تفاوت معناداری است؛ بنابراین فرضیه جایگزین آزمون در سطح اطمینان ۹۵ درصد تأیید می‌شود که نشان از بالاتر بودن دقت مدل مبتنی بر XCS است.

یادگیری و تنها نیمی دیگر برای بهره‌برداری استفاده شده است. جدول ۱ نتایج کلی به دست آمده از دو مدل قدم زدن تصادفی و مدل مبتنی بر XCS را نشان می‌دهد.

جدول ۱- دقت کل پیش‌بینی برای دو مدل قدم زدن تصادفی و مدل مبتنی بر XCS

نام نماد	میانگین	بیشترین	کمترین	انحراف استاندارد
XCS	۰,۶۶	۰,۶۹	۰,۶۴	۰,۰۱۳۴۷۳
RW	۰,۴۶	۰,۴۸	۰,۴۴	۰,۰۱۲۵۵۳

همان‌طور که از نتایج جدول ۱ مشخص است دقت کل پیش‌بینی در مدل مبتنی بر XCS نسبت به مدل قدم زدن تصادفی بالاتر به دست آمده است که نشان از عملکرد بهتر این مدل نسبت به مدل قدم زدن تصادفی است. با توجه به نتایج درج شده در جدول ۱ میانگین دقت پیش‌بینی مدل مبتنی بر XCS برابر ۶۶ درصد است. احتمال اینکه نتیجه معادل یک آزمایش قدم زدن تصادفی باشد با توجه به رابطه ۴ برابر صفر است.

$$P(\text{Hit rate} > 1056) = 1 - P(\text{Hit rate} \leq 1056) = 1 - \text{binom cdf}(1056, 1600, 0.5) = 1 - 1 = 0$$

#### ۴-۴ تجزیه و تحلیل داده‌ها و آزمون فرضیات

برای مقایسه دقت پیش‌بینی مدل پیشنهادی (XCS) و مدل قدم زدن تصادفی فرضیه اصلی به شرح زیر مطرح می‌گردد.

فرضیه: هیچ اختلافی در دقت پیش‌بینی روند قیمت روز آتی بین مدل پیشنهادی XCS و قدم زدن تصادفی وجود ندارد.

#### ۴-۴-۱- آزمون لون و آزمون t با دو نمونه مستقل<sup>۲۱</sup>

در ابتدا به کمک آزمون لون همگن بودن واریانس متغیر دقت پیش‌بینی مورد بررسی قرار

جدول ۳- نتیجه آزمون t برای مقایسه نتایج حاصل از پیش بینی دو مدل XCS و قدم زدن تصادفی

فاصله اطمینان در سطح معناداری ۹۵ درصد		خطای انحراف استاندارد	اختلاف میانگین	سطح معناداری	درجه آزادی	آماره آزمون t	شاخصها
حد بالا	حد پایین						
۰,۲۴۳۷۸	۰,۱۶۱۴۷	۰,۰۱۹۹۴	۰,۲۰۲۶۳	۰,۰۰۰	۲۴,۰۳۷	۱۰,۱۶۰	دقت پیش بینی

### ۵- نتیجه گیری و بحث

مدل پیشنهادی مبتنی بر XCS به همراه مدل قدم زدن تصادفی بر روی داده‌های واقعی سهام شرکت ایران خودرو به منظور پیش بینی روند حرکت قیمت در روز آتی به کار گرفته شدند. مقایسه عملکرد دو مدل با یکدیگر نشان داد که مدل پیشنهادی مبتنی بر XCS نسبت به مدل قدم زدن تصادفی در سطح معناداری (بیش از ۹۵ درصد) عملکرد بهتری داشته و از دقت عمل بیشتری در پیش بینی برخوردار بوده است. نتایج حاصل نشان می‌دهد که با توجه به پیچیدگی‌های بازار بورس مدل پیشنهادی مبتنی بر XCS در حد قابل قبولی قادر به پیش بینی روند حرکت قیمت در روز آتی با استفاده از نمایه‌های فنی و استفاده از داده‌های تاریخی قیمت سهام است در چنین حالتی می‌توان نتیجه گرفت که حداقل در خصوص سهام شرکت مورد بررسی در این پژوهش تغییرات قیمت از الگوی قدم زدن تصادفی پیروی نکرده است و تغییرات قیمت بر اساس الگوی خاصی صورت گرفته است که این موضوع گواهی بر ناکارایی بودن بازار برای سهام بررسی شده است.

با توجه به نتایج حاصل شده در این تحقیق می‌توان امید داشت که از سیستم‌های طبقه‌بند یادگیر به‌عنوان یکی از زمینه‌های محاسبات تکاملی در حل مسائل و مشکلات اقتصادی بازارهای مالی مختلف داخلی استفاده نمود.

از آنجائی که تعداد نمایه‌های فنی مختلف وجود دارد، پیشنهاد می‌گردد در پژوهش‌های آتی ترکیبی دیگری از نمایه‌های فنی مورد بررسی قرار گیرد. همچنین می‌توان ترکیبی از نمایه‌های فنی و نمایه‌های بنیادی را برای بهبود عملکرد مورد استفاده

قرار داد. ضمناً می‌توان در پژوهش‌های آتی از XCS برای پیش بینی مواردی همچون پیش بینی شاخص بازار بورس، پیش بینی قیمت طلا و ارز و پیش بینی قیمت نفت در بازارهای جهانی و مسائلی از این دست استفاده نمود. در پایان پژوهشگر آمادگی خود برای همکاری با سایر محققان در این زمینه تحقیقی را اعلام می‌نماید.

### فهرست منابع

- \* اشهر، م. (۱۳۸۹). پیش بینی شاخص سهام با استفاده از الگوریتم پرواز پرندگان و مقایسه آن با مدل‌های سنتی رایج در بورس اوراق بهادار تهران. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مدیریت و اقتصاد دانشگاه یزد.
- \* جهانخانی، ع.، عبده تبریزی، ح. (۱۳۷۲). نظریه بازار کارای سرمایه. تحقیقات مالی، ۱(۱): ۲۳-۷.
- \* حسن زاده، س. (۱۳۸۸). پیش بینی قیمت سهام با استفاده از برنامه‌ریزی ژنتیک. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مدیریت و اقتصاد دانشگاه تربیت مدرس، تهران.
- \* حسینی، م. (۱۳۸۸). پیش بینی قیمت سهام با استفاده از شبکه‌های عصبی (مطالعه موردی: بازار بورس شیراز). پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شیراز.
- \* حقیقی، م.، مشتاقی یزدانی، ن. و معتمدزاده، ح. (۱۳۹۲). پیش بینی ورشکستگی سهام شرکت‌های حاضر در بورس با استفاده از سیستم‌های طبقه‌بند (XCS) توسعه یافته، اولین همایش ملی مهندسی کسب و کار، کرمان.

- داوجونز. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده صنایع دانشگاه علم و فرهنگ، تهران.
- \* Bodie, Z., Kane, A., Marcus, A. J. (1998). Investments (3rd Ed.). Boston, Mass. Irwin/McGraw Hill Companies, Chapter 12 market efficiency.
- \* Burton, M. (1999). A Random Walk Down Wall Street, New York, itd. Norton.
- \* Butz, M. V., Wilson, S. W. (2001). An algorithmic description of XCS. In P. L. Lanzi, W. Stolzmann, and S.W. Wilson, S. (1995). Classifier Fitness Based on Accuracy. Evolutionary Computation, (3)2, 149-175.
- \* Chen, M. C., Lin, C. L., Chen, A. P. (2007). Constructing a dynamic stock portfolio decisionmaking assistance model: using the Taiwan 50 Index constituents as an example.
- \* Chen, P., Chen, M. Y. (2005). Integration extended classifier system and knowledge extraction model for financial investment prediction: An empirical study. Taiwan, Institute of Information Management, National Chiao Tung University.
- \* Choudhry, R., Garg, K. (2008). A Hybrid Machine Learning System for Stock Market Forecasting. World Academy of Science, Engineering and Technology. 4, 315-318.
- \* Fama, E. F. (1970). Efficient Capital Markets: A Review of Theory and Empirical Work. The Journal of Finance 25(2): 383-417.
- \* Holland, J. (1975). Adaptation in Natural and Artificial Systems, University of Michigan Press, Ann Arbor, Mich, USA.
- \* Kalyvas, E. (2001). Using Neural Networks and Genetic Algorithms to Predict Stock Market Returns. Master's Thesis, University of Manchester.
- \* Kendall, M. G. (1953). The Analysis of Economic Time Series, Part I. Prices. Journal of the Royal Statistical Society (96), 11-25.
- \* Lo, Andrew W., Mackinlay, A. C. (2002) A Non-Random Walk Down Wall Street. 5th (Ed.) Princeton, Princeton University, 4-47.
- \* Mandelbrot, B. (1966). Forecasts of future prices, unbiased markets and martingale, models, Journal of Business, (39), 242-255.
- \* Samuelson, P.A. (1965). Proof that properly anticipated prices fluctuate
- \* سینایی، ح.، مرتضوی، س. و تیموری اصل، ی. (۱۳۸۴). پیش‌بینی شاخص بورس اوراق بهادار با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی. بررسی‌های حسابداری و حسابرسی، ۱۲(۴۱): ۵۹-۸۳.
- \* عبادی، ا. (۱۳۸۸). پیش‌بینی شاخص کل قیمت سهام در بازار بورس تهران با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشکده اقتصاد و علوم اجتماعی دانشگاه بوعلی سینا، همدان.
- \* فلاح پور، س.، گل ارزی، غ. و فتوره چیان، ن. (۱۳۹۲). پیش‌بینی روند حرکتی قیمت سهام با استفاده از ماشین بردار پشتیبان بر پایه الگوریتم ژنتیک در بورس اوراق بهادار تهران. تحقیقات مالی، ۱۵ (۲): ۲۶۹-۲۸۸.
- \* کنی، ا. ع. (۱۳۸۳). مبانی تحلیل تکنیکی بازار سرمایه. تهران.
- \* منجمی، س.ا.، ابزری، م. و رعیتی شوازی، ع. (۱۳۸۸). پیش‌بینی قیمت سهام در بازار بورس اوراق بهادار با استفاده از شبکه عصبی فازی و الگوریتم‌های ژنتیک و مقایسه آن با شبکه عصبی مصنوعی. فصلنامه اقتصاد مقداری، ۳(۳): ۲۶-۱.
- \* نبوی‌چاشمی، ع.، حسن‌زاده، آ. (۱۳۹۰). بررسی کارایی شاخص MA در تحلیل تکنیکال در پیش‌بینی قیمت سهام. فصلنامه دانش مالی تحلیل اوراق بهادار، ۵(۵): ۱۰۵-۸۳.
- \* نیکوآقبال، ع.، گندلی علیخانی، ن. و نادری، ا. (۱۳۹۳). ارزیابی مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی ایستا و پویا در پیش‌بینی قیمت سهام. فصلنامه دانش مالی تحلیل اوراق بهادار، ۷(۶): ۹۱-۷۷.
- \* هاشمی، ا. (۱۳۸۹). تأثیر فاکتورهای رفتاری بر پیش‌بینی قیمت سهام با استفاده از مدل شبکه‌های عصبی رگرسیونی و جلوسو (مورد مطالعه: سهام ده شرکت تشکیل دهنده شاخص



- randomly. *Industrial Management Review*, (6), 41-49.
- \* Schulenburg, S., Ross, p. (2001). *Strength and Money: An LCS Approach to Increasing Returns*. Pier Luca Lanzi, Wolfgang Stolzmann, and Stewart W. Wilson, (Ed.). *Advances in Learning Classifier Systems*, volume 1996 of *Lecture Notes in Artificial Intelligence*, pages Springer-Verlag, Berlin, 114-137.
  - \* Shah, V. H. (2007). *Machine Learning Techniques for Stock Prediction*. *Foundations of Machine Learning*, New York University.
  - \* Stone, C., Bull, L. (2004). *Foreign Exchange Trading using a Learning Classifier System*. Bristol United Kingdom: university of the West of England Bristol.
  - \* Tsaih, R. H. (1998). *Forecasting S&P 500 stock index*. *Decision Support Systems*, 161- 174.
  - \* Tsang, E. P.K., Jaramillo, S.M. (2004). *Computational Finance*. IEEE Computational Intelligence Society Newsletter.
  - \* Wilson, S.W.(1995) *Classifier Fitness Based on Accuracy.*, *Evolutionary Computation*,3(2):149-175.

---

## Predict the trend of stock prices using XCS based on genetic algorithms and reinforcement learning

Ahmad Reza Pakraei<sup>1</sup>

Receipt: 2016 / 4 / 10

Acceptance: 2016 / 7 / 18

### Abstract

Developments for investigation in the area of artificial intelligence and machine learning, especially in the field of evolutionary computation not only enabled us for having more effective analysis of data, but also providing the ability to use it for understanding any underlying model of financial markets. Economists, statisticians, and finance teachers were always interested in the development and experiment of stock price behavioral models. XCS is a compound system of genetic algorithm and reinforcement learning, which has on-line interaction with the environment and the ability of learning from its own experience. In this study we will provide a model which predicts the movements of next day's stock price on one of the corporations in Tehran stock exchange based on historical data and different technical indicators by using XCS. Then, efficiency of the proposed model was measured in comparison with the random walk model. Results showed that the proposed model has more predicting accuracy in comparison with that random walk model.

**Keywords:** Prediction, Stock Price, Technical Analysis, XCS (eXtended Classifier Systems)

---

1- Department of Computer Engineering, Darab Branch, Islamic Azad University, Darab, Iran, arpakraei@gmail.com