

بررسی‌های حسابداری و حسابرسی

سال دوازدهم - شماره ۴۱ - پاییز ۱۳۸۴

صص ۸۳ - ۵۹

پیش‌بینی شاخص بورس اوراق بهادار تهران با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی

حسنعلی سینایی* - سعید... مرتضوی** - یاسر تیموری اصل***

تاریخ دریافت مقاله: ۸۴/۳/۱

تاریخ تایید نهایی: ۸۴/۸/۱۵

چکیده

پژوهش حاضر به مطالعه پیش‌بینی شاخص قیمت سهام در بورس اوراق بهادار تهران به وسیله شبکه‌های عصبی و آرایه‌ی شواهدی مبنی بر رفتار آشوبناک شاخص قیمت در بورس اوراق بهادار می‌پردازد. دو مجموعه از داده‌ها برای ورودی شبکه عصبی انتخاب شده‌اند. وقفه‌های مختلفی از شاخص و عوامل کلان اقتصادی به عنوان متغیرهای مستقل. شبکه‌های عصبی به کار گرفته شده در این پژوهش از نوع پرسپترون چند لایه (MLP) است که به روش الگوریتم پس انتشار خطا آموزش دیده‌اند، و شامل شبکه‌های عصبی پیش خور سه لایه و چهار لایه با تعداد نرون‌های مختلف در لایه‌های ورودی و پنهان است. همچنین از مدل خطی $ARIMA$ برای پیش‌بینی شاخص قیمت در هفته‌ی بعد استفاده شده است. نتایج حاصل از پژوهش نشان می‌دهد که شبکه‌ها عصبی عملکرد بهتری نسبت به مدل خطی $ARIMA$ برای پیش‌بینی شاخص قیمت دارند و همچنین مقدار قابل قبول MSE برای خطای شبکه در داده‌های آزمون و برآورد نشان‌دهنده‌ی این مطلب است که حرکات آشوبناک در رفتار شاخص قیمت وجود دارد. و آزمون R^2 محاسبه شده نشان دهنده‌ی شواهدی علیه فرضیه بازار کارا و گشت تصادفی است.

واژه‌های کلیدی: پیش‌بینی، شاخص قیمت، بورس اوراق بهادار تهران، شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANNs)، نظریه آشوب

* استادیار گروه مدیریت دانشگاه شهید چمران اهواز (مکاتبه‌کننده)

** استادیار دانشکده مهندسی دانشگاه شهید چمران اهواز

*** کارشناس ارشد مدیریت بازرگانی

مقدمه

بورس اوراق بهادار تهران پس از دوران جنگ ایران و عراق و هم‌زمان با برنامه اول توسعه اقتصادی دولت در سال ۱۳۶۹ فعالیت مجدد خود را آغاز کرد. هم‌زمان شدن فعالیت مجدد بورس با برنامه اول توسعه که خصوصی‌سازی یکی از محورهای آن بود، باعث رونق بورس اوراق بهادار تهران پس از مدت کوتاهی از فعالیت مجدد شد و با گذشت حدود چهارده سال حجم معاملات و تعداد شرکت‌های پذیرفته شده از افزایش چشم‌گیری برخوردار شد و سهامداران حقیقی و حقوقی بسیاری در این بورس درگیر شدند و به تدریج جایگاه قابل توجهی در مجموعه اقتصاد کشور پیدا کرد، به طوری که شاخص سهام که در گذشته اهمیت چندانی نداشت امروز وضعیت آن و عوامل تغییر دهنده آن و نتایج تغییرات آن از حساسیت قابل ملاحظه‌ای برخوردار شده است. علاوه بر مسائل داخلی کشور، فراز و نشیب‌های سیاسی و اقتصادی دهه آخر قرن بیستم که باعث تحولات فوق‌العاده اقتصادی در کل جهان شد به‌طور طبیعی بر اقتصاد ایران نیز بی‌تأثیر نبوده است. تأثیرپذیری از عوامل مختلف چه به‌صورت مستقیم چه غیر مستقیم از تحولات اقتصادی و اجتماعی که تعداد آنان در دهه اخیر کم نبوده باعث تحولات و چرخه‌هایی در روند قیمت سهام در بورس اوراق بهادار شده است.

به دو دلیل معجزا بازارهای بورس در کل دنیا کانون توجه پژوهش‌گران قرار گرفته‌اند. انگیزه‌های مادی فردی و جنبه‌های اقتصادی عمومی.

از اواسط دهه ۷۰ و به ویژه از سال ۱۹۸۰ تلاش‌های گسترده‌ای در زمینه قابلیت پیش‌بینی قیمت‌های سهام با استفاده از روش‌های ریاضی جدید، سری زمانی طولانی و ابزار پیشرفته‌تری مثل هوش مصنوعی آغاز شد و آزمون‌های زیادی بر روی اطلاعات قیمت و شاخص سهام در کشورهایی مثل انگلستان، آمریکا، کانادا، آلمان و ژاپن صورت گرفت تا وجود یا فقدان ساختاری معین در اطلاعات قیمت سهام نشان داده شود و از این راه فرضیه گام‌های تصادفی را نقض کنند [28].

روش‌های سنتی تجزیه و تحلیل قیمت در بورس

قبل از وجود رایانه‌ها و استفاده از آن‌ها برای پیش‌بینی در بورس اوراق بهادار کار پیش‌بینی با روش‌های دیگری انجام می‌شده است. سرمایه‌گذاران از شیوه‌های مختلف پیش‌بینی برای

حداکثر کردن بازده و حداقل کردن ریسک استفاده می‌کردند. روش‌های پیش‌بینی که در بازار بورس کاربرد داشته‌اند به روش‌های سنتی پیش‌بینی معروف بوده‌اند. این روش‌ها عبارتند از تجزیه و تحلیل تکنیکی و تجزیه و تحلیل اساسی.

تجزیه و تحلیل تکنیکی

تجزیه و تحلیل تکنیکی شامل تکنیک‌های پیش‌بینی است که با اندازه‌گیری الگوهای تاریخی رفتار قیمت سهام و ویژگی‌های تاریخی سایر اطلاعات مالی به دست آمده است. تحلیل‌گر پس از بررسی عملکرد رفتار گذشته، اطلاعاتی جاری مربوط به قیمت سهام را مورد بررسی قرار می‌دهد تا دریابد که آیا هیچ‌گونه الگوی برقرار شده‌ای قابل اعمال هست یا خیر و اگر چنین باشد پیش‌بینی‌هایی می‌توان انجام داد.

ایده اصلی تجزیه و تحلیل تکنیکی این است که روند تغییرات قیمت سهام به وسیله تغییرات نگرش سرمایه‌گذاران که خود متأثر از عوامل متعددی است شکل می‌گیرد. با استفاده از قیمت، حجم و نرخ بهره تحلیل‌گران تکنیکی از نمودارهایی برای پیش‌بینی تغییرات آینده قیمت‌ها استفاده می‌کنند. تحلیل‌گران تکنیکی بر این عقیده‌اند که تاریخ خود را تکرار می‌کند و تغییرات آتی قیمت سهام می‌تواند با توجه به قیمت‌های پیشین سهام تعیین شوند [30].

در دهه ششم قرن بیستم با ظهور چارتیست‌ها مطالعات متعددی بر روی وجود همبستگی بین تغییرات قیمت در بورس‌های متعدد جهان انجام شد که هدف این مطالعات علاوه بر نشان دادن وجود همبستگی و روند در تغییرات قیمت‌ها رد فرضیه بازار کارا در سطح ضعیف بوده است.

تجزیه و تحلیل اساسی

طرفداران این شیوه تجزیه و تحلیل تاکید دارند که در هر لحظه اوراق بهادار منفرد، ارزش ذاتی دارند و این ارزش با درآمد آن سهم ارتباط دارد. بدین ترتیب تحلیل‌گران ارزش ذاتی، قیمت‌های جاری را تابعی از ارزش تنزیل شده جریان درآمدی آینده آن‌ها یا نسبت قیمت به درآمد می‌دانند.

بدین ترتیب آن‌ها با تعیین نرخ رشد درآمد و پیش‌بینی درآمد سال آینده، قیمت ذاتی سهام را برای دوره جاری تخمین زده و با مقایسه آن با قیمت‌های واقعی به انجام معاملات اقدام می‌کنند. درآمد بالقوه هر ورقه بهادار وابسته به عواملی نظیر عملکرد شرکت، موقعیت

صنعت و وضعیت اقتصادی است؛ با مطالعه دقیق این عوامل، تجزیه و تحلیل کنندگان می‌توانند تفاوت قیمت اوراق را از ارزش ذاتی آن‌ها محاسبه کرده و از این طریق منتفع شوند. بدین صورت که اگر قیمت بالاتر یا پایین‌تر از ارزش ذاتی باشد با انجام سفارشات فروش یا خرید سود زیادی عاید آن‌ها می‌شود. محققین در این زمان سعی کردند تأثیرگذاری عوامل کلان اقتصادی را بر روی قیمت‌ها در بورس نشان دهند [24].

توضیح این‌که در یک تقسیم‌بندی دیگر روش‌های سنتی تجزیه و تحلیل را به سه روش روش تجزیه و تحلیل تکنیکی؛ روش تحلیل بنیادی؛ روش تحلیل تصادفی تقسیم می‌کنند [۱].

نظریه بازار کارا

ناتوانی در جهت پیش‌بینی قیمت سهام به دلیل عوامل متعدد تأثیر گزار بر آن باعث ارایه فرضیه کارایی بازار^۱ شد. فرضیه بازار کارا و تعیین قیمت اوراق بهادار در بازار را ناشی از واکنش خریداران و فروشندگان به جدیدترین اطلاعات و آینده شرکت می‌داند. فاما^۲ یکی از نظریه پردازان در کارایی بازار بازار کارا را این‌گونه توصیف می‌کند: «بازار کارا بازار اوراق بهاداری است که در آن تعداد زیادی خریدار و فروشنده نسبت به اطلاعات موجود و دیدگاهی که نسبت به آینده شرکت‌هایی که اوراق بهادار آن‌ها در بازار معامله می‌شود عکس‌العمل نشان می‌دهند و بدین ترتیب باعث تعیین قیمت اوراق در بازار می‌شوند» [20].

بررسی کارایی بازار اوراق بهادار تا دهه هشتم قرن بیستم اکثراً بر روی بازار بورس نیویورک و سایر بورس‌های آمریکا و بورس لندن متمرکز بود و سپس به دلیل اهمیتی که کارا بودن این بازارها در سیاست‌های کلان اقتصادی و به دنبال آن رشد و توسعه اقتصادی داراست، دامنه این مطالعات به سایر بورس‌های جهان نیز کشانیده شد و علاوه بر آن روش‌های آزمون کارایی بازار نیز پیشرفت کرد و محققین سعی در به‌کارگیری روش‌های جدید آماری و غیر آماری پیشرفته، که بتواند آن‌ها را به نتایج صحیحی رهنمون سازد کردند [۱۳].

1. Efficient Market Hypostasis

2. Fama

شیانتاری در مطالعه‌ای بر روی قیمت سهام شرکت‌های آمریکایی (به جز شرکت‌های مالی) انجام دادند. این تحقیق نشان داد که حرکات قیمت سهام از روند خاصی تبعیت نمی‌کند و مسائل سیاسی، اقتصادی اجتماعی و اتفاقات مختلف به سرعت بر روی قیمت سهام تأثیر دارد [21].

کیم، نلسون و استارتر^۱ با استفاده از روش نسبت واریانس و با به کارگیری بازده ماهیانه سهام بورس نیویورک در دوره زمانی ۸۶-۱۹۲۶ عدم کارایی بازار را در سطح ضعیف نشان داده و اعلام کردند که حدود ۴۰-۲۵ درصد از رفتار آینده سهام را در بازار می‌توان با استفاده از بازده گذشته سهام پیش‌بینی کرد [26].

گرانجر^۲ در ۱۹۹۱، فرضیه‌های گشت تصادفی را از طریق برهان خلف مورد تجزیه و تحلیل قرار داد و به این نتیجه رسید که اگر تغییرات قیمت سهام در بازار به صورت تصادفی نباشد و در صورتی که این تغییرات قابل پیش‌بینی باشد، احتمال وجود یک ثروت نامحدود برای سرمایه‌گذاران وجود خواهد داشت. از نظر وی با توجه به وضعیت حاضر در بورس نیویورک، احتمال پیش‌بینی قیمت‌ها کم است و بازار کارا است [23].

استنگوس و پناس^۳ در سال ۱۹۹۲ با آزمون کارایی بازار در سطح ضعیف (و متوسط) بر روی قیمت سهام شرکت‌هایی از بخش بانکداری در بورس سهام آن، کارایی بازار را در سطح ضعیف نشان دادند. بدین صورت که در یافته‌های این محققین الگو و ساختار خطی و غیر خطی قابل توجهی در باقی مانده‌های رگرسیون مربوط به نرخ بازده سهام مشاهده نشده است [33].

ساندرز^۴ (۱۹۹۴) معتقد است که برای آزمون کارایی باید روش‌های آماری بهتری در نظر گرفت و هم‌چنین وی تأکید می‌کند که باید به دلایل روانی که باعث انجام معامله توسط سرمایه‌گذاران می‌شود نسبت به دلایل اقتصادی توجه بیشتری شود [32].

تحقیق دیگری کارایی در سطح ضعیف را در بورس اوراق بهادار تهران آزمود که تعداد شرکت‌های مورد بررسی ۱۷ شرکت و زمان مطالعه ۷۰-۱۳۶۸ بود این مطالعه نیز عدم کارایی بورس اوراق بهادار ایران در سطح ضعیف را نشان داد [۱۲].

1. Kim, Nelson, Starts
2. Granger
3. Stengos and Panas
4. Sanders

تحقیق دیگری با استفاده از آزمون خود همبستگی و آزمون گردش‌ها و با به کارگیری قیمت هفتگی ۵۰ شرکت برای دوره زمانی ۷۲-۱۳۶۸ کارایی بورس تهران را در سطح ضعیف آزمون کرد. این مطالعه نیز همبستگی بین قیمت‌ها را با یک و دو هفته پیش نشان داد. که این پژوهش نیز دلالت بر عدم کارایی بورس اوراق بهادار تهران در سطح ضعیف دارد [۹].

دو محقق دیگر کارایی در سطح ضعیف را در بورس اوراق بهادار آزمون کردند. که نتایج این آزمون نیز عدم کارایی در سطح ضعیف بورس تهران را نشان داد [۱۴]. محقق دیگری کارایی در سطح نیمه قوی را در بورس تهران مورد سنجش قرار داد و با استفاده از متدلوژی آقایان F.F.J.R.^۱ تاثیر سهام جایزه و تجزیه ی سهام را بر قیمت سهام قبل و بعد از مجمع مورد بررسی قرار داد نتیجه این تحقیق رد فرضیه ی کارایی بازار بورس در سطح نیمه قوی بود [۸].

روش‌های مدرن تجزیه و تحلیل قیمت در بازار بورس

به دنبال تلاش‌های دانشمندان علوم ریاضی و سیستم‌های پویا روش‌های جدیدی برای پیش‌بینی قیمت‌ها در بازار بورس ایجاد شده است. کاربرد مدل‌های غیر خطی و هم‌چنین تکنیک‌های پیشرفته اگر چه سال‌های زیادی نیست که شروع شده است ولی در همین مدت زمان کم توانسته است، جایگاه خود را در علوم مختلف به ویژه در اقتصاد باز کند. بازارهای مالی نیز از این قاعده مستثنی نبوده و متخصصین سیستم‌های غیر خطی سعی در توضیح رفتار قیمت سهام و پیش‌بینی آن از طریق روش‌های پیشرفته غیر خطی کرده‌اند. استفاده از نظریه آشوب و روش‌های هوش مصنوعی از زمره این گونه فعالیت‌ها هستند.

نظریه آشوب

بنیان نظریه آشوب^۲ توسط ریاضی دانانی چون ادوارد لورنز و جیمز یورک^۳ در دهه‌های ۱۹۶۰ و ۷۰ میلادی شکل گرفت. طرفداران این نظریه بر این باورند که در میان الگوهای ظاهراً تصادفی پدیده‌های مختلف- از سیستم‌های هواشناسی گرفته تا سازمان‌ها و بازارهای

1. Eugene F. Fama, Lawrence Fisher, Micheal C. Jenson and Richard Roll

2. Chaos Theory

3. Edwards Lorenz & James Yorks

بورس - نوعی نظم وجود دارد [34]، تلاش چالش برانگیز پژوهش‌گران سیستمی در این است که قواعدی را برای پیش‌بینی رفتار «سیستم‌های پیچیده به ظاهر غیر قابل پیش‌بینی» نامنظم کشف کنند. به عقیده مارگارت ویتلی^۱ هنگامی یک سیستم را غیر قابل پیش‌بینی می‌نامند که تعیین جایگاه بعدی آن غیر ممکن باشد و هیچ‌گونه امکان پیش‌بینی در مورد آن وجود نداشته باشد. چنین سیستمی هرگز دوبار در یک مکان فرود نمی‌آید. اما طبق نظریه آشوب اگر ما چنین سیستمی را برای مدت کافی تحت نظر بگیریم، با بررسی حالات سیستم در لحظات گوناگون زمان متوجه می‌شویم که سیستم یاد شده همواره نظم ذاتی خودش را به نمایش می‌گذارد. حتی غیر قابل پیش‌بینی‌ترین (آشفته‌ترین) سیستم‌ها نیز همواره در محدوده مرزهای معینی حرکت می‌کنند و هرگز از آن خارج نمی‌شوند. معمولاً درون بی‌نظمی و آشوب، الگویی از نظم وجود دارد که به‌طور شگفت‌انگیزی زیباست [۶]. برای نشان دادن رفتار آشوبناک قیمت در بازار سهام از مدل دی وهانگ^۲ استفاده می‌شود [16]. این مدل تلاش می‌کند که توضیح دهد چگونه بازارهای پر رونق ناگهان تنزل می‌یابند و رفتار آن‌ها تصادفی به نظر می‌رسد. دو گروه از سرمایه‌گذاران در این مدل دخیل هستند؛ گروه اول سرمایه‌گذاران مطلع^۳ یا گروه α ، این گروه منابعی از اطلاعات را در اختیار دارند که می‌توانند ارزش ذاتی (P_0) یک سهم را تعیین کنند. گروه دوم سرمایه‌گذاران گروه β هستند، این گروه برخلاف گروه اول درگیر جمع‌آوری اطلاعات از شرکت‌ها نمی‌شوند. این گروه بر اساس اطلاعات افشا شده از طریق گروه α و تخمینی که از اختلاف بین P_T (قیمت حال) و P_0 (ارزش ذاتی) می‌زنند قیمت آینده ورقه بهادار را برآورد می‌کنند. دی وهانگ با بررسی جزء به جزء رفتار دو گروه سرمایه‌گذار α و β هیچ جزء تصادفی را مشاهده نمی‌کنند و اثبات می‌کنند که تغییرات قیمت سهام کاملاً تعیین شده است.

سرلنتین و شینتانی^۴ [31] به بررسی روند گشت تصادفی و آشوبناک در شاخص داوجونز^۵ در بورس سهام امریکا اقدام کردند، نتیجه این پژوهش نشان داد که شواهد

1. Margaret Wheatley

2. Day & Hang

3. Informed Investors

4. Serletini and Shintani

5. Dow Jones

بیشتری وجود دارد که روند حرکت این شاخص را تصادفی بنامیم تا این که آن را دارای روند آشوبناک بدانیم، داده‌های این تحقیق از سال ۱۹۲۸ تا سال ۲۰۰۰ به صورت روزانه بود. آن‌ها روند آشوبی را با استفاده از توان لیاپانف آزمون کردند.

در ایران نیز در تحقیق دیگری [۷] روند قیمت سهام در بازار بورس اوراق بهادار تهران برای کشف رابطه غیر خطی مورد آزمون قرار گرفت در این تحقیق داده‌های بازار به دو قسمت (۷۱/۱۰/۸ الی ۷۴/۱۲/۲۹) و (۷۵/۱/۱۵ الی ۸۲/۳/۲۵) تقسیم شد و دو آزمون Coif (yt, yt-1) و توزیع نرمال برای بازده‌های شاخص قیمت سهام انجام شد. در نتیجه دو آزمون اگر چه قسمت اول داده‌ها به روند خطی نزدیک بود قسمت دوم داده‌ها دارای روند کاملاً غیر خطی بودند.

هوش مصنوعی^۱

دانشمندان و محققان در دهه آخر قرن بیست عمدتاً به این اصل معتقد شدند که فرض منطقی بودن سرمایه‌گذاری که اصل غیرقابل اغماض در سرمایه‌گذاری مدرن مالی است و یکی از مفروضات اصلی در بازار کارا و یا مدل بازار است با توجه به عوامل پیچیده‌ای که در بازارهای سهام دخیل هستند، واقعی نیست. آن‌ها به این نتیجه رسیده‌اند که بازار سرمایه داری نظم مشخصی نیست و استفاده از ریاضیات پیچیده در سیستم‌های غیر خطی و پویا می‌تواند مدل‌هایی را ایجاد کند که نظریه‌های گذشته را باطل کند [۳].

در سال‌های اخیر در پی پیشرفت‌هایی که در زمینه رایانه و هوش مصنوعی و هم‌چنین کشف روابط آشوبی در سری‌های زمانی غیر خطی پدید آمد، فعالیت‌هایی در جهت پیش‌بینی قیمت در بورس اوراق بهادار در کشورهای مختلف انجام شد. تکنیک‌های هوش مصنوعی که شامل شبکه‌های عصبی، الگوریتم ژنتیک و منطق فازی است نتایج موفقیت آمیزی در زمینه حل مسایل پیچیده به دست آورده‌اند.

اولین بار وایت^۲ [29] از شبکه‌های عصبی برای پیش‌بینی در بازار بورس استفاده کرد او به دنبال این پرسش بود که آیا شبکه‌های عصبی قادرند قوائد غیر خطی در سری‌های زمانی و قوائد ناشناخته در حرکات قیمت دارایی‌ها و تغییرات قیمت سهام را شناسایی کنند؟ هدف وایت از ارایه این مقاله نشان دادن این مطلب بود که چگونه یک شبکه عصبی

1. Artificial Intelligence

2. White

پیشداد قادر به انجام این کار است. او با ارایه یک مثال از قیمت‌های روزانه IBM این مطلب را ثابت کرد.

بعد از مطالعه اولیه وایت در سال ۱۹۸۸ پای شبکه‌های عصبی به حوزه مالی باز شد و مطالعات متعددی در این زمینه در جهان انجام شد.

در فاصله سال‌های ۹۵-۱۹۸۸ جمعاً ۲۱۳ فعالیت علمی در زمینه شبکه‌های عصبی در حوزه بازرگانی انجام گرفت که از این تعداد ۵۴ فعالیت در حوزه مالی بوده و ۲ فعالیت در زمینه پیش‌بینی و تجزیه و تحلیل سری‌های زمانی انجام شده است [35].

چیانگ و دیگران^۱ [18] از یک شبکه پس انتشار خطا برای پیش‌بینی خالص قیمت دارایی شرکت‌های سرمایه‌گذاری در پایان سال استفاده کردند. آن‌ها داده‌های شبکه و نتایج کارشان را با نتایج به دست آمده از تکنیک‌های سنتی اقتصاد سنجی مقایسه کردند و دریافتند که شبکه‌های عصبی زمانی که داده‌ها کم باشند به‌طور معنی‌داری از روش‌های رگرسیونی بهتر عمل می‌کنند.

در بررسی دیگری برای وارد کردن عوامل کیفی مثل اثرات سیاسی به همراه عوامل کمی به ایجاد یک نوع شبکه عصبی اقدام شد که ترکیبی از شبکه عصبی و مدل دلفی فازی بود. این شکل از شبکه پایه شبکه‌های کیفی قرار گرفت. آن‌ها مدل خود را برای بازار سهام تایوان امتحان کردند.

آیکن و بسات^۲ [15] از یک شبکه عصبی پیش‌داد که باروش الگوریتم ژنتیک (GA) آموزش دیده بود برای پیش‌بینی نرخ بهره خزانه آمریکا استفاده کردند و نتیجه گرفتند که شبکه عصبی می‌تواند برای این کار مناسب باشد.

گارلیاسکاس^۳ [22] به پیش‌بینی سری زمانی بازار سهام با استفاده از الگوریتم محاسباتی شبکه عصبی مرتبط با تابع کرنل وروش پیش‌بینی بازگشت خطا اقدام کرد، او نتیجه گرفت که پیش‌بینی سری‌های زمانی مالی به وسیله شبکه‌های عصبی بهتر از مدل‌های آماری کلاسیک و دیگر مدل‌های انجام می‌شود.

چان^۴ [17] به پیش‌بینی سری‌های زمانی مالی با استفاده از شبکه عصبی پیش‌داد و

1. Chiang et all

2. Aiken and Bsat

3. Garliaus Kas

4. Chan

داده‌های روزانه مبادلات سهام شانگهای پرداختند. برای سرعت و همگرایی بالاتر آن‌ها از الگوریتم گرادیان نزولی و از رگرسیون خطی چندگانه برای تعیین وزن‌ها استفاده کردند. آن‌ها نتیجه گرفتند که شبکه عصبی می‌تواند سری‌های زمانی را به‌طور رضایت بخشی بهتر پیش‌بینی کند و شیوه انتخاب وزن‌ها در روش آن‌ها منجر به هزینه‌های محاسباتی کم‌تری شد.

کیم و هان^۱ [25] از یک شبکه عصبی تعدیل شده توسط الگوریتم ژنتیک (GA) برای پیش‌بینی شاخص سهام استفاده کردند در این مورد الگوریتم ژنتیک برای کاهش پیچیدگی آینده سری زمانی قیمت استفاده شد.

تحقیق دیگری به پیش‌بینی قیمت اختیار معامله شاخص نیکی (Nikke225) به وسیله شبکه‌های عصبی پس انتشار اقدام کردند. صحت نتایج مختلف بر اساس داده‌های مختلف متفاوت بود. آن‌ها پیشنهاد دادند که در بازارهای بی ثبات پیش‌بینی قیمت اختیار معامله به وسیله شبکه‌های عصبی بهتر از روش سنتی بلک - شولز (black-scholes) عمل می‌کند. آن‌ها نتیجه گرفتند کسی که ریسک و بازده کم‌تری می‌خواهد باید از روش سنتی و کسی که ریسک و بازده بیشتری می‌خواهد باید بر اساس نتایج شبکه عصبی معامله کند.

کارلوس باتیستا^۲ در تلاش برای پیش‌بینی شاخص سهام بازار فیلیپین با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی دریافت که پیش‌بینی به وسیله شبکه‌های عصبی در وقفه‌های کوتاه مدت اختلاف معنی داری با فرضیه گشت تصادفی ندارد ولی در وقفه‌های طولانی‌تر شبکه‌های عصبی بهتر از روش گشت تصادفی می‌توانند به پیش‌بینی شاخص پردازند.

لنداس^۳ [27] به پیش‌بینی شاخص با استفاده از شبکه‌های عصبی اقدام کردند، داده‌های آن‌ها به شبکه شامل دو نوع داده‌های برون‌زا و درون‌زا بود که داده‌های برون‌زای اقتصادی شامل شاخص‌های قیمت سهام بین‌المللی (SBF250 و Topix و S & P500)، نرخ‌های تبدیل (دلار/مارک، دلار/ین) و نرخ بهره (سه ماهه و نرخ بهره خزانه) بوده‌اند و داده‌های درون‌زا شامل مقادیر تاریخی شاخص بودند. آن‌ها از تحقیق خود نتیجه گرفتند که استفاده از شبکه‌های عصبی از روش‌های خطی بهتر عمل می‌کنند.

-
1. Kim and Han
 2. Bautista
 3. Lendas

اگلی و دیگران^۱ [19] اقدام به پیش‌بینی شاخص روزانه بازار سهام استانبول (ISE) کردند و ورودی شبکه‌ی آن‌ها عبارت بودند از نرخ تبدیل دلار/ لیره در روز قبل، مقدار شاخص در روزه‌های قبل، نرخ بهره شبانه و پنج متغیر مجازی برای پنج روز هفته. نتیجه تحقیق ایشان این‌گونه بود که شبکه‌های عصبی پیش‌بینی دقیق‌تری از میانگین متحرک ۵ روزه و ۱۰ روزه انجام می‌دهند.

در ایران نیز محققان به بررسی پیش‌بینی پذیری و پیش‌بینی شاخص بورس اوراق بهادار و سهام شهد مشهد به وسیله شبکه‌ی عصبی پرداخت. داده‌های وی برای ورودی شبکه شامل داده‌های تاریخی این دو سری قیمت بود. وی در این پژوهش نتیجه گرفت که شبکه‌های عصبی اگر چه در پیش‌بینی کوتاه مدت مثل روز بعد سهام می‌توانند به خوبی عمل کنند ولی برای پیش‌بینی افق‌های زمانی بیشتر از آن ناموفقند [۴].

در تحقیقی در بازار سهام تهران به پیش‌بینی رفتار بازده سهام در بورس اوراق بهادار تهران به وسیله مدل خطی چند عاملی و شبکه‌های عصبی مصنوعی پرداختند. آن‌ها قیمت روزانه سهام شرکت توسعه صنایع بهشهر را به عنوان نمونه برگزیدند. و تاثیر ۵ متغیر کلان اقتصادی شامل شاخص کل قیمت بورس تهران، نرخ دلار در بازار آزاد، قیمت نفت و قیمت طلا را در نظر گرفتند. نتایج حاصل از تحقیق حاکی از موفقیت این دو مدل و هم‌چنین برتری عملکرد شبکه‌های عصبی مصنوعی بود [۵].

شبکه‌های عصبی مصنوعی

شبکه‌های عصبی^۲ یکی از پویاترین حوزه‌های تحقیق در دوران معاصر است که افراد متعددی از رشته‌های گوناگون علمی را به خود جلب کرده است. زیست‌شناسان، شبکه‌های عصبی بیولوژیکی^۳ را طی سالیان متمادی مطالعه کرده‌اند، که مغز انسان، نمونه‌ای از این شبکه‌هاست. دست‌یابی به روش کار مغز، تلاش بی‌وقفه‌ای بوده است که بیش از ۲۰۰۰ سال پیش توسط ارسطو و هراکلیتوس آغاز شد و با تحقیقات دانشمندان دیگری چون رامنی کاجال، کلگی و هب^۴ ادامه داشته است.

1. Egeli et all

2. Neural networks

3. Biological neural networks

4. Romeny Cajal, Colgi & Hebb

نرون عنصر اصلی مغز است و به تنهایی مانند یک واحد پردازش منطقی عمل می‌کند. مغز به عنوان یک سیستم پردازش اطلاعاتی با ساختار موازی از ۱۰۰ تریلیون (۱۰^{۱۱}) نرون‌های به هم مرتبط با تعداد کل ۱۰^{۱۶} ارتباط تشکیل شده است. نرون‌ها ساده‌ترین واحد ساختاری سیستم‌های عصبی هستند. بافت‌هایی که عصب نامیده می‌شوند اجتماعی از نرون‌ها می‌باشند. این نرون‌ها، اطلاعات و یا پیام‌ها را از یک قسمت بدن به قسمت دیگر منتقل می‌کنند. پیام‌ها از نوع ایمپاس‌های^۱ الکتروشیمیایی هستند [۲].

پیام‌های عصبی تنها به صورت یک طرفه حرکت می‌کنند. از دندریت‌ها به بدنه سلول و سپس به آکسون می‌روند.

طی چند سال اخیر، تلاش‌های بسیار جدی برای مدل کردن یک نرون طبیعی صورت گرفته و پیشرفت قابل ملاحظه‌ای در این راستا حاصل شده است [۱۱].

برای مدل سازی یک شبکه عصبی مصنوعی، می‌توان از یک مدل ریاضی که خصوصیات یک سیستم بیولوژیکی را توصیف کند، استفاده کرد. مدل سازی شبکه‌های عصبی به شکل مدل‌های سازمان یافته لایه‌ای، و با توجه به پردازش موازی یک تصویر در مغز انسان، انجام می‌گیرد.

یک شبکه عصبی مصنوعی از تعداد زیادی گره و پاره خط‌های جهت دار که گره‌ها را به هم ارتباط می‌دهند تشکیل شده است. گره‌هایی که در لایه ورودی هستند گره‌های حسی^۲ و گره‌های لایه خروجی، گره‌های پاسخ دهنده^۳ نامیده می‌شوند. بین نرون‌های ورودی و خروجی نیز نرون‌های پنهان^۴ قرار دارند.

اطلاعات از طریق گره‌های ورودی به شبکه وارد می‌شود، سپس از طریق اتصالات به لایه‌های پنهان متصل شده، در نهایت خروجی شبکه از گره‌های لایه خروجی به دست می‌آیند. این مراحل مشابه شبکه عصبی بیولوژیکی انسان است.

-
1. Impulse
 2. Sensory
 3. Responding
 4. Hidden

شبکه عصبی چند لایه پیش‌خور (MLP)

شبکه‌های عصبی پیش‌خور گره‌ها در لایه‌های متوالی قرار گرفته‌اند و ارتباط آن‌ها یک طرفه است و زمانی که یک الگوی ورودی به شبکه اعمال می‌شود، اولین لایه مقادیر خروجی‌اش را محاسبه کرده و در اختیار لایه بعدی قرار می‌دهد. لایه بعدی این مقادیر را به عنوان ورودی دریافت کرده و مقادیر خروجی‌اش را به لایه بعدی منتقل می‌کند. هر گره به گره‌های لایه بعدی سیگنال منتقل می‌کند. شبکه‌های پرسپترون چند لایه^۱ جزء این نوع شبکه‌ها هستند.

تحقیقات روی شبکه‌های عصبی چند لایه پیش‌خور به کارهای اولیه فرانک روزنبلات روی شبکه عصبی پرسپترون تک لایه و کارهای اولیه برناردویدرو و ماریان هوف^۲ برمی‌گردد. [۳۵]

شبکه‌های تک لایه از این مشکل اساسی برخوردارند که تنها توانایی حل آن‌دسته از مسایل طبقه بندی را دارند که به‌طور خطی از هم مستقلند. هم روزنبلات و هم ویدرو از این امر آگاه بودند از این رو آنان شبکه‌های چند لایه را پیشنهاد کرده بودند، با این وجود به علت عدم ارایه قانون یادگیری که بتوان جهت تنظیم پارامترهای شبکه به کار برد، توپولوژی شبکه MLP ناقص بود. هر چند استفاده از عبارت «پس انتشار» عملاً از سال ۱۹۸۵ متداول شد، اما نخستین توصیف الگوریتم پس انتشار (BP) توسط پاول وربز^۳ در سال ۱۹۷۴ در رساله دکترایش مطرح شده بود.

توسعه الگوریتم BP با فراهم آوردن متدی از نظر محاسباتی کارا، رنسانسی در شبکه‌های عصبی ایجاد کرد [۱۰].

الگوریتم BP شامل محاسباتی است که طی آن خطای ناشی از اختلاف بین خروجی شبکه و مقدار واقعی به شبکه برگشت داده می‌شود و پارامترهای شبکه چنان تنظیم می‌شود که با الگوهای ورودی مشابه بعدی، خروجی صحیح‌تری ارایه دهد و مقدار خطا کم‌تر باشد [۱۱].

به‌طور کلی شبکه‌های عصبی پیش‌خور دارای مشخصات زیر هستند:

1. Multi-layer perceptron (MLP)
2. Marian Hoff
3. Paul Werbos

۱. این شبکه‌های دارای سه لایه به نام‌های لایه ورودی، لایه‌های میانی (پنهان) و لایه خروجی هستند. تعداد لایه‌های پنهان محدودیتی ندارد.

۲. در این شبکه‌ها نرون‌های هر لایه به نرون‌های لایه بعد از خود سیگنال می‌فرستند. گره‌ها توسط اتصالاتی به یکدیگر متصل بوده و هر اتصال دارای وزن قابل تغییر مخصوص به خود است. گره‌ها در لایه‌های موازی چیده می‌شوند و گره‌های هر لایه فقط به گره‌های دو طرف خود وصل می‌شوند. نخستین لایه را لایه ورودی و آخرین لایه را لایه خروجی می‌نامند. به لایه‌های میانی لایه پنهان گفته می‌شود.

۳. هر نرون یا گره مانند پردازش‌گر عمل می‌کند یعنی از راه اتصالات اطلاعات را از لایه قبل از خود دریافت می‌دارد و بر روی آن پردازش انجام می‌دهد و نتیجه را از راه اتصالات خروجی به لایه بعد از خود می‌فرستد، اما از آنجائی که همه این گره‌ها می‌توانند هم‌زمان عمل کنند پس یک سیستم پردازش موازی تشکیل می‌دهند.

۴. زمانی که بردار ورودی عرضه می‌شود گره‌های لایه ورودی آن را دریافت کرده و آن را بدون هیچ پردازشی به گره‌های اولین لایه پنهان می‌فرستند. این گره‌ها بر روی اطلاعات رسیده پردازش انجام داده نتیجه را به گره‌های لایه بعدی می‌فرستند تا این که سرانجام نتیجه از گره‌های لایه خروجی به عنوان یک بردار خروجی منظم به خارج فرستاده می‌شود. به همین دلیل این نوع شبکه را شبکه پیش‌خور می‌نامند.

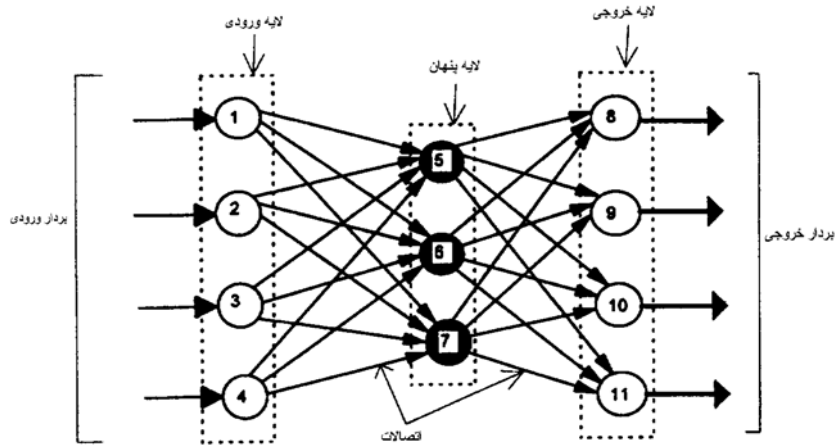
پردازشی که در کل گره‌ها صورت می‌گیرد ممکن است بسیار پیچیده باشد ولی این پردازش، نتیجه انجام پردازش‌های سری و موازی ساده در لایه‌های مختلف شبکه است. عموماً یک نرون بیش از یک ورودی دارد.

نمودار شماره (۱) یک مدل از شبکه چند لایه‌ای پیش‌خور را نمایش می‌دهد. بردار ورودی را با x نمایش می‌دهیم. اسکالرها $x_i (i=1, 2, \dots, L)$ عناصر برداری x هستند. مجموعه وزن‌های W_{ij} را با ماتریس w نمایش می‌دهیم؛ در این حالت w یک ماتریس با عناصر $w_{ij} (i=1, 2, \dots, L, j=1, 2, \dots, L)$ است. هر عنصر از بردار ورودی x در عنصر متناظر از w ضرب می‌شود. نرون یک جمله بایاس w_0 دارد که با این حاصل ضرب جمع می‌شود و نتیجه ورودی خالص به تابع محرکه می‌شود:

$$net_j = \sum_{j=1}^L w_{ij} x_j + w_0 \quad (1)$$

درون گره j یک تابع ریاضی F به نام تابع محرکه (فعالیت) وجود دارد که بر روی

net_j عمل کرده و نتیجه به صورت Y_j از گره z خارج می‌شود.



نمودار ۱. توپولوژی شبکه عصبی مصنوعی چندلایه‌ای پرسپترون

سپس خروجی Y_i از گره z به عنوان ورودی به گره‌های لایه بعدی فرستاده می‌شود اما پیش از ورود به گره‌های لایه بعد در وزن‌های اتصال مربوطه ضرب می‌شود و این گسترش اطلاعات تا رسیدن به لایه خروجی ادامه می‌یابد.

خروجی لایه خروجی، نتیجه نهایی عکس‌العمل‌های شبکه عصبی در برابر ورودی به شبکه است. مسلماً خروجی تولید شده توسط شبکه با خروجی واقعی یکسان نخواهد بود. هدف ما انتخاب مناسب تابع محرکه F و وزن‌های شبکه w_{ij} و تعداد نرون‌های لایه پنهان است. به طوری که اختلاف بین خروجی‌های شبکه و مقادیر واقعی در حد مجاز کوچک باشد.

با توجه به مطالب گفته شده شبکه‌های عصبی چند لایه پیش‌خور، تابع سه جزء عمده می‌باشند:

۱. تعداد لایه‌ها و تعداد نرون‌ها در هر لایه؛
۲. تابع انتقال یا تابع محرکه مورد استفاده؛
۳. وزن‌های شبکه عصبی مصنوعی.

یکی از وجوه تمایز بین شبکه‌های مختلف متفاوت بودن توابع فعالیت در آنها است. تابع محرکه می‌تواند خطی یا غیرخطی باشد.

روش پژوهش

داده‌های شبکه‌های عصبی بکار گرفته در این پژوهش شامل داده‌های اقتصادی و وقفه‌هایی از شاخص و تغییرات آنها است، داده‌های اقتصادی کلان به کار گرفته شده در این پژوهش شامل ۱. قیمت سکه ۲. قیمت هر بشکه نفت خام ایران ۳. نرخ ارز (قیمت دلار) و ۴. نرخ تورم ماهیانه است، شاخص نیز با وقفه‌های ۱ تا ۱۰ به صورت درون‌داد شبکه وارد شبکه شد، در همه شبکه‌های طراحی شده پیش‌بینی هفته بعد شاخص قیمت ستاده شبکه بوده است.

مشکل اساسی برای ساخت شبکه‌های عصبی جلوگیری از «از بر کردن» یا آموزش بیش از حد (Overfitting) است، برای جلوگیری از این مشکل دو دستور در نرم افزار مطلب موجود است: قانون‌مندی خودکار؛ ۲. توقف زود هنگام روش قانون‌مندی خودکار برای یکی از دستورات خاص آموزش به کار می‌رود که در این پژوهش از آن دستور استفاده نشد، به همین دلیل از این روش نمی‌توان استفاده کرد، روش توقف زود هنگام که در آن داده‌ها باید به سه قسمت داده‌های آموزشی، داده‌های آزمون و داده‌های برآورد تقسیم شوند، در این روش شبکه در حین آموزش داده‌های آزمون را به صورت خودکار برآورد می‌کند و زمانی که خطا در این داده‌ها شروع به افزایش می‌کند شبکه آموزش را متوقف می‌کند مشکل این الگوریتم این است که برای توقف یک مرز سخت عددی را قرار می‌دهد ولی عملاً ما به عنوان ناظر هوشمند اجازه می‌دهیم که آموزش ادامه یابد تا از جواب مطمئن شویم، چون از میزان غیر خطی بودن توابع ورودی و خروجی اطلاعی نداریم.

با پی بردن به این مشکل از روش مستقلاً برای جلوگیری از مشکل آموزش بیش از حد استفاده شده است، به این صورت که یک شبکه به صورت تدریجی (۵۰ تکرار) آموزش داده می‌شد و سپس با داده‌ها آزمون مورد آزمون قرار می‌گرفت تا حداقل در صفحه چند خطا پیدا شود و از این تعداد حداقل پایین‌ترین آنها در نظر گرفته شده و آموزش بهینه شبکه به اساس آن انتخاب می‌شد.

درنگاره شماره (۱) شبکه‌های عصبی بهینه طراحی شده با وقفه‌های مختلف شاخص نشان داده شده است که به همراه ساختار شبکه، تعداد تکرارهای آموزش و معیارهایی برای

داده‌های آزمون نیز وجود دارد و ملاک انتخاب شبکه بهینه تر هستند.

نگاره ۱. شبکه‌های عصبی طراحی شده بهینه با ورودی وقفه‌های مختلف از شاخص نشان داده شده است

R ²	SSE	MAE	RMSE	MSE	تکرارهای آموزش	ساختار	داده‌های ورودی
۰/۹۹۸	۷۹۹۰۰۰	۶۳	۱۰۰	۱۰۱۰۰	۵۰۰	۳۱ ۵	یک وقفه از شاخص
۰/۹۹۸	۸۰۳۰۰۰	۵۹	۱۰۰	۱۰۱۰۰	۲۵۰	۱ ۵	یک وقفه از شاخص
۰/۹۹۸	۵۵۴۰۰۰	۳۹	۸۳	۶۹۲۰	۵۰۰	۱ ۳ ۵	دو وقفه از شاخص
۰/۹۹۹	۵۴۵۰۰۰	۴۰	۸۲	۶۸۱۰	۵۵۰	۱ ۶	دو وقفه از شاخص
۰/۹۹۹	۴۵۷۰۰۰	۳۳	۷۵	۵۷۱۰	۲۰۰	۱ ۱۵	سه وقفه از شاخص
۰/۹۹۹	۵۷۷۰۰۰	۴۱	۸۴	۷۲۲۰	۱۵۰	۱ ۲۰	چهار وقفه از شاخص
۰/۹۹۷	۱۴۱۰۰۰۰	۵۷	۱۳۲	۱۶۹۰۰	۵۵۰	۱ ۱۰ ۱۵	پنج وقفه از شاخص
۰/۹۹۸	۱۱۹۰۰۰۰	۵۰	۱۲۲	۱۴۹۰۰	۲۵۰	۱ ۲۵	پنج وقفه از شاخص
۰/۹۹۹	۶۶۵۰۰۰	۶۴	۹۱	۸۳۱۰	۶۵۰	۱ ۳۰	شش وقفه از شاخص
۰/۹۹۷	۱۱۳۰۰۰۰	۷۲	۱۱۹	۱۴۱۰۰	۵۵۰	۱ ۳۰	هفت وقفه از شاخص
۰/۹۹۸	۶۲۴۰۰۰	۴۷	۸۸	۷۸۰۰	۴۰۰	۱ ۱۰ ۳۵	هشت وقفه از شاخص
۰/۹۹۸	۹۹۶۰۰۰	۷۹	۱۱۱	۱۲۴۰۰	۷۵۰	۱ ۳۵	هشت وقفه از شاخص
۰/۹۹۸	۷۰۱۰۰۰	۵۰	۹۳	۸۷۶۰	۲۵۰	۱ ۲۰ ۴۰	نه وقفه از شاخص
۰/۹۹۷	۱۳۳۰۰۰۰	۹۴	۱۲۹	۱۶۷۰۰	۴۵۰	۱ ۴۰	نه وقفه از شاخص
۰/۹۹۸	۹۱۷۰۰۰	۶۸	۱۰۷	۱۱۴۰۰	۸۰۰	۱ ۵۰	ده وقفه از شاخص

همان‌طور که مشاهده می‌شود کم‌ترین مقدار MSE متعلق به شبکه عصبی با داده‌های سه وقفه از شاخص است. ساختار این شبکه ۱-۱۵-۳ یعنی دارای سه نرون در لایه ورودی پانزده نرون در لایه میانی و یک نرون در لایه خروجی است، مقدار R² در این شبکه برای داده‌های آزمون برابر با ۰/۹۹۹ است.

در این قسمت برای پیش‌بینی شاخص در هفته بعد از عوامل اقتصادی به عنوان داده‌های ورودی شبکه استفاده شده است. در نگاره شماره (۲) شبکه‌های عصبی بهینه با داده‌های عوامل اقتصادی به همراه دو وقفه از شاخص و همچنین با حذف وقفه‌های شاخص نشان داده شده است.

نگاره ۲. شبکه‌های عصبی با تکرار بهینه با ورودی عوامل اقتصادی

R2	SSE	MAE	RMSE	MSE	تکرار آموزش	ساختار شبکه	داده‌های ورودی
۰/۹۹۹	۲۸۰۰۰۰	۳۰	۵۵	۳۱۰۰	۱۳۵۰	۱ ۲۰ ۵۰	دو وقفه از شاخص و عوامل
۰/۹۸۵	۸۳۷۰۰۰۰	۱۹۰	۳۲۵	۱۰۴۰۰۰	۲۵۰	۱ ۵۰	دو وقفه از عوامل بدون شاخص
۰/۹۹۹	۲۴۳۰۰۰	۳۰	۵۵	۳۰۴۰	۵۰۰	۱ ۵۰	ده ورودی (دو وقفه از عوامل اقتصادی و دو وقفه از شاخص)

همان‌طور که نشان داده شده است شبکه عصبی با داده‌های دو وقفه از عوامل اقتصادی و دو وقفه از شاخص سه لایه ۱-۵۰-۱۰ تعداد تکرار آموزش ۱۳۵۰ تکرار و $MSE=30.40$ در دوره آزمون و R^2 دوره آزمون برابر با ۰/۹۹۹۶ بهترین عملکرد را دارد. پیش‌بینی‌های شبکه‌های عصبی مختلف با داده‌های مختلف از سطوح تغییر در شاخص چندان رضایت بخش نبودند.

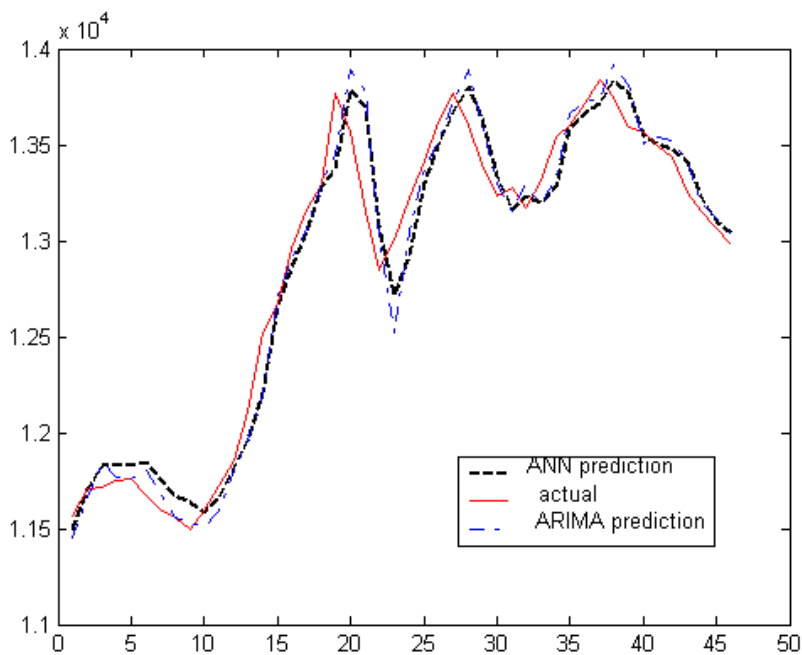
پس از شناسایی شبکه عصبی بهینه اقدام به پیش‌بینی مقادیر شاخص در دوره برآورد شد، به دو دلیل این پیش‌بینی را به وسیله شبکه عصبی با ورودی سه وقفه از شاخص انجام شد: یکی به دلیل آزمون‌نی که از این راه می‌توان بر روی کارایی بازار انجام داد. دیگری این که در صدد مقایسه نتایج شبکه‌های عصبی با مدل ARIMA هستیم و باید هر دو مدل با ورودی‌های یکسان اقدام به پیش‌بینی کنند. هر چند شبکه‌های عصبی این قابلیت را نسبت به مدل ARIMA نیز دارند که داده‌های برون‌زا را نیز برای پیش‌بینی به کار گیرند.

نتایج پژوهش

۱. اولین یافته حاصل از این پژوهش درک پیچیدگی ساز و کار تغییرات قیمت‌ها در بورس اوراق بهادار تهران است.
۲. هر دو مدل شبکه‌های عصبی و مدل ARIMA در پژوهش اخیر موفقیت نسبی در پیش‌بینی شاخص داشته‌اند.
۳. از بین شبکه‌های عصبی طراحی شده با داده‌های وقفه‌های مختلف از شاخص شبکه عصبی سه لایه ۱-۱۵-۳ با ورودی سه وقفه از شاخص و ۲۰۰ تکرار آموزش با $MSE=0.999$ و $R^2=0.999$ بهترین شبکه مدل شده برای پیش‌بینی شاخص بورس اوراق بهادار است.
۴. شبکه عصبی طراحی شده برای پیش‌بینی شاخص با داده‌های ورودی وقفه‌هایی از عوامل اقتصادی به همراه وقفه‌هایی از خود شاخص عملکرد بهتری از شبکه‌های عصبی داشته‌اند که تنها ورودی آن‌ها وقفه‌هایی از شاخص بوده‌اند. ولی این وضعیت زمانی که وقفه‌های شاخص از ورودی حذف شد مشاهده نمی‌شود و این امر نشان می‌دهد که ارتباط متغیرهای اقتصاد کلان با شاخص بورس اوراق بهادار در این پژوهش یک ارتباط تعیین کننده نیست و شاخص بیشترین تأثیر را از مقادیر تاریخی خود می‌پذیرد، و اضافه کردن متغیرهای اقتصاد کلان به مدل تنها تا حدی، قدرت توزیع دهنده‌گی مدل را

افزایش می‌دهد، و نقش تعیین‌کننده‌ای ندارند.

۵. شبکه‌های عصبی، در این پژوهش تخمینی بهتر از مدل خطی ARIMA داشته‌اند، در نمودار شماره (۲) پیش‌بینی این دو مدل و تطبیق آن‌ها با واقعیت نشان داده شده است و هم‌چنین معیارهای مقایسه در نگاره شماره (۳) آمده است جالب توجه آن‌که جمله AR در مدل ARIMA برابر با سه است و شبکه عصبی با ورودی سه وقفه شبکه بهینه است، به این معنا که هر دو مدل همبستگی x_t و x_{t-1} و x_{t-2} و x_{t-3} را شناسایی کرده‌اند ولی به دلیل رابطه غیر خطی حاکم بر حرکات شاخص شبکه عصبی که یک مدل غیر خطی است پیش‌بینی صحیح‌تری نسبت به مدل ARIMA ارائه داده است.



نمودار ۲. مقایسه مقادیر دو مدل پیش‌بینی با واقعیت در داده‌های دوره‌ی برآورد

نگاره ۳. مقایسه معیارهای مختلف برای دو مدل پیش‌بینی

مدل	معیار	MSE	RMSE	R^2
مدل	ARIMA	۳۲۱۷۹	۱۷۹	۰/۹۵۲۸
	مدل شبکه‌های عصبی	۲۸۷۳۸	۱۶۹	۰/۹۵۳۷

۶. موفقیت نسبی مدل خطی ARIMA و شبکه‌های عصبی با استفاده از سه وقفه برای پیش‌بینی سری زمانی TEPIX، و در این بین برتری مدل شبکه‌های عصبی نشان دهنده دو مطلب است: اول، وجود روند آشوبناک غیر تصادفی به دلیل همبستگی بین قیمت‌های متوالی در سری زمانی شاخص؛ و دوم، وجود حرکات غیر خطی در سری زمانی شاخص، که اولی با تحقیقات مورد اشاره در منابع شماره [۱۴] و [۹] مبنی بر عدم کارایی بازار بورس تهران در سطح ضعیف و رد فرضیه گشت تصادفی قیمت‌ها هم‌جهت است. و این نتیجه را می‌دهد که تغییرات قیمت‌ها در بازار بورس تهران تصادفی نیست و تغییرات قیمت‌های این هفته، هفته قبل و دو هفته قبل تأثیر به‌سزایی بر تغییرات قیمت هفته آتی می‌گذارند. و دومی با تحقیق مورد اشاره در منبع شماره [۷] مبنی بر حرکات غیر خطی شاخص هم‌خوانی دارد.

۷. مطالب گفته شده در بالا گویای این مطلب است که جو روانی، حاکم بر تغییرات قیمت در بازار بورس اوراق بهادار تهران است. و هنوز در بازار بورس تهران قیمت‌ها به صورت اصولی تعیین نمی‌شوند بلکه بر اساس نظریه چارتیست‌ها تغییرات قیمت دیروز جهت تغییرات قیمت امروز را مشخص می‌کند.

۸. برای بررسی عملکرد مدل شبکه‌های عصبی طراحی شده، تخمین R^2 محاسبه شده است. این پارامتر نشانگر عملکرد فرایند آزمون و پیش‌بینی است. مقدار بزرگ R^2 نشان‌گر قابلیت استخراج ساختار فرایند مولد قیمت در مدل شبکه عصبی است. و در واقع در جهت مخالفت با فرضیه بازار کارا است. عبارت $Var(t_N) = Var(e_N)$ معادل فرضیه بازار کارا است [۴]. عبارت یاد شده را می‌توان این چنین بیان کرد.

$$R^2 = 1 - \frac{Var(e_N)}{Var(t_N)} = 1 - 1 = 0 \quad (2)$$

e_N : خطای شبکه است و t_N : مقادیر واقعی هدف است.

بنابر شواهد تجربی $R^2 \neq 0$ در جهت خلاف کارایی بازار است. و شواهدی که $R^2 \neq 0$ هم با کارایی بازار و هم با وجود ساختار غیر خطی موافق است و هم‌خوانی دارد. R^2 با رابطه صفحه بعد تخمین زده شده است.

$$\hat{R}^2 = 1 - \frac{Var(e_N)}{Var(t_N)} \quad (۳)$$

$$\hat{Var}(e_N) = \frac{\sum_{n=1}^N (a_n - t_n)^2}{N-1} \quad \text{و} \quad \hat{Var}(t_N) = \frac{\sum_{n=1}^N (t_n - \bar{t}_N)^2}{N-1} \quad (۴)$$

$$\bar{t}_N = \frac{\sum_{n=1}^N t_n}{N} \quad (۵)$$

N تعداد نمونه‌هایی است که در داده‌های آزمایشی و داده‌های برآورد مورد استفاده قرار می‌گیرد. مقدار R^2 برای شبکه عصبی بهینه با ورودی سه وقفه از شاخص برابر با ۰/۹۹۹۲ در دوره آزمایشی و در دوره برآورد برابر با ۰/۹۵۳۷ است. که این مقادیر علاوه بر قدرت مدل شبکه عصبی شواهدی بر علیه فرضیه بازار کارآ تلقی می‌شوند.

پیشنهادهایی به سیاست‌گذاران و دست‌اندرکاران

۱. اهمیت بازار بورس اوراق بهادار در یک کشور بر کسی پوشیده نیست. عدم توانایی پیش‌بینی شبکه‌های عصبی با داده‌هایی مثل قیمت طلا، تورم و نرخ ارز به دلیل عدم وابستگی بخش‌های داخلی اقتصاد کشور است که این عوامل باعث می‌شود کنترل متغیرهای اقتصادی از دست مسئولان خارج شود. براساس مطالعات انجام شده در زمینه ارتباط قیمت سهام با سایر متغیرهای اقتصادی نشان داده شده است که قیمت سهام با تورم انتظاری، نرخ ارز و قیمت طلا ارتباط منفی دارد ولی یک دید کلی از روند حرکت شاخص قیمت سهام نشان می‌دهد که بدون توجه به تغییرات این سه عامل قیمت سهام افزایش داشته است. افزایش شاخص قیمت سهام بدون توجه به تغییرات دیگر شاخص‌ها نشان دهنده این موضوع است که قیمت سهام در بازار بورس ایران ظرفیت افزایش را دارد. در این راستا پیشنهاد می‌شود که با ساز و کارهایی نظیر آزادگذاری قیمت‌ها در بورس برای مدتی اجازه داده شود قیمت سهام به قیمت ذاتی خود نزدیک شود و نوعی قیمت‌گذاری بدون حباب ایجاد شود. البته این اقدام در شرایط عادی از نظر رونق و رکود معاملات و به صورت تدریجی باید صورت گیرد.
۲. وجود همبستگی بین قیمت‌های متوالی در بازار بورس نشان از جو روانی حاکم در بورس و عدم کارایی بورس است. پیشنهاد می‌شود مهم‌ترین رکن کارایی، یعنی انتشار و افشاء اطلاعات صحیح، دقیق و گسترده در زمان‌های بسیار کوتاه در دستور کار قرار

گیرد.

۳. در حال حاضر بهترین روش پیش‌بینی قیمت در بازار بورس تهران برای سرمایه‌گذاران و کسانی که بازده کوتاه مدت انتظار دارند، توجه به تغییرات قیمت‌های گذشته است.

منابع

۱. انواری رسمتی، علی اصغر (۱۳۷۸). مدیریت مالی و سرمایه‌گذاری، طرحان نشر، چاپ اول، ص ۲۳۹.
۲. جکسون، تی. و بیل آر. (۱۳۸۰). آشنایی با شبکه‌های عصبی مصنوعی، ترجمه محمود البرزی، تهران موسسه انتشارات علمی.
۳. خالوزاده، حمید (۱۳۷۷). مدلسازی غیر خطی و پیش‌بینی رفتار قیمت سهام در بازار بورس تهران، رساله دکتری مهندسی برق، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده فنی و مهندسی.
۴. خالوزاده، حمید (۱۳۷۳). شناسایی و کنترل سیستم نوابری اینرسی توسط شبکه‌های عصبی، رساله کارشناسی ارشد مهندسی برق- کنترل، دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی.
۵. راعی، رضا و کاظم چاوشی (۱۳۸۲). «پیش‌بینی بازده سهام در بورس اوراق بهادار تهران: مدل شبکه‌های عصبی مصنوعی و مدل چند عاملی»، فصلنامه تحقیقات مالی، شماره ۱۵.
۶. رضائیان، علی (۱۳۸۰). مبانی سازمان و مدیریت، تهران، انتشارات سمت. صص ۶۱-۶۰.
۷. سلامی، امیر بهداد و یوسف لطفی (۱۳۸۲). «کاهش اخلال غیر خطی در شاخص قیمت بازار اوراق بهادار»، پژوهشنامه اقتصادی، سال سوم، شماره سوم و چهارم.
۸. سینایی، حسنعلی (۱۳۷۳). «سنجش کارایی در بورس اوراق بهادار تهران»، تحقیقات مالی، شماره ۲.
۹. فدایی نژاد، اسماعیل (زمستان ۱۳۷۳). «آزمون شکل ضعیف کارایی بازار سرمایه و بورس اوراق بهادار تهران»، فصلنامه تحقیقات مالی، سال دوم، شماره ۵ و ۶.
۱۰. کارتالوپس، اس. وی. (۱۳۸۱). منطق فازی و شبکه‌های عصبی (مفاهیم و کاربردها)، ترجمه محمود جورابیان و رحمت ا. هوشمند، اهواز، دانشگاه شهید چمران.
۱۱. منهای، محمد باقر (۱۳۷۷). مبانی شبکه‌های عصبی مصنوعی، مرکز نشر پروفیسور حسابی.
۱۲. نصرالهی، زهرا (۱۳۷۱). تجربه و تحلیل عملکرد بورس اوراق بهادار ایران، رساله

کارشناسی ارشد اقتصاد، دانشگاه تربیت مدرس.

۱۳. نمازی، محمد و زکيه شوشتریان (۱۳۷۵). «بررسی کارایی بازار بورس اوراق بهادار

ایران»، تحقیقات مالی، شماره ۷ و ۸

۱۴. نمازی، محمد و شوشتریان زکيه (۱۳۷۵). «مروری بر آزمون‌های کارایی بورس

اوراق بهادار در سطح ضعیف»، فصلنامه تحقیقات مالی، شماره ۱۲ و ۱۱.

15. Aiken, M. and Bsat. M. (1999). "Forecasting market trends with Neural Networks", *Information System Management* 16 (4), PP. 42-48.
16. Black, E. D. (2000). **Financial market Analysis**, second Edition, John Wiley and sons, Ltd, New York. PP. 282-287.
17. Chan, M-C, Wong, C-C, and Lam C-C. (2000). "Financial time series forecasting by Neural Network using Conjugate Gradient Learning Algorithm and Multiple Linear Regression. Weight initialization", Department of computing, the Hong Kong Ploy technique university, Kowloon, Hong Kong.
18. Chiang, W. C., Urban T. L. and Baldridge. G. W. (1996). "A neural network approach to mutual fund net asset value forecasting." *Omega, Int. j. mgmt Sci.* 24 (2) PP. 205-215.
19. Egeli, Birgale, et al. (2003). « stock market prediction using Artificial Neural Networks », Web: WWW. hicbusiness. Org / BIZ 2003 proceedings.
20. Fama E. F.(1970). "Efficient capital market: A review of theory and Empirical work", the *Journal of finance* No, 2. pp. 383-417.
21. Galotti, M, Schiantavelli, F. (1994). "Stock mare volatility and investment: Do only fundamental matters?", *Economica*, No. 242 PP. 144-165.
22. Garliuskas, A. (1999). "Neural Network Chaos and computational algorithms of forecast in finance", *Proceedings of the IEEE SMC Conference, Man and Cyberenticcs2*, PP. 638-643.
23. Granger, C. W. J. (1991). "Forecasting Stock market prices, Lessons for casters", Working paper, university of California, San Diego, Department of Economics, P. 179.
24. Jones, P. (1999). **Investments; Analysis and management**, Jane Wiley and Sons, Inc 7th Edition, New York. PP. 300-380.

25. Kim, K. J. and Han I. (2000); "Genetic algorithms approach to feature discrimination in artificial neural networks for the prediction of stock price index", Published by Elsevier science, Ltd, Expert systems with applications, 19, PP. 125-132.
26. Kim, M. J, Nelson, C. R, starts, R. (1991). "Mean Reversion in stock price? A. Reappraisal of the empirical Evidence". Review of Economic studies, Vol 58 (3), No. 195. PP. 515-528.
27. Lendasse, A., et al. (2000). "Non-Linear financial time series forecasting application to Bell 20 stock market Index", European Journal of Economic and social system, 14, No 1, PP. 81-91.
28. Pinches, G. E. (1970). "The Random Walk. Hypothesis and Technical Analysis", Financial Analysis Journal. (March- April 1970). PP. 104-110.
29. R. A. Schwartz and D. K. Whitcomb (June 1977). "Evidence on the Presence and Causes of Serial Correlation in Market Model Residuals", Journal of Financial and Quantitative Analysis, PP. 291-313
30. Robert J. & Van Eyden (1996). "The Application of Neural Networks in the Forecasting of Share Prices", Finance and Technology Publishing. PP. 47-72.
31. Serletin. A. and Shintani, M. (2003) . "No evidence of chaos but some evidence of dependence in US stock market", Chaos, solitonis and fractals 17. PP. 449-459.
32. Sounders, E. M. (1994). "Testing the efficient market Hypothesis without Assumptions", Journal of portfolio management, No 20 (4). PP. 28-30.
33. Stengos, T., Panas, E. (1992). "Testing the efficiency of the Athens stock exchange: Some results from the Banking Sector", Empirical Economics, No. 17 (2), PP. 239-252.
34. Weiss, Gray (1992). "Chaos Hits wall Street-the Theory, that is", Business week November. PP. 138-140.
35. Wong, Bok., Bodnovich, Thomas A., Selvi, Yakup (1977). "Neural Network Applications in Business: A review and analysis of the literature (1988-1995). Decision support systems. PP. 320-230.