فصلنامه مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار
شماره چهل و ششم / بهار ۱۴۰۰

طراحی الگوی غیرخطی سرایت‌پذیری شاخص کل بورس اوراق بهادار تهران از بازار دارایی‌های فیزیکی (کاربردی از مدل شبکه عصبی مصنوعی NARX)

مهدی شبان[۱]
حبیب اله نخعی[۲]
قدرت الله طالب نیا[۳]
نازنین بشیری منش[۴]

تاریخ دریافت مقاله : ۹۹/۰۲/۰۲ تاریخ پذیرش مقاله : ۹۹/۰۴/۲۶

چکیده

پژوهش حاضر به بررسی سرایت‌پذیری شاخص کل بورس اوراق بهادار تهران از قیمت دارایی‌های موازی با بکارگیری شبکه عصبی مصنوعی پویا می‌پردازد. برای انجام محاسبات، سری‌زمانی قیمت سکه تمام بهار آزادی(نماینده بازار طلا)، قیمت هر متر مربع ساختمان مسکونی(نماینده بازار مسکن)، قیمت هر بشکه نفت خام ایران و نرخ دلار آمریکا در برابر ریال و نوسانات شرطی آن‌ها به عنوان متغیرهای ورودی و شاخص کل بورس اوراق بهادار تهران و نوسان شرطی آن به عنوان متغیر هدف از سال ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۷با تواتر روزانه مورد بررسی قرار می‌گیرد. شبکه عصبی غیرخطی پویا با چهار متغیر ورودی و یک متغیر هدف با لایه‌ها و نرون‌های مختلف با معیار میانگین مجذور خطا و ضریب تعیین مورد ارزیابی قرار گرفته و مدل‌ها با دو لایه به ترتیب با ۲۰ نرون و ۱۰ نرون دارای حداقل میانگین مجذور خطا می‌باشند. نتایج پژوهش نشان می‌دهد بورس اوراق بهادار تهران حداکثر با دو وقفه زمانی از بازارهای رقیب سرایت‌پذیری داشته که نشان‌دهنده‌ی کارایی ضعیف بازار اوراق بهادار تهران می‌باشد. نتایج نشان می‌دهند شبکه‌های عصبی پیشنهادی قدرت بالایی در پیش‌بینی شاخص‌کل بورس اوراق بهادار تهران و نوسانات آن از سال ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۷ به عنوان پیش‌بینی درون نمونه‌ای و سال ۱۳۹۸ به عنوان پیش‌بینی برون نمونه‌ای دارند.

کلمات کلیدی

شبکه عصبی مصنوعی پویا، تاخیر زمانی، بورس اوراق بهادر تهران، نوسانات شرطی، پیش‌بینی

۱-گروه حسابداری، واحد بیرجند، دانشگاه آزاد اسلامی، بیرجند، ایران. Mahdia21@gmail.com
۲-گروه حسابداری، واحد بیرجند، دانشگاه آزاد اسلامی، بیرجند، ایران (نویسنده مسئول)habibollahnakhaei@yahoo.com
۳-گروه حسابداری، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران talebnia@srbiau.ac.ir
۴-گروه حسابداری،دانشکده حسابداری، واحد بیرجند، دانشگاه پیام نور، بیرجند، ایران. bashirimanesh@gmail.com

مقدمه

بسیاری از مطالعات اخیر نشان داده‌اند که بازار سهام، در حقیقت یک سیستم غیرخطی و آشوبناک است که به عوامل متعدد سیاسی، اقتصادی و روانی وابسته است و به همین دلیل پیش‌بینی قیمت سهام و بازشناسی رفتار آن امری پیچیده است [۲)]. تحقیقات نشان می‌دهد اگر بتوان فرایند مولد داده‌های یک متغیر را به دست آورد، پیش‌بینی آن متغیر راحت‌تر و با خطای کمتری امکان‌پذیر خواهد بود [۱۳](. اگرچه مدل‌های خطی پیشرفته پیش‌بینی‌های مناسبی در دوره‌های زمانی میان‌مدت و کوتاه‌مدت دارند، اما بررسی‌ها در بازار سرمایه نشان داده است که رفتار سهام از یک الگوی خطی تبعیت نمی‌کند و الگوهای خطی تنها بخشی از رفتار سهام در بازار را نشان می‌دهد [۱۴)] . با توجه به این‌که هدف اصلی پیش‌بینی در بازارهای مالی کاهش ریسک تصمیم‌گیری است [۲)] بنابراین پیش‌بینی شاخص کل بورس اوراق بهادار برای شرکت‌ها و سرمایه‌گذاران که فعالیت‌هایشان ارتباط تنگاتنگی با بازارهای مالی دارد از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. مدیران بخش‌های مختلف اقتصادی و بازرگانی ترجیح می‌دهند مکانیزمی در اختیار داشته باشند که بتواند آن‌ها را در تصمیم‌گیری یاری دهد؛ به همین دلیل سعی در روی آوردن به روش‌هایی در پیش‌بینی دارند که به واسطه آن‌ها تخمین‌هایشان به واقعیت نزدیک‌تر و خطایشان‌کمتر باشد [۱)]. با توجه به این‌که بازار سهام دارای سیستمی غیرخطی و آشوب‌گونه است می‌توان از سیستم‌های هوشمند غیرخطی نظیر شبکه‌های عصبی مصنوعی، برای پیش‌بینی قیمت سهام و شاخص کل استفاده نمود [۱۶)]. این شبکه‌ها به عنوان یکی از سیستم‌های هوشمند، می‌توانند روابط غیرخطی بین ورودی‌ها و خروجی‌ها را براساس مجموعه داده‌ها، شناسایی نمایند [۴)]. مهم‌ترین ویژگی مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی آزادی آن‌ها از فروض آماری مربوط به متغیرها، استفاده از روش‌های محاسباتی موازی و غیرخطی بودن آن‌هاست. در واقع مدل شبکه عصبی مصنوعی به دلیل توانایی که در مدل کردن روابط غیرخطی بین ورودی‌ها و خروجی‌ها دارد ابزار مناسبی برای پیش‌بینی آینده متغیر خروجی می‌باشد [۷)]. به‌طور کلی شبکه‌های عصبی را می‌توان به دو دسته‌ی ایستا[۱] و پویا[۲] تقسیم‌بندی نمود. شبکه‌های پویا بر خلاف شبکه‌های ایستا دارای اجزای بازخوردی[۳] و تأخیری[۴] می‌باشند و خروجی آن‌ها علاوه بر ورودی فعلی آن، به ورودی‌ها و خروجی‌های قبل و حالات شبکه نیز بستگی دارد [۱۲)]. بررسی شاخص کل بورس اوراق بهادار تهران و نوسانات شاخص و همچنین سرایت‌پذیری آن از قیمت سایر دارایی‌ها نظیر بازار نفت‌خام، بازار طلا، بازار مسکن و بازار ارز و پیش‌بینی شاخص و نوسانات آن در آینده می‌تواند سرمایه‌گذاران را در ترکیب بهینه سبد دارایی‌ها و کاهش ریسک سرمایه‌گذاری کمک نماید. بنابراین، سوالات اساسی که پژوهش حاضر به دنبال یافتن پاسخ آن‌ها می‌باشد عبارتند از: ۱)آیا پیش‌بینی شاخص

کل بورس اوراق بهادار تهران و نوسانات شاخص با استفاده از الگوی شبکه عصبی مصنوعی پویا امکان‌پذیر می‌باشد یا خیر؟ و ۲)وقفه زمانی سرایت از بازار دارایی‌های فیزیکی به بازار اوراق بهادار تهران چه مدت می‌باشد؟ جهت یافتن پاسخ‌های مناسب، مدل‌های مختلف شبکه عصبی پویای غیرخطی[۵] طراحی شده و الگوی سرایت‌پذیری بورس اوراق بهادار تهران از بازار دارایی‌های موازی ارائه می‌گردد که در کمتر پژوهشی روابط بازار اوراق بهادار با بازارهای موازی از این روش استفاده گردیده است و در این مقاله به عنوان دانش‌افزایی و ارائه الگویی بروز و جدید مورد تجزیه و تحلیل واقع می‌شود.

پیشینه پژوهش

امروزه هر تکانه‌ای که در یک بازار تجربه می‌شود بازارهای دیگر را تحت تاثیر قرار می‌دهد؛ این مساله محققان را بر روی درک نحوه انتقال تکانه‌ها و سرریز نوسانات از یک بازار به بازار دیگر متمرکز ساخته است [۶]. وجود نوسان در یک بازار باعث می‌شود تا سرمایه‌گذار بخواهد نسبت به پرتفوی خود تجدیدنظر کرده و تعدیل نماید و ترکیب دارایی‌های پرتفوی خود را تغییر دهد. این مسأله آشفتگی را در بازار بحران‌زده تشدید کرده و باعث انتقال نوسانات و تکانه‌ها به بازارهای دیگر می‌شود [۶]. در این شرایط شناسایی عوامل موثر بر بازده سهام بورس اوراق بهادار و نوسانات آن اهمیت بسزایی دارد. در سال‌های اخیر در منابع مختلف بیان شده است که بازده سهام رابطه‌ای غیرخطی با متغیرهای مالی و اقتصادی دارد و تکنیک‌های هوش مصنوعی ابزار بسیار مناسبی برای حل مسائل غیرخطی می‌باشند [۹]. در زمینه بررسی رابطه بازارهای مالی و بازارهای موازی و پیش‌بینی شاخص کل بورس اوراق بهادار مطالعات متعددی با روش‌های مختلف انجام شده است که در ادامه به تعدادی از آن‌ها اشاره می‌گردد.

پاکدین امیری و همکاران(۱۳۸۸) در مطالعه‌ای به ارائه مدل پیش‌بینی شاخص کل قیمت سهام با رویکرد شبکه عصبی پرداخته‌اند. نتایج مدل تدوین شده نشان می‌دهد مدل شبکه عصبی پیشنهادی توانایی بالایی در پیش‌بینی شاخص قیمت سهام در بورس اوراق بهادار تهران دارا می‌باشد [۵].

عبادی(۱۳۸۸) در مطالعه‌ای با استفاده از روش شبکه عصبی مصنوعی، شاخص کل بورس اوراق بهادار تهران را پیش‌بینی نموده است. برای پیش‌بینی شاخص قیمت سهام در بورس تهران از متغیرهای قیمت طلا، قیمت نفت ایران و نرخ ارز(دلار) استفاده شده است. در این مطالعه، شبکه عصبی در برآورد شاخص کل بورس اوراق بهادار تهران کارآیی بالایی از خود نشان داده است [۸].

مکیان(۱۳۹۱) در پژوهشی با استفاده از دو روش شبکه عصبی مصنوعی و روش رگرسیونی اریما[۶] قیمت سهام شرکت فرآورده‌های نفتی پارس را پیش‌بینی نمود. نتایج به دست آمده به وسیله مدل شبکه عصبی دارای خطای کمتر، قدرت توضیح‌دهندگی بالاتر و در نتیجه پیش‌بینی بهتری نسبت به روش

رگرسیونی دارا می‌باشد [۱۵)].

کامروافر(۱۳۹۶) در پژوهشی به بررسی و شناخت متغیرهای اصلی تاثیرگذار بر شاخص کل بورس اوراق بهادار تهران و مدل‌سازی آن با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی پرداخته است. متغیرهای بکار رفته در این تحقیق نرخ ارز، نرخ بیکاری، نرخ تورم، رشد تولید و حجم نقدینگی می‌باشد. نتایج پژوهش حکایت از قدرت بالای شبکه‌های عصبی در پیش‌بینی شاخص کل بورس اوراق بهادار تهران دارد [۱۰)].

واحدی و همکاران(۱۳۹۸) در مطالعه‌ای رابطه‌ی متقابل بین بازارهای مالی و بازار مسکن را مورد بررسی قرار دادند و نتیجه گرفتند بازارهای مالی با بازار مسکن رابطه معناداری دارد [۱۸)].

میرعلوی و پورزمانی(۱۳۹۸) با بکارگیری روش‌های فراابتکاری و شبکه‌های عصبی مصنوعی به پیش‌بینی قیمت سهام در بورس اوراق بهادار تهران پرداختند و نتیجه گرفتند شبکه عصبی پرسپترون پیشنهادی نسبت به مدل‌های دیگر در پیش‌بینی شاخص سهام خطای کمتری دارد [۱۷)].

هاروی[۷](۲۰۰۰) و هالیدی[۸](۲۰۰۴) شبکه‌ای عصبی مصنوعی برای بررسی تغییرات قیمت سهام نیویورک طراحی کردند 22[)] (23 . گئورگسکو[۹] ودینوکا[۱۰](۲۰۰۵) با به‌کارگیری شبکه عصبی سری زمانی به پیش‌بینی در بازار سهام رومانی پرداختند، نتایج پژوهش بیانگر کارایی بیشتر مدل‌های شبکه عصبی سری زمانی نسبت به مدل‌های غیرخطی رگرسیونی در بازار سهام رومانی بوده است 30[)].

گارسن[۱۱] و همکاران(۲۰۱۱) در مطالعه‌ای کاربرد شبکه‌های عصبی مصنوعی در پیش‌بینی شاخص نزدک[۱۲] مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند 21[)].

کوربا[۱۳] و همکاران(۲۰۱۹) در مطالعه‌ای به پیش‌بینی قیمت سهام در هندوستان با استفاده از روش شبکه عصبی مصنوعی و الگوریتم لونبرگ[۱۴] پرداختند و کارایی شبکه عصبی با بازده بالا مورد تایید قرار دادند 28[)]. یوگاپراتاما[۱۵] و همکاران(۲۰۱۹) در پژوهشی با بکارگیری شبکه عصبی پرسپترون به پیش‌بینی شاخص بورس اندونزی با استفاده از متغیرهای اقتصاد کلان پرداختند و نتیجه گرفتند شبکه عصبی پیشنهادی دقت بالایی در پیش‌بینی قیمت سهام دارد 25[)]. دربه[۱۶] و بنجاد[۱۷] در سال ۲۰۲۰ به پیش‌بینی قیمت بیت‌کوین[۱۸] با استفاده از روش شبکه عصبی مصنوعی پرداختند و کارایی شبکه عصبی مصنوعی را تایید نمودند 19[)].

روش‌شناسی پژوهش

الف) نوع پژوهش

پژوهش حاضر بر مبنای نتایج پژوهش، کاربری و از نظر نحوه اجرای فرآیند پژوهش،کمی، از بعد گردآوری اطلاعات از نوع مطالعات کتابخانه‌ای و همچنین از نظر زمانی، طولی طبقه‌بندی می‌گردد.در

این پژوهش، نوسانات متغیرها به روش واریانس ناهمسانی شرطی[۱۹] و با استفاده از نرم‌افزار ای‌ویوز[۲۰] محاسبه و انحراف معیار شرطی متغیرها به‌عنوان نوسان در نظر گرفته می‌شود. همچنین با استفاده از روش شبکه‌ی عصبی مصنوعی و با به‌کارگیری نرم‌افزار متلب[۲۱] به آنالیز داده‌ها و استخراج خروجی‌های مدل پرداخته خواهد شد.

ب)مدل پژوهش ، جامعه آماری و متغیرهای آن

برای انجام پژوهش حاضر، داده‌های شاخص‌کل بورس اوراق بهادار تهران، قیمت سکه تمام بهار آزادی(نماینده بازار طلا)، قیمت هر بشکه نفت خام ایران، نرخ دلار در بازار غیررسمی و متوسط قیمت هر متر مربع ساختمان مسکونی از ابتدای سال ۱۳۸۷ تا پایان سال ۱۳۹۷ با تواتر روزانه از سایت سازمان بورس اوراق بهادار تهران، بانک اطلاعات اقتصادی وزارت اقتصاد و دارایی، مرکز آمار ایران و بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران استخراج گردیده است. جدول(۱) نوع متغیرهای بکار رفته در پژوهش را نشان می‌دهد.

جدول ۱: متغیرهای ورودی و خروجی مدل‌ها

	نام متغیر	نوع متغیر
مدل اول	نرخ ارز(دلار آمریکا)	ورودی
	قیمت طلا	ورودی
	قیمت مسکن	ورودی
	قیمت نفت خام ایران	ورودی
	شاخص کل بورس اوراق بهادار تهران	خروجی
مدل دوم	نوسانات نرخ ارز(دلار آمریکا)	ورودی
	نوسانات قیمت طلا	ورودی
	نوسانات قیمت مسکن	ورودی
	نوسانات قیمت نفت خام ایران	ورودی
	نوسانات شاخص کل بورس اوراق بهادار تهران	خروجی

تاریخچه مختصری از شبکه‌های عصبی مصنوعی

با شناخت توانایی سلول‌های عصبی در مغز انسان و شبیه‌سازی این فرآیند در سیستم‌های رایانه‌ای، مفهوم شبکه‌های عصبی مصنوعی برای نخستین بار در سال ۱۹۴۳ توسط مک‌کلاک[۲۲] و پیت[۲۳] مطرح شد و از آن‌جایی که مفاهیم پایه‌ای ارائه شده در مباحث مربوط به آن از اساس ریاضی مستحکم و قابل اعتمادی برخوردار بود، بعدها به طور گسترده‌ای مورد اقبال عمومی پژوهشگران در مدل‌سازی پدیده‌های غیرخطی قرار گرفت. اولین شبکه عصبی مصنوعی را روزنبلات[۲۴] در سال ۱۹۵۸ به نام پرسپترون طراحی

و بکار گرفت. این شبکه که یک شبکه طبقه‌بندی بود صرفاً قابلیت یادگیری و حل مسائل خطی را داشت. پس از آن هاپفیلد[۲۵] در سال ۱۹۸۲ به طراحی شبکه عصبی مصنوعی جهت حل مسائل غیرخطی پرداخت [۱۰)]. به طوری‌که امروزه شبکه‌های عصبی مصنوعی به عنوان یک روش درون‌یابی و شبیه‌سازی پیشرفته با توانایی بالا ، کاربرد بسیاری در علوم مختلف دارند [۱۱](.

انواع شبکه عصبی مصنوعی

شبکه‌های عصبی مصنوعی براساس چگونگی اتصال گره‌ها در معماری شبکه به دو دسته‌ی ایستا و پویا تقسیم می‌گردند.در مدل‌های ایستا مسیر پردازش اطلاعات از داده‌ها به ستاده‌ها بوده، بدون این‌که بازگشتی در سیستم ارتباطی واحدها وجود داشته باشد. ولی در مدل‌های پویا مسیرهای بازگشتی از بردار ستاده‌ها یا بردار واحدهای میانی به بردار داده‌ها نیز وجود دارد. شبکه‌های ایستا را شبکه‌های "پیشخور" و شبکه‌های پویا را شبکه‌های "پسخور" یا "برگشتی" نیز می‌گویند. شبکه‌های ایستا عامل پسخور نداشته و در نتیجه شامل موارد تاخیری نمی‌شوند و خروجی آن‌ها به‌صورت مستقیم به‌وسیله ورودی‌هایی که ارتباط پیشخور دارند، محاسبه می‌شود. اما در شبکه‌های عصبی پویا مانند مدل شبکه عصبی خودرگرسیونی با متغیرهای برونزا (NARX)، خروجی مدل به ساختار شبکه، مقادیر جاری و گذشته‌ی متغیرهای ورودی و تاخیر زمانی متغیر خروجی بستگی دارد [۱۲)].

مزایا و ویژگی‌های شبکه عصبی مصنوعی پویا

به‌طور کلی شبکه‌های عصبی مصنوعی پویا در محیط‌های مختلفی، از جمله پیش‌بینی بازارهای مالی، کاربرد فراوان دارند و یکی از پرکابردترین رهیافت‌های مدل شبکه عصبی پویا، مدل NARX می‌باشد [۱۱)]. شبکه‌های عصبی پویا دارای یک پسخورد از خروجی به ورودی‌شان هستند و به شکل بالقوه از شبکه‌های ایستا قوی‌تر و دارای کارایی بیشتری هستند و وجود حلقه‌های تاخیر زمانی اثری عمیق بر قابلیت یادگیری شبکه دارد [۱۱)]. بعد از اعمال یک ورودی جدید، خروجی شبکه محاسبه می‌شود و برای تعدیل ورودی به عقب بازخورد می‌شود. سپس خروجی دوباره محاسبه می‌شود و این فرآیند تا زمانی که شبکه به هدف از قبل تعیین شده برسد، تکرار می‌شود 27[)]. از آن‌جا که شبکه‌های پویا دارای حافظه هستند از آن‌ها می‌توان برای فراگیری الگوهای ترتیبی و متغیر در زمان[۲۶] استفاده نمود. مزیت استفاده از این مدل، قابلیت پیش‌بینی‌های بلندمدت دقیق‌تر، در شرایط یکسان، نسبت به دیگر مدل‌های شبکه عصبی می‌باشد [۳)].

تبیین شبکه‌ی عصبی پویای غیرخطی(NARX)

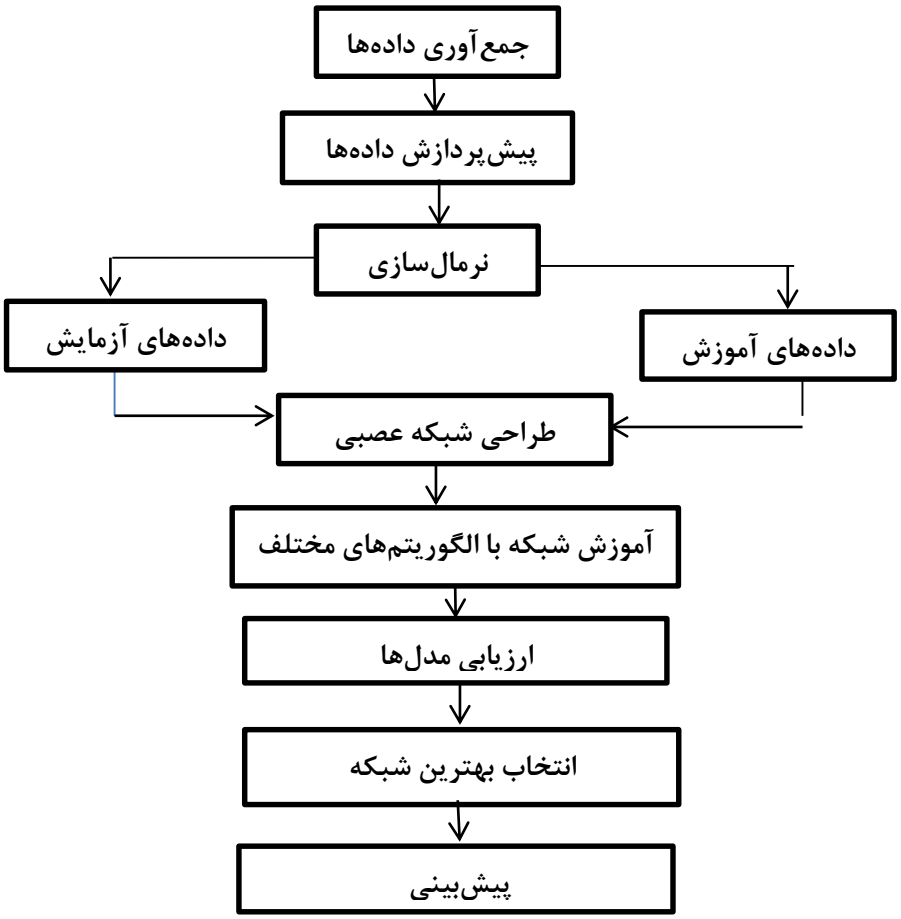
شبکه عصبی NARX، یک شبکه‌ی پویا با اتصالات پسخوردی با لایه‌های میانی مختلف بوده که فرم

ریاضی مدل به صورت معادله(۱) بیان می‌شود..

$$y(t) = F(y(t-1), y(t-2), \dots, (y(t-n), u(t-1), (u(t-2), \dots, u(t-m)) \quad (1)$$

در معادله(۱)، Y(t) برابر مقدار خروجی مدل بوده که بر روی خروجی‌های مراحل قبل و مقادیر ورودی‌های مستقل(u(t)) برآورد می‌شود. اعداد m و n به ترتیب وقفه‌های ورودی برون‌زا و مقادیر واقعی متغیر هدف بوده، که بوسیله سیستم شبکه عصبی تعیین می‌گردند [۳]. می‌توان مدل NARX را برای تقریب تابع F با استفاده از یک شبکه عصبی پیشخور اجرا نمود. این شبکه در مدل‌سازی سری‌های زمانی و همچنین در مدل‌سازی سیستم‌های پویای غیرخطی استفاده می‌شود 20[]. گفتنی است که، تابع آموزش این نوع شبکه تابع لونبرگ-مارکوات(LM) بوده و مقادیر وزن‌ها و اریب‌ها بر اساس روش LM بهینه‌سازی و به‌هنگام می‌شوند. نحوه‌ی آموزش در این نوع شبکه‌ها، مبتنی بر قانون یادگیری تصحیح خطا می باشد و با استفاده از مجموعه وزن‌های تصادفی اولیه، فرآیند آموزش را آغاز می‌کند و پس از تعیین خروجی مدل جهت هر یک از الگوهای ارائه شده در مجموعه‌ی آموزش، خطای حاصل از تفاوت بین خروجی مدل و مقادیر مورد انتظار محاسبه گشته و با بازگشت به درون شبکه در جهت عکس(خروجی به ورودی)، تصحیح می‌شود [۳].

رویه پژوهش حاضر در طراحی مدل شبکه عصبی غیرخطی پویا در شکل (۱) نشان داده شده است.



شکل۱- مدل مفهومی طراحی شبکه عصبی مصنوعی

سوالات اساسی پژوهش

سوالات اساسی پژوهش که سعی در ارائه پاسخ به آن‌ها هستیم ،به شرح زیر مطرح می‌شود.

۱)آیا امکان طراحی الگوی سرایت‌پذیری شاخص کل بورس اوراق بهادار تهران از قیمت دارایی‌های فیزیکی(طلا، نفت، مسکن و ارز) با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی پویا وجود دارد؟

۲)آیا امکان طراحی‌الگوی‌سرایت‌پذیری نوسانات‌شرطی‌شاخص‌کل‌بورس اوراق بهادار تهران از نوسانات قیمت دارایی‌های فیزیکی(طلا، نفت، مسکن و ارز) با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی پویا وجود دارد؟

۳) وقفه زمانی سرایت بازده و نوسانات از بازار دارایی‌های فیزیکی به بورس اوراق بهادار تهران چه مدت می‌باشد؟

فرضیه‌های پژوهش

با توجه به مبانی نظری و پیشینه پژوهش، فرضیه‌های پژوهش به شرح زیر بیان می‌گردد.

۱) سرایت‌پذیری شاخص کل بورس اوراق بهادار تهران از قیمت دارایی‌های فیزیکی(طلا، نفت، مسکن و ارز) با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی پویا امکان‌پذیر است.

۲) سرایت‌پذیری نوسانات شرطی شاخص کل بورس اوراق بهادار تهران از نوسانات قیمت دارایی‌های فیزیکی(طلا، نفت، مسکن و ارز) با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی پویا امکان‌پذیر است.

۳) شبکه عصبی مصنوعی پویا کارایی بالایی در پیش‌بینی درون نمونه‌ای و برون نمونه‌ای شاخص کل بورس اوراق بهادار تهران و نوسانات آن دارد.

طراحی شبکه عصبی پیشنهادی و یافته های پژوهش

به‌طور کلی شبکه‌های عصبی مصنوعی دارای سه جزء اصلی می‌باشند، که عبارتند از؛ ۱) تعداد لایه‌ها و تعداد نرون‌های هر لایه. ۲) تابع آموزش مورد استفاده. ۳) وزن شبکه عصبی مصنوعی. بنابراین نخستین گام در مدل‌سازی شبکه‌های عصبی، معماری شبکه می‌باشد. زیرا انتخاب دقیق تعداد لایه‌ها و نرون‌ها، توانایی شبکه را در ارائه هر چه بهتر ارتباط بین داده‌های ورودی و خروجی فراهم می‌کند[۱۲)]. از سوی دیگر توابع آموزش وظیفه‌ی تعدیل وزن‌های شبکه را با تکرار فرآیند آموزش و کاهش میزان خطای شبکه بر عهده دارند. در پژوهش حاضر تقسیم‌بندی داده‌ها به آموزشی و آزمایشی با فرآیند تصادفی انجام گردیده و با توجه به اهمیت بالای معماری شبکه، ابتدا جهت یافتن تعداد نرون بهینه، با استفاده از روش آزمون و خطا، شبکه‌های مختلفی با تعداد نرون‌های مختلف مورد بررسی و ارزیابی قرار می‌گیرد. به همین جهت، پس از نرمال‌سازی متغیرها، شبکه‌های عصبی با ۲ الی ۳۵ نرون و لایه‌های میانی مختلف (دو لایه و سه لایه) با استفاده از تابع لونبرگ – مارکوات ۱۰۰۰ مرتبه در فرآیند آموزش قرار گرفته است. تابع فعالسازی مدل‌ها در لایه میانی سیگموئید[۲۷] و در لایه خروجی خطی می‌باشد. برای سنجش میزان انطباق پیش‌بینی مدل با الگوی داده سری‌زمانی واقعی، از معیارهای سنجش خطای پیش‌بینی استفاده خواهد شد، اگر y و $\hat{y}$ بیانگر مقدار واقعی و پیش‌بینی‌شده متغیر در زمان t باشد، خطای پیش‌بینی مدل عبارت است از $e=y-\hat{y}$، بنابراین برای یک دوره زمانی و برای n مقدار پیش‌بینی‌شده معیارهای سنجش پیش‌بینی عبارتند از:

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^{n}(e_i)^2}{n} \qquad (2)$$

$$R^2 = 1 - \frac{SSE}{SSy} \qquad (3)$$

که در آن y مقدار واقعی، ŷ مقدار پیش‌بینی‌شده، $SSE = \sum(y - \hat{y})^2$ ، $SSy = \sum(y - \bar{y})^2$ می‌باشد. در حقیقت هرچه تخمین یک مدل به واقعیت نزدیک‌تر باشد دارای خطای کمتری در پیش‌بینی است. از این‌رو از معیار میانگین مجذور خطا (MSE) و ضریب تعیین(R^2) استفاده می‌گردد که از نظر پژوهشگران معیارهای قابل قبولی می‌باشند. در نهایت پس از انجام فرآیندهای مختلف ترکیب مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی به شرح جدول (۲) بهینه می‌گردند.

جدول۲- ترکیب بهینه معماری شبکه عصبی مصنوعی

نام عامل	شبکه عصبی (شاخص کل بورس اوراق بهادار تهران)	شبکه عصبی (نوسانات شاخص کل بورس اوراق بهادار تهران)
نوع شبکه	شبکه عصبی پویای غیرخطی (NARX)	شبکه عصبی پویای غیرخطی (NARX)
تعداد نرون بهینه	20 نرون	۱۰ نرون
تعداد لایه بهینه	۲ لایه	۲ لایه
تابع پیش پردازش	LOGSIG -TANSIG	LOGSIG -TANSIG
تابع آموزش	لونبرگ- مارکوات(TRAINLM)	لونبرگ- مارکوات(TRAINLM)

منبع:یافته‌های پژوهش

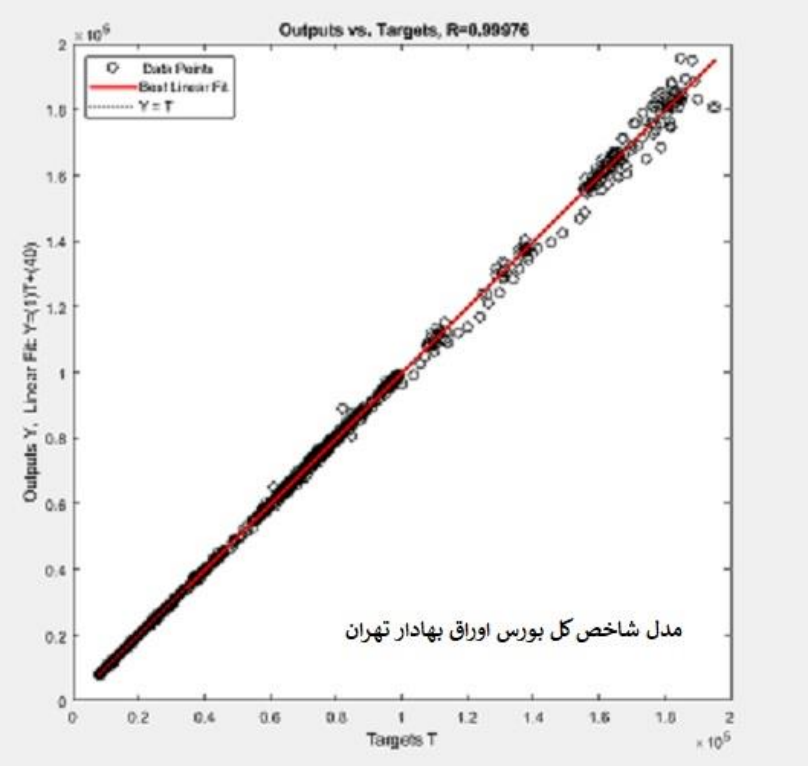
بنابراین بر اساس معماری شبکه ارائه شده در جدول (۲) به برآورد مدل‌های NARX در وقفه‌های زمانی مختلف (تا ۱۱ وقفه) پرداخته و نتایج برآورد به شرح جدول (۳) بیان می‌شود.

جدول۳- نتایج برآورد انواع مدل‌های NARX

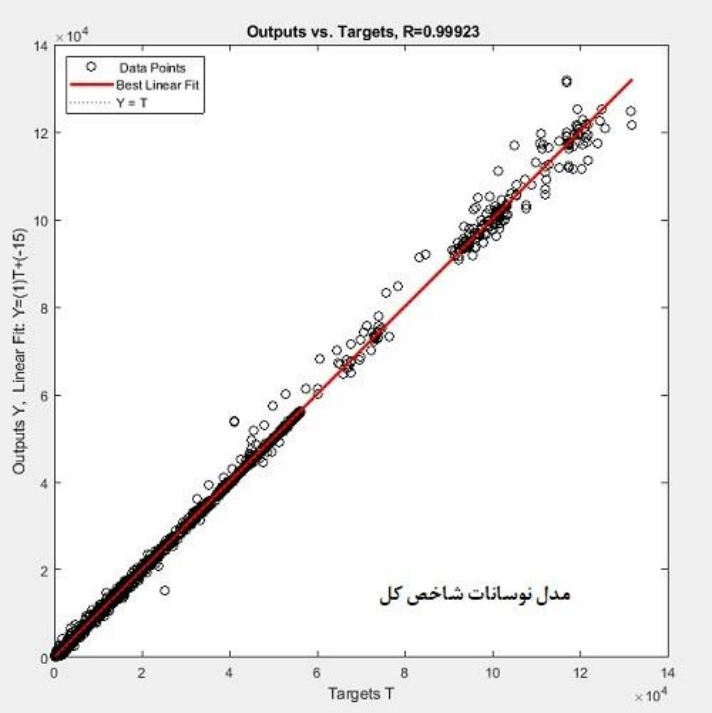
	شبکه عصبی (شاخص کل بورس اوراق بهادار تهران)			شبکه عصبی (نوسانات شاخص کل بورس اوراق بهادار تهران)		
ردیف	تعداد وقفه	MSE	R^2	تعداد وقفه	MSE	R^2
۱	NARX(2)	۰,۰۰۰۰۰۷۷	۰,۹۹	NARX(2)	۰,۰۰۰۰۳۸	۰,۹۹
۲	NARX(3)	۰,۰۰۰۰۰۸۳	۰,۹۹	NARX(3)	۰,۰۰۰۰۰۴۵	۰,۹۹
۳	NARX(4)	۰,۰۰۰۰۰۸۶	۰,۹۹	NARX(4)	۰,۰۰۰۰۰۴۹	۰,۹۹
۴	NARX(5)	۰,۰۰۰۰۰۹۰	۰,۹۹	NARX(5)	۰,۰۰۰۰۰۶۰	۰,۹۹
۵	NARX(6)	۰,۰۰۰۰۰۸۷	۰,۹۹	NARX(6)	۰,۰۰۰۰۰۶۳	۰,۹۹
۶	NARX(7)	۰,۰۰۰۰۰۸۰	۰,۹۹	NARX(7)	۰,۰۰۰۰۰۸۰	۰,۹۹
۷	NARX(8)	۰,۰۰۰۰۱۰۴	۰,۹۸	NARX(8)	۰,۰۰۰۰۱۰۰	۰,۹۸
۸	NARX(9)	۰,۰۰۰۰۱۱۲	۰,۹۸	NARX(9)	۰,۰۰۰۰۱۲۷	۰,۹۸
۹	NARX(10)	۰,۰۰۰۰۱۱۶	۰,۹۸	NARX(10)	۰,۰۰۰۰۱۳۰	۰,۹۸
۱۰	NARX(11)	۰,۰۰۰۰۱۲۶	۰,۹۸	NARX(11)	۰,۰۰۰۰۱۵۰	۰,۹۸

منبع:یافته‌های پژوهش

همان‌طور که در جدول(۳) مشاهده می‌گردد مدلNARX(2) در هر دو شبکه، بر اساس معیارهای MSE و R^2 عملکرد بهتری نسبت به سایر وقفه‌های زمانی دارد. مدل‌های شبکه عصبی پویا نشان می‌دهند قیمت دارایی‌های فیزیکی(طلا، نفت، مسکن و ارز) حداکثر با دو وقفه زمانی(دو روزه) به شاخص کل بورس اوراق بهادار تهران سرایت داشته و آن‌را تحت تاثیر قرار می‌دهند. همچنین نوسانات بازار دارایی‌های فیزیکی نیز با وقفه دو روزه، نوسانات بازار اوراق بهادار تهران را تحت تاثیر قرار می‌دهند. نمودارهای (۱) و (۲) میزان اختلاف خروجی‌های شبکه با مقادیر واقعی متغیرهای هدف را نشان می‌دهند، همان‌گونه که مشاهده می‌شود با تقریب بسیار خوبی خروجی شبکه‌ها به خروجی‌های مطلوب نزدیک می‌باشد.

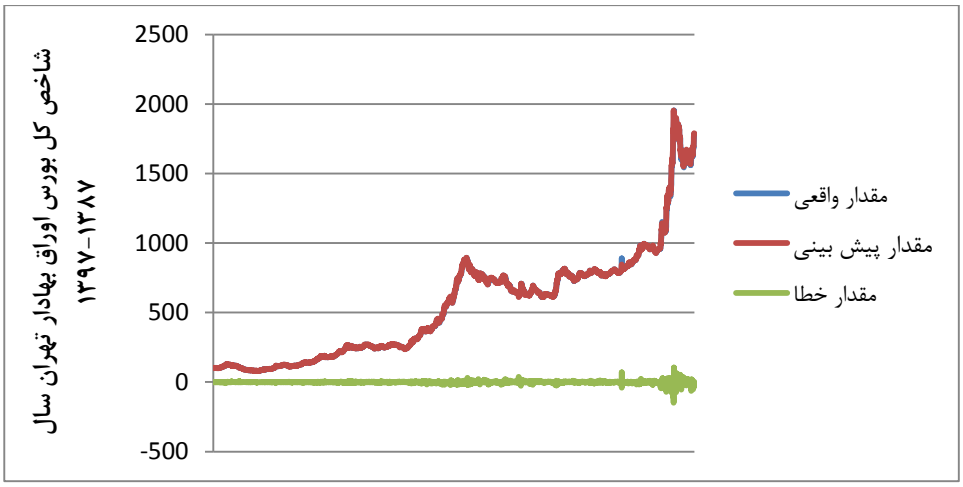


نمودار ۱: میزان اختلاف خروجی شبکه با مقادیر واقعی هدف
(شاخص کل بورس اوراق بهادار تهران)

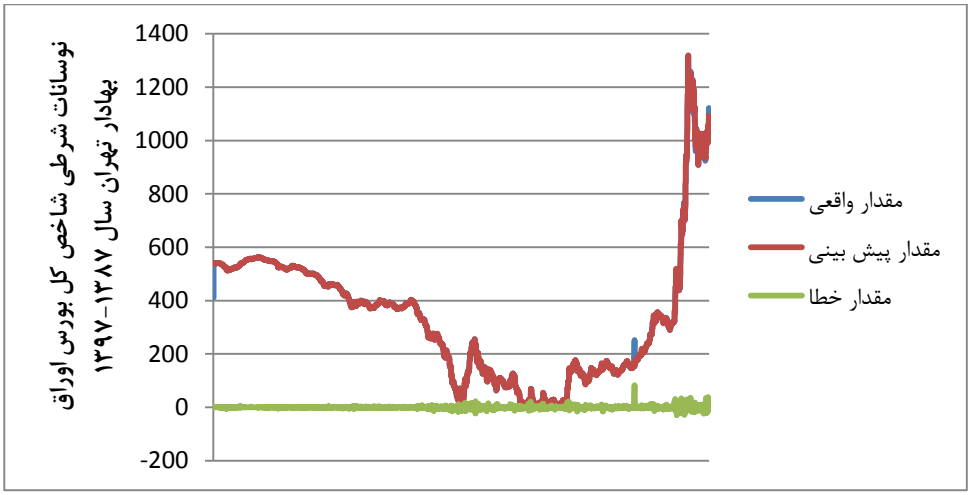


نمودار ۲ : میزان اختلاف خروجی شبکه با مقادیر واقعی هدف
(نوسانات شاخص کل بورس اوراق بهادار تهران)

مقایسه شاخص کل بورس اوراق بهادار تهران و نوسانات شاخص با مقادیر پیش‌بینی شده آن‌ها به وسیله الگوهای پیشنهادی و همچنین خطاهای پیش‌بینی طی دوره زمانی سال‌های ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۷ در نمودارهای (۳) و (۴) ارائه شده است. در یک نمودار در صورت پیش‌بینی کامل، مقدار خطا باید نزدیک به صفر باشد. بر اساس نمودارهای(۳) و (۴) ملاحظه می‌گردد مقادیر واقعی شاخص کل و نوسانات آن با مقادیر پیش‌بینی شده توسط الگوهای شبکه عصبی پویا بهم نزدیک بوده و میزان خطای پیش‌بینی بسیار پایین می‌باشد و این موضوع بیانگر اعتبار فرضیه‌های اول و دوم پژوهش، مبنی بر تایید سرایت‌پذیری بورس اوراق بهادار تهران و نوسانات آن از بازار دارایی‌های فیزیکی می‌باشد.

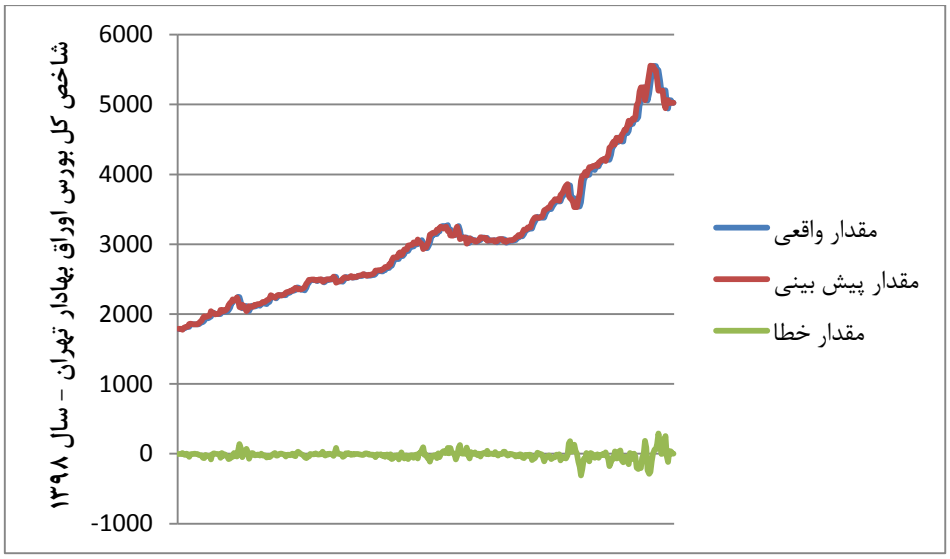


نمودار ۳ : مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده درون نمونه‌ای شاخص کل بورس اوراق بهادار



نمودار۴ : مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده درون نمونه‌ای نوسانات شرطی شاخص کل بورس اوراق بهادار

نمودار(۵) مقایسه مقادیر واقعی شاخص کل بورس اوراق بهادار تهران با مقادیر پیش‌بینی شده آن به همراه میزان خطای پیش‌بینی با دو وقفه زمانی در سال ۱۳۹۸ نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده سال ۱۳۹۸ نزدیک بهم بوده و درصد خطای پیش‌بینی نزدیک به صفر می‌باشد که این مساله بیانگر توانایی بالای شبکه عصبی پیشنهادی در پیش‌بینی برون نمونه‌ای متغیر هدف می‌باشد.



نمودار ۵ : مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده شاخص کل بورس اوراق بهادار تهران در سال ۱۳۹۸

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج مطالعات اخیر نشان می‌دهد شبکه‌های عصبی مصنوعی قدرت بالایی در پیش‌بینی متغیرهای مالی داشته و استفاده از آن‌ها در پیش‌بینی شاخص بورس اوراق بهادار کاربرد زیادی دارد. در این پژوهش، سرایت‌پذیری شاخص‌کل بورس اوراق بهادار تهران از قیمت دارایی‌های رقیب با بکارگیری شبکه عصبی مصنوعی مورد آزمون قرار گرفته است. قیمت سکه بهار آزادی به عنوان نماینده بازار طلا، قیمت هر متر مربع ساختمان مسکونی به عنوان نماینده بازار مسکن، قیمت هر بشکه نفت خام ایران به عنوان نماینده بازار نفت و نرخ دلار آمریکا در برابر ریال ایران در بازار غیررسمی به عنوان نماینده بازار ارز، از جمله بازارهای موازی با بورس اوراق بهادار تهران در نظر گرفته شده‌اند. در پژوهش حاضر نوسانات بازارهای دارایی‌های موازی و بورس اوراق بهادار با استفاده از مدل واریانس ناهمسانی شرطی محاسبه شده است و سرایت‌پذیری نوسانات نیز مورد آزمون واقع گردید. براساس مطالعات انجام شده متغیرهای پژوهش، دارای روندی غیرخطی بوده و استفاده از روش شبکه عصبی پویا در طراحی الگوی سرایت‌پذیری مناسب می‌باشد. بنابراین با استفاده از نرم‌افزار متلب به تدوین الگوی شبکه عصبی مصنوعی پویا موسوم به مدل NARX پرداخته شده است. در مدل‌های پیشنهادی تقسیم‌بندی داده‌ها به آموزشی و آزمایشی با فرآیند تصادفی انجام گردیده و مدل‌های شبکه عصبی با دو لایه و تابع فعالسازی سیگموئید در لایه میانی و تابع خطی در لایه خروجی با تعداد ۲۰ نرون برای مدل اول و ۱۰ نرون برای مدل دوم بهینه می‌باشد. با

استفاده از معیار میانگین مجذور خطا و ضریب تعیین کارایی شبکه‌ها مورد آزمون قرار گرفته و کارایی آن‌ها تایید گردید. سپس به پیش‌بینی متغیرهای هدف با الگوهای پیشنهادی پرداخته می‌شود. پیش‌بینی درون و برون نمونه‌ای الگوها، نشان‌دهنده‌ی خطای پایین مقادیر پیش‌بینی شده با مقادیر واقعی می‌باشد. بر اساس نتایج حاصل از الگوهای طراحی شده، شاخص کل بورس اوراق بهادار تهران از قیمت دارایی‌های موازی حداکثر با دو وقفه زمانی سرایت‌پذیری دارد. بطوری‌که قیمت دارایی‌های موازی، مقدار دو روز آینده شاخص کل بورس اوراق بهادار را تحت تاثیر قرار داده و همچنین افزایش و یا کاهش در نوسانات بازارهای موازی با تاخیر دو روزه به بورس اوراق بهادار تهران منتقل می‌گردند، بعلاوه شاخص کل بورس اوراق بهادار تهران از مقادیر دو روز گذشته خود نیز تاثیرپذیری دارد. بنابراین در پاسخ به سوالات اساسی مطرح شده، می‌توان گفت طراحی الگوی سرایت‌پذیری شاخص کل بورس اوراق بهادار تهران و نوسانات شاخص از بازار دارایی‌های فیزیکی، به‌وسیله شبکه عصبی پویا امکان‌پذیر بوده و حداکثر وقفه زمانی انتقال تلاطم از بازار کالا به بازار اوراق بهادار تهران دو روز می‌باشد که این مساله نشان‌دهنده‌ی کارایی ضعیف بازار اوراق بهادار تهران می‌باشد. همچنین نتایج شبکه‌های طراحی شده نشان می‌دهد شبکه عصبی مصنوعی پویا قادر به پیش‌بینی شاخص کل بورس اوراق بهادار تهران و نوسانات آتی شاخص می‌باشند

منابع

۱) آذر عادل، افسر امیر. مدل‌سازی پیش‌بینی قیمت سهام با رویکرد شبکه عصبی فازی. پژوهشنامه بازرگانی. (۱۳۸۵). (۴۰): ۳۳-۵۲

۲) باباجانی جعفر و همکاران. پیش‌بینی قیمت سهام در بورس تهران با استفاده از شبکه عصبی بازگشتی بهینه شده با الگوریتم کلونی زنبورعسل مصنوعی. مجله راهبرد مدیریت مالی. (۱۳۹۸). (۲۵): ۲۳۸-۱۹۵

۳) بافنده ایماندوست صادق، فهیمی فرد سید محمد، شیرزادی سمیه. پیش‌بینی نرخ ارز با مدل‌های عصبی فازیANFIS و شبکه عصبی خودرگرسیونی NARX و خودرگرسیونیARIMA. مجله دانش و توسعه. (۱۳۸۸). (۲۸): ۱۷۶-۱۹۲

۴) البرزی محمود، یعقوب‌نژاد احمد، مقصود حسین. کاربرد شبکه عصبی مصنوعی در پیش‌بینی شاخص بازده نقدی و قیمت سهام. فصلنامه مطالعات حسابداری. (۱۳۸۸). (۲۲):۱۱۹- ۱۳۷

۵) پاک‌الدین‌امیری علیرضا، پاک‌الدین‌امیری مجتبی، پاک‌الدین امیری مرتضی. ارائه مدل پیش‌بینی شاخص کل قیمت سهام با رویکرد شبکه‌های عصبی (مطالعه موردی: بورس اوراق بهادار تهران). دوفصلنامۀ علمی پژوهشی جستارهای اقتصادی. (۱۳۸۸).(۱۱):۸۳-۱۰۸

۶) سفیدبخت الهه، رنجبر محمدحسین. سرریز نوسانات بین قیمت نفت، نرخ ارز، قیمت طلا و بازار سهام تحت فواصل زمانی و شکست ساختاری: استفاده از مدل گارچ (BEEK) و الگوریتم ICSS. مجله مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار. (۱۳۹۶). (۳۳):۵۱-۸۷

۷) سمیعی عباس. مقایسه مدل‌های NARX و MLP در پیش‌بینی شاخص بورس اوراق بهادار تهران. (۱۳۹۲). دانشگاه علامه طباطبایی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد

۸) عبادی امید. پیش‌بینی شاخص‌کل قیمت سهام در بورس تهران با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی. (۱۳۸۸). دانشگاه بوعلی سینا همدان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد

۹) غلامیان الهام، داوودی سیدمحمدرضا. پیش‌بینی روند قیمت در بازار سهام با استفاده از الگوریتم جنگل تصادفی. مجله مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار. (۱۳۹۷). (۳۵):۳۰۱-۳۲۱

۱۰) کامروافر محمد، هاشمی ذبیح‌الله. بررسی و شناخت متغیرهای اصلی تاثیرگذار بر شاخص کل بورس اوراق بهادار تهران و مدل‌سازی آن با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی و مقایسه نتایج حاصله با تحلیل تکنیکال و موج‌های الیوت. مجله مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار. (۱۳۹۶). (۳۰): ۱۶۹-۱۸۴

۱۱) کیا مصطفی(مترجم). طراحی شبکه‌های عصبی. تهران: نشر دانشگاهی کیان؛ (۱۳۸۸)

۱۲) کیا مصطفی. شبکه های عصبی در متلب. چاپ ششم. تهران: نشر دانشگاهی کیان؛ (۱۳۹۷)

۱۳) مشیری سعید، فروتن فائزه. آزمون آشوب و پیش‌بینی قیمت آتی نفت خام. فصلنامه پژوهش‌های اقتصادی ایران. (۱۳۸۳). (۲۱): ۶۷-۹۰

۱۴) مشیری سعید، مروت حبیب. بررسی وجود فرایند آشوبی در شاخص‌بازدهی کل قیمت سهام بازار بورس تهران. فصلنامه پژوهش‌های اقتصادی ایران. (۱۳۹۵). (۲۵):۴۷-۶۴

۱۵) مکیان سید نظام الدین، موسوی فاطمه السادات. پیش بینی قیمت سهام شرکت فرآورده‌های نفتی پارس با استفاده از شبکه عصبی و روش رگرسیون. فصلنامه مدل‌سازی اقتصادی. (۱۳۹۱). (۲): ۱۰۵-۱۲۱

۱۶) منجمی سید امیرحسین، ابزری مهدی، رعیتی شوازی علیرضا. پیش بینی قیمت سهام در بازار بورس اوراق بهادار با استفاده از شبکه‌ی عصبی فازی و الگوریتم‌های ژنتیک و مقایسه‌ی آن با شبکه‌ی عصبی مصنوعی. فصلنامه اقتصاد مقداری. (۱۳۸۸). (۹):۱-۲۶

۱۷) میرعلوی سیدحسین، پورزمانی زهرا. ارائه مدلی جهت پیش‌بینی قیمت سهام با استفاده از روش‌های فراابتکاری و شبکه‌های عصبی. مجله مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار. (۱۳۹۸). (۴۰): ۵۷-۸۳

۱۸) واحدی شهرام و همکاران. بررسی رابطه متقابل بین بازارهای مالی و بازارمسکن. مجله مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار. (۱۳۹۸). (۴۱): ۱۰۹-۱۲۸

19) Banjade,Dhruba,Forecasting Bitcoin Price using Artificial Neural Network (January8,2020). Availabl at SSRN: https://ssrn.com/abstract=3515702

20) Demuth, H., Beale, M., Hagan M (2007)"Neural Network Toolbox 2 User's Guide" The MathWorks, Inc.,

21) Guresen, E., Kayakutlu, G. and Daim, T.U. (2011)" Using Artificial Neural Network Models in Stock Market Index Prediction". Expert Systems with Applications, 38, 10389-10397.

22) Halliday, R.(۲۰۰٤)"Equity Trend Prediction with Neural Networks", Research

23) Harvey, C.; Travens, K. and M. Costa (۲۰۰۰), "Forecasting Emerging Market Returns Using Neural Networks", Emerging Markets Quarterly, ٤(۲) , pp. ٤۳–.٥٥

24) Kaastara, I. Milton, B. (1996) ''Designing a neural network for forecasting financial and economic time series'' Neurocomputing, ۲۰, ۲۲۲- ۲۸۶.

25) M. Nizar Yoga Pratama and Ernastuti (2019), "Multilayer Perceptron and Long Short-Term Memory for Predicting Indonesian Composite Stock Price Index Using Macroeconomic Factors," Fourth International Conference on Informatics and Computing (ICIC), Semarang, Indonesia, 2019, pp. 1-5.

26) Mandic, D., Chambers, J.(2001) "Recurrent Neural Networks forPrediction: Learning Algorithms,Architectures and Stability. Wiley, Chichester

27) Negnevitsky, Michael(2005)"Artificial Intelligence, A Guide to Intelligent Systems "Second Edition.

28) Siddheshwar Chopra,et(2019)" Artificial Neural Networks Based Indian Stock Market Price Prediction: Before and After Demonetization" International Journal of Swarm Intelligence and Evolutionary Computation, Vol.8 Iss.1 No:174

29) Zhang, Guoqiang, Patuwo, B. Eddy, Y. Hu, Michael (199۸). "Forecasting with artificial neural networks: The state of the art" Graduate School of Management, Kent State University, Kent, Ohio

30) Georgescu, V., Dinuca, E.C., (2005), "Evidence of Improvement in Neural Network Based Predictability of Stock Market Indexes through Co-movement Entries", Recent Advances in Applied & Biomedical Informatics and Computational Engineering in Systems Applications, Vol. 200282, PP. 422-427.

یادداشت‌ها

1 .Static
2 .Dynamic
3 . Feedback
4 . Delay
5 .NARX
6 . ARIMA
7 . Harvey
8 . Halliday
9 . Georgescu
10 . Dinuca
11 . Guresen
12 .NAZDAQ
13 . Chopra
14 .lozenberg
15 . Yoga Pratama
16 Dhruba.
17 . Banjade
18 .Bit coin
19 .ARCH
20 .EVIEWS
21 .MATLAB
22. Mac clack
23 .Piet
24. Rosenblatt
25 . Hopfield
26 . time-varying
27 .Sigmoid