فصل یک

مقدمه

در این بخش، انگیزهٔ محقق از انجام این پژوهش نوشته شده است. سپس به تشریح موضوعِ مورد تحقیق و سوالات پژوهش پرداخته شده است. در نهایت نیز روش تحقیق به اجمال بیان شده است.

انگیزه

از دههٔ هشتاد میلادی، تلاش‌ها برای پیش‌بینی بازارهای مالی به کمک روش‌های یادگیری ماشین شروع شد. این مدل‌ها در حوزه‌هایی مانند پردازش زبان طبیعی، پردازش تصویر و پیش‌بینی سری‌های زمانی منشاء دست‌آوردهای بسیاری بودند. موفقیت‌هایی که مدل‌های یادگیری ماشین در دیگر حوزه‌ها داشته‌اند، به‌کارگیری آن‌ها در پیش‌بینی سری‌های زمانیِ مالی را به امری جذاب بدل کرده است. تا به حال نیز، پژوهش‌های متعددی در مورد کاربرد این مدل‌ها در بازارهای مالی صورت گرفته است و حتی در پیش‌آزمون‌ها نیز به موفقیت‌هایی دست یافته‌اند.

خصیصهٔ اصلی مدل‌های یادگیری ماشین، توانایی آن‌ها در یادگیری توسط داده است. این ویژگی هنگامی به کار می‌آید که نتوانیم رابطهٔ میان ورودی‌ها و خروجی‌های یک سیستم را با عبارات منطقی و ریاضی با دقت قابل قبول مدل کنیم اما در عین حال، به اندازهٔ کافی دادهٔ ورودی و خروجی سیستم را در اختیار داریم. با اقبالی که در دهه‌های گذشته به جمع‌آوری و نگه‌داری داده در هر کسب‌وکاری به وجود آمده است، شرایط برای استفاده از مدل‌های یادگیری ماشین و خصوصاً یادگیری عمیق فراهم شده است.

یادگیری عمیق، رویکردی به هوش مصنوعی و نوع خاصی از یادگیری ماشین است که جهان پیرامون را به صورت سلسله‌مراتبی از مفاهیم انتزاعی مدل می‌کند (Goodfellow et al., 2016). این رویکرد، بسیار به نحوهٔ یادگیری مغز انسان شباهت دارد که می‌تواند از تجربیات بیاموزد. شبکهٔ عصبی، اصلی‌تری روش در یادگیری عمیق است که با الگوبرداری از مغز انسان ساختاری لایه‌ای از نرون‌ها را تشکیل می‌دهد. این شبکه‌ها می‌توانند دادهٔ ورودی را در چند مرحله پردازش کنند، از خطاهای گذشته درس بگیرند و با پردازش دادهٔ جدید دقت خود را بهبود دهند. این ویژگی‌ها سبب شده است تا از شبکه‌های عصبی عمیق در طیف گسترده‌ای از کاربردها مانند خودروهای خودران، ترجمهٔ متن، دستیارهای صوتی گوشی‌های همراه، تشخیص تقلب و ... استفاده شود؛ اما هنوز از این روش‌ها در پیش‌بینی قیمت سهام یا شاخص‌های بازارهای مالی به طور گسترده استفاده نمی‌شود.

پیش‌بینی بازارهای مالی، موضوع تحقیقات بسیاری در فضای آکادمیک بوده است. اکثر پژوهش‌ها، به دنبال پیش‌بینی روند یا جهت حرکت قیمت‌ها و یا تحلیل متغیرهای تاثیرگذار و مقایسه دقت مدل‌های مختلف هستند. هر چند که طرف‌داران نظریه بازار کارا معتقدند که پیش‌بینی قیمت سهام غیرممکن است، اما پژوهش‌های بسیاری وجود دارند که ادعا می‌کنند برخی مدل‌ها می‌توانند با خطای قابل قبولی این پیش‌بینی را انجام دهند و منشاء سود شوند. اغلب این مدل‌ها را می‌توان در دو گروه دسته‌بندی کرد: مدل‌های شبکهٔ عصبی و مدل‌های خودهمبسته. موضوع اصلی پژوهش حاضر، بررسی کارایی انواع مدل‌های شبکهٔ عصبی عمیق در پیش‌بینی قیمت سهام و شاخص بازار بورس تهران و تحلیل متغیرهای موثر بر آن‌هاست.

طرح مسئله

هایندمن و آتاناساپولوس (2022) چهار معیار را برای پیش‌بینی‌پذیر بودن یک سیستم بیان می‌کنند: ۱) مشخص بودن متغیرهای موثر، در اختیار داشتن دادهٔ کافی، شباهت آینده به گذشته و تغییر نکردن سیستم با پیش‌بینی ما. در بازارهای مالی فقط معیار دوم (دادهٔ کافی) برقرار است و از همین رو، بازار مالی یک سیستم پیچیده است. یکی از مشکلات اساسی سیستم‌های پیچیده، پیش‌بینی حالت بعدی است. هنگامی که تعداد متغیرهای تاثیرگذار یک سیستم زیاد می‌شوند و در عین حال، تاثیر آن متغیرها بر حالت سیستم خطی نیست، روش‌های کلاسیک از کارایی برخوردار نیستند. تغییر در هر کدام از این متغیرها نیز ممکن است حلقهٔ بازخوردی را شروع کند که همین موضوع نیز می‌تواند به پیچیده‌تر شدن سیستم منجر شود. بازار مالی چنین سیستمی است که کار پیش‌بینی آن را بسیار سخت یا حتی غیرممکن می‌کند.

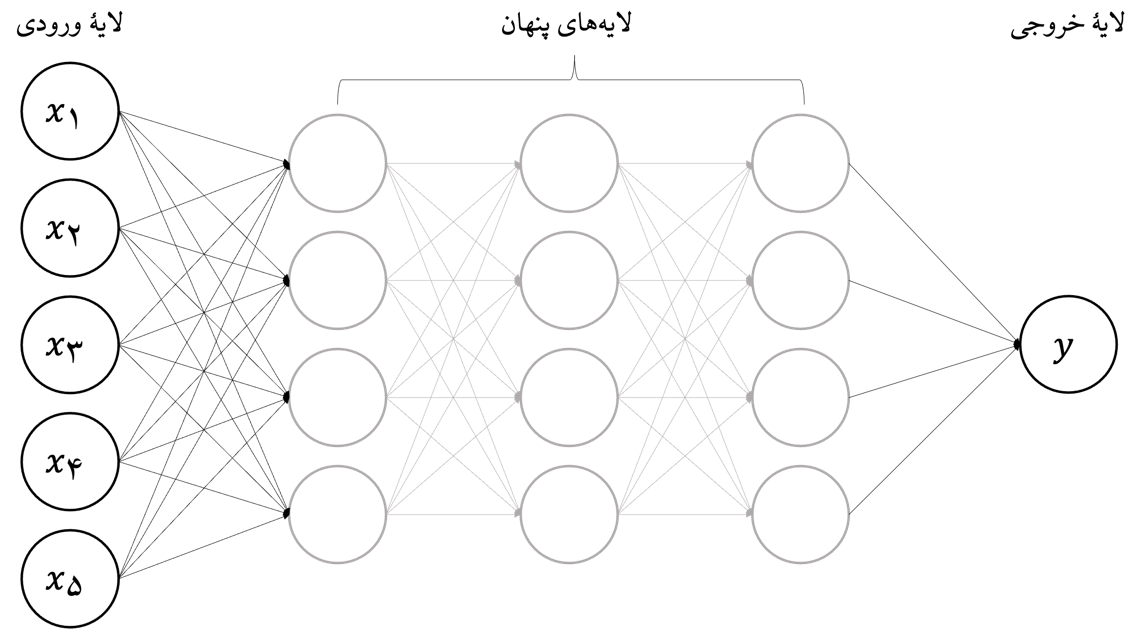
در نگاه اول به نظر می‌رسد که مدل‌های یادگیری ماشین می‌توانند از پسِ مدل‌سازی چنین سیستم‌هایی بربیایند. هر چند که ادبیات بحث در دنیای آکادمیک، نسبتا عمیق است اما با گذشت چند دهه، هنوز از این روش‌ها در صنعت مالی برای پیش‌بینی به صورت گسترده استفاده نمی‌شود. دو مشکل اساسی در این راه وجود دارد: ۱) بازارهای مالی قابل پیش‌بینی نیستند (حداقل در بلندمدت و به طور پیوسته) و ۲) این مدل‌ها برای سری‌های زمانی کارایی بیشتری نسبت به مدل‌های کلاسیک و ساده‌تر ندارند. با این حال، پژوهش‌های بسیاری صورت گرفته که ادعا می‌کنند توانسته‌اند به کمک مدل‌های یادگیری ماشین، دقت پیش‌بینی‌های خود را به طور چشم‌گیری افزایش دهند.

سوالات یا فرضیه‌های پژوهش

* کدام یک از مدل‌های شبکهٔ عصبی در پیش‌بینی روند قیمت سهام کارامد هستند (خطای کم‌تری دارند)؟
* دلیل کارامدی یا ناکارامدی مدل‌های یادشده در سوال پیشین چیست؟
* میزان تاثیرگذاری متغیرهای برون‌زا (قیمت نفت، دلار و ...) بر شاخص بازار بورس چقدر است؟
* آیا الگوهای تکرارشونده در روندهای حرکتی بازار بورس وجود دارد؟

تشریح موضوع

هدف پیش‌بینی، تخمین یک نگاشت از ورودی‌ها به خروجی‌هاست؛ این نگاشت باید در دادهٔ آموزش خطای قابل قبولی کسب کند و قابلیت تعمیم به دادهٔ آزمایش را داشته باشد. به زبان دیگر، هدف اصلی ارائه یک نگاشتِ تخمین به صورت y=f(x;theta) است که بتواند پس از دریافت دادهٔ ورودی x با پارامترهای theta تابع هدف y=f\*(x) را با دقت قابل قبولی مدل کند. یک شبکهٔ عصبی عمیق می‌تواند با مشاهده داده و در یک فرایند یادگیری، مقادیری از پارامترهای theta را انتخاب کند که خطای پیش‌بینی کمینه شود. برای مثال در شبکه‌های عصبی پیش‌خور خروجی‌های هر لایه، ورودی‌های لایهٔ بعد هستند و خروجی نهایی را می‌توان به صورت y = f(f(f(x))) نوشت. ساختار لایه‌ای یک شبکهٔ عصبی پیش‌خور در شکل۲ نمایش داده شده است. ابرپارامترهای این شبکه که باید پیش از آموزش شبکه انتخاب شوند عبارتند از: تعداد لایه‌های پنهان (عمق شبکه)، تعداد واحدها در هر لایه (عرض شبکه)، تابع ترکیب ورودی‌ها و تابع فعال‌سازی هر واحد، تابع هزینه، الگوریتم بهینه‌سازی و ... . در مرحله آموزش نیز، پارامترهای شبکه شامل پارامترهای تابع ترکیب و تابع فعال‌سازی در یک فرایند بهینه‌سازی انتخاب می‌شوند. در فصل ۲ در مورد پایه‌های نظری این شبکه‌ها و در فصل ۳ در مورد نحوهٔ انتخاب ابرپارامترها در عمل، توضیح داده خواهد شد. در این پژوهش، ورودی‌های x شامل وقفه‌های سری زمانی قیمت‌ سهم به همراه متغیرهای کلان مرتبط به بازار بورس و خروجی نهایی پیش‌بینی قیمت سهم در روز آینده است.



قلمرو پژوهش

این پژوهش از منظر موضوعی در حوزهٔ پیش‌بینی سری زمانی بازارهای مالی قرار می‌گیرد و قلمرو مکانی و زمانی آن مربوط به بورس اوراق بهادار تهران در بازهٔ زمانی شهریور ۱۳۹۷ تا شهریور ۱۴۰۱ است.

جامعه و نمونهٔ آماری

جامعهٔ این پژوهش، کلیهٔ شرکت‌های پذیرفته شده در بورس اوراق بهادار تهران و فرابورس ایران در تاریخ مهرماه ۱۴۰۱ هستند. نمونه‌های مورد نظر از این جامعه با این شرایط انتخاب شده‌اند: ۱) در قلمرو زمانی پژوهش، دادهٔ کافی از معاملات سهام‌شان وجود داشته باشد؛ یعنی در اغلب روزهای معاملاتی این بازهٔ زمانی، وضعیت نماد مجاز باشد و ۲) معاملات نماد، دارای حجم مناسبی باشد. پس از اعمال این شرایط، از میان ۷۲۲ سهم، 150 سهم انتخاب شدند. محاسبات مربوط به انتخاب این نمونه، در بخش ۳ آورده شده است.

منبع، روش و ابزار گردآوری داده

دادهٔ مربوط به قیمت سهام و شاخص بازار بورس توسط بستهٔ finpy\_tse از وبسایت شرکت بورس اوراق بهادار تهران و فرابورس ایران دریافت شد. دادهٔ متغیرهای کلان نظیر قیمت دلار، تورم، نرخ بدون ریسک و ... نیز از وبسایت بورس‌ویو متعلق به شرکت داده‌پرداز پویا از هلدینگ مفید دریافت شد.

روش تحقیق

ابتدا برای یافتن الگوهای تکرارشونده در روندهای حرکتی بازار بورس، به کمک فیلتر باکستر-کینگ (1999) مولفهٔ چرخه‌ای سری زمانی شاخص کل بازار بورس تهران استخراج می‌شود (آزمون معنادار بودن این چرخه‌ها؟). جهت محاسبه تاثیر متغیرهای برون‌زا، ماتریس همبستگی متقاطع مولفهٔ چرخه‌ای این متغیرها با سری شاخص کل بازار بورس تهران به ازای تاخیرهای مختلف محاسبه می‌شود تا روابط پیش‌رو-پس‌رو متغیرهای موجود معین شود و آزمون معناداری برای همبستگی‌ها اجرا می‌شود. در نهایت، از متغیرهای تاثیرگذار به عنوان ورودی‌ مدل‌های شبکه عصبی استفاده می‌شود.

در این پایان‌نامه، تمرکز بر مقایسه کارایی مدل‌های مختلف شبکه‌های عصبی عمیق در پیش‌بینی سری زمانی شاخص کل بازار بورس تهران و قیمت سهام است. مدل‌هایی که در این مقایسه به کار رفته‌اند از این قرارند: پرسپترون چندلایه، شبکه‌ٔعصبی پیچشی، شبکهٔ عصبی بازگشتی ساده، شبکه‌های حافظهٔ طولانی کوتاه-مدت، شبکهٔ عصبی با واحدهای بازگشتی دروازه‌ای، شبکهٔ عصبی ترنسفورمر و یک مدل یادگیری گروهی که متشکل از مدل‌های قبلی است. پیش‌بینی همهٔ سری زمانی‌های نمونه، توسط این هفت مدل صورت می‌گیرد و خطای هر کدام در دادهٔ آموزش محاسبه می‌شود؛ این خطا، معیار مقایسه این مدل‌ها خواهد بود. روش‌های متفاوتی برای برآورد این میزان خطا وجود دارد؛ برای مقایسه خطای مدل‌های مختلف به پیشنهاد هایندمن و کوهلر (2006) از خطای میانگین مطلق مقیاس‌شده استفاده شده است؛ هر چند مقادیر روش‌های دیگر برآورد خطا شامل خطای میانگین مربعات، خطای میانگین قدر مطلق‌ها و خطای درصد میانگین قدر مطلق‌های متقارن نیز گزارش می‌شود. هم‌چنین سعی می‌شود تا سری‌های زمانی خارج از نمونهٔ اولیه نیز به کمک مدل یادگیری گروهی پیش‌بینی شوند تا دقت این مدل در انتقال روابط یادگرفته‌شده بر پیش‌بینی قیمت دیگر سهام بازار سنجیده شود. در نهایت نیز، تحلیلی از نتایج به دست آمده ارائه می‌شود و در مورد کارایی یا عدم کارایی این مدل‌ها در پیش‌بینی سری‌های زمانی بازارهای مالی سخن می‌رود.

ساختار پژوهش

بخش اول، در مقام مقدمه، به انگیزه‌ها و سوالات اصلی این پژوهش می‌پردازد و بر آن است تا موضوع مورد تحقیق و دغدغهٔ اصلی پژوهش را در ذهن خواننده روشن نماید. در بخش دوم، سعی می‌شود تا ادبیات بحث مرور شوند و پایه‌های نظری موضوعات مرتبط توضیح داده شوند؛ مشخصا در این بخش، پس از مرور تاریخ‌چه پیش‌بینی در و استفاده از مدل‌های یادگیری ماشین و یادگیری عمیق در پیش‌بینی بازارهای مالی، به معرفی مدل‌هایی که در این پایان‌نامه استفاده شده‌اند پرداخته می‌شود.

بخش سوم، جزئیات روش تحقیق و پیش‌نیازهای آن را به تفصیل بیان می‌کند. در مورد نحوه دریافت داده، شیوه پاک‌سازی و اعتبار آن‌ها سخن می‌رود. در مرحلهٔ پاک‌سازی داده تلاش می‌شود تا برای آموزش شبکه‌های عصبی آماده شوند. نحوه آموزش و ارزیابی نتایج و انتخاب مدل بهینه در هر مدل مرحله به مرحله توضیح داده می‌شود. ابزاری که در هر گام مورد استفاده قرار گرفته نیز به اجمال معرفی می‌شود.

در بخش چهارم، نتایج عملی مدل‌سازی‌های بخش قبل مورد بررسی قرار می‌گیرد. مشاهده می‌شود که کم‌خطاترین روش یادگیری ماشین، هم‌چنان در ۶۰ درصد شبیه‌سازی‌ها از مدل پیش‌بینی ساده خطای بیشتری دارد. از طرفی، کم‌خطاترین مدل آماری توانسته در ۵۷ درصد شبیه‌سازی‌ها نتایج بهتری نسب به مدل پیش‌بینی ساده ارائه دهد.

در بخش پنجم، پس از ارائهٔ خلاصه‌ای از یافته‌ها، به نتیجه‌گیری تحقیق می‌پردازد. به نظر می‌رسد که مدل‌های مورد بحث، نمی‌توانند در امر پیش‌بینی سری زمانی بازارهای مالی کارآمد باشند. هم‌چنین سعی شده تا محدودیت‌های این پژوهش به اجمال بیان شوند. در پایان نیز پیشنهادهایی برای پژوهش‌های بیشتر ارائه شده است.

مراجع

1. Baxter, M., & King, R. G. (1999). Measuring Business Cycles: Approximate Band-Pass Filters for Economic Time Series. *The Review of Economics and Statistics*, *81*(4), 575–593.
2. Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). *Deep learning*. The MIT Press.
3. Hyndman, R. J., & Koehler, A. B. (2006). Another look at measures of forecast accuracy. *International Journal of Forecasting*, *22*(4), 679–688. https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2006.03.001
4. Rob J Hyndman & George Athanasopoulos. (2022). *Forecasting: Principles and Practice (3rd ed)*. OTexts.com/fpp3