

## ارایه مدل پیش‌بینی سقوط قیمت سهام در بورس اوراق بهادار تهران با استفاده از الگوریتم‌های فرآبتكاری و شبکه عصبی مصنوعی

رضا داعی<sup>۱</sup>، سعید شیرکووند<sup>۲\*</sup>، علی جمالی نیشابور<sup>۳</sup>

۱- استاد، گروه بازارها و نهادهای مالی، دانشکده مدیریت، دانشگاه تهران، تهران، ایران

۲- استادیار، گروه مدیریت مالی، دانشکده مدیریت، دانشگاه تهران، تهران، ایران

۳- دانشجوی دکتری مالی، دانشکده مدیریت، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

رسید مقاله: ۱۴۰۳ مهر ۲

پذیرش مقاله: ۱۴۰۳ دی ۱۲

### چکیده

سقوط‌های ناگهانی بازار سهام همواره یکی از بزرگ‌ترین چالش‌های سرمایه‌گذاران بوده است. در این مطالعه با هدف بهبود مدل‌های پیش‌بینی ریزش قیمت در بازار سهام تهران، از ترکیب الگوریتم‌های فرآبتكاری و شبکه عصبی مصنوعی استفاده شده است. برای انجام پژوهش، تحقیقات و ادبیات موجود پیرامون عوامل تاثیرگذار بر نوسانات قیمت مورد بررسی جامع قرار گرفته و در مرحله بعد، به دلیل تعدد متغیرها در طی دوره زمانی نسبتاً طولانی داده‌های مورد مطالعه و با هدف بهینه‌سازی فرآیند تحلیل، از الگوریتم‌های فرآبتكاری استفاده شد. به کمک این الگوریتم‌ها که شامل ۱۰ روش "کلونی مورچگان"، "په‌نوردی"، "لاس و گاس"، "نهنگ"، "تبرید شیوه‌سازی شده"، "الگوریتم ژنتیک"، "جستجوی منوعه"، "حرکت تجمعی ذرات"، "زنبور عسل" و "کرم شب‌تاب" هستند، تعداد متغیرهای موجود کاهش یافت و عوامل با تاثیرگذاری بالا انتخاب شدند. از برآیند الگوریتم‌های فرآبتكاری ۵ متغیر "بازده حقوق صاحبان سهام"، "نسبت بدھی"، "نسبت جریان نقد سهامداران به درآمد"، "چولگی منفی بازده سهام" و "لگاریتم فروش" انتخاب شدند. توجه به پنج متغیر مذکور برای فعالان اقتصادی و سرمایه‌گذاران از اهمیت بالایی برخوردار است؛ این متغیرها به عنوان شاخص‌های کلیدی در تحلیل وضعیت مالی و عملکرد شرکت‌ها عمل می‌کنند و می‌توانند به شناسایی ریسک‌های بالقوه کمک کنند. داده‌های مورد نیاز از پایگاه‌های اطلاعاتی بورس اوراق بهادار تهران در بازه زمانی ۱۳۸۰ تا ۱۴۰۰ گردآوری شده و شامل اطلاعات مالی شرکت‌های پذیرفته شده در بورس است. نتایج تحقیق نشان می‌دهند فرآیند ارایه شده در پژوهش به طور مطلوبی توانایی پیش‌بینی سقوط قیمت سهام را دارد.

**کلمات کلیدی:** سقوط قیمت سهام، الگوریتم‌های فرآبتكاری، شبکه عصبی مصنوعی، بورس اوراق بهادار.

\* عهده‌دار مکاتبات

آدرس الکترونیکی: alijamali.ny@gmail.com

## ۱ مقدمه

در دنیای پیچیده و پویای امروز، پیش‌بینی آینده به یک ضرورت حیاتی تبدیل شده است. تغییرات سریع و غیرقابل انتظار محیط کسب و کار، تصمیم‌گیران را بر آن داشته است تا با استفاده از داده‌ها و تحلیل‌های دقیق، آینده را پیش‌بینی کنند. از این رو، ابزارهای این حوزه نه تنها برای کسب مزیت رقابتی، بلکه برای بقای سازمان‌ها و افراد نیز ضروری هستند. با تخمین دقیق روندهای آتی، می‌توان تصمیمات استراتژیک بهتری اتخاذ کرد و در نتیجه، ریسک‌ها را کاهش داد و از فرصت‌های جدید بهره‌مند شد. با این حال، یکی از بزرگ‌ترین چالش‌ها در این زمینه، پیش‌بینی رویدادهای غیرمنتظره و نوسانات شدید بازار است؛ رویدادهایی که می‌توانند به سرعت بر اقتصاد و سرمایه‌گذاری‌ها تاثیر گذاشته و خسارات هنگفتی به بار آورند.

سقوط‌های ناگهانی و شدید قیمت سهام، به ویژه پس از بحران مالی ۲۰۰۸، به یکی از چالش‌های اصلی بازارهای مالی تبدیل شده است. این رویدادها که اغلب به صورت کاهش شدید و غیرمنتظره بازده سهام تعریف می‌شوند، با وجود عدم وقوع شوک‌های اقتصادی گسترده، به طور مکرر رخ داده و منجر به زیان‌های هنگفت سرمایه‌گذاران شده‌اند [۱]. ویژگی‌هایی همچون چولگی منفی در توزیع بازده و ماهیت واگیردار نشان از پیچیدگی و تاثیر‌گذاری عمیق این پدیده بر بازارهای مالی دارد [۲]. به همین دلیل، شناسایی عوامل موثر بر این رویدادها و توسعه مدل‌های پیش‌بینی دقیق برای کاهش ریسک سرمایه‌گذاری از اهمیت بالایی برخوردار است.

پژوهشگران متعددی به منظور درک عمیق‌تر از مکانیزم‌های بازار و رفتار سرمایه‌گذاران، به بررسی دلایل ریزش‌های ناگهانی قیمت سهام پرداخته‌اند. نظریاتی همچون اثر اهرمی، نوسانات معکوس، حباب‌های قیمتی و تفاوت عقاید از جمله مهم‌ترین عوامل شناسایی شده در این زمینه هستند [۳]. با این حال، علی‌رغم اهمیت این رویداد، مطالعات اندکی به بررسی امکان پیش‌بینی دقیق آن اختصاص یافته است. پژوهش حاضر با هدف تکمیل مطالعات پیشین، به دنبال ارایه مدلی برای پیش‌بینی سقوط قیمت سهام است. در این پژوهش، با استفاده از الگوریتم‌های فرآیندکاری و با بهره‌گیری از مدل‌های یادگیری قدرتمند، یعنی شبکه‌های عصبی مصنوعی تلاش می‌شود تا با در نظر گرفتن عوامل موثر بر ریزش‌های ناگهانی قیمت سهام که از تحقیقات گذشته استخراج شده است، به ساخت مدلی دقیق‌تر دست یافت.

ترکیب شبکه‌های عصبی مصنوعی و الگوریتم‌های فرآیندکاری برای پیش‌بینی سقوط قیمت سهام دارای مزایای قابل توجهی است که می‌تواند به بهبود دقت و کارایی مدل‌های پیش‌بینی کمک کند. الگوریتم‌های فرآیندکاری به شناسایی و انتخاب موثرترین متغیرها از میان داده‌های پیچیده کمک می‌کنند، که این امر به کاهش ابعاد داده‌ها و افزایش دقت شبکه‌های عصبی منجر می‌شود. این ترکیب امکان مدل‌سازی روابط غیرخطی بین متغیرها را فراهم می‌آورد، که به ویژه در شرایط ناپایدار بازار کارایی بیشتری دارد. همچنین، استفاده از الگوریتم‌های فرآیندکاری می‌تواند زمان محاسباتی را کاهش دهد و فرآیند جستجو برای بهترین ترکیب متغیرها را تسربیح کند. به علاوه، شبکه‌های عصبی با توانایی یادگیری از الگوهای پیچیده در داده‌ها، می‌توانند پیش‌بینی‌های دقیق‌تری ارایه دهند. در نهایت، این رویکرد انعطاف‌پذیری بالایی دارد و قادر است با تغییرات محیطی سازگار شود، که این ویژگی در بازارهای مالی پرنوسان امروزی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

با توجه به افزایش روزافزون حجم داده‌ها و پیچیدگی‌های موجود در تحلیل آن‌ها، نیاز به ابزارهای دقیق و کارآمد برای شناسایی عوامل موثر بر نوسانات قیمت بیش از پیش احساس می‌شود. این تحقیق با بررسی جامع ادبیات موجود و تحلیل داده‌های تاریخی (۴۰ متغیر) از سال ۱۳۸۰ تا ۱۴۰۰، سعی دارد تا با استفاده از ده الگوریتم فرآبتكاری مختلف شامل "کلونی مورچگان"، "تپه نوردی"، "لاس و گاس"، "نهنگ"، "تبرید شیوه‌سازی شده"، "الگوریتم ژنتیک"، "جستجوی ممنوعه"، "حرکت تجمعی ذرات"، "زنبور عسل" و "کرم شب تاب"، متغیرهای کلیدی را شناسایی کرده و دقت پیش‌بینی را افزایش دهد.

## ۲ مبانی نظری و پیشینه پژوهش

به طور کلی در ادبیات برای سقوط قیمت سهام ویژگی‌های مختلفی عنوان شده است: اول آنکه یک تغییر بسیار بزرگ و غیرمعمول در قیمت سهام است که بدون وقوع یک حادثه مهم اقتصادی رخ می‌دهد [۴]. این تغییرات بسیار بزرگ هستند و یک چولگی منفی ایجاد می‌کنند که در نهایت منجر به نوسان بیشتر در بازده منفی می‌شود. همچنین سقوط قیمت سهام یک پدیده واگیردار در سطح بازار است، بدین معنی که کاهش قیمت سهام تنها به یک سهام خاص منحصر نمی‌شود بلکه تعداد زیادی از سهام موجود در بازار را شامل می‌شود [۳]. هر یک از ویژگی‌های ذکر شده در مجموعه‌ای از حقایق تجربی، مستدل ریشه دارد. علاوه بر این ویژگی‌ها در پژوهش‌های مختلف به طور معمول چهار مدل برای اندازه‌گیری و تشخیص سقوط قیمت سهام در نظر گرفته شده است. این مدل‌ها شامل دوره سقوط، چولگی منفی بازده سهام، سیگمای حداکثری و نوسان پایین به بالا هستند.

بر اساس نتایج پژوهش‌های [۴-۶] دوره سقوط به دوره‌ای گفته می‌شود که طی آن بازده ماهانه خاص شرکت حداقل به اندازه ضریبی از انحراف معیار کمتر از میانگین بازده ماهانه خاص آن شرکت باشد. پژوهشگران چولگی منفی بازده سهام شرکت را مقدمه‌ای بر سقوط قیمت سهام می‌دانند و معتقدند که نشانه‌های سقوط قیمت سهام را می‌توان از شش ماه قبل با در نظر گرفتن چولگی منفی بازده سهام مشخص نمود، در این مدل شرکت‌هایی با چولگی منفی بازده سهام با احتمال بالاتری در آینده دچار سقوط قیمت سهام می‌شوند [۳]. همچنین می‌توان مدل سیگمای حداکثری را به عنوان یک معیار کمی و پیوسته برای اندازه گیری احتمال سقوط قیمت سهام در نظر گرفت. این مدل بازده‌های پرت را با توجه به انحراف معیار یک شرکت خاص در نظر می‌گیرد [۵]. در مدل نوسان پایین به بالا، نوسانات نامتقارن بازده را کنترل می‌شود. میزان بالاتر این معیار چولگی چپ بیشتری را نشان می‌دهد و معادل سقوط قیمت سهام در نظر گرفته می‌شود [۳].

بررسی پیشینه پژوهش می‌بین آن است که از میان مدل‌هایی که برای تعیین سقوط قیمت سهام مطرح شده، صرفاً مدل دوره سقوط به کشف یا تعیین زمان سقوط قیمت سهام می‌پردازد. از این رو در این تحقیق از این مدل استفاده شده است و در ادامه به تشریح آن پرداخته می‌شود.

در این پژوهش ریزش سهام به عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته شده است و به منظور اندازه گیری این موضوع، مطابق تحقیقات قبلی "سقوط قیمتی هفتگی" را در یک سال مالی برای یک شرکت، زمانی در نظر

می‌گیریم که آن شرکت بازدهی هفتگی به میزان ضربی از انحراف معیار را کمتر از میانگین بازده هفتگی خاص شرکت برای کل سال مالی را تعجبه کند [۸-۷].

بازده هفتگی خاص یک شرکت نیز که با  $W$  در رابطه زیر نمایش داده شده است برابر است با لگاریتم طبیعی عدد یک به علاوه باقیمانده‌ای که از رابطه (۲) محاسبه می‌شود:

$$W_{j,\tau} = \ln(1 + \varepsilon_{j,\tau}) \quad (1)$$

$$r_{j,\tau} = a_j + B_1 r_{m,\tau-2} + B_2 r_{m,\tau-1} + B_3 r_{m,\tau} + B_4 r_{m,\tau+1} + B_5 r_{m,\tau+2} + \varepsilon_{j,\tau} \quad (2)$$

در فرمول فوق  $r_{j,\tau}$  بازده سهام شرکت  $j$  در هفته  $\tau$  و  $r_m$  برابر با بازده بازار (بر اساس شاخص بازار) است.

در این محاسبات بازده چند هفته قبل و بعد با این هدف استفاده شده است تا نشان داده شود که بازده یک سهم در یک دوره‌ی خاص چگونه تغییر می‌کند، و روند بازده آن چگونه است. بنابراین چنانچه  $W$  بازده سهام در حداقل یک هفته از سال کمتر از ضربی از انحراف معیار میانگین بازده هفتگی خاص شرکت برای کل سال مالی باشد، در آن صورت خواهیم گفت آن شرکت دچار سقوط قیمت شده است. بازار سرمایه ایران به دلیل عوامل مختلفی مانند تحریم‌ها، نوسانات نرخ ارز و سیاست‌گذاری‌های مداوم و ناپایدار، اغلب با نوسانات شدیدی همراه است و به دلیل وجود ویژگی‌هایی چون دامنه نوسان و حجم مبنای نیازمند در نظر گرفتن ضربی مختص به خود است. انتخاب ضریب باید به گونه‌ای باشد که تنها کاهش‌های قیمت قابل توجهی که به طور محسوسی از میانگین فاصله دارند، به عنوان ریزش در نظر گرفته شوند. در این پژوهش با رویکردی مبتنی بر تجزیه و تحلیل و با استفاده از آزمون و خطای، ضریب مذکور معادل ۲ تعریف شده است. انتخاب ضرایب کوچکتر منجر به شناسایی نوسات غیرمعنادار به عنوان ریزش و انتخاب ضرایب بزرگتر باعث می‌شود حتی نوسانات بسیار جدی به عنوان ریزش قیمت سهم در نظر گرفته نشود.

تغییرات ناگهانی و شدید سهام در سال‌های اخیر مورد توجه سیاری از دانشگاهیان و افراد حرفه‌ای بوده است. این تغییرات، به دو صورت ریزش و جهش قیمت سهام رخ می‌دهد. با توجه به اهمیتی که بازده سهام برای سرمایه‌گذاران دارد، پدیده‌ی ریزش سهام که منجر به کاهش شدید بازده می‌شود، در مقایسه با جهش، بیشتر مورد توجه پژوهش گران قرار گرفته است. در ادامه بخشی از این مطالعات به اختصار از نظر گذرانده می‌شود:

چن و همکاران در سال ۲۰۰۱ [۳] به پیش‌بینی سقوط قیمت سهام با استفاده از حجم معاملات و بازده‌های قبلی پرداختند. نتیجه این مطالعه نشان داد چولگی منفی بیشتر در سهام‌هایی که اولاً در شش ماه گذشته، افزایش در حجم معاملات را داشته باشند و دوماً در سی و شش ماه قبل، بازده مثبت داشته باشد بیشتر مشاهده می‌شود. عبدالی و حسینی در سال ۲۰۱۳ [۹] به بررسی تأثیر مدیریت نقدینگی بر کاهش خطر سقوط قیمت سهام پرداختند. از جمله نتایج این پژوهش می‌توان به ارایه شواهدی بر احتمال بالای تأثیر مدیریت نقدینگی بر کاهش قیمت سهام اشاره کرد.

دانگ و همکاران (۲۰۱۶) [۱۰] نشان دادند قیمت سهام شرکت‌های با نسبت بالای بدھی کوتاه مدت تمایل کمتری به کاهش شدید دارند؛ به عبارت دیگر سرسید بدھی بر ریسک سقوط سهام تأثیر معکوس دارد.

دیانتی و همکاران در سال ۱۳۹۱ [۱۱] نشان دادند مدیریت سرمایه در گردن احتمال کاهش قیمت سهام را به صورتی معنادار کاهش می‌دهد.

احمدپور و همکاران در سال ۱۳۹۳ [۱۲] به بررسی تاثیر ویژگی‌های شرکت بر ریسک سقوط قیمت سهام شرکت‌های بورس پذیرفته شده در اوراق بهادر تهران پرداختند. متغیرهای بازده دارایی‌ها، اندازه شرکت، نسبت ارزش بازار به ارزش دفتری، حقوق صاحبان سهام و نسبت کیوتوبین با ریسک سقوط قیمت سهام در شرکتها پذیرفته شده در بورس اوراق بهادر تهران رابطه منفی معناداری دارد؛ اما دو متغیر بازده حقوق صاحبان سهام و اهرم مالی رابطه معناداری با ریسک سقوط قیمت سهام ندارند.

حقانی‌فر در سال ۱۳۹۴ [۱۳] به مطالعه تاثیر شاخص‌های بنیادی سهام بر ریسک سقوط آتی قیمت سهام در بازار سرمایه ایران پرداخت. این تحقیق نشان داد بین شاخص‌های بازده واقعی سالانه سهام، ریسک سیستماتیک و ریسک سقوط آتی قیمت سهام رابطه معناداری وجود دارد، اما بین نسبت قیمت به سود هر سهم، میانگین بازده واقعی سهام سال قبل و ریسک سقوط آتی قیمت سهام رابطه معناداری وجود ندارد.

در ادامه به ترتیب به مبانی نظری متغیرهای تاثیرگذار بر سقوط قیمت سهام، الگوریتم‌های فرابتکاری و شبکه عصبی مصنوعی پرداخته خواهد شد.

#### - متغیرهای مالی تاثیرگذار بر سقوط قیمت سهام

سقوط قیمت سهام تحت تاثیر عوامل متعددی از جمله عملکرد مالی شرکت، از قبیل وضعیت نقدینگی، سودآوری و ساختار بدھی قرار دارد. در جدول ۱، به برخی از متغیرهای متدالوں مورد استفاده در مطالعات پیشین و بعضی از منابعی که از این اطلاعات جهت پیش‌بینی سقوط یا جهت تشخیص روند قیمت سهام استفاده کرده‌اند، اشاره شده است. با توجه به حجم بالای متغیرها و پیچیدگی محاسبات مربوط به آن‌ها، انتخاب بهینه متغیرها امری ضروری است. بدین منظور، در این پژوهش از الگوریتم‌های فرابتکاری برای انتخاب موثرترین متغیرها و توسعه مدل‌های پیش‌بینی چابک‌تر استفاده شده است. در بخش بعدی، به تشریح ادبیات و مبانی نظری الگوریتم‌های فرابتکاری پرداخته می‌شود.

### ۲-۲ انتخاب ویژگی‌ها بر مبنای الگوریتم‌های فرابتکاری

با پیچیده‌تر شدن مسایل دنیای واقعی، روش‌های سنتی بهینه‌سازی به مرزهای توانایی خود رسیدند. این روش‌ها غالب به شرایط خاصی مانند پیوستگی و مشتق‌پذیری نیاز داشتند و در بسیاری از موارد، در دام بهینه محلی گرفتار می‌شدند. علاوه بر این، زمان حل مسایل با افزایش ابعاد مساله به شدت افزایش می‌یافتد. برای غلبه بر این محدودیت‌ها، الگوریتم‌های فرابتکاری به عنوان ابزارهای قدرتمندی ظهور کردند. این الگوریتم‌ها با الهام از پدیده‌های طبیعی مانند تکامل، رفتار مورچه‌ها یا پرندگان، روشی انعطاف‌پذیر و کارآمد برای حل مسایل بهینه‌سازی پیچیده ارایه می‌دهند.

در اغلب این الگوریتم‌ها، جست وجو با ایجاد تعدادی (در بعضی الگوریتم‌ها یک جواب) جواب تصادفی در محدوده‌ی مجاز متغیرهای تصمیم (متغیرهای کنترل) شروع می‌شود. این مجموعه جواب در هریک از

الگوریتم‌ها نام‌هایی مانند جمعیت، کلونی، گروه و... دارند. همچنین به هریک از جواب‌ها به تنها یی، اسمی مانند کروموزوم، مورچه، ذره و ... تخصیص می‌یابد. سپس با عملگرها یی (عموماً متکی بر مولد عدد تصادفی) مجموعه ای جواب جدید تولید می‌شود.

#### جدول ۱. متغیرهای تاثیرگذار بر ریزش قیمت سهام که به صورت متواتر در ادبیات تحقیق مورد استفاده قرار گرفته‌اند

ردیف	متغیر	منابع	ردیف	متغیر	منابع
۱	حاشیه سود خالص	[۱۴] دنگ و همکاران (۲۰۲۲)	۲۱	نسبت جریان نقد سهامداران به درآمد	طاهری و همکاران (۲۰۲۲) [۲۴]
۲	حاشیه سود عملیاتی	[۱۵] شن و همکاران (۲۰۲۳)	۲۲	نسبت جریان نقد سهامداران به سود خالص	طاهری و همکاران (۲۰۲۲) [۲۴]
۳	حاشیه سود قبل از مالیات	[۱۶] بهزادی و همکاران (۲۰۲۳)	۲۳	نسبت مخارج سرمایه ای به درآمد	خوشکار و همکاران (۲۰۲۱) [۲۵]
۴	حاشیه سود خالص	[۱۷] پریجانتو و همکاران (۲۰۲۱)	۲۴	نسبت مخارج سرمایه ای به سود خالص	خوشکار و همکاران (۲۰۲۱) [۲۵]
۵	بازده دارایی‌ها	[۱۶] بهزادی و همکاران (۲۰۲۳)	۲۵	نسبت وجه نقد عملیاتی به درآمد	طاهری و همکاران (۲۰۲۲) [۲۴]
۶	بازده حقوق صاحبان سهام	[۱۶] بهزادی و همکاران (۲۰۲۳)	۲۶	نسبت وجه نقد عملیاتی به جمع بدھی‌ها	طاهری و همکاران (۲۰۲۲) [۲۴]
۷	نسبت سود قبل از بهره و مالیات به دارایی	[۱۶] بهزادی و همکاران (۲۰۲۳)	۲۷	میانگین سالانه بازده هفتگی بازار	حقانی فر و همکاران (۲۰۱۵) [۲۶]
۸	گردش دارایی‌ها	[۱۸] مشاوری و همکاران (۲۰۱۸)	۲۸	میانگین سالانه بازده هفتگی سهام	حقانی فر و همکاران (۲۰۱۵) [۲۶]
۹	گردش دارایی‌های ثابت	عبداللهزاده و همکاران [۱۹] (۲۰۱۸)	۲۹	میانگین سالانه بازده خاص هفتگی	حقانی فر و همکاران (۲۰۱۵) [۲۶]
۱۰	جمع بدھی‌ها به حقوق صاحبان سهام	[۲۰] پنیگیسه و همکاران (۲۰۲۲)	۳۰	چوگانگی منفی بازده سهام	هاشمی و همکاران (۲۰۱۵) [۲۷]
۱۱	نسبت بدھی	[۲۱] دنگ و همکاران (۲۰۱۸)	۳۱	نسبت ارزش بازار به ارزش دفتری	بهزادی و همکاران (۲۰۲۳) [۲۸]
۱۲	نسبت بدھی‌های کوتاه مدت	[۲۱] دنگ و همکاران (۲۰۱۸)	۳۲	لگاریتم فروش	پوربیوفت و همکاران (۲۰۲۳) [۲۸]
۱۳	نسبت بدھی‌های بلند مدت	[۲۱] دنگ و همکاران (۲۰۱۸)	۳۳	نسبت قیمت به سود هر سهم	بهزادی و همکاران (۲۰۲۳) [۲۸]
۱۴	نسبت سود ابانته به دارایی‌ها	[۱۶] بهزادی و همکاران (۲۰۲۳)	۳۴	نسبت کیبو توین	احمدپور و همکاران (۲۰۱۵) [۲۹]
۱۵	نسبت پوشش هزینه بهره	[۲۲] آرکان (۲۰۱۶)	۳۵	نسبت قیمت به فروش	دیاتی و همکاران (۲۰۱۵) [۳۰]
۱۶	نسبت جاری	[۲۲] وین و همکاران (۲۰۲۴)	۳۶	ارزش بنگاه	فراهانی و همکاران (۲۰۱۹) [۳۱]
۱۷	نسبت آتی	[۲۲] وین و همکاران (۲۰۲۴)	۳۷	ارزش دفتری	فراهانی و همکاران (۲۰۱۹) [۳۱]
۱۸	نسبت نقد	[۲۲] وین و همکاران (۲۰۲۴)	۳۸	وجه نقد عملیاتی	طاهری و همکاران (۲۰۲۲) [۲۴]
۱۹	نسبت وجه نقد آزاد شرکت به درآمد	طاهری و همکاران (۲۰۲۲) [۲۴]	۳۹	وجه نقد آزاد شرکت	طاهری و همکاران (۲۰۲۲) [۲۴]
۲۰	نسبت وجه نقد آزاد شرکت به سود خالص	طاهری و همکاران (۲۰۲۲) [۲۴]	۴۰	وجه نقد آزاد سهامداران	طاهری و همکاران (۲۰۲۲) [۲۴]

در الگوریتم‌های فرآبتكاری، فرآیند جستجوی جواب بهینه به صورت تکرارشونده‌ای انجام می‌شود. در هر تکرار، الگوریتم با استفاده از عملگرها مختلف، جواب‌های جدیدی تولید می‌کند و سپس با مکانیزمی هوشمندانه، بهترین این جواب‌ها را برای ایجاد نسل بعدی انتخاب می‌کند. این فرآیند انتخاب، که گاهی "تبه گرینی" نامیده می‌شود، به الگوریتم اجازه می‌دهد تا به تدریج به سمت جواب بهینه تر حرکت کند. در واقع، الگوریتم با تمرکز بر جواب‌های با کیفیت تر و حذف جواب‌های ضعیف تر، به صورت تدریجی به جوابی نزدیک به بهینه می‌رسد. این فرآیند تکراری تا رسیدن به یک شرط توقف از پیش تعیین شده ادامه می‌یابد.

## جدول ۲. الگوریتم‌های فرآبتكاری و مزایای هریک از آنها

الگوریتم	مبتكران	سال ارائه	مزایا
کلونی مورچگان [۳۲]	مارک دورنگو	۱۹۹۲	همگرایی تضمین شده به جواب بینه و مناسب جهت استفاده در کاربردهای پویا که در آنها نیاز به انطباق سریع با تغییرات محیطی ضروری است.
تپه‌نوردی	---	---	ارایه راه حل مطلوب در زمان معقول و مناسب از ویژگی‌های این الگوریتم است و برای استفاده در مسابله که متغیرها فضایی گسترده و محدودیت‌های فراوان دارند مناسب است.
لاس و گاس [۳۳]	لازلو بابای	۱۹۷۹	از رویکرد احتمالی استفاده می‌کند که منجر به خروج از دام‌های محلی و رسیدن به جواب‌های مطلوب تر سراسری می‌شود.
نهنگ [۳۴]	علی جلالان	۲۰۱۶	الگوریتم جدید که به دلیل استفاده از مکانیزم‌های محاصره هدف و چرخش اطراف آن با توانایی بسیار بالا برای یافتن جواب دارد.
تبریدشیوه‌سازی شده [۳۵]	کر کاتریک	۱۹۸۳	دارای مفاهیم نظری ساده و قابل فهم و در عین حال اثربخش در حل مسابله بهینه‌سازی در فضاهای جستجوی بزرگ است.
الگوریتم ژنتیک	---	---	مزایای معمد از جمله جست‌وجوی موارزی، قابلیت حل پیچیده با بعد بالا و چندوجهی، اختلال بالای کشف جواب‌های کمیت بسیار بالا
جستجوی ممنوعه [۳۶]	گلودر	۱۹۸۶	الگوریتم یک لیست از حرکات با نقاط ممنوعه می‌سازد تا در جستجوهای بعدی، دیگر آن حرکات را انجام ندهد و از این طریق از بینه‌ی محلی خارج شود.
حرکت تجمعی ذرات [۳۷]	کنده و ابرهات	۱۹۹۱	الگوریتم دارای حافظه است به گونه‌ای که داشت راه حل‌های خوب توسط همه ذرات حفظ می‌شود و هر ذره از اطلاعات گذشته خود سود می‌برد.
زنبور عسل [۴۹]	کارابوگا	۲۰۰۵	قابلیت موارزی سازی و سرعت همگرایی مناسب آن در اغلب مسابله که باعث می‌شود در زمان نسبتاً کوتاهی به جواب‌های بینه نزدیک شود.
کرم شبتاب [۴۰]	یانگ	۲۰۰۸	انعطاف پذیری بالا در حل مسابله پیوسته و گستره و قابلیت خروج از دام‌های محلی و رسیدن به جواب‌های مطلوب تر سراسری

در جدول ۲ تعدادی از الگوریتم فرآبتكاری شامل کلونی مورچگان، تپه‌نوردی، لاس و گاس، نهنگ، تبرید شبیه‌سازی شده، ژنتیک، جست‌وجوی ممنوعه، حرکت تجمعی ذرات، زنبور عسل و کرم شبتاب و مزیت استفاده از هریک از آنها شرح داده شده است.

### ۳-۲ آزمون پیش‌بینی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی

شبکه عصبی مصنوعی، الگویی الهام گرفته از مغز انسان است که برای یادگیری و حل مسابله پیچیده طراحی شده است. این شبکه‌ها از واحدهای پردازشی به نام نورون تشکیل شده‌اند که به هم متصل هستند و با هم تعامل می‌کنند. هر نورون اطلاعات را دریافت کرده، پردازش می‌کند و به نورون‌های دیگر ارسال می‌کند. قدرت یادگیری شبکه عصبی در توانایی آن در تنظیم قدرت ارتباطات بین نورون‌ها، یا همان وزن‌ها، نهفته است. این تنظیم وزن‌ها به شبکه اجازه می‌دهد تا الگوها را در داده‌ها شناسایی کند و پیش‌بینی‌های دقیق انجام دهد.

روش اصلی آموزش شبکه‌های عصبی، الگوریتم پس انتشار خطا است. در این الگوریتم، ابتدا یک تابع خطای تعریف می‌شود که تفاوت بین خروجی مورد انتظار شبکه و خروجی واقعی را اندازه‌گیری می‌کند. سپس، با استفاده از یک روش بهینه‌سازی، وزن‌های شبکه به گونه‌ای تنظیم می‌شوند که مقدار این تابع خطای حداقل برسد. این فرآیند به صورت پس انتشار خطا از لایه خروجی به لایه‌های قبلی انجام می‌شود. به عبارت دیگر، خطا در هر لایه محاسبه شده و سپس برای تنظیم وزن‌های آن لایه استفاده می‌شود. با تکرار این فرآیند، شبکه به تدریج به یک مدل دقیق برای حل مساله مورد نظر تبدیل می‌شود.

### ۳ روش‌شناسی پژوهش

در فاز اول، با مرور ادبیات و همچنین استفاده از اطلاعات کتابخانه‌ای متغیرهای تاثیرگذار بر سقوط قیمت سهام استخراج و داده‌های مربوط به آنها جمع‌آوری شده است. در فاز دوم، متغیرهای مورد بحث به صورت بهینه انتخاب می‌شوند. برای انتخاب متغیرها از الگوریتم‌های فرابتکاری استفاده شده است. خروجی این فاز، مدل‌هایی خواهد بود که بر اساس داده‌های آموزش بهینه شده‌اند و آماده هستند پس از پیش‌بینی سقوط قیمت سهام (فاز سوم) با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی، اعتبارسنجی شوند.



شکل ۱. مراحل انجام پژوهش و تکوین مدل پیش‌بینی ریزش قیمت سهام

در ابتدای این پژوهش، با انجام یک مطالعه گسترده بر روی ادبیات تخصصی و بهره‌گیری از منابع کتابخانه‌ای، به شناسایی متغیرهای کلیدی موثر بر پدیده سقوط قیمت سهام پرداخته شد. این متغیرها که بر اساس پژوهش‌های پیشین و نظریه‌های مرتبط انتخاب شدند، شامل عوامل اقتصادی و مالی هستند. با توجه به کمبودهای موجود در پایگاه‌های آماری کشور سعی شده است تا از حداقل متغیرهایی که اطلاعات مربوط به آنها موجود و قابل اندازه‌گیری است که شامل ۴۰ متغیر هستند استفاده شود (جدول ۱). پس از شناسایی متغیرها، اقدام به جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز از منابع معتبر مانند پایگاه‌های داده بورس اوراق بهادار، گزارش‌های مالی شرکت‌ها و سایر پایگاه‌های اطلاعاتی مرتبط گردید.

سپس، از میان مجموعه گسترده‌ای از متغیرهای شناسایی شده، متغیرهای موثرتر و مرتبط‌تر با پدیده سقوط قیمت سهام انتخاب شدند. به این منظور، از الگوریتم‌های فرابتکاری پیشرفته‌ای استفاده شد که قادر به جستجوی بهینه در فضای وسیع ترکیبات مختلف متغیرها هستند. این الگوریتم‌ها شامل ۱۰ روش "کلونی مورچگان"، "تپه‌نوردی"، "لاس و گاس"، "نهنگ"، "تبرید شیوه‌سازی شده"، "الگوریتم ژنتیک"، "جستجوی ممنوعه"، "حرکت تجمعی ذرات"، "زنبور عسل" و "کرم شب تاب" هستند و با ارزیابی عملکرد مدل‌های مختلف بر اساس داده‌های آموزشی، بهترین ترکیب از متغیرها را شناسایی می‌کنند. سعی شده است از تنوع بالایی از الگوریتم‌های فرابتکاری استفاده شود تا از مزیت‌های برتر همه آنها استفاده شود (جدول ۲). خروجی این فاز، مجموعه‌ای از مدل‌های اوایله است که بر اساس داده‌های تاریخی آموزش دیده‌اند و توانایی پیش‌بینی سقوط قیمت سهام را دارند. در این تحقیق متغیرهایی که توسط حداقل ۴ الگوریتم فرابتکاری مورد استفاده

برگزیده شوند جهت پیش‌بینی ریسک سقوط سهام وارد شبکه عصبی مصنوعی شدند. با توجه به مطالعات پیشین پژوهش تعداد لایه‌های مخفی شبکه عصبی برابر با ۳ و به ترتیب هر لایه با ۴ و ۳ نورون در نظر گرفته شده است. در مرحله بعد، از شبکه‌های عصبی مصنوعی به عنوان یک ابزار قدرتمند دیگر برای مدل‌سازی پیش‌بینی سقوط قیمت سهام استفاده شد. با توجه به مطالعات پیشین پژوهش تعداد لایه‌های مخفی شبکه عصبی برابر با ۳ و به ترتیب هر لایه با ۴ و ۳ نورون در نظر گرفته شده است. جهت آموزش شبکه عصبی مصنوعی به صورت رندوم از ۷۰ درصد داده‌ها استفاده می‌شود و جهت آزمون دقت پیش‌بینی نیز از ۳۰ درصد باقی‌مانده متغیرها استفاده می‌شود.

#### ۴ تحلیل داده‌ها و یافته‌ها

جهت انجام پژوهش، اطلاعات مربوط به از ۱۵۰ شرکت بورس اوراق بهادار تهران طی دوره زمانی ۱۴۰۰-۱۳۸۰ استخراج و با استفاده از آن متغیرهای جدول ۱ (۴۰ متغیر) محاسبه شدند. اطلاعات این متغیرها از پایگاه‌های رسمی سازمان بورس و اوراق بهادار کشور استخراج شده است.

**جدول ۳** مشخصات داده‌های مورد استفاده در پژوهش

شرح	مشخصات
۱۵۰	تعداد شرکت‌ها
۱۴۰۰-۱۳۸۰	دوره زمانی
۴۰	تعداد متغیرهای مستقل
یک متغیر	نوع متغیرهای وابسته

با توجه به تعداد بالای متغیرها در طی دوره زمانی نسبتاً طولانی تحقیق، با هدف تکوین مدل‌های بهینه و انتخاب متغیرهای مرتبط‌تر از الگوریتم‌های فرالبتکاری استفاده شد. در جداول ۴ نتایج مربوط به انتخاب متغیرها توسط این الگوریتم‌های فرالبتکاری نمایش داده شده است؛ در این جداول سقوط قیمتی هفتگی را در یک سال مالی برای یک شرکت، زمانی در نظر می‌گیریم که آن شرکت بازدهی هفتگی معادل ۲ برابر انحراف معیار زیر میانگین بازده هفتگی خاص شرکت برای کل سال مالی را تجربه کند. رنگ سبز و عدد یک نمایانگر انتخاب متغیر توسط الگوریتم فرالبتکاری مربوطه است و رنگ قرمز و عدد صفر نشان‌دهنده عدم انتخاب متغیر توسط الگوریتم فرالبتکاری است. در سطر برآیند (سطر آخر) اعداد نشان‌دهنده این موضوع هستند که هر متغیر (ستون) توسط چه تعداد الگوریتم فرالبتکاری (سطر) انتخاب شده‌اند. این سطر توسط طیفی از سبز تا قرمز رنگ‌بندی شده است و متغیرهایی که توسط تعداد بیشتری از الگوریتم‌های فرالبتکاری انتخاب شده‌اند به رنگ سبز نزدیک‌تر هستند.

**جدول ۴.** نتایج مربوط به انتخاب متغیرها توسط الگوریتم‌های فراباتکاری با در نظر گرفتن ضریب ۲ برای سقوط قیمت سهام

متغير/الگوریتم	± STD)									
	نسبة مشارک	نسبة موظفین	نسبة مدیران	نسبة مدیر عامل	نسبة مدیر اجراء	نسبة مدیر امور مالیاتی				
کلیفی سروچگان	۱	۱	۱	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۰
تبیین توزیعی	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰
آنس و گاس	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
پنهانگ	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
تبرید تبیه‌سازی شده	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
الگوریتم رفتاریک	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
چستیوگی منوعه	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
حرکت تعیینی ذات	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
زیبور عسل	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
کرم زنب تاب	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
پرآیند	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰

در مرحله بعد متغیرهایی که توسط حداقل ۸ الگوریتم فراباتکاری مورد استفاده برگزیده شوند جهت پیش‌بینی ریسک سقوط سهام وارد شبکه عصبی مصنوعی شدند. جهت آموزش شبکه عصبی مصنوعی به صورت رندوم از ۷۰ درصد داده‌ها استفاده می‌شود و جهت آزمون دقت پیش‌بینی نیز از ۳۰ درصد باقی مانده متغیرها استفاده می‌شود. جهت تخمین دقیق‌تر قدرت پیش‌بینی شبکه عصبی مصنوعی فرآیند آموزش و تست ۱۰ بار تکرار می‌شود. در جدول ذیل نتایج این بخش نمایش داده شده است:

**جدول ۵.** نتایج مربوط به پیش‌بینی سقوط سهام با شبکه عصبی مصنوعی با در نظر گرفتن ضریب ۲ برای سقوط قیمت سهام

خطر عدم سقوط	خطر سقوط	کل	شرح
۲۳۴	۳۰۵	۵۳۹	تعداد پیش‌بینی صحیح
۱۴۴	۴۸	۱۹۲	تعداد پیش‌بینی نادرست
۳۷۸	۳۵۳	۷۳۱	کل

بنابراین دقت مدل ارایه شده معادل ۷۴ درصد است (نسبت ۵۳۹ پیش‌بینی صحیح از تعداد کل ۷۳۱ پیش‌بینی). با توجه به اینکه از برآیند الگوریتم‌های فراباتکاری ۵ متغیر "بازده حقوق صاحبان سهام"، "نسبت بدھی"، "نسبت جریان نقد سهامداران به درآمد"، "چولگی منفی بازده سهام" و "الگاریتم فروش" انتخاب شده‌اند، جهت آزمون نتایج به صورت تصادفی ۵ متغیر انتخاب و شبکه عصبی مصنوعی اجرا شده است. این آزمون ۳۰۰ بار تکرار شده است. نتایج میانگین این نتایج در جدول زیر نمایش داده است (اعداد اعشاری گرد شده‌اند):

**جدول ۶.** نتایج مربوط به میانگین پیش‌بینی سقوط سهام با شبکه عصبی مصنوعی با در نظر گرفتن متغیرهای تصادفی، تعداد تکرار ۱۰۰۰ بار

خطر عدم سقوط	خطر سقوط	کل	شرح
۲۰۷	۲۹۰	۴۹۷	تعداد پیش‌بینی صحیح
۱۵۹	۷۵	۲۳۴	تعداد پیش‌بینی نادرست
۳۶۶	۳۶۵	۷۳۱	کل

بنابراین دقت پیش‌بینی نتایج صحیح در حالت استفاده از متغیرهای تصادفی معادل معاذل ۶۷ درصد است (نسبت ۴۹٪ پیش‌بینی صحیح از تعداد کل ۷۳۱ پیش‌بینی).

## ۵ بحث و نتیجه‌گیری

مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که ترکیب هوشمندانه الگوریتم‌های فراابتکاری برای کاهش ابعاد مدل و انتخاب بهینه‌ترین ساختار، در کنار بهره‌گیری از روش‌های نوین یادگیری ماشین، می‌تواند به نتایج بسیار امیدبخشی در پیش‌بینی سقوط قیمت سهام منجر شود. با استفاده از این رویکرد ترکیبی، امکان توسعه مدل‌هایی فراهم می‌شود که قادرند الگوهای پیچیده و نهفته در داده‌های بازار را شناسایی کرده و با دقت بالایی وقوع رویدادهای ناگهانی و شدید کاهش قیمت را پیش‌بینی کنند.

یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که مدل‌های توسعه یافته قادرند با استفاده از اطلاعات در دسترس، پیش‌بینی‌های مطلوبی از ریسک سقوط قیمت سهام ارایه دهند. این تحقیق نشان داد که استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری برای انتخاب ویژگی‌ها، به کاهش ابعاد داده‌ها و بهبود عملکرد شبکه‌های عصبی کمک کرده و در نتیجه، به شناسایی الگوهای پیچیده و غیرخطی در نوسانات بازار کمک می‌کند. همچنین، این ترکیب به تحلیل دقیق‌تری از عوامل موثر بر سقوط قیمت سهام منجر شده و انعطاف‌پذیری بالایی در مواجهه با تغییرات ناگهانی بازار ارایه می‌دهد. این امر به سرمایه‌گذاران، تحلیلگران مالی و تصمیم‌گیران اقتصادی امکان می‌دهد تا با آگاهی از احتمال وقوع چنین رویدادهایی، استراتژی‌های سرمایه‌گذاری خود را بهینه‌سازی کرده و ریسک پرتفوی خود را کاهش دهند.

این تحقیق از جوانب مختلف، دارای مزیت‌هایی نسبت به مقالات مشابه است. تنوع الگوریتم‌های فراابتکاری مورد استفاده شامل "کلونی مورچگان"، "په نوردی"، "الس و گاس"، "نهنگ"، "تبرید شبیه‌سازی شده"، "الگوریتم ژنتیک"، "جستجوی ممنوعه"، "حرکت تجمعی ذرات"، "زنبور عسل" و "کرم شب تاب" به بهینه‌سازی فرآیند انتخاب متغیرها و افزایش دقت پیش‌بینی کمک کرده است. جامعیت و حجم بالای داده‌های مورد استفاده از پایگاه‌های اطلاعاتی بورس اوراق بهادار تهران در بازه زمانی ۱۳۸۰ تا ۱۴۰۰، اعتبار نتایج تحقیق را افزایش می‌دهد. ترکیب الگوریتم‌های فراابتکاری با شبکه‌های عصبی مصنوعی، رویکردی نوآورانه در پیش‌بینی نوسانات بازار سهام ارایه می‌دهد و به شناسایی و انتخاب موثرترین متغیرهای تأثیرگذار بر سقوط قیمت سهام پرداخته است.

از برآیند الگوریتم‌های فراابتکاری ۵ متغیر "بازده حقوق صاحبان سهام"، "نسبت بدھی"، "نسبت جریان نقد سهامداران به درآمد"، "چولگی منفی بازده سهام" و "لگاریتم فروش" انتخاب شدند. بازده حقوق صاحبان سهام (ROE) به عنوان یک شاخص کلیدی از سودآوری و کارایی شرکت در تولید سود از سرمایه‌گذاری‌های سهامداران شناخته می‌شود. ROE بالا معمولاً با ریسک سقوط کمتر مرتبط است، زیرا نشان‌دهنده سلامت مالی قوی و شیوه‌های مدیریت مؤثر است. تحقیقات نشان داده‌اند که شرکت‌هایی با ROE بالاتر تمایل دارند احتمال

کمتری برای سقوط قیمت سهام داشته باشد، زیرا قادرند به شوک‌های بازار و وحشت سرمایه‌گذاران بهتر پاسخ دهند [۳۰]. این رابطه اهمیت معیارهای سودآوری را در ارزیابی ریسک کاهش ناگهانی قیمت‌ها تاکید می‌کند. نسبت بدھی متغیر مهم دیگری است که بر ثبات قیمت سهام تأثیر می‌گذارد. نسبت بدھی بالاتر نشان‌دهنده احتمالی بیشتر است که می‌تواند هم بازده‌های بالقوه و هم ریسک‌ها را افزایش دهد. مطالعات نشان داده‌اند که شرکت‌هایی با نسبت بدھی کوتاه‌مدت بالا کمتر احتمال دارد که کاهش شدید قیمت‌ها را تجربه کنند، که نشان می‌دهد ساختار سررسید بدھی نقش مهمی در کاهش ریسک سقوط دارد [۴۱]. این یافته با این مفهوم همخوانی دارد که مدیریت موثر نقدینگی می‌تواند در برابر نوسانات بازار محافظت کند و به این ترتیب احتمال سقوط قیمت سهام را کاهش دهد.

نسبت جریان نقد به درآمد به عنوان معیاری از نقدینگی و کارایی عملیاتی شرکت عمل می‌کند. موقعیت قوی جریان نقد نسبت به درآمد می‌تواند در دوران رکود اقتصادی یک حائل ایجاد کند و بدین ترتیب ریسک سقوط قیمت سهام را کاهش دهد. شرکت‌هایی که نسبت‌های جریان نقد سالمی را حفظ می‌کنند معمولاً بهتر قادر به مدیریت هزینه‌های غیرمنتظره و نوسانات بازار هستند، که می‌تواند به تثبیت قیمت سهام آن‌ها کمک کند. این رابطه اهمیت مدیریت نقدینگی را در حفاظت از بحران‌های مالی نشان می‌دهد.

چولگی منفی بازده سهام ویژگی‌ای است که معمولاً در توزیع بازده‌های سهام مشاهده می‌شود، به ویژه در دوره‌های تنفس بازار. چولگی منفی نشان‌دهنده احتمال بالاتر بازده‌های منفی شدید است که می‌تواند منجر به سقوط قیمت سهام شود. وجود چولگی منفی در توزیع بازده‌ها به عنوان ویژگی قابل توجهی از سقوط‌های بازار شناخته شده است و نشان می‌دهد که ادراکات سرمایه‌گذاران از ریسک می‌تواند به طور قابل توجهی بر دینامیک بازار تاثیر بگذارد.

در نهایت، لگاریتم فروش می‌تواند به عنوان نماینده‌ای برای اندازه شرکت و حضور آن در بازار عمل کند. شرکت‌های بزرگ‌تر با حجم فروش بالاتر ممکن است به دلیل تنوع منابع درآمدی و موقعیت‌های مستحکم بازار، ثبات بیشتری در قیمت سهام خود نشان دهند. بر عکس، شرکت‌های کوچک‌تر ممکن است به دلیل وابستگی به منابع درآمد محدودتر و نوسانات بیشتر در فروش، بیشتر در معرض سقوط قرار گیرند. تبدیل داده‌های فروش به لگاریتم می‌تواند توزیع را نرمال کرده و بینش‌های واضح‌تری درباره رابطه بین اندازه شرکت و ریسک سقوط ارایه دهد.

در نتیجه، تعامل بین ROE، نسبت بدھی، نسبت جریان نقد به درآمد، چولگی منفی بازده سهام و لگاریتم فروش تاثیر قابل توجهی بر احتمال سقوط قیمت سهام دارد. در ک این متغیرها می‌تواند مدل‌های پیش‌بینی را تقویت کرده و استراتژی‌های سرمایه‌گذاری را برای کاهش ریسک در بازارهای پر نوسان اطلاع‌رسانی کند.

توجه به پنج متغیر مذکور برای فعالان اقتصادی و سرمایه‌گذاران از اهمیت بالایی برخوردار است؛ این متغیرها به عنوان شاخص‌های کلیدی در تحلیل وضعیت مالی و عملکرد شرکت‌ها عمل می‌کنند و می‌توانند به شناسایی ریسک‌های بالقوه کمک کنند. برای سرمایه‌گذاران، در ک ارتباط بین این متغیرها و نوسانات قیمت سهام می‌تواند منجر به اتخاذ تصمیمات آگاهانه‌تری در زمینه سرمایه‌گذاری شود و ریسک‌های ناشی از سقوط

ناگهانی قیمت‌ها را کاهش دهد به عنوان مثال، تحلیل ROE به سرمایه‌گذاران این امکان را می‌دهد که شرکت‌های با سودآوری بالا و پایداری مالی را شناسایی کنند که احتمال سقوط قیمت سهام در آن‌ها کمتر است. همچنین، بررسی نسبت بدھی می‌تواند به درک بهتر از ریسک‌های مالی شرکت‌ها کمک کند؛ شرکت‌هایی با نسبت بدھی پایین‌تر معمولاً در برابر نوسانات بازار مقاوم‌تر هستند. همچنین، فعالان اقتصادی می‌توانند با نظارت بر این متغیرها، استراتژی‌های مدیریتی مؤثرتری را طراحی کرده و از فرصت‌های موجود در بازار بهره‌برداری کنند. نسبت جریان نقد به درآمد نیز می‌تواند به سرمایه‌گذاران نشان دهد که آیا یک شرکت قادر است در شرایط اقتصادی دشوار نقدینگی کافی برای پوشش هزینه‌ها را حفظ کند یا خیر. چولگی منفی بازده سهام می‌تواند سیگنالی از ریسک‌های بالقوه باشد و سرمایه‌گذاران می‌توانند با توجه به این متغیر، از سرمایه‌گذاری در شرکت‌هایی که احتمال سقوط قیمت در آن‌ها بالاست، اجتناب کنند.

در مجموع اهمیت این پژوهش در آن است که با ارایه یک چارچوب جامع و مؤثر برای پیش‌بینی سقوط قیمت سهام، به بهبود تصمیم‌گیری در بازارهای مالی کمک می‌کند. نتایج این تحقیق می‌تواند به عنوان ابزاری برای شناسایی فرصت‌های سرمایه‌گذاری، مدیریت ریسک سیستماتیک و کاهش زیان‌های ناشی از نوسانات شدید بازار به کار گرفته شود.

طراحی سیستم‌های هشداردهنده مبتنی بر الگوریتم‌های یادگیری ماشین که می‌توانند به سرمایه‌گذاران در شناسایی زودهنگام خطرات سقوط قیمت کمک کنند، می‌تواند به عنوان یکی از موضوعات مطالعاتی آتی در نظر گرفته شود. همچنین انجام مطالعات مقایسه‌ای بین الگوریتم‌های فراابتکاری مختلف برای شناسایی بهترین روش‌ها در پیش‌بینی سقوط قیمت سهام و بهینه‌سازی انتخاب متغیرها از دیگر موضوعاتی است که می‌تواند مد نظر قرار بگیرد. علاوه بر این، تحلیل رفتار سرمایه‌گذاران و تاثیر روانشناسی بازار بر تصمیم‌گیری‌های مالی می‌تواند ابعاد جدیدی به مطالعه سقوط قیمت سهام اضافه کند.

## منابع

- [1] Luo, Y., & Zhang, C. (2020). Economic Policy Uncertainty and Stock Price Crash Risk. *Research in International Business and Finance*, 51, 101112.
- [2] McLean, R.D., and J. Pontiff. 2016. Does academic research destroy stock return predictability? *The Journal of Finance* 71 (1), 5-32.
- [3] Chen, Joseph, Hong, Harrison and Stein, Jeremy, (2001), Forecasting crashes: trading volume, past returns, and conditional skewness in stock prices, *Journal of Financial Economics*, 61, issue 3, p. 345-381.
- [4] Hutton, A. P., Marcus, A. J. & Tehrani, H. (2009). Opaque financial reports, R2, and crash risk. *Journal of Financial Economics*, 94(1), 67-86
- [5] Bradshaw, M. T., Hutton, A. P., Marcus, A. J. & Tehrani, H. (2010). Opacity, crashes, and the option smirk curve. *SSRN elibrary*, 1-41.
- [6] Callen, J. L. & Fang, X. (2013). Institutional investor stability and crash risk: Monitoring or expropriation? *Journal of Banking & Finance*, 37(8), 3047- 3063.
- [7] Kim, J. B., Zhang, L., 2010. Does accounting conservatism reduce stock price crash risk? Available at: ([www.ssrn.com](http://www.ssrn.com)).
- [8] Hutton, A.P., Marcus, A.J., Tehrani, H., (2009). Opaque financial reports, R2, and crash risk. *Journal of Financial Economics*, 94, 67-86.

- [9] Abdi, Mohamad, Hosseini, & Maqsood (2013). The Effect of Liquidity Management on Reducing the Stock Price Crash Risk. International Research Journal of Applied and Basic Sciences (6) 333-338.
- [10] Dang, V.A., Lee, E., Liu, Y., & Zeng, C.H. (2016). Does debt maturity affect stock price crash risk? [www.ssrn.com](http://www.ssrn.com).
- [11] Dianati, Z., Moradizadeh, M., & Mahmoodi, S. (2012). The impact of institutional investors on reducing the risk of stock price decline. Investment Knowledge, 1(2), 1-18. (In Persian)
- [12] Ahmadpour, A., Zare Behnamiri, M. J., & Heidari Rastami, K. (2014). The impact of firm characteristics on the risk of stock price decline (companies listed on the Tehran Stock Exchange). *The Securities Market*, 7(28), 29-45. (In Persian)
- [13] Haghani Far, A., Shamakhi, H., & Hajji, G. A. (2015). The impact of investment criteria on the future stock price crash risk in the Iranian capital market. International Conference on New Research in Management, Economics, and Accounting. (In Persian)
- [14] Deng, S., Zhu, Y., Duan, S., Fu, Z., & Liu, Z. (2022). Stock Price Crash Warning in the Chinese Security Market Using a Machine Learning-Based Method and Financial Indicators. Systems, 10(4), 108.
- [15] Shen, D., Meng, Y., & Xiong, X. (2023). When stock price crash risk meets fundamentals. Research in International Business and Finance, 65, 101975.
- [16] Behzadi, N., Jabbarzadeh Kangarloe, S., Bahri Sales, J., & Badavar Nahandi, Y. (2023). Presenting a model for the effective factors on the stock price crash risk. International Journal of Nonlinear Analysis and Applications, 14(4), 221-246.
- [17] Prijanto, B., Pulung, R. F., & Sari, A. R. (2021). The Influence of Net Profit Margin On Stock Price with Earnings Per Share (Eps) As Moderating Variables: The Case Study On Food and Beverage Sub Sector Companies Listed On the Indonesia Stock Exchange from 2015 to 2019. Journal of Economics, Finance and Accounting Studies, 3(2), 74-80.
- [18] Mashuri, A. C., & Prabowo, T. J. W. (2021). The influence of financial constraints and stock price crash risk through firm's profitability on the infrastructure, utilities, and transportation sector listed in idx before and during covid-19 pandemic. Diponegoro Journal of Accounting, 10(4).
- [19] Abdolahzadeh, L., & Hanifi, F. (2021). Providing a Model for Forecasting the Stock Price Crash Risk in Tehran Stock Exchange on the basis of EXTR-SIGMA & NCSKEW. International Journal of Finance & Managerial Accounting, 6(20), 27-38.
- [20] Ningsih, N., & Ferdiansah, M. I. (2022). The Influence of Debt-to-Equity Ratio and Earnings per Share on Share Price in Food and Beverage Sub-Sector Companies Listed on the Indonesia Stock Exchange (IDX) Year 2014-2020. Journal of Economics, Finance and Accounting Studies, 4(4), 159-167.
- [21] Dang, V. A., Lee, E., Liu, Y., & Zeng, C. (2018). Corporate debt maturity and stock price crash risk. European Financial Management, 24(3), 451-484.
- [22] Arkan, T. (2016). The importance of financial ratios in predicting stock price trends: A case study in emerging markets. Finanse, Rynki Finansowe, Ubezpieczenia, (79), 13-26.
- [23] Nguyen, H. T., & Nguyen, H. T. N. (2024). Stock price crash risk, liquidity and institutional blockholders: evidence from Vietnam. Journal of Economics and Development.
- [24] Taheri, M., & Hadadi, N. (2022). The effect of free cash flows on stock crash risk with focused on the role of earnings smoothing. Journal of Financial Management Perspective, 12(40), 29-48.
- [25] Khoshkar, F., Peyro, D., & Rasafijani, A. (2021). The impact of state ownership on the relationship between stock price crash risk and capital cost. Accounting and Management Outlook, 4(52), 136-148.
- [26] Haghani Far, Ana, Shomakhi, Hamid Reza, & Haji, Gholam Ali. (2015). The impact of fundamental stock indicators on the future stock price crash risk in the Iranian capital market. The Second International Conference on Management in the 21st Century, Tehran.
- [27] Hashemi, Seyed Abbas, Amiri, Hadi, & Tavakoli, Maryam. (2018). The impact of profitability skewness on stock return prediction: A case study of companies listed on the Tehran Stock Exchange. Journal of Financial Accounting Research, 10(3), 69-86.
- [28] Pouryousef, Azam, & Saqafi, Mehdi. (2023). Conservative capital structure and future stock price crash risk: The moderating role of information asymmetry and life cycle. Financial Management Strategy, 11(4), 119-146.
- [29] Ahmadpour, A., Zareh, M. Heidari, k. (2015). Investigating the Effect of Companie's Characteristics on Share Price Crash Risk (Companies listed in Tehran Stock Exchange), Journal of Securities Exchange, 7(28), 29. [magiran.com/p1419397](http://magiran.com/p1419397).

- [30] Dianati Deilami, Z., Lotfi, M., & Azadbakhsh, K. (2012). The Effect of Working Capital Management on Reducing the Stock Price Crash Risk (Case Study: Companies Listed in Tehran Stock Exchange). *Journal of Management Accounting and Auditing Knowledge*, 55-64.
- [31] Farahani, Milad. (2022). Forecasting Tehran Price Index (TEPIX) Using Novel Meta-Heuristic Algorithms.
- [32] M. Dorigo, Optimization, Learning and Natural Algorithms, PhD thesis, Politecnico di Milano, Italy, 1992.
- [33] László Babai (1979). "Monte-Carlo algorithms in graph isomorphism testing". Université de Montréal Technical Report, DMS 79-10, p. 42.
- [34] Mirjalili, S., & Lewis, A. (2016). The Whale Optimization Algorithm. *Advances in Engineering Software*, 95, 51-67.
- [35] Kirkpatrick, S., Gelatt, Jr., C.D. and Vecchi, M.P. (1983) Optimization by Simulated Annealing. *Science*, 220, 671- 680.
- [36] Glover F., Future paths for integer programming and links to artificial intelligence, *Computers and Operations Research*, 1986, 13, pp. 533–549.
- [37] Eberhart, R.C., & Kennedy, J. (1995). A new optimizer using particle swarm theory. In Proceedings of the 6th international symposium on micro machine and human science, (Nagoya, Japan) (pp. 39–43).
- [38] Karaboga, D. (2005) An Idea Based on Honey Bee Swarm for Numerical Optimization. Technical Report-TR06, Erciyes University, Engineering Faculty, Department of Computer Engineering.
- [39] ANG Xin-she. Nature-inspired metaheuristic algorithms[M]. Luniver Press, 2008: 83-96.
- [40] Chen, Joseph, Hong, Harrison and Stein, Jeremy, (2001), Forecasting crashes: trading volume, past returns, and conditional skewness in stock prices, *Journal of Financial Economics*, 61, issue 3, p. 345-381.
- [41] Izadkhah, Marjan, Raei, Reza. Falahpor, Saeed. (2023). Investigating the impact of financial distress risk on stock prices crashes. *Financial Engineering and Portfolio Management* ,56, 122-141.
- [42] Akbari, A., Faridi Masouleh, M., Bagheri, A., & Nezamivand Chegini, S. (2023). Empirical mode decomposition and ANFIS network-based prediction technique for financial forecasting. *International Journal of Applied Operational Research-An Open Access Journal*, 11(4), 51-68
- [43] Zarei H, Basiri P, Yousefikhoshbakht M. An Effective Combination of Tabu Search, Elite Ant System and Local Search Algorithms for Solving the Heterogeneous Fixed Fleet Open Vehicle Routing Problem with Time Windows. *jor* 2023; 20 (2) :69-95
- [44] Khadem M, Toloie Eshlaghy A, Fathi Hafshejani K. Presenting a New Meta-Heuristic Algorithm (Qashqai Optimization Algorithm) to Improve the Accuracy of Data Clustering Using the K-Means Method. *jor* 2024; 21 (3), 99-116