

Stress Testing as a Key Tool for Financial Assets Risk Management with Emphasis on Extreme Value Theory and Copula Functions

Alireza Saranj^{1*}, Marziyeh Nourahmadi²

1- Assistant Prof., Department of Financial Management, Faculty of Management and Accounting, Farabi Campus, University of Tehran, Qom, Iran
alisaranj@ut.ac.ir

2- Master of Finance, Department of Financial Management, Faculty of Management and Accounting, Farabi Campus, University of Tehran, Qom, Iran
mnourahmadi@ut.ac.ir

Abstract

Stress testing is a simulation technique to evaluate portfolio reactions to several critical situations. In this paper, we review different stress testing methodologies to examine impacts of different stress scenarios on an Iranian equity portfolio. We identify the extreme tails of all risk factors in our portfolio by extreme value theory and model their dynamic and nonlinear dependence structures with copula functions. We performed three stress tests such as historical, hybrid and hypothetical stress scenarios to simulate the joint evolution of risk factors over time in a realistic way. According to the empirical findings, we find that historical scenario method is not a suitable tool for stress testing due to several drawbacks and show the importance of forward-looking analysis such as hybrid and hypothetical scenarios. We also indicate that the hypothetical stress approach is superior to the other two scenarios from the perspective of stress testing.

Keywords: Stress testing, Value at Risk, Expected Shortfall, Extreme value theory, t Copula, kernel smoothed empirical distribution

آزمون فشار به عنوان ابزار کلیدی مدیریت ریسک دارایی های مالی با تأکید بر نظریه ارزش فرین و توابع کاپیولا

علی رضا سارنج^{۱*}، مرضیه نورا احمدی^۲

۱- استادیار گروه مدیریت مالی، دانشکده مدیریت و حسابداری پردیس فارابی، دانشگاه تهران، قم، ایران
alisaranj@ut.ac.ir

۲- کارشناس ارشد مدیریت مالی، گروه مدیریت مالی، دانشکده مدیریت و حسابداری پردیس فارابی، دانشگاه تهران، قم، ایران
mnourahmadi@ut.ac.ir

چکیده

آزمون فشار فن شبیه سازی برای ارزیابی واکنش های سبد به موقعیت های بحرانی گوناگون است. در این مقاله، با مرور روش های مختلف آزمون های فشار، اثرات سناریوهای مختلف فشار روی سبد سهامی متشکل از سه شاخص قیمت شیمیایی، دارویی و فلزات اساسی در بورس اوراق بهادار تهران ارزیابی شده است. همچنین دنباله های فرین همه عوامل ریسک در سبد با استفاده از نظریه ارزش فرین شناسایی شده است و ساختارهای وابستگی پویا و غیرخطی بین آنها با استفاده از توابع کاپیولا الگوسازی شده است. در این پژوهش سه آزمون فشار شامل سناریوهای فشار تاریخی، هیبریدی و فرضی برای شبیه سازی روند شکل گیری مشترک عوامل ریسک در طی زمان به کار گرفته شده است. نتایج پژوهش نشان می دهد سناریوهای هیبریدی و فرضی نسبت به آزمون فشار کاملاً تاریخی ترجیح دارد؛ زیرا سناریوهای منعطف تری از تکرار صرف رخدادهای گذشته ایجاد می کند. به سناریوهای فرضی بیش از سناریوهای دیگر توجه شده است؛ زیرا امکان ایجاد موقعیت های فشار را با نگاه رو به آینده برای مدیر ریسک فراهم می کند.

واژه های کلیدی: آزمون فشار، ارزش در معرض ریسک، ریزش موردانتظار، نظریه ارزش فرین، کاپیولا، توزیع تجربی هموار شده کرنل

مقدمه

توجه کنند. در برخی موارد این الگوها حتی قادر به در نظر گرفتن پدیده «قوی سپید»^۲ نیز نیستند. آزمون‌های فشار برخلاف فن‌های ارزش در معرض ریسک استاندارد، این مزیت را دارند که قادرند مشخص کنند زیان شناسایی شده به علت کدام یک از اجزای سناریوی فشار رخ داده است [۳۱]؛ بنابراین، طراحی و پیاده‌سازی آزمون‌های فشار مناسب ممکن است به طور چشمگیری به درک منابع و اثرات ریسک‌های مختلف کمک کند. این آزمون‌ها با مشخص کردن نتایج غیرمنتظره ناگوار مربوط به مجموعه وسیعی از ریسک‌ها نشان می‌دهد به چه میزان سرمایه برای جذب زیان‌های بالقوه ناشی از شوک‌ها نیاز است. آزمون فشار ابزاری برای کمک به تعریف ریسک‌پذیری نهاد مالی و تدوین طرح‌های اقتضایی کاهش ریسک برای بسیاری از موقعیت‌های زیر فشار است که تأثیر بالقوه حوادث یا رویدادها را بر مجموعه‌ای از متغیرهای مالی سبب اندازه‌گیری می‌کند [۴۲]؛ بنابراین، آزمون فشار به طور عمده برای تعیین موقعیت‌های بحرانی مناسب است؛ موقعیت‌هایی که روابط «نرمال» بازار شکست می‌خورد و معیارهای VaR و ES گمراه‌کننده می‌شود [۲۷]. اسچورمن^۳ (۲۰۱۴) در مقاله «آزمون فشار بانک‌ها»، چهارچوبی برای آزمون فشار بانک‌ها ارائه می‌کند که چرا آزمون فشار مفید است و چرا در طول بحران مالی اخیر، به ابزاری محبوب برای جامعه نظارتی تبدیل شده است؛ این آزمون چگونه انجام (طراحی و اجرا) می‌شود و در نهایت سطح افشای نتایج آن چگونه باید باشد و آیا باید در مواقع بحران و زمان‌های عادی متفاوت باشد یا خیر. ادبیات اصلی مرتبط با آزمون فشار به سه بخش اصلی تقسیم می‌شود: در بخش اول

طی دو دهه گذشته، رخدادهای فرین در پی بحران‌های مالی زیان‌های چشمگیری برای بسیاری از سرمایه‌گذاران به وجود آورده است. مثال‌هایی از این رخدادهای شامل سقوط سهام در سال ۱۹۸۷، بحران آسیایی و بحران روسیه در سال ۱۹۹۸ و ۱۹۹۷، ترکیدن حساب سهام شرکت‌های دات کام در سال ۲۰۰۰، رکود بزرگ بخش مسکن در سال ۲۰۰۷، ورشکستگی Lehman برادرز در سال ۲۰۰۸ و بحران بدهی اروپایی است. بحران‌های مالی اختلالات مهمی در بازارهای مالی شامل سقوط قیمت‌های سهام، کمبود نقدینگی و کاهش اعتبارات مالی ایجاد کرده است. استفاده از معیارهای مناسب برای اندازه‌گیری ریسک و برآورد آن، اهمیت نظری و عملی زیادی در زمینه مدیریت ریسک در مواقع بحران دارد. در شرایط بحرانی رفتار عوامل ریسک بسیار پیش‌بینی‌ناپذیر می‌شود و رفتار گذشته قادر نیست کمک زیادی به پیش‌بینی رفتار آینده کند؛ به همین دلیل به ابزار دیگری برای اندازه‌گیری ریسک نیازمندیم که «آزمون فشار» نام دارد. آزمون‌های فشار به روش‌شناسی مالی اصلی مدیریت ریسک تبدیل شده است؛ زیرا به نهادهای مالی در درک اثر سناریوهای فشار کمک می‌کند و با استفاده از آنها معیارهای ریسک در شرایط فرین بازار محاسبه‌شدنی است [۵۸، ۴۰]. بحران‌های مالی اخیر محدودیت‌های روش‌های استاندارد ارزش در معرض ریسک را مشخص و برجسته کرده است. برخی پژوهشگران اظهار کرده‌اند که الگوهای مدیریت ریسک استاندارد قادر نیستند به پدیده «قوی سیاه»^۱

۱. قوی سیاه (black swan) استعاره‌ای در مالی و نمادی از ریسک دنباله است که به رخدادهایی با پیامدهای فرین و مهم ولی با احتمال پایین اشاره دارد که هیچ پیشینه تاریخی ندارد.

2. White swan
3. Schuermann

همکاران، ۲۰۱۷ و پاگارتیس^{۲۱} و همکاران، ۲۰۱۷) استفاده می‌شود. همچنین برای محاسبه کفایت سرمایه بانک‌ها (الدومیاتی^{۲۲} و همکاران، ۲۰۱۶) و ارزیابی عملکرد بانک‌ها (دامپوس^{۲۳} و همکاران، ۲۰۱۶) از آزمون فشار استفاده می‌شود. بحران مالی ۲۰۰۹-۲۰۰۷ نشان داد علاوه بر ریسک ناتوانی در پرداخت تعهدات، ریسک نقدینگی و اثرات متقابل بانک‌ها بر هم نیز قادر است زیان‌هایی را برای آنها در دوره فشار ایجاد کند [۷]. آزمون فشار ورودی لازم برای تصمیم‌گیری درباره مسائلی مانند مصون‌سازی، تخصیص سبد و کفایت سرمایه را فراهم می‌کند [۵]. ویرولینن^{۲۴} (۲۰۰۴) با استفاده از اطلاعات مربوط به ورشکستگی بخش خصوصی در سال‌های ۱۹۸۶ تا ۲۰۰۳ الگوی ریسک اعتباری اقتصاد کلان را برای بخش مالی فنلاند تخمین زد. کاپینوس و میتنیک^{۲۵} (۲۰۱۶) روشی ساده و صرفه‌جو برای آزمون فشار بانک‌ها با استفاده از رویکرد بالا به پایین پیشنهاد کرده‌اند که تأثیرات ناهمگن شوک‌های متغیرهای کلان اقتصادی را بر ارزش بازار بانک‌ها اندازه‌گیری می‌کند. رویکرد آنها متکی بر شیوه انتخاب متغیر برای شناسایی محرک‌های کلان اقتصادی متغیرهای بانکداری و نیز عوامل ترازنامه و صورت سود و زیان و استفاده از روش تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی است. الگوهایی که از این آزمون استفاده می‌کنند در حال تکامل است تا بتوانند ویژگی‌های واقع‌بینانه‌تری را در نظر بگیرد. در این پژوهش بر محاسبه آزمون فشار برای ریسک بازار در سطح سبد تمرکز شده است. روش‌های مختلفی از قبیل آزمون فشار تک‌متغیره و چندمتغیره وجود دارد. به دلیل

پژوهشگرانی مانند برکوویتز^۱ (۱۹۹۹)، مجنونوی و همکاران (۲۰۰۱)، بلاشکی^۲ و همکاران (۲۰۰۱)، سورج^۳ (۲۰۰۴) و چیهک^۴ (۲۰۰۷) مفاهیم مرتبط با آزمون فشار را به منزله ابزاری جدید برای مدیریت ریسک مالی ارائه کرده‌اند. بخش دوم ادبیات پژوهش با الگوهای مبتنی بر سناریو برای آزمون فشار سبد مرتبط است؛ برای مثال پژوهش‌های بی^۵ (۲۰۰۱)، کیم و فینگر^۶ (۲۰۰۰)، ارگونز^۷ و همکاران (۲۰۰۱)، بروئر^۸ (۲۰۰۲)، الکساندر و شیدی^۹ (۲۰۰۸)، الکساندر و باپتیستا^{۱۰} (۲۰۰۹)، مک‌نیل و اسمیت^{۱۱} (۲۰۱۲) و بروئر و سیزار^{۱۲} (۲۰۱۳). بخش سوم پژوهش‌ها نیز به دوران بحران مالی ۲۰۰۷-۲۰۰۹ بازمی‌گردد که با توجه به پیامدهای گسترده بحران مالی، پژوهش‌های بیشتری درباره آزمون فشار انجام شده است. در این زمینه باید به پژوهش‌های باس^{۱۳} و همکاران (۲۰۰۸)، الساندري^{۱۴} و همکاران (۲۰۰۹)، آیکمن^{۱۵} و همکاران (۲۰۰۹)، ون دن اند^{۱۶} (۲۰۱۲) و آچاریا^{۱۷} و همکاران (۲۰۱۴) اشاره کرد. از آزمون فشار برای بررسی ریسک‌های مختلف از جمله ریسک بازار (الکساندر و شیدی، ۲۰۰۸ و باسو^{۱۸}، ۲۰۱۱)، ریسک اعتباری (فولگیا^{۱۹}، ۲۰۰۸) و ریسک نقدینگی (ون دن اند، ۲۰۰۹، جابست^{۲۰} و

1. Berkowitz
2. Blaschke
3. Sorge
4. Čihák
5. Bee
6. Kim & Finger
7. Aragonés
8. Breuer
9. Alexander & Sheedy
10. Baptista
11. McNeil & Smith
12. Csiszár
13. Boss
14. Alessandri
15. Aikman
16. Van Den End
17. Acharya
18. Basu
19. Foglia
20. Jobst

21. Pagratis
22. Eldomiaty
23. Doumpos
24. Virolainen
25. Kapinos & Mitnik

شبه پارامتریک با تخمین تجربی هموار کرنل برای مقادیر میانی و دنباله‌های پارامتریک مبتنی بر نظریه ارزش فرین الگوسازی می‌شود. در مرحله سوم، وابستگی غیرخطی با استفاده از کاپیولا الگوسازی می‌شود. پژوهش‌های فراوان نشان داده است فرض وابستگی خطی بازده‌های دارایی به‌طور کلی برقرار نیست؛ به‌طوری که همبستگی‌ها در بازارهای رونق در مقایسه با بازارهای رکودی پایین‌ترند [۵۳، ۲۹، ۲۴، ۲۲]. علاوه بر این، اگر داده‌های مالی توزیع مشترک نرمال داشت، همبستگی‌ها برای رخدادهای فرین باید کاهش می‌یافت. در صورتی که در عمل مشاهده می‌شود در مواقع بحرانی همبستگی‌ها به نزدیک شدن به یکدیگر تمایل دارند. یافته‌های پژوهش‌های انگ^۴ و همکاران (۲۰۰۱) و پتون^۵ (۲۰۰۴) نشان می‌دهد ساختارهای وابستگی غیرخطی، صرفی را در بازار ایجاد می‌کند؛ زیرا سرمایه‌گذاران برای سبدهایی که دارایی‌های آنها در شرایط بد بازار همبستگی بالاتری داشته باشد، بازده موردانتظار بالاتری مطالبه می‌کنند. برای در نظر گرفتن چنین پدیده‌ای، از الگوهای وابستگی غیرخطی کاپیولا استفاده می‌شود که اجازه چنین ساختار وابستگی متغیر مطابق با شرایط بازار را می‌دهد [۲۴]. کولیا^۶ (۲۰۱۶) از الگوی ریسک گارج - کاپیولای نیمه پارامتریک برای الگوسازی سری‌های زمانی بازده با استفاده از رویکرد آزمون فشار استفاده کرد و نشان داد استفاده از طیف گسترده‌ای از الگوهای ریسک سبب نتایج متفاوتی از نظر سناریوهای فشار و تأثیر آنها بر سبد می‌شود؛ بنابراین، استفاده از الگوهای متفاوت و متنوع سبب دستیابی به نتایج مطمئن‌تری از سناریوهای فشار می‌شود و کارایی نتایج آزمون فشار

اینکه آزمون فشار تک‌متغیره وابستگی بین عوامل مختلف ریسک را نادیده می‌گیرد، در این پژوهش از آزمون فشار چندمتغیره استفاده شده است. براساس پژوهش‌های پیشین (برای مثال: مندلبورت^۱، ۱۹۹۷)، سری‌های زمانی مالی براساس مشاهدات تجربی سه حقیقت مسلم دارد. این حقایق شامل موارد خوشه‌بندی نوسان، دنباله پهن و وابستگی غیرخطی است [۵۳]. الکساندر و شیدی (۲۰۰۸)، رویکرد جدیدی برای آزمون فشار در زمینه الگوهای ریسک بازاری ارائه کردند که قادر است هر دو خوشه‌بندی نوسان و دنباله‌های پهن را ترکیب کند و در نظر بگیرد. برچمن^۲ و همکاران (۲۰۱۳) برای بررسی اثرات سرایت پذیر بین نهادهای مالی با استفاده از استخراج ساختار وابستگی روشی را برای آزمون فشار تدوین کردند. روش آنها از کاپیولای ارشمیدسی و واین مشتق شده است. سینگ^۳ و همکاران (۲۰۱۳) نظریه ارزش فرین (EVT) را برای الگوی ریسک بازار فرین برای شاخص عمومی ASX-ALL و شاخص S&P500 آمریکا به کار بردند. آنها نشان دادند EVT قادر است برای سری‌های بازده بازارهای مالی برای پیش‌بینی VaR، CVaR یا ES (ریزش موردانتظار) و محاسبه VaR روزانه با استفاده از الگوی GARCH و EVT مبتنی بر رویکرد پویا، با موفقیت به کار گرفته شود. هدف این پژوهش ارائه روند شکل‌گیری مشترک عوامل ریسک در طی زمان تا حد امکان متناسب با واقعیت است؛ بنابراین، در مرحله اول به خودهمبستگی، خوشه‌بندی نوسان و دنباله‌های پهن سری‌های بازده با الگوسازی عامل ریسک تک‌متغیره با فرایند ARMA-GARCH توجه می‌شود. در مرحله دوم، توزیع خطاها به‌صورت

4. Ang
5. Patton
6. Koliai

1. Mandelbrot
2. Brechmann
3. Sing

فشار دو روش آزمون فشار تک‌متغیره و چندمتغیره وجود دارد. آزمون فشار تک‌متغیره به منزله تجزیه و تحلیل حساسیت نیز شناخته می‌شود و هدف آن شناسایی اثر مجزای زیر فشار قراردادن یا شوک دادن به عامل ریسک سبد است. این تجزیه و تحلیل به طور عمده بدون مرتبط کردن آن شوک‌ها به رخدادهای اساسی یا پیامد واقعی انجام می‌گیرد. اگرچه استفاده از این روش بسیار آسان است، نتایج آن به احتمال زیاد گمراه‌کننده است؛ زیرا آزمون فشار تک‌متغیره وابستگی بین عوامل مختلف ریسک را نادیده می‌گیرد [۲۱]. آزمون‌های فشار چندمتغیره تأثیر تغییرات همزمان در تعدادی از متغیرها را بررسی می‌کند. برخلاف آزمون فشار تک‌متغیره، آزمون فشار چندمتغیره به دلیل اینکه ساختار وابستگی عوامل ریسک را در نظر می‌گیرد، نتایج واقعی‌تری ارائه می‌کند؛ بنابراین، این روش قادر به توصیف تأثیر کلی سناریو به تغییرات عوامل ریسک متعدد است؛ به همین دلیل به این روش تجزیه و تحلیل سناریو نیز می‌گویند [۲۱]. سناریوهای آزمون فشار چندمتغیره ممکن است براساس بحران‌های تاریخی، شرایط فرضی یا سناریوی هیبریدی طراحی شود. در ادامه سناریوی فشار تاریخی معرفی می‌شود:

ایجاد سناریو با استفاده از داده‌های تاریخی احتمالاً شهودی‌ترین رویکرد است؛ زیرا حوادث در واقعیت اتفاق می‌افتد؛ بنابراین، بازتکرار آنها منطقی است. در این روش، دامنه‌ای از تغییرات عامل ریسک مشاهده شده بین یک دوره تاریخی به سبد وارد می‌شود تا به درکی از ریسک آن در صورت تکرار چنین موقعیتی دست یافته شود [۱۴]. سناریوهای بالقوه ممکن است شامل تغییرات قیمتی بزرگ سقوط سهام در سال ۱۹۸۷، بحران مالی آسیا در سال ۱۹۹۷، نوسانات بازار مالی روسیه در سال ۱۹۹۸، ترکیدن حباب سهام فناوری

را افزایش می‌دهد. در این پژوهش از بین‌الگوهای مختلف کاپیولا، از کاپیولای تی‌استیودنت استفاده شده است؛ در واقع، این الگو نسبت به الگوهای تجربی برای بازده‌های مالی چندمتغیره برتری دارد و استفاده از آن در آزمون فشار مناسب‌تر است؛ زیرا امکان افزایش احتمال فرین‌های مشترک را به وسیله کاهش درجه آزادی کاپیولای t به مدیر ریسک می‌دهد [۶۴، ۳۰، ۲۵، ۱۹]؛ بنابراین، در این پژوهش ریسک سبد سهامی با استفاده از سه سناریوی فشار هیبریدی، تاریخی و فرضی با شبیه‌سازی در MATLAB تجزیه و تحلیل شده است و ضمن مقایسه نتایج آنها با سناریوی مبنای بدون فشار، عملکرد و قوت‌ها و ضعف‌های آنها از منظر مدیریت ریسک بیان شده است. این پژوهش در چندین زمینه به ادبیات مدیریت ریسک کمک می‌کند: ۱- اهمیت شناسایی رخدادهای فرین در شکل‌گیری عوامل ریسک با استفاده از نظریه ارزش فرین را نشان می‌دهد و اثر آن را بر توزیع سود و زیان نهایی بررسی می‌کند. ۲- مثال‌هایی روشن را از شیوه سناریوی تاریخی، ضعف‌ها و تناسب‌نداشتن این ابزار در آزمون فشار ارائه می‌کند و نشان می‌دهد تجزیه و تحلیل‌های با نگاه روبه‌جلو همانند سناریوهای هیبریدی و فرضی قادر است این ضعف‌ها را برطرف کند. ۳- یافته‌ها نشان می‌دهد رویکرد فرضی بر دو سناریوی دیگر از منظر مدیریت ریسک برتری دارد. ساختار مقاله در ادامه به صورت زیر است: ابتدا شیوه‌های آزمون فشار توضیح داده می‌شود؛ پس از آن داده‌ها و روش‌شناسی ارائه و نتایج تخمین تفسیر می‌شود. در نهایت نیز بحث و نتایج می‌آید.

مبانی نظری

در این بخش روش‌های اصلی برای طراحی موقعیت‌های فشار به سبد بررسی می‌شود. برای آزمون

می‌کند. برخلاف سناریوی تاریخی، آزمون‌های فشار با سناریوهای فرضی ممکن است درون چهارچوبی پویا با استفاده از توزیع‌های شرطی قرار داده شوند که این کار برای محاسبه معیارهای ریسک بازار بسیار مناسب است [۴۵]. سناریوی فرضی ممکن است برای پیش‌بینی حوادث خاصی توسعه یابد که برای سبد رخ می‌دهد؛ برای مثال پرواز به کیفیت^۲ [۱۴]. براساس نظر بر کویتز (۱۹۹۹) سناریوهای فرضی اجازه شبیه‌سازی ویژه موارد زیر را می‌دهد:

الف) شوک‌هایی مظنون که با فراوانی بیشتری نسبت به مشاهدات تاریخی رخ می‌دهد.

ب) شوک‌هایی که هنوز رخ نداده است.

ج) شکست الگوهای آماری مثل افزایش همبستگی‌ها در مواقع بحران (برای مثال ر. ک. لانگین و سولنیک^۳، ۲۰۰۱ و ساندوال و فرانکا^۴، ۲۰۱۲).

د) شوک‌هایی که منعکس‌کننده شکست‌های ساختاری نظیر تغییر از نظام ارزی ثابت یا شناور است.

سومین روش برای ایجاد سناریو از اطلاعات واکنش عوامل ریسک تاریخی به فشار استفاده می‌کند؛ ولی به تکرار صرف گذشته محدود نمی‌شود. در سناریوهای هیبریدی، تنها حرکات تاریخی بازار برای تنظیم فرایند (شرطی یا غیرشرطی) عامل ریسک و ارزیابی شرایط کلی بازار بین دوره شوک به کار می‌رود. برخلاف سناریوهای تاریخی، شوک‌ها ممکن است به طور آشکار با رویداد خاص یا زمان خاص مرتبط نباشد؛ اما قادر است به‌طور دلخواه برای ایجاد سناریوهای جدید دوباره مرتب شود. چنین سناریویی

در سال ۲۰۰۰ یا بحران مالی اخیر در سال ۲۰۰۷ باشد. توزیع سود و زیان سبد براساس سناریوی شبیه‌سازی تاریخی به‌سادگی به‌وسیله توزیع تجربی سود و زیان‌های گذشته این سبد به دست می‌آید. پیاده‌سازی این روش غیرشرطی ناپارامتریک ممکن است بدون هیچ‌گونه مشکل عمده‌ای انجام شود؛ زیرا به برآورد آماری توزیع چندمتغیره تغییرات عامل ریسک و فرض ساختار وابستگی آنها نیازی نیست؛ بنابراین، این رویکرد به‌طور کامل بر مسائل ریسک الگو غلبه می‌کند. متأسفانه این فن اشکالاتی اساسی دارد. با اینکه این فن اجازه دنباله‌های پهن را می‌دهد، تخمین چندک‌های فرین مشکل است؛ زیرا هرگونه تخمین ماورای مشاهدات تاریخی به‌ویژه درباره سری داده‌های تجربی کوتاه مدت غیردقیق است. تخمین‌های چندک با شبیه‌سازی سناریوی تاریخی به‌طور چشمگیری پرنوسان است؛ زیرا این روش به مشاهدات بزرگ وارد شده به نمونه بسیار حساس است. رفع این دو مسئله با در نظر گرفتن نمونه داده‌های طولانی‌تر سبب نادیده گرفتن ماهیت خوشه‌بندی نوسانات می‌شود [۲]. دومین روش برای آزمون فشار روش سناریوی فشار فرضی است؛ سناریوهای فرضی^۱ به تکرار گذشته محدود نیست و انعطاف بیشتری برای تدوین حوادث بالقوه دارد. کمیته ناظران بانکی اروپایی (۲۰۰۹) چنین بیان کرد: «سناریوهای فرضی آینده‌نگر به‌عنوان بخش محوری مجموعه آزمون‌های فشار هستند که مؤسسات مالی باید آنها را در برنامه‌های آزمون فشار خود وارد کنند». سناریوها قادرند با وارد کردن شوک به ترکیبات دلخواه عوامل بازار، نوسانات و وابستگی ایجاد کنند. این رویکرد به شناسایی حساسیت سبد به ترکیبات خاص عوامل ریسک زیر فشار قرار گرفته کمک

۲. پرواز به کیفیت (flight-to-quality) پدیده بازار مالی است. این پدیده زمانی رخ می‌دهد که سرمایه‌گذاران سرمایه‌گذاری‌های پرریسکشان را می‌فروشند و در عوض سرمایه‌گذاری‌های ایمن‌تری نظیر اوراق خزانه یا طلا می‌خرند.

3. Longin & Solnik
4. Sandoval & Franca

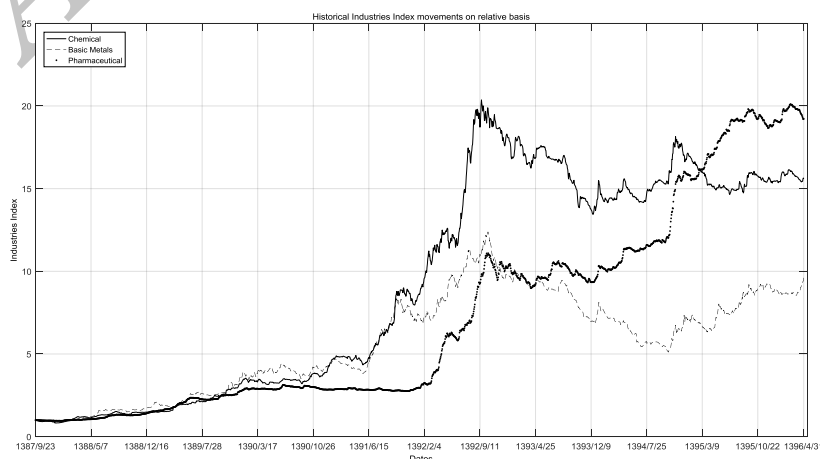
1. Hypothetical scenarios

وزن برابر از سه شاخص شیمیایی، فلزات اساسی و دارویی بورس اوراق بهادار تهران متمرکز شده است. علت استفاده از این سه شاخص، به‌کارگیری صنایع متنوع و مهم در سبد سرمایه‌گذاری است که بیشتر از نوسانات قیمت‌های جهانی و نرخ ارز تأثیر می‌گیرد؛ به عبارت دیگر، دو صنعت شیمیایی و فلزات اساسی از افزایش قیمت‌های جهانی مرتبط و نرخ ارز بهره‌بردار است. در حالی که صنعت دارو به‌طور عمده برای واردات مواد اولیه مؤثر، بیشتر، مصرف‌کننده ارز است و در نتیجه نوسانات نرخ ارز به‌صورت معکوس با دو صنعت دیگر بر آن تأثیر می‌گذارد. داده‌های تاریخی شامل ۲۰۷۵ قیمت روزانه از هر یک از سه شاخص مذکور در طی دوره ۱۳۸۷/۰۹/۲۳ تا ۱۳۹۶/۰۴/۳۱ دریافت شده از پایگاه داده بورس اوراق بهادار تهران است. شکل ۱ حرکات شاخص قیمت سه صنعت شیمیایی، فلزات اساسی و دارویی را بر مبنای نسبی نشان می‌دهد. برای ساده کردن ارزیابی عملکرد نسبی، سطح اولیه هر شاخص به یک نرمال شده است. همچنین برای محاسبه بازده از فرمول بازده لگاریتمی $(r_t = \ln(P_t/P_{t-1}))$ استفاده می‌شود. در مرحله اول بازده‌ها از نظر توصیفی و با هدف بررسی روش مناسب، تجزیه و تحلیل می‌شود.

برای مثال ممکن است شامل ترکیبی از ساختار وابستگی تنظیم‌شده برای بحران مالی اخیر به‌همراه توزیع تغییرات عوامل ریسک ناشی از نکول روسیه در سال ۱۹۹۸ باشد [۲۱]؛ در حالی که ترکیبات احتمالی زیادی حتی بیشتر از سناریوهای فرضی وجود دارد، طراحی سناریو همیشه مستلزم تبادل بین واقع‌گرایی و درک پذیر بودن سناریوست؛ به این معنی که تفسیر نتایج ایجادشده به‌وسیله سناریوهای پیشرفته‌تر مشکل‌تر است [۴۲]. هدف از سناریوهای هیبریدی، ترکیب قوت‌های سناریوهای تاریخی با برخی از انعطاف‌پذیری‌های سناریوهای فرضی است. با وجود این، این روش همچنان به گذشته گرایش دارد. همچنین کمیته ناظران بانکی اروپایی (۲۰۰۹) در طراحی سناریوها ملزم کرده است به تغییرات سیستماتیک و ویژه سبد در زمان حال و آینده نزدیک نیز توجه شود؛ زیرا مشخص شده است اتکای صرف به حوادث تاریخی کافی نیست. سناریوی فرضی با این الزام بهترین مطابقت را دارد.

روش پژوهش

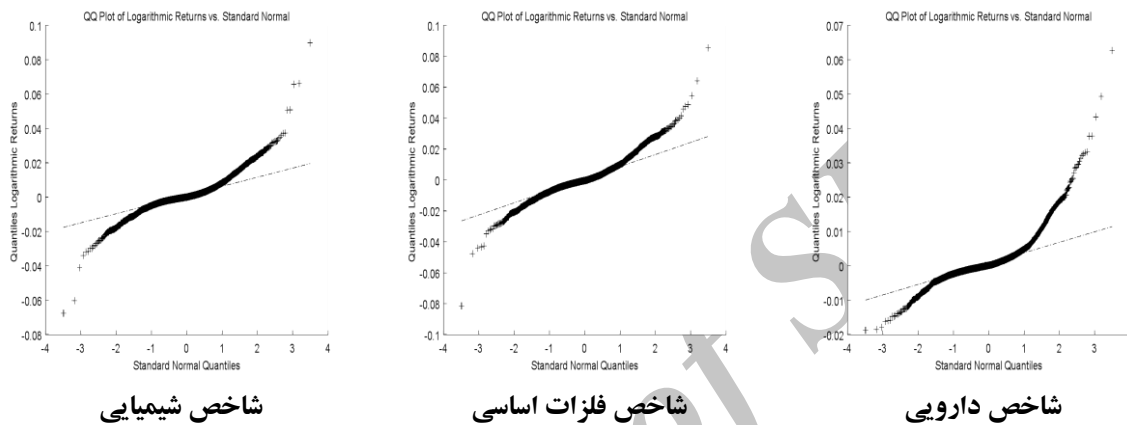
برای محاسبه اثرات سناریوهای فشار مختلف بر سبد شاخص مختلف باید الگویی برای عوامل ریسک تعریف شود. برای توسعه الگو، این مقاله بر سبدهای



شکل (۱) حرکات تاریخی شاخص‌های سه صنعت بر مبنای نسبی

کشیدگی بزرگ تر از کشیدگی توزیع نرمال دارد که نشان دهنده دنباله‌های پهن سری‌های زمانی بررسی شده است. علاوه بر این، نمودار چندک، چندک همه بازده‌های سهام در مقابل توزیع نرمال استاندارد را به روشنی دنباله‌های بالایی و پایینی پهن نشان می‌دهد (ن. ک. شکل ۲).

آمار توصیفی بازده‌های لگاریتمی سه شاخص در جدول (۱) آورده شده است. ابتدا چولگی و کشیدگی این سه عامل ریسک بررسی می‌شود. اگرچه پژوهش‌های زیادی نشان دهنده چولگی منفی بازده‌های مالی است، نتایج این پژوهش نشان می‌دهد بازده هر سه شاخص سهام چولگی مثبت دارد. همچنین همه بازده‌ها



شکل (۲) نمودار چندک - چندک بازده‌ها در مقابل نرمال استاندارد

باکس نیز فرضیه صفر مبنی بر وجودناشتن خودهمبستگی در همه بازده‌ها را رد می‌کند. آزمون ARCH-LM نیز فرضیه صفر مبنی بر همسانی واریانس (وجودناشتن اثر آرچ) همه سری‌های زمانی را رد می‌کند که نشان دهنده اثر خوشه‌بندی نوسان است (ن. ک. جدول ۲).

جدول ۱ آمار توصیفی بازده‌ها را نشان می‌دهد. معیارهای مختلف از جمله چولگی، کشیدگی و آزمون جارک - برا نشان دهنده نرمال نبودن بازده‌ها در سه صنعت است.

جدول (۱) آمار توصیفی داده‌ها

میانگین بازده‌ها	دارویی	فلزات اساسی	شیمیایی
۰/۰۰۱۴	۰/۰۰۱۱	۰/۰۰۱۳	
انحراف معیار	۰/۰۰۶۲	۰/۰۱۱۴	۰/۰۰۹۶
کمترین	-۰/۰۱۸۷	-۰/۰۸۱۴	-۰/۰۶۷۶
بیشترین	۰/۰۶۲۷	۰/۰۸۵۴	۰/۰۸۹۸
چولگی	۲/۲۶۵۶	۰/۵۰۶۴	۰/۸۱۰۵
کشیدگی	۱۴/۸۷۳۴	۷/۶۶۷۴	۱۲/۱۵۸۵
آزمون جارک برا	غیر نرمال	غیر نرمال	غیر نرمال

جدول (۲) آماره‌های ADF، لانگ - باکس و

ARCH LM (سطح معناداری در پرانتزها)

آزمون ADF	دارویی	فلزات اساسی	شیمیایی
	-۱۳/۳۸	-۳۳/۳۹	-۳۱/۹۲
	(۰/۰۰۰)	(۰/۰۰۰)	(۰/۰۰۰)
آزمون Q لانگ - باکس	۱۶۱۳/۲	۲۸۶/۴۲	۳۸۸/۵۹
	(۰/۰۰۰)	(۰/۰۰۰)	(۰/۰۰۰)
آزمون ARCH LM	۲۶۰/۸۸	۳۳/۶۹	۴۱/۵۲
	(۰/۰۰۰)	(۰/۰۰۰)	(۰/۰۰۰)

آزمون دیکی - فولر تعمیم یافته نیز نشان می‌دهد همه سه بازده شاخص مدنظر ماناست. آزمون لانگ -

بسیاری از الگوهای موجود فرض توزیع نرمال را دارد؛ در حالی که این فرض در تناقض آشکار با حقیقت مسلم مبنی بر غیرنرمال بودن و دنباله‌های پهن سری‌های زمانی مالی است. ممکن است از توزیع t به جای توزیع نرمال برای در نظر گرفتن دنباله‌های پهن تر بازده‌ها استفاده شود؛ با وجود اینکه توزیع t قادر به ارائه کشیدگی مازاد است، همچنان توزیع متقارنی است که چولگی را مجاز نمی‌داند. این مسئله مشکل ساز است؛ زیرا بسیاری از سری‌های بازده مالی نامتقارن است و دنباله‌های چپ پهن تر از دنباله‌های سمت راست توزیع دارد. ممکن است برای برطرف کردن این مسئله به تابع توزیع تجربی توجه شود؛ زیرا این رویکرد ناپارامتریک هیچ‌گونه فرضی درباره ماهیت توزیع ندارد. با وجود این، این شیوه نیز دو نقص مهم دارد. مهم‌ترین نقص از دیدگاه آزمون فشار این است که رویکرد ناپارامتریک تخمین‌های ضعیفی از دنباله‌ها ایجاد می‌کند و نمی‌تواند برای حل چندک‌های خارج نمونه‌ای استفاده شود [۴۸]. مک‌نیل و فری^۳ (۲۰۰۰)، اسکاگلاند و نایسروم^۴ (۲۰۰۲)، مک‌نیل و همکاران (۲۰۰۵) و کستر^۵ و همکاران (۲۰۰۶) شواهدی مبنی بر برتری رویکرد ترکیبی ارائه کردند. توزیع پسماندهای استاندارد شده فرایندهای ARMA-GARCH توسط ترکیبی از توزیع تجربی ناپارامتریک و دنباله‌های پارامتریک مبتنی بر نظریه ارزش فرین الگوسازی می‌شود؛ بنابراین، در این مقاله تابع توزیع پسماندهای فیلتر شده در معادله (۱) با استفاده از توزیع تجربی هموار کرنل برای بخش مرکزی توزیع تخمین زده می‌شود که بیشترین داده‌ها نیز در آنجا متمرکز شده است. برای دنباله‌های بالایی و پایینی که به طور معمول داده‌های نادر است، از رویکرد

آمار توصیفی نشان‌دهنده توزیع‌های نامتقارن، همبستگی سریالی و ناهمسانی شرطی بازده‌های سهام است. به همه این ویژگی‌ها با برازش الگوی نامتقارن GJR - GARCH(1,1) - ARMA(1,1) با جملات خطای تی استیودنت برای همه عوامل ریسک توجه می‌شود [۳۴، ۲۰].

(۱)

$$h_t^2 = a_0 + a_1 \varepsilon_{t-1}^2 + a_2 \psi(\varepsilon_{t-1}) \varepsilon_{t-1}^2 + b h_{t-1}^2$$

که h_t^2 واریانس شرطی ε_t ، $\varepsilon_t = z_t / h_t$ (پسماندهای استاندارد شده) با $z_t \sim t_{\nu}(0,1)$ یا با نوآوری‌های IID، توزیع تی استیودنت با میانگین صفر، واریانس یک و پارامتر درجه آزادی ν دارد. علاوه بر این، $\psi(\varepsilon_t) = \psi(z_t) = 1$ اگر $z_t < 0$ و برابر صفر است، اگر $z_t \geq 0$ باشد. پارامترهای این الگو با استفاده از رویکرد حداکثر درست‌نمایی تخمین زده می‌شود. الگوهای مرتبه پایین مثل (۱) و (۱) GARCH در عمل برای تناسب داده‌های مالی کفایت می‌کند [۴۷]. الگوی GARCH الگویی متقارن است؛ به این معنی که شوک‌های مثبت و منفی تأثیر مشابهی بر نوسان دارد. شواهد تجربی نشان می‌دهد شوک‌های منفی تأثیری مضاعف بر نوسان در مقایسه با شوک‌های مثبت (با همان اندازه) دارد. مک‌نیل و همکاران (۲۰۰۵) این پدیده را «اثر اهرمی» نامیده‌اند؛ زیرا افت در ارزش سهام سبب رشد نسبت بدهی به حقوق صاحبان سهام (نسبت اهرمی) شرکت و در نتیجه سهام پرنوسان‌تر می‌شود. گلوستن^۱ و همکاران (۱۹۹۳) برای در نظر گرفتن این پدیده نامتقارن، شاخص بولین^۲ را در معادله GARCH معرفی کردند. مرحله بعد، انتخاب توزیع مناسب برای پسماندهای فیلتر شده z_t است.

3. Frey

4. Skoglund & Nystrom

5. Kuester

1. Glosten

2. Boolean indicator

(۱۹۹۵) فرمول برای تخمین گر چگالی کرنل تک متغیره به صورت زیر است:

$$\hat{f}(x, h) = (nh)^{-1} \sum_{i=1}^n K\{(x - X_i)/h\} \quad (۳)$$

که X_1, \dots, X_n نمونه است، K تابعی است که رابط $\int K(x)dx = 1$ در آن برقرار و کرنل نامیده می شود و $h > 0$ پارامتر پهنای باند است. این تابع را می توان به صورت فشرده تر $K_h(u) = h^{-1}K(u/h)$ بیان کرد؛ بنابراین داریم:

$$\hat{f}(x, h) = n^{-1} \sum_{i=1}^n K_h(x - X_i) \quad (۴)$$

به طور معمول، تابع چگالی احتمال تک مدی که پیرامون صفر متقارن باشد، به منزله کرنل انتخاب می شود. کرنل های گوناگونی همانند کرنل اپانیکنیکوف، مثلثی، کسینوس و گاوسی وجود دارد [۶۳]. مناسب ترین کرنل برای این پژوهش، کرنل گاوسی است:

$$K(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right) \quad (۵)$$

در نهایت دنباله های پارتو تعمیم یافته پارامتریک برای هر دارایی با بخش میانی هموار شده کرنل مرتبط ترکیب می شود تا کل تابع توزیع تجمعی نیمه پارامتریک به دست آید. تا اینجا چگونگی الگوسازی جداگانه عوامل ریسک شرح داده شد؛ اما برای آزمون فشار سبد، شکل گیری ساختارهای وابستگی بین دارایی های بررسی شده بسیار مهم است. مطالعات در زمینه الگوسازی بازده های مالی چند متغیره نشان دهنده برتری کاپیولای تی استیودنت با توجه به برآزش تجربی است [۶۴، ۴۷، ۳۰، ۱۹]. علاوه بر این، کاپیولای تی استیودنت برای اهداف آزمون فشار بسیار

پارامتریک مبتنی بر تخمین توزیع تعمیم یافته پارتو استفاده می شود [۵۴].

اصل اساسی در نظریه ارزش فرین برای الگوسازی دنباله های توزیع تعمیم یافته پارتو این است که متغیرهای تصادفی باید توزیع یکسان و مستقل (IID) داشته باشد؛ بنابراین، به جای به کارگیری مستقیم سری بازده ها (نامانا) بر پسماندهای استاندارد شده (IID) تمرکز شده است و از آنها برای تخمین دنباله های تابع توزیع تجمعی نمونه بر مبنای نظریه ارزش فرین استفاده می شود. توزیع پارتوی تعمیم یافته برای هر $\xi \in R$ ، $\beta \in R_+$ به صورت زیر تعریف می شود [۴۷]:

$$GP_{\xi, \beta}(z) = 1 - \left(1 + \xi \frac{z}{\beta}\right)^{-\frac{1}{\xi}}, z \in R \quad (۲)$$

که ξ ۱/ به منزله شاخص دنباله و β به منزله پارامتر مقیاس شناخته می شود؛ بنابراین، توزیع پارتوی تعمیم یافته برای سری های زمانی استاندارد شده Z_t برآزش می شود که متجاوز از سطح آستانه u است؛ به طور کلی، آستانه u در حدود معقول ۱۳-۵٪ از داده ها انتخاب می شود [۴۷، ۵۰، ۲۹]. در این مقاله به ۱۰٪ از فرین ترین دنباله های بالایی و پایینی پسماندهای استاندارد شده توجه می شود و GPD بر مقادیر متجاوز از آن آستانه برآزش می شود.

برای پسماندهای باقی مانده هر شاخص انتظار نمی رود بخش مرکزی تابع توزیع تجمعی تجربی، الگوی پلکانی چشمگیری داشته باشد. با وجود این، برای اطمینان از اینکه توزیع هر شاخص هموار است، از تخمین گر ناپارامتریکی همانند تخمین گر کرنل استفاده می شود. تخمین گر کرنل شیوه ای برای تعمیم منحنی چگالی از هیستوگرام داده ها با گسترش هر نقطه به کرنل و پارامتر پهنای باند است. با پیروی از واند و جونز

درست‌نمایی نیمه پارامتریک برای تعیین پارامترهای کاپیولای t استفاده شده است [۳۳].

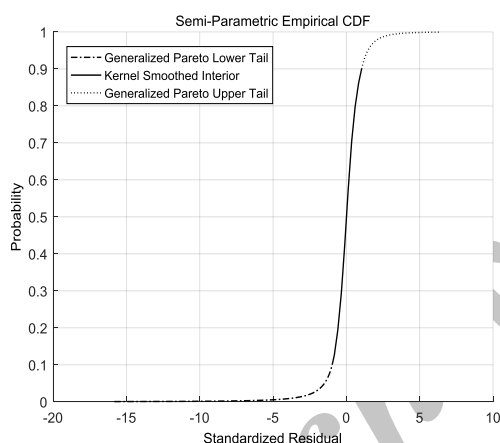
یافته‌ها

ابتدا الگوی $GJR(1,1)-GARCH$ برای $ARMA(1,1)$ توجه کردن به خودهمبستگی و خوشه‌بندی نوسان بازده‌های سهام برآزش می‌شود و پسماندهای استاندارد شده به دست می‌آید. شکل ۳ توزیع نیمه پارامتریک سه شاخص را با استفاده از برآزش توزیع پارتوی تعمیم یافته برای دنباله‌های فرین پسماندهای استاندارد شده نمایش می‌دهد.

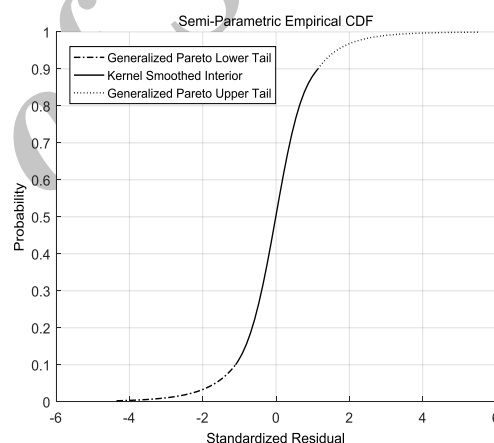
مناسب است؛ به گونه‌ای که امکان افزایش احتمال فرین‌های مشترک را با کاهش درجه آزادی کاپیولا فراهم می‌کند؛ بنابراین، در این پژوهش از کاپیولای t برای ادامه کار استفاده می‌شود. کاپیولای t (د بعدی) با ν درجه آزادی عبارت است از:

$$C_{\nu, \Sigma}^t(u) = t_{\nu, \Sigma}(t_{\nu}^{-1}(u_1), \dots, t_{\nu}^{-1}(u_d)) \quad (6)$$

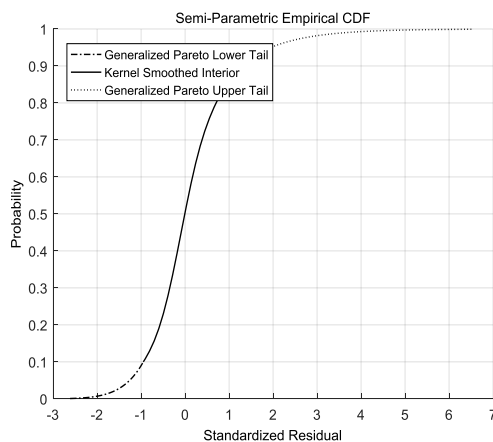
که Σ ماتریس همبستگی، t_{ν}^{-1} تابع معکوس توزیع یک متغیره، $t_{\nu, \Sigma}$ تابع توزیع تجمعی چندمتغیره و ν درجه آزادی است. در این پژوهش از تخمین حداکثر



شاخص فلزات اساسی

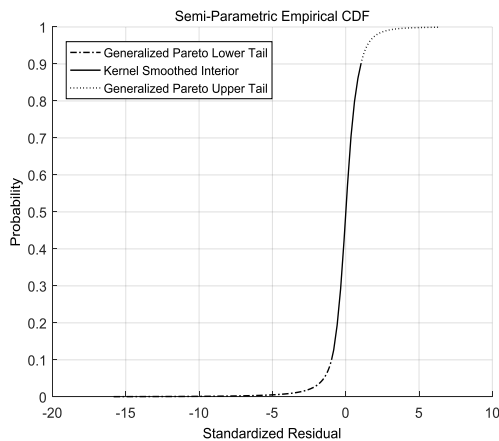


شاخص شیمیایی

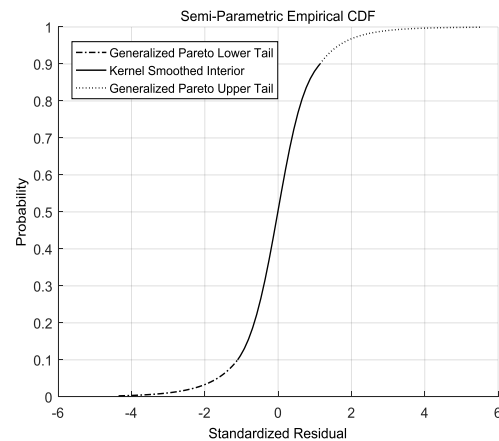


شاخص دارویی

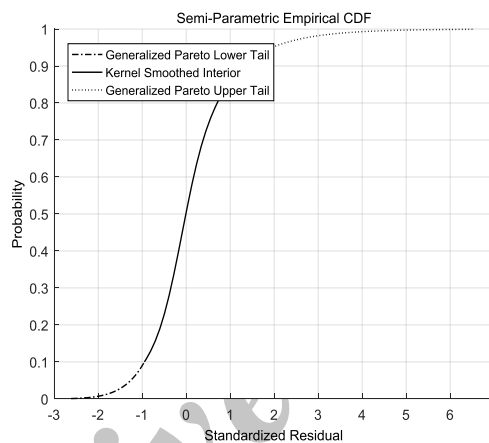
شکل (۳) تابع توزیع تجمعی تجربی نیمه پارامتریک



شاخص فلزات اساسی



شاخص شیمیایی



شاخص دارویی

شکل (۳) تابع توزیع تجمعی تجربی نیمه پارامتریک

عوامل ریسک برای ۵ روز آینده (یک هفته) شبیه سازی می شود (۱۰,۰۰۰ سناریو) و سود و زیان در پایان افق برنامه ریزی محاسبه می شود.

جدول (۳) ماتریس همبستگی کاپیولای t

سناریوی مبنا و هیبریدی

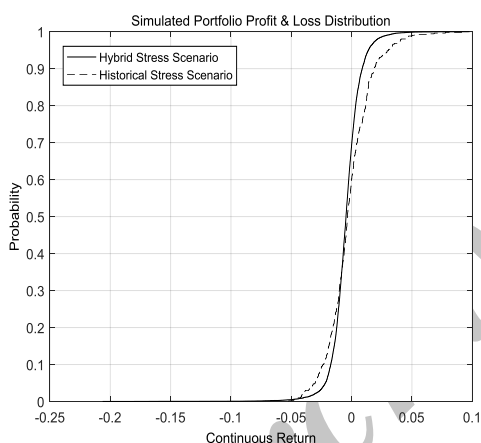
سناریوی مبنا	شیمیایی	فلزات اساسی	دارویی
شیمیایی	۱	۰/۳۱۳۷	۰/۱۸۴
فلزات اساسی	۰/۳۱۳۷	۱	۰/۱۲۴۸
دارویی	۰/۱۸۴	۰/۱۲۴۸	۱
سناریوی هیبریدی	شیمیایی	فلزات اساسی	دارویی
شیمیایی	۱	۰/۳۵۶۷	۰/۳۶۵۱
فلزات اساسی	۰/۳۵۶۷	۱	۰/۳۰۴۶
دارویی	۰/۳۶۵۱	۰/۳۰۴۶	۱

بعد از تخمین توزیع نیمه پارامتریک برای همه شاخص ها، آزمون فشار سبد آغاز می شود. سناریوهای برای آزمون های فشار چندمتغیره را می توان به صورت سناریوهای تاریخی، هیبریدی و فرضی ایجاد کرد [۱۳]. علاوه بر این، فرض می شود وزن های سبد بین افق شبیه سازی ثابت است.

اولین آزمون فشار بررسی شده براساس سناریوهای هیبریدی است. پارامترها و پسماندهای GARCH-ARMA با استفاده از فرایندهای EVT بازده های مختلف سهام و کاپیولای t بین دوره بحرانی و نزولی بورس اوراق بهادار تهران از دوم آذر ۱۳۹۲ تا نهم دی ۱۳۹۴ الگوسازی می شود. بر اساس این پارامترها،

زیرا نشان‌دهنده تمایل پایین تر فرین‌های مشترک سهم‌ها بین دوره بازار رکودی در مقایسه با کل دوره بررسی شده است.

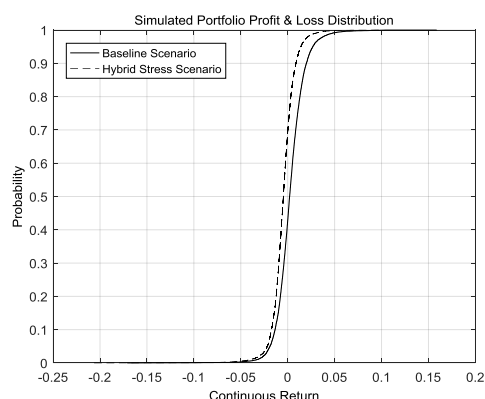
آزمون فشار دوم بررسی شده، سناریوهای تاریخی است؛ بنابراین، بازده‌های سبد نمونه با وزن برابر در طول افق ۵ روزه (هفتگی) طی دوره زمانی نزولی بازار از دوم آذر ۱۳۹۲ تا نهم دی ۱۳۹۴ محاسبه می‌شود (۵۰۳ بازده). در این سناریو زیان‌های سبد در صورت تکرار موقعیت‌های فشار مالی تاریخی ارزیابی می‌شود. سود و زیان سبد زیر سناریوی تاریخی شبیه‌سازی شده، به سادگی با توزیع تجربی بازده‌های گذشته این سبد در این دوره به دست می‌آید.



شکل (۵) سناریوی فشار هیبریدی در مقابل تاریخی

شکل ۵ سود و زیان سناریوهای تاریخی و هیبریدی را به صورت مقایسه‌ای نشان می‌دهد. توزیع سود و زیان سناریوی تاریخی به روشنی الگویی پلکانی دارد. همان طور که در بخش قبلی ذکر شد، مشکل رویکرد شبیه‌سازی تاریخی در آزمون فشار، عدم اطمینان به تخمین چندک‌های فرین است. دنباله پایینی توزیع سناریوی تاریخی در $5/33\%$ به طور ناگهانی بریده می‌شود؛ در حالی که حداکثر زیان شبیه‌سازی شده سناریوی هیبریدی $20/63\%$ است (ن. ک. جدول ۵).

ماتریس همبستگی به دست آمده از تخمین کاپیولای t در جدول ۳ نشان داده شده است. همان طور که مطالعات متعدد (برای مثال: ساندوال و همکاران، ۲۰۱۲) بیان کرد، افزایش وابستگی در زمان‌های بحران در مقایسه با ماتریس همبستگی سناریوی مبنا کاملاً مشهود است. برای افق شبیه‌سازی ۵ روزه (هفتگی)، توزیع سود و زیان در شکل ۴ نشان داده شده است. بررسی بصری این شکل نشان می‌دهد تابع توزیع تجمعی سناریوی فشار هیبریدی در همه نقاط بالاتر از تابع توزیع تجمعی سناریوی مبناست. در چنین حالتی گفته می‌شود سناریوی مبنا بر سناریوی فشار هیبریدی تسلط تصادفی^۱ مرتبه اول دارد؛ به عبارت دیگر، سناریوی فشار هیبریدی ریسک بالاتری در مقایسه با سناریوی مبنا دارد. جدول ۵ نیز نشان می‌دهد همه معیارهای ریسک سناریوی هیبریدی در سطوح اطمینان مختلف نیز در مقایسه با سناریوی مبنا به صورت معنی داری افزایش یافته است.



شکل (۴) نتایج شبیه‌سازی سناریوی فشار هیبریدی در مقابل سناریوی مبنا بدون فشار

نتایج تخمین نشان می‌دهد درجه آزادی توابع کاپیولای t برای سناریوی هیبریدی و مبنا تقریباً مشابه است (ن. ک. جدول ۵). این یافته شگفت آور است؛

1. Stochastic dominance

- ✓ وارد کردن شوک به ساختار وابستگی با اصلاح پارامتر درجه آزادی کاپیولای t.
 - ✓ وارد کردن شوک به ساختار وابستگی با اصلاح ماتریس همبستگی بین عوامل ریسک.
- بنابراین، سناریوی فرضی مطابق جدول زیر ایجاد و به سناریوی فشار تحمیل می‌شود:

جدول (۴) تعیین سناریوی فرضی

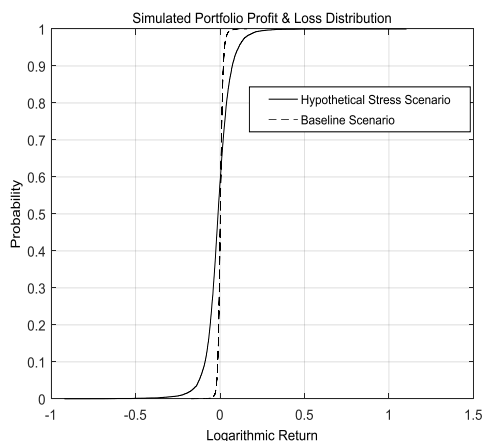
دارویی	فلزات اساسی	شیمیایی	
۱۰	۱۰	۱۰	شوک به نوسان
-۱٪	-۱٪	-۱٪	شوک قیمتی اولیه
۳			درجه آزادی کاپیولا
دارویی	فلزات اساسی	شیمیایی	شوک به ماتریس همبستگی
۰/۷۰	۰/۹۰	۱	شیمیایی
۰/۶۰	۱	۰/۹۰	فلزات اساسی
۱	۰/۶۰	۰/۷۰	دارویی

در جدول ۴ شوک‌های فرضی به سناریوی فشار با تحمیل ضریب ۱۰ برای جمله ثابت نوسان شرطی و افت قیمتی یک درصد برای حالت اولیه همه شیب‌سازی‌ها برای هر سه شاخص در نظر گرفته شده است. برای زیر فشار قراردادن، درجه آزادی آن برابر ۳ قرار داده شده است تا افزایش چشمگیری در احتمال فرین‌های مشترک ایجاد شود. همچنین با توجه به این حقیقت که در شرایط بحران مالی همبستگی بین سهام‌ها افزایش می‌یابد، ماتریس همبستگی به صورت مشهود در جدول ۴ اصلاح شد. نتایج شیب‌سازی ۱۰۰۰۰ مسیر در طول افق ۵ روزه (هفتگی) در شکل ۶ نشان داده شده است.

این نتیجه خود تأیید کننده نامناسب بودن این رویکرد در تخمین چندک‌های فرین است. برای توضیح بیشتر می‌توان به معیارهای ریسک VaR و ES توجه کرد. جدول ۵ نشان می‌دهد در این دوره نزولی ارزش در معرض ریسک سناریوی تاریخی برای همه سطوح اطمینان، بزرگ‌تر از VaR سناریوی هیبریدی است؛ ولی ریزش موردانتظار سناریوی هیبریدی در سطح اطمینان ۹۹٪ (که به مقادیر فرین نزدیک‌تر است)، بزرگ‌تر از ES سناریوی تاریخی شده است. دلیل این نتیجه نیز کاملاً روشن است. معیار ارزش در معرض ریسک، به زیان‌های ماورای VaR توجه نمی‌کند. در صورتی که ریزش موردانتظار آن زیان‌ها را نیز در نظر گرفته است و به شکل توزیع زیان در دنباله توزیع بسیار حساس است. این نتایج شواهدی برای ارائه نارسا و ناکافی ریسک در سناریوهای فشار توسط شیوه شیب‌سازی تاریخی است که ناشی از غیرشرطی بودن این رویکرد است؛ به عبارت دیگر، این رویکرد ماهیت تغییر زمانی سری‌های زمانی مالی و ساختار وابستگی را نادیده گرفته است و برای ایجاد فشار قادر نیست به ماورای داده‌های تاریخی توجه کند.

- آزمون فشار سوم بر سناریوهای فرضی مبتنی است. در این رویکرد امکان وارد کردن شوک و فشار فرضی به پارامترهای سناریوی فشار با هر ترکیب دلخواهانه‌ای فراهم می‌شود. در پژوهش حاضر، در سناریوی فرضی امکان وارد کردن شوک به موارد زیر فراهم شده است:
- ✓ وارد کردن شوک به نوسان با افزایش «پارامتر شوک نوسان» که ارائه‌دهنده ضریبی برای جمله ثابت فرایند واریانس شرطی است.
 - ✓ وارد کردن شوک قیمتی با تعیین بازده‌های روزانه لگاریتمی اولیه برای شیب‌سازی.

بررسی بصری نشان می‌دهد احتمال بازده مثبت تقریباً در هر دو سناریو یکسان است. با وجود این، کاهش شیب توزیع سود و زیان سناریوی فشار فرضی در مقایسه با سناریوی مبنا و به ویژه فاصله گرفتن چشمگیر دو توزیع در بازده‌های منفی تر (دنباله بسیار پهن تر توزیع سود و زیان سناریوی فرضی)، نشان‌دهنده ریسک بسیار بالاتر سناریوی فشار فرضی در مقایسه با سناریوی مبناست. همچنین افزایش چندین برابری همه معیارهای ریسک در همه سطوح اطمینان، نشان‌دهنده ریسک بالاتر سناریوی فشار فرضی است (ن. ک. جدول ۵).



شکل (۶) نتایج شبیه‌سازی سناریوی فشار فرضی و مقایسه آن با سناریوی مبنا

جدول (۵) معیارهای سناریوهای فشار هیبریدی، تاریخی و فرضی

نتایج و پیشنهادها

بحران‌های مالی اخیر سبب تأکید بر آزمون فشار به منزله ابزار کلیدی مدیریت ریسک مالی شده است. نتایج آزمون فشار به سناریوی به کار گرفته شده و الگوی نحوه شکل‌گیری عوامل ریسک بستگی دارد. در این مقاله سه آزمون فشار شامل سناریوهای تاریخی، هیبریدی و فرضی برای شبیه‌سازی شکل‌گیری مشترک عوامل ریسک در طی زمان بر سبد نمونه زمانی بررسی شد. عوامل ریسک سبد نمونه سه شاخص صنعت در بورس اوراق بهادار تهران است. برای در نظر گرفتن حقایق مسلم سری‌های زمانی مالی از الگوی ARMA-GJR برای الگوسازی نحوه تغییرات عامل ریسک تک متغیره استفاده شد. در ادامه، دنباله‌های فرین عوامل ریسک شناسایی و با استفاده از EVT الگوسازی شد. ساختارهای پویای وابستگی نیز با استفاده از تابع کاپولای t الگوسازی شد. کاپولاها قادر به انعکاس وابستگی‌های غیرخطی است و امکان تعیین تصریحات وابستگی را مستقل از توزیع‌های حاشیه‌ای فراهم می‌کند که در درجه اول سبب الگوی

معیارها	مبنا	هیبریدی	تاریخی	فرضی
درجه آزادی کاپولا	۱۲/۱۵	۱۲/۲۶	-	۳
حداکثر زیان شبیه‌سازی شده	٪۱۷/۱۳	٪۲۰/۶۳	٪۵/۲۲	٪۹۲/۱۶
حداکثر سود شبیه‌سازی شده	٪۱۵/۹۰	٪۹/۷۷	٪۹/۲۰	٪۱۱۰/۲۸
ارزش در معرض ریسک در سطح ٪۹۰	-٪۱/۳۵	-٪۱/۷۳	-٪۲/۳۵	-٪۸/۸۷
ارزش در معرض ریسک در سطح ٪۹۵	-٪۱/۸۹	-٪۲/۱۸	-٪۳/۰۲	-٪۱۲/۴۱
ارزش در معرض ریسک در سطح ٪۹۹	-٪۳/۲۸	-٪۴/۰۰	-٪۴/۳۸	-٪۲۲/۸۹
ریزش موردانتظار در سطح ٪۹۰	-٪۲/۲۷	-٪۲/۶۷	-٪۳/۳۲	-٪۱۵/۱۰
ریزش موردانتظار در سطح ٪۹۵	-٪۲/۹۵	-٪۳/۴۲	-٪۳/۹۲	-٪۱۹/۷۶
ریزش موردانتظار در سطح ٪۹۹	-٪۵/۲۹	-٪۶/۰۶	-٪۴/۸۲	-٪۳۵/۳۹

متمرکز شوند تا به صورت واقعی تری ابعاد مختلف ریسک را تحلیل کنند.

آزمون استرس می تواند برای مدیریت ریسک نقدینگی، اعتباری، عملیاتی، بازار، ریسک نرخ بهره، ریسک نرخ ارز خارجی، کفایت سرمایه بانکها و نهادهای مالی استفاده شود. پژوهشگران می توانند در پژوهش های بعدی، عملیاتی کردن هر کدام از این کاربردها را برای مؤسسات بررسی کنند و روش های مختلف آزمون استرس را برای ریسک نقدینگی، عملیاتی و... بانکها و مؤسسات مالی استخراج کنند و آن را به طور مشخص و عملی محاسبه کنند.

References

- [1] Acharya, V., Engle, R., & Pierrat, D. (2014). Testing macroprudential stress tests: The risk of regulatory risk weights. *Journal of Monetary Economics*, 65: 36-53.
- [2] Aepli, M. (2011). On the Design of Stress Test, Master's Thesis for Banking and Finance. University of ST. Gallen: Master of Arts in Banking and Finance.
- [3] Aikman, D., Alessandri, P., Eklund, B., Gai, P., Kapadia, S., Martin, E., ... & Willison, M. (2009). Funding liquidity risk in a quantitative model of systemic stability. Bank of England Working Paper 372. Available at: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=1420062
- [4] Alessandri, P., Gai, P., Kapadia, S., Mora, N., & Puhr, C. (2009). A framework for quantifying systemic stability. *International Journal of Central Banking*, 5(3): 47-81.
- [5] Alexander, C., Sheedy, E. (2008). Developing a stress testing framework based on market risk models. *Journal of Banking & Finance*, 32(10): 2220-2236.
- [6] Alexander, G. J., Baptista, A. M. (2009). Stress testing by financial intermediaries: Implications for portfolio selection and asset pricing. *Journal of Financial Intermediation*, 18(1): 65-92.
- [7] Anand, K., Bédard-Pagé, G., & Traclet, V. (2014). Stress testing the Canadian Banking System: A system-wide approach. *Financial System Review*, 61-68.

آزمون فشار منعطف تری می شود و در درجه دوم امکان استفاده از الگوهای حاشیه ای پیشرفته تری مثل توزیع های حاشیه ای نیمه پارامتریک را فراهم می کند. کاپیولای t انتخاب شده در این پژوهش این مزیت را دارد که از طریق افزایش دستی درجه آزادی آن می توان احتمال فرین های مشترک را به ویژه در سناریوهای فرضی افزایش داد. نتایج تجربی این پژوهش نشان می دهد نظریه ارزش فرین ابزار بسیار مفیدی برای آزمون فشار در شناسایی رخدادهای فرین در مواقع بحرانی بازار است. همچنین یافته ها نشان می دهد رویکرد سناریوی تاریخی ضعف هایی دارد. این شیوه خوشه بندی نوسان، دنباله های پهن و ساختار وابستگی کلی بازده های مالی را نادیده گرفته است و کاملاً نگاه روبه عقب دارد. زیان های فرین سناریوی تاریخی به زیان های مشاهده شده تاریخی محدود شده است و ممکن نیست فراتر از آن برود. همچنین شواهد نشان می دهد رویکرد سناریوی تاریخی ابزار مناسبی برای آزمون فشار نیست و تجزیه و تحلیل های با نگاه روبه جلو مثل سناریوهای هیبریدی و فرضی قادر است ضعف های آن را تصحیح کند. در ادامه نشان داده شد از نظر آزمون فشار، رویکرد سناریوی فشار فرضی بر دو سناریوی دیگر برتری دارد؛ زیرا به تکرار رخدادهای بحرانی گذشته محدود نشده است و انعطاف پذیری بیشتری در شناسایی رخدادهای بالقوه ای دارد که منعکس کننده دیدگاه روبه جلوست. رویکرد سناریوی فرضی به مدیران ریسک کمک می کند سناریوهای بسیار بیشتری را تعیین و اجرا کنند و دید کامل تری از ریسک های سبب داشته باشند؛ بنابراین، پیشنهاد می شود مدیران ریسک در آزمون های فشار بیشتر بر سناریوهای فشار فرضی متناسب با وضعیت مالی خود (که ممکن است در سناریوهای تاریخی وجود نداشته باشند)

- (2003). Dependence structures for multivariate high-frequency data in finance. *Journal Quantitative Finance*, 3(1): 1-14.
- [20] Brooks, C. (2014). *Introductory Econometrics for Finance*. Cambridge: Cambridge University Press.
- [21] Bühn, A., Klauck, K. (2006). Stresstests–Einführung und Grundlagen. In: *Stresstests in Banken: Von Basel II bis ICAAP*, Schäffer-Poeschel Verlag, Stuttgart. Stuttgart: Schaffer-Poeschel Verlag. 11-22.
- [22] Cherubini, U., Luciano, E., & Vecchiato, W. (2004). *Copula Methods in Finance*. England: John Wiley & Sons.
- [23] Čihák, M. (2007). Introduction to applied stress testing. *IMF Working Papers*, 1-74.
- [24] Danielsson, J. (2011). *Financial risk forecasting: the theory and practice of forecasting market risk with implementation in R and Matlab* (Vol. 588). United Kingdom: John Wiley & Sons. Ltd, Publication.
- [25] Demarta, S., McNeil, A. J. (2005). The t copula and related copulas. *International Statistical Review*, 73(1): 111-129.
- [26] Doumpos, M., Zopounidis, C., & Fragiadakis, P. (2016). Assessing the financial performance of European Banks under stress testing scenarios: A multicriteria approach. *Operational Research*, 16(2): 197-209.
- [27] Dowd, K. (2005). *Measuring market risk*. England: John Wiley & Sons.
- [28] Eldomiati, T. I., Bahie Eldin, A., & Azzam, I. (2016). Determinants of capital adequacy ratios under Basel III: Stress testing and sensitivity analysis on Egyptian banks. Available at: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2788482
- [29] Embrechts, P., Lindskog, F., & McNeil, A. (2001). *Modelling Dependence with Copulas*. Zurich: *Rapport Technique Département de Mathématiques, Institut Fédéral de Technologie de Zurich*.
- [30] Fischer, M., Köck, C., Schlüter, S., & Weigert, F. (2009). An empirical analysis of multivariate copula models. *Quantitative Finance*, 9(7): 839-854.
- [31] Flood, M., Korenko, G. (2010). *Systematic Scenario Selection—A Methodology for Selecting a Representative Grid of Shock Scenarios from a Multivariate Elliptical Distribution*. Washington, DC: Federal Housing Finance
- [8] Ang, A., Chen, J., & Xing, Y. (2001). Downside risk. *The Review of Financial Studies*, 19(4): 1191-1239.
- [9] Aragonés, J. R., Blanco, C., & Dowd, K. (2001). Incorporating stress tests into market risk modeling. *Derivatives Quarterly*, 7(3): 44-50.
- [10] Basu, S. (2011). Comparing simulation models for market risk stress testing. *European Journal of Operational Research*, 213(1): 329-339.
- [11] Bee, M. (2001). Mixture models for VaR and stress testing. University Degli Study. Available at: <http://eprints.biblio.unitn.it/289/>.
- [12] Berkowitz, J. (1999). A coherent framework for Stress-Testing. FEDS Working Paper No. 99-29. Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=181931> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.181931>
- [13] BIS. (2009). *Principles for sound stress testing practices and supervision*. Bank for International Settlements/ Basel Committee on Banking Supervision.
- [14] Blaschke, W., Peria, M. S. M., Majnoni, G., & Jones, M. T. (2001). *Stress testing of financial systems: An overview of issues, methodologies and FSAP experiences*. International Monetary Fund. Working Paper (Vol. 1).
- [15] Boss, M., Fenz, G., Krenn, G., Pann, J., Pühr, C., Scheiber, T., ... & Ubl, E. (2008). *Stresstests für das österreichische FSAP-Update 2007: Methodik, szenarien und ergebnisse*. OENB *Finanzmarktsstabilitätsbericht*, 15: 72-99.
- [16] Brechmann, E. C., Hendrich, K., & Czado, C. (2013). Conditional copula simulation for systemic risk stress testing. *Insurance: Mathematics and Economics*, 53(3): 722-732.
- [17] Breuer, T., Csiszár, I. (2013). Systematic stress tests with entropic plausibility constraints. *Journal of Banking & Finance*, 37(5): 1552-1559.
- [18] Breuer, T., Krenn, G., & Pistovcák, F. (2002). Stress tests, maximum loss and value at risk. In: *Regulierung oder deregulierung der finanzmärkte* (pp. 301-313). Physica-Verlag HD. liechtensteinisches finanzdienstleistungs-Symposium an der fachhochschule liechtenstein.
- [19] Breyman, W., Dias, A., & Embrechts, P.

- Working Paper, International Monetary Fund. Available at: <https://www.imf.org/external/pubs/ft/wp/2001/wp0188.pdf>.
- [44] Mandelbrot, B. B. (1997). The variation of certain speculative prices. In: *Fractals and Scaling in Finance* (pp. 371-418). New York: Springer.
- [45] McNeil, A. J., Frey, R. (2000). Estimation of tail-related risk measures for heteroscedastic financial time series: An extreme value approach. *Journal of Empirical Finance*, 7(3): 271-300.
- [46] McNeil, A. J., Smith, A. D. (2012). Multivariate stress scenarios and solvency. *Insurance: Mathematics and Economics*, 50(3): 299-308.
- [47] McNeil, A. J., Frey, R., & Embrechts, P. (2005). *Quantitative Risk Management: Concepts, Techniques and Tools*. Princeton: Princeton University Press.
- [48] Nystrom, K., Skoglund, J. (2002). *Univariate Extreme Value Theory, Garch and Measures of Risk*. Princeton: Princeton University Press.
- [49] Pagratis, S., Topaloglou, N., & Tsionas, M. (2017). System stress testing of bank liquidity risk. *Journal of International Money and Finance*, 73: 22-40.
- [50] Paraschiv, F. (2013). Price dynamics in electricity markets. In: Kovacevic, R. M. C., Pflug, G., & Vespucci, M. T. (Eds.). *Risk Management in Energy Production and Trading*. ISBN: 978-1-4614-9034-0, pp. 57-111.
- [51] Patton, A. J. (2004). On the out-of-sample importance of skewness and asymmetric dependence for asset allocation. *Journal of Financial Econometrics*, 2(1): 130-168.
- [52] Sandoval, L., Franca, I. D. P. (2012). Correlation of financial markets in times of crisis. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 391(1): 187-208.
- [53] Saranj, A. (2017). *Market Risk Analysis from Theory to Practice (With its Applications in MATLAB and Excel)*. Tehran: Negahedanes. (in Persian).
- [54] Saranj, A., Nourahmadi, M. (2016). Estimating of value at risk and expected shortfall by using conditional extreme value approach in Tehran Securities Exchange. *Financial Research*, 18(3): 437-460. (in Persian).
- [55] Schuermann, T. (2014). Stress testing banks. *International Journal of Agency*.
- [32] Foglia, A. (2008). Stress testing credit risk: A survey of authorities' approaches. Available at: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=1396243
- [33] Genest, C., Ghoudi, K., & Rivest, L. (1995). A semiparametric estimation procedure of dependence parameters in multivariate families of distributions. *Biometrika*, 82 (3): 543-552.
- [34] Glosten, L. R., Jagannathan, R., & Runkle, D. E. (1993). On the relation between the expected value and the volatility of the nominal excess return on stocks. *The Journal of Finance*, 48(5): 1779-1801.
- [35] Jobst, A. A., Ong, L. L., & Schmieler, C. (2017). Macroprudential liquidity stress testing in FSAPS for systemically important financial systems. International Monetary Fund. Working Papers. Available at: file:///C:/Users/asus/Downloads/wp17102_JobstOngSchmieler.pdf
- [36] Kapinos, P., Mitnik, O. A. (2016). A top-down approach to stress-testing banks. *Journal of Financial Services Research*, 49 (2-3): 229-264.
- [37] Kim, J., Finger, C. C. (2000). A stress test to incorporate correlation breakdown. *Journal of Risk*, 2: 5-20.
- [38] Koliai, L. (2016). Extreme risk modelling: An EVT-Pair-copulas approach for financial stress tests. *Journal of Banking & Finance*, 70: 1-22.
- [39] Kuester, K., Mittnik, S., & Paolella, M. S. (2006). Value-at-risk prediction: A comparison of alternative strategies. *Journal of Financial Econometrics*, 4(1): 53-89.
- [40] Kupiec, P. (2002). Stress testing in a value at risk framework1. *Risk Management: Value at Risk and Beyond*, 10: 76-99.
- [41] Longin, F., Solnik, B. (2001). Extreme correlation of international equity markets. *The Journal of Finance*, 56(2): 649-676.
- [42] Lopez, J. A. (2005). *Stress Tests: Useful Complements to Financial Risk Models*. San Francisco: Federal Reserve Bank of San Francisco.
- [43] Majnoni, G., Peria, M. S. M., Blaschke, W., & Jones, M. T. (2001). Stress testing of financial systems: An overview of issues, methodologies, and FSAP experiences.

- [61] Van den End, J. W. (2012). Liquidity stress-tester: Do basel III and unconventional monetary policy work? *Applied Financial Economics*, 22(15): 1233-1257.
- [62] Virolainen, K. (2004). Macro stress testing with a macroeconomic credit risk model for Finland. Bank of Finland Discussion Working Paper No 18/2004. Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=622682> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.622682>
- [63] Wand, M. P., Jones, M. C. (1995). Kernel Smoothing. Number 60 in Monographs on statistics and applied probability. *Chapman & Hall/CRC*, 1(2): 1-6.
- [64] Zeevi, A., Mashal, R. (2002). Beyond correlation: Extreme co-movements between financial assets. Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=317122> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.317122>
- Forecasting*, 30(3): 717-728.
- [56] Singh, A. K., Allen, D. E., & Robert, P. J. (2013). Extreme market risk and extreme value theory. *Mathematics and Computers in Simulation*, 94: 310-328.
- [57] Skoglund, J., Nyström, K. (2002). A Framework for Scenario Based Risk Management. Sweden: Swedbank, Group Financial Risk Control S-105 34 Stockholm, 1-56.
- [58] So, M., Wong, J., & Asai, M. (2013). Stress testing correlation matrices for risk management. *The North American Journal of Economics and Finance*, 26: 310-322.
- [59] Sorge, M. (2004). Stress-testing financial systems: An overview of current methodologies. BIS_Working Paper, No. 165.
- [60] Van Den End, J. W. (2009). Liquidity stress-tester: A model for stress-testing banks' liquidity risk. *CESIFO Economic Studies*, 56(1): 38-69.

Archive of SID

Archive of SID