الگوسازی تلاطم در بازارهای دارایی ایران با استفاده از مدل تلاطم تصادفی چند متغیره عاملی

رضا طالبلو
دانشیار گروه اقتصاد نظری، دانشکده اقتصاد، دانشگاه علامه طباطبائی
Taleblou.reza@gmail.com

پریسا مهاجری (نویسنده مسئول)
دانشیار گروه اقتصاد نظری، دانشکده اقتصاد، دانشگاه علامه طباطبائی
p.mohajeri@atu.ac.ir

نوع مقاله: علمی- پژوهشی تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۳/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۸/۱۰

چکیده:
مقاله حاضر با استفاده از داده‌های ماهانه بازده ۵ دارایی طی دوره زمانی ۱۳۹۰/۰۳/۱۰ تا ۱۳۹۹/۱۲/۱۰ درصدد الگوسازی تلاطم بازارهای دارایی ایران است. مدل تلاطم تصادفی چندمتغیره عاملی در چارچوب رویکرد فضا-حالت غیرخطی، مبنای تفکیک تلاطم بازده دارایی‌ها به دو جزء «تلاطم منبعث از عوامل پنهان» و «تلاطم خاص هر دارایی» و برآورد ماتریس همبستگی و کوواریانس پویای تلاطم دارایی‌ها قرار گرفته است. یافته‌ها نشان می‌دهند که اولاً دو عامل پنهان وجود دارد. ثانیاً تلاطم‌های خاص بازده ۳ دارایی مشتمل بر سهام، دلار و طلا از اواسط ۲۰۱۷ تشدید و رفتار خوشه‌ای را از خود به نمایش می‌گذارد. ثالثاً عمده تلاطمات نرخ تورم توسط عوامل پنهان توضیح داده می‌شود و تلاطم خاص تورم، روندی تقریباً هموار دارد. رابعاً تلاطم بازده سهام با تلاطم تورم و دلار همبستگی بالایی دارد. همبستگی بالایی میان تلاطم نرخ تورم با نرخ بازده دلار و نرخ بهره مشاهده می‌شود.

طبقه‌بندی JEL: C11، C32، C58، G17

کلیدواژه‌ها: بازار دارایی‌ها، تلاطم تصادفی عاملی، رویکرد بیزی، مدل فضا-حالت، واریانس ناهمسانی، همبستگی پویا

۱. مقدمه

واریانس وابسته به زمان[1]، جزء لاینفک مدل‌سازی سری‌های زمانی اقتصادی و مالی است. پیش‌تر مارکوویتز[2] (۱۹۵۲) روی روشی برای لحاظ نمودن واریانس‌ناهمسانی به شیوه‌ای بهتر از تخمین پنجره غلتان تمرکز کرده بود و تا سال ۱۹۸۲، دو رویکرد متفاوت پایه‌ای برای پاسخ به این نیاز مطرح گردید. از سوی دیگر، انگل[3] (۱۹۸۲)، گروهی از مدل‌های تلاطم متغیر در طول زمان را پیشنهاد نمود که به مدل‌های واریانس ناهمسانی شرطی خودرگرسیو تعمیم‌یافته[4] (GARCH) شهرت یافتند (بلرسلو[5]، ۱۹۸۶). مشخصه اصلی این مدل‌ها، تغییرات شرطی در واریانس بود. در سوی دیگر، مطالعه تیلور[6] (۱۹۸۲) روی کار مشابهی با مدل‌های فضا-حالت غیرخطی با عامل پنهان سازماندهی شده بود که بعدها به ایجاد مدل‌های تلاطم تصادفی[7] (SV) منجر شد. فرآیند تلاطم در این مدل‌ها، رفتاری تصادفی داشت. به رغم ارائه شواهد تجربی در خصوص برتری مدل‌های SV نسبت به مدل‌های رقیب کلاس گارچ (به ویژه در لحاظ نمودن عوامل مشترک پنهان اثرگذار در سری‌های زمانی مالی و انعطاف‌پذیری بسیار بالا مدل‌های SV در الگوسازی ساختار واریانس-کوواریانس پویا)، این مدل‌ها کمتر مورد توجه قرار گرفتند که مهم‌ترین دلیل آن به عقیده باس[8] (۲۰۱۲)، فقدان بستر نرم‌افزاری استاندارد بود. طی سال‌های اخیر با کوشش‌های کاستنر[9] (۲۰۱۶ و ۲۰۱۹)، کاستنر و همکاران (۲۰۱۷) و حسیجنی و کاستنر[10](۲۰۲۱)، امکان به‌کارگیری تخمین‌های بیزی مدل‌های تلاطم تصادفی عاملی فراهم شد و به‌کارگیری مدل‌های SV، محور مدل‌سازی طیفی از موضوعات اقتصاد مالی قرار گرفته است.

به رغم تلاش‌های متعدد و رو به رشد پژوهشگران خارجی از یک سو و مزایای مدل‌سازی تلاطم بر مبنای الگوهای SV از سوی دیگر، بررسی فضای پژوهشی داخلی تصویر متفاوتی را ارائه می‌کند. تمرکز بر مطالعات داخلی که با الگوهای سری‌زمانی در پی مدل‌سازی

---

1. Time Dependent Variance
2. Markowitz
3. Engle
4. Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity Model
5. Bollerslev
6. Taylor
7. Stochastic Volatility
8. Boss
9. Kastner
10. Hosszenjini & Kastner

تلاطم در بازارهای مالی بوده‌اند حاکی از آن به‌کارگیری انواع مدل‌های گارچ تک‌متغیره و یا چندمتغیره است و استفاده از انواع الگوهای SV (تک‌متغیره و چند متغیره یا عاملی) مدنظر قرار نگرفته است. از این‌رو هدف اصلی مقاله حاضر، پر کردن این خلأ پژوهشی در ادبیات داخلی و تمرکز بر الگوسازی تلاطم تصادفی بازار دارایی‌های ایران است. شواهد بازار دارایی‌های ایران به ویژه طی چندسال اخیر حاکی از تشدید تلاطم در برخی دارایی‌ها بوده است که دو پرسش کلیدی را به ذهن متبادر می‌کند: اولاً سهم عوامل پنهان و عوامل خاص از تلاطم بازدهی دارایی‌ها چقدر است و ثانیاً همبستگی‌های زوجی تلاطم دارایی‌ها در طول زمان چگونه تغییر یافته است؟

در مقاله حاضر تلاش می‌شود تا با استفاده از مدل فضا-حالت غیرخطی و روش بیزین، تلاطم بازده پنج دارایی (مشتمل بر بازده بازار سهام، بازده طلا، بازده ارز، نرخ بهره و نرخ تورم) طی دوره زمانی ۱۳۹۰/۰۳/۱۰ تا ۱۳۹۹/۱۲/۱۰ مدلسازی شود. دو هدف اصلی نیز در این مقاله دنبال می‌شود: نخست، تجزیه لگاریتم واریانس متغیر در طول زمان بازده هر یک از دارایی‌ها به دو جزء «تلاطم منبعث از عامل یا عوامل پنهان» و «تلاطم خاص بازده هر یک از دارایی‌ها» و دوم، برآورد همبستگی‌های متغیر در طول زمان مربوط به تلاطم بازده‌های جفت دارایی‌ها.

در راستای واکاوی ابعاد مختلف موضوع، مطالب مقاله حاضر در ۵ بخش سازماندهی شده است. پس از مقدمه که بخش نخست از مقاله را تشکیل می‌دهد، ادبیات نظری و تجربی، محور اصلی مطالب بخش دوم است. در بخش سوم از مقاله، روش تحقیق با تمرکز بر انواع مدل‌های SV تک‌متغیره و چندمتغیره (یا عاملی) تبیین می‌شود. در بخش چهارم مقاله، پایه‌های آماری و یافته‌های تجربی ارائه می‌شود و در نهایت، بخش پنجم به جمع‌بندی و ارائه پیشنهادها اختصاص دارد.

۲- مبانی نظری و پیشینه تجربی

۲-۱. چارچوب نظری

مبانی نظری دلیل وجود روابط بین بازارها و علت انتقال شوک‌ها را می‌توان در ادبیات سرایت تلاطم جستجو کرد. طبق تقسیم‌بندی بانک جهانی، سه تعریف از سرایت مشتمل بر «تعریف گسترده»، «تعریف محدود» و «تعریف بسیار محدود» می‌توان مطرح کرد. بر اساس تعریف گسترده، سرایت به منزله انتقال شوک بین بازارها (یا بین کشورها) است که هم در زمان‌های خوب و هم در زمان‌های بد می‌تواند رخ دهد. با این حال پدیده سرایت در زمان بحران‌ها

عمدتاً مورد تأکید قرار می‌گیرد. در تعریف محدود، سرایت منعکس‌کننده انتقال شوک‌ها به سایر بازارها و یا کشورها است فارغ از آنکه پیوندهای بنیادی بین آن‌ها وجود داشته باشد که این تعریف، ناظر بر حرکات همزمان افراطی بازارها است که مؤید وجود رفتار گله‌ای است. در تعریف بسیار محدود، سرایت زمانی رخ می‌دهد که همبستگی بازارها در دوره‌های بحران نسبت به دوره عادی، افزایش می‌یابد.

نظریه‌های مرتبط با سرایت در ادبیات مالی به دو گروه سرایت مکانیکی[۱] و سرایت روانی[۲] قابل طبقه‌بندی است. در گروه نخست، وابستگی‌های مالی و واقعی بین بازارها یا کشورها منجر به سرایت تلاطم می‌شود (کالو و رینهارت[۳]، ۱۹۹۶) و روی عوامل بنیادی نظیر شوک‌های عمومی، روابط تجاری و روابط مالی برای توضیح سرایت تلاطم تمرکز می‌شود. در مقابل، ریشه سرایت در نظریات گروه دوم، رفتار سرمایه‌گذاران و تصمیمات آن‌هاست که می‌تواند به تلاطم همزمان افراطی در بازارها منجر گردد (دورنبوش[۴] و همکاران، ۲۰۰۰). در نظریات دسته دوم، موضوعاتی نظیر نقدینگی و انگیزش[۵]، عدم تقارن اطلاعات[۶]، مسئله هماهنگی بازار[۷] و ارزیابی مجدد سرمایه‌گذار[۸] به عنوان علل انتقال تلاطمات معرفی می‌شوند (کلیسنس و فوربیس[۹]، ۲۰۰۴). برخی از اقتصاددانان نیز بر این باورند که ورود اطلاعات جدید و غیرمنتظره منجر به تلاطم بازدهی‌های انتظاری دارایی‌ها می‌شود و هرگونه تغییر و تحول در تلاطم بازارهای مالی، ریشه در تحولات و تلاطم محیط اقتصاد ملی، منطقه‌ای یا جهانی دارد (تسای[۱۰]، ۲۰۰۲).

صرف‌نظر از دلایل نظری بروز تلاطم در بازارهای مالی، ضرورت درک ماهیت تلاطم سبب شده است تا پژوهشگران متعددی، مدل‌سازی تلاطم را سرلوحه مطالعات خود قرار دهند. به رغم آنکه تمرکز بر میانگین بازدهی‌های انواع دارایی حقیقی و مالی، محور اصلی اکثر تحقیقات سنتی در اقتصاد مالی را تشکیل می‌دهد، اما توسعه‌های اخیر در بازارهای مالی بین‌المللی، حاکی از مورد توجه قرار گرفتن مدل‌سازی تلاطم بازدهی دارایی‌ها توسط پژوهشگران می‌باشد.

---

1. Mechanical Contagion
2. Psychological Contagion
3. Calvo & Reinhart,
4. Dornbusch, et.al.
5. Liquidity and Incentive Problems
6. Asymmetric Information
7. Market Coordination Problem
8. Investor Reassessment
9. Classeness & Forbes
10. Tsay

تلاطم عموماً به صورت انحراف‌معیار نمونه مورد بررسی در نظر گرفته می‌شود که با سه نوع مختلف از الگوها مشتمل بر «مدل‌های سری زمانی»، «مدل‌های اختیارات» و «مدل‌های مبتنی بر روش‌های ناپارامتریک»، مدل‌سازی می‌شود (کشاورز حداد و صمدی[1]، ۱۳۸۸). مدل‌های سری زمانی نیز طبق طبقه‌بندی پون و گرنجر[2] (۲۰۰۳) به دو گروه «مدل‌های پیش‌بینی بر اساس انحراف معیار تاریخی» و «مدل‌های ناهمسان شرطی» تقسیم می‌شوند. گروه نخست از الگوهای سری‌زمانی که شامل مدل‌های گام تصادفی، میانگین مجذور بازده، میانگین متحرک ساده و میانگین وزنی نمایی و نظایر آن هستند بر فرض «توزیع یکسان و عدم همبستگی اجزای اخلال» استوارند در حالی‌که شواهد به دست آمده از دنیای واقعی، تصویر کاملاً متفاوتی را ارائه می‌دهد. در مقاله ارزشمند بلرسلو و همکاران (۱۹۹۴)، «خوشه‌ای بودن تلاطم»، «هم‌حرکتی در تلاطم‌ها»، «همبستگی‌های سریالی بین اجزای اخلال» و «توزیع‌های غیرنرمال» از جمله ویژگی‌های مهم برشمرده تلاطم بازدهی سهام ذکر شده است.

ارائه شواهدی مبنی بر وجود همبستگی‌های تلاطم‌ها و غیرنرمال بودن توزیع، زمینه‌ای برای ارائه مدل‌های ناهمسان شرطی را فراهم نمود که این مدل‌ها نیز به نوبه خود به مدل‌های آرچ/گارچ و مدل‌های تلاطم تصادفی تفکیک می‌شوند. در مدل‌های کلاس آرچ و گارچ فرض بر آن است که تغییرات واریانس از یک «تابع دقیق یا معین»[3] پیروی می‌کند در حالی‌که در مدل‌های تلاطم تصادفی، معادله به‌کار رفته برای توصیف واریانس، تصادفی است. معرفی و کاربست مدل‌های تلاطم تصادفی عاملی طی حدود دو دهه اخیر مرهون مطالعاتی همچون هاروی[4] و همکاران (۱۹۹۴) و آقیولار و وست[5] (۲۰۰۰) است که اخیراً توسط فیلیپف و گلیکمن[6] (۲۰۰۹) ، چیب[7] و همکاران (۲۰۰۶) ، هان[8] (۲۰۰۶) ، لوپز و کاروالو[9] (۲۰۰۷) ، ناکاجیما و وست[10] (۲۰۱۳) و ژویو[11]و همکاران (۲۰۱۴) توسعه یافته است. با توجه به اینکه کاهش ابعاد، از مهم‌ترین مسائل پیش‌روی پژوهشگران است،

1. Keshavarz Hadad & Samadi
2. Poon & Granger
3. Exact Function
4. Harvey et.al.
5. Aguilar & West
6. Philipov & Glickman
7. Chib
8. Han
9. Lopes & Carvalho
10. Nakajima & West
11. Zhou

کاستنر (۲۰۱۹) با انتشار مقاله‌ای ارزشمند به مصاف این چالش می‌رود و در چارچوب رویکرد بیزی، عناصر غیرمهم در ماتریس بار عاملی را شناسایی و حذف می‌کند.

۲-۲. مروری بر ادبیات تجربی داخلی و خارجی

مدل‌های سری‌های زمانی، یکی از متداول‌ترین رویکردهای الگوسازی تلاطم بازارهای مالی و دارایی‌ها به شمار می‌رود که بر اساس تقسیم‌بندی پون و گرنجر (۲۰۰۳) شامل دو گروه «پیش‌بینی بر اساس انحراف معیار تاریخی» و «مدل‌های ناهمسانی شرطی» می‌شود. بر اساس تقسیم‌بندی صورت‌گرفته مدل‌های ناهمسان شرطی نیز به نوبه خود مشتمل بر «مدل‌های تلاطم شرطی کلاس آرچ» و «مدل‌های تلاطم تصادفی» هستند. مروری بر ۴۰ مطالعه داخلی که طی یک دهه اخیر منتشر شده است، چند مشاهده کلیدی را به دست می‌دهد که در ادامه تبیین می‌شوند.

➢ **مشاهده اول- امکان‌پذیری طبقه بندی مطالعات داخلی در حوزه مدل‌سازی تلاطم به سه گروه:** گروه نخست با مطالعاتی نظیر رضازاده و فلاح (۱۳۹۹)، کاشانی‌تبار و همکاران (۱۳۹۹)، تیموری و همکاران (۱۳۹۹)، کشاورز حداد و مفتخر دریائی‌نژاد (۱۳۹۷)، مقدسی و همکاران (۱۳۹۷)، سفیدبخت و رنجبر (۱۳۹۶)، رعنایی و همکاران (۱۳۹۶)، حسینیون و همکاران (۱۳۹۵)، مملی‌پور و فعلی (۱۳۹۵)، فلاحی و همکاران (۱۳۹۳)، جهانگیری و حکمتی فرید (۱۳۹۳) و علمی و همکاران (۱۳۹۳) به بررسی «سرایت تلاطم در بازارهای دارایی داخلی» پرداخته و سهم ۳۰ درصدی در ادبیات داخلی مرتبط با مدلسازی تلاطم دارند و مقاله حاضر در این طیف جای می‌گیرد. تمرکز دسته دوم از مطالعات با محوریت «سرایت تلاطم از بازارهای جهانی» با فراوانی ۲۲ درصدی، موضوع مطالعاتی چون ابونوری و همکاران (۱۳۹۹) ، کریمی و همکاران (۱۳۹۸)، بت‌شکن و محسنی (۱۳۹۷)، توکلیان و همکاران (۱۳۹۵)، سیدحسینی و همکاران (۱۳۹۲، ۱۳۹۳)، سیدحسینی و ابراهیمی (۱۳۹۲) و زاهدی تهرانی (۱۳۹۱) بوده است. دسته سوم، به مدل‌سازی «تلاطم قیمت شاخص کل بازار سهام، برخی گروه‌های صنایع و سایر دارایی‌ها» پرداخته‌اند که مقالات راستین‌فر و همت‌فر (۱۳۹۹)، خدایاری و همکاران (۱۳۹۹)، قاضی‌فینی و پناهیان (۱۳۹۸)، اربابی (۱۳۹۷)، شیرازیان و همکاران (۱۳۹۷)، فتاحی و همکاران (۱۳۹۵)، نبوی چاشمی و مختاری نژاد (۱۳۹۵)، کشاورز حداد و محمدی (۱۳۹۵)، نادمی و همکاران (۱۳۹۴)، نظیفی و همکاران (۱۳۹۱)، حیدری و همکاران (۱۳۹۱) و کشاورز حداد و همکاران (۱۳۹۰)، کشاورز حداد و حیدری (۱۳۹۰)، کشاورز حداد و اسمعیل‌زاده (۱۳۸۹)، کشاورز حداد و صمدی (۱۳۸۸)، راسخی و

خانعلی‌پور (۱۳۸۸) و ابونوری و موتمنی (۱۳۸۶) در این حوزه جای می‌گیرند و بیش از ۴۸ درصد فضای پژوهشی داخلی را در حوزه مدل‌سازی تلاطم به خود اختصاص می‌دهد.

➢ **مشاهده دوم- غفلت از به‌کارگیری مدل‌های تلاطم تصادفی:** مروری بر این پژوهش‌ها حاکی از آن است که مدل‌های تلاطم شرطی کلاس آرچ و گارچ، رویکرد اصلی مدل‌سازی تلاطم سری‌های زمانی در این مقالات بوده است و مدل‌های تلاطم تصادفی که خصوصاً در سال‌های اخیر مورد توجه و اقبال پژوهشگران خارجی بوده است، در مطالعات داخلی مغفول باقی مانده است. یکی از مهم‌ترین مزیت‌های به‌کارگیری مدل‌های تلاطم تصادفی، تفکیک تلاطم هر یک از سری‌های زمانی به دو جزء «تلاطم نشأت گرفته از عوامل پنهان» و «تلاطم خاص هر بازار دارایی» است که مدل‌های تلاطم شرطی آرچ و گارچ، آن را در نظر نمی‌گیرند.

➢ **مشاهده سوم- یافته‌های متضاد همبستگی و انتقال تلاطمات در بازارهای دارایی‌ها:** به رغم آنکه نتایج برخی مقالات نشان‌دهنده انتقال دوطرفه تلاطم و یا وجود همبستگی تلاطم بازارهای طلا و سهام است (مانند تیموری و همکاران، ۱۳۹۹، سفیدبخت و رنجبر، ۱۳۹۶، رعنایی و همکاران، ۱۳۹۶، حسینیون و همکاران، ۱۳۹۵، جهانگیری و همکاران، ۱۳۹۳، علمی و همکاران، ۱۳۹۳) نتایج سایر مقالات، چنین یافته‌ای را تأیید نمی‌کنند (مانند فلاحی و همکاران، ۱۳۹۳). همچنین به رغم آنکه برخی مطالعات به انتقال یک‌طرفه شوک از بازار سهام به بازار ارز اشاره نموده‌اند (رعنایی و همکاران، ۱۳۹۶، حسینیون و همکاران، ۱۳۹۵،)، نتایج سایر مطالعات بر وجود ارتباط دو طرفه (سفیدبخت و رنجیر، ۱۳۹۶) و یا همبستگی‌های ضعیف و نبود رابطه (فلاحی و همکاران، ۱۳۹۳) تأکید دارند. گزارش نتایج متضاد در مقالات مختلف، دور از انتظار نیست زیرا بخشی از تلاطم بازده دارایی‌ها، نشأت گرفته از تلاطم تصادفی عوامل پنهانی است که تلاطم بازده دارایی‌ها را متأثر می‌سازد که مدل‌های تلاطم شرطی آرچ و گارچ، توانایی شناسایی و تفکیک اثر عوامل پنهان بر تلاطم بازده دارایی‌ها را ندارند. از آنجایی‌که پویایی‌های تلاطم عوامل پنهان در مقاطع مختلف زمانی متفاوت است، غفلت از آن می‌تواند نتایج گمراه‌کننده‌ای از همبستگی و ارتباط بین بازده دارایی‌ها به دست دهد.

مروری بر ادبیات تجربی خارجی، تصویر کاملاً متفاوتی را ارائه می‌دهد به‌طوری‌که به‌کارگیری الگوهای تلاطم تصادفی چندمتغیره، محور اصلی مدل‌سازی بسیاری از مقالات جدید در حوزه‌های مختلف تشکیل می‌دهد. بررسی تلاطم بازارهای مالی چین، آمریکا و

برخی کشورهای آسیای‌جنوب شرقی در مقاله ژانگ و ژوآنگ[۱](۲۰۱۷) ، سنجش همبستگی تلاطم قیمت نفت، نرخ حمل و نقل و شاخص قیمت سهام در مقاله لیو و یو[۲](۲۰۱۹) ، مدل‌سازی تلاطم تصادفی بازدهی سهام ۳۰۰ شرکت در مجموعه S&P 500 در مقاله کاستنر (۲۰۱۹)، الگوسازی تلاطم تحقق‌یافته ۹ سهام آمریکایی در مقاله یامائوچی و اُموری[۳] (۲۰۲۰)، تلاطم قیمت رمزارزها در مطالعه شی[۴]و همکاران (۲۰۲۰) ، هم‌حرکتی بازار سهام در بین بزرگترین بازارهای مالی جهان در مقاله زاهاریوا[۵] و همکاران (۲۰۲۰)، تلاطم داده‌های کلان اقتصاد آمریکا در پژوهش کاستنر و هوبر[۶] (۲۰۲۰)، اثرات سرریز تلاطم بین ۹ بازار مالی در مقاله ژانگ و ژوآنگ (۲۰۲۱) و مدل‌سازی تلاطم قیمت نفت‌خام، مس، گندم، گوشت، آلومینیوم و ذرت در مقاله اسپوستی[۷] (۲۰۲۱) از جمله مطالعات تجربی اخیری است که روش تلاطم تصادفی چندمتغیره در قالب رویکرد الگوهای فضا-حالت را برای مدل‌سازی تلاطم سری‌های زمانی استفاده نموده‌اند.

بررسی فضای پژوهشی داخلی و مقایسه آن با مطالعات خارجی نشان‌دهنده آن است که تمرکز مدل‌سازی سرایت و همبستگی تلاطم بر مدل‌های کلاس آرچ و گارچ یک یا چندمتغیره استوار بوده و مدل‌سازی بر مبنای الگوی تلاطم تصادفی عاملی چندمتغیره به رغم مزایا و استقبال پژوهشگران خارجی، در مطالعات داخلی مورد توجه نبوده است. لذا نوآوری اصلی مقاله حاضر، پر کردن خلأ پژوهشی مذکور در مطالعات داخلی است.

۳. روش تحقیق

مدل‌های تلاطم تصادفی برای الگوسازی تلاطم از معادله دیفرانسیلی تصادفی استفاده می‌کنند بدین معنا که یک جزء تصادفی در مدل واریانس شرطی وارد می‌شود. شکل عمومی مدل تلاطم تصادفی برای بازده دارایی‌ها از طریق رابطه (۱) قابل نمایش است:

$$y_t = \sigma_t \varepsilon_t \qquad (1 - \alpha_1 \beta - \cdots - \alpha_m \beta^m) \ln(\sigma_t^2) = \alpha_0 + \vartheta_t \qquad (۱)$$

---

1. Zhang & Zhuang
2. Liu & Yu
3. Yamauchi & Omori
4. Shi
5. .Zaharieva
6. Kastner Huber
7. Esposti

که در آن، $\{\varepsilon_t\}$ و $\{\vartheta_t\}$ ها مستقل و به ترتیب دارای توزیع یکسان $\mathcal{N}(0,1)$ و $\mathcal{N}(0,\sigma_\vartheta^2)$ می‌باشند و α_0 نیز مقداری ثابت است. به منظور حصول اطمینان از غیرمنفی بودن واریانس شرطی، در مدل‌های SV نیز همانند مدل‌های EGARCH از $\ln(\sigma_t^2)$ به جای σ_t^2 استفاده می‌شود (تیلور، ۲۰۰۱). در یک مدل تلاطم تصادفی، اضافه شدن جزء تصادفی ϑ_t موجب افزایش انعطاف‌پذیری مدل می‌شود اما در مقابل، برآورد پارامترها را دشوارتر می‌سازد زیرا برآورد این الگوها به روش حداکثر راستنمایی، امکان‌پذیر نیست. مدل‌های تلاطم تصادفی به دو صورت تک متغیره و چندمتغیره عاملی طبقه‌بندی می‌شود که در ادامه به توضیح آنها پرداخته می‌شود.

۳-۱. مدل‌های SV تک متغیره

مهم‌ترین مؤلفه مدل‌های تلاطم تصادفی، «تصادفی و در طول زمان متغیر بودن واریانس» است. به طور خاص، فرض می‌شود که لگاریتم واریانس از یک فرآیند خودرگرسیو مرتبه اول AR(1) تبعیت می‌کند. چنین ویژگی در مدل‌های زیر به نمایش درآمده است:

۳-۱-۱. تلاطم تصادفی ساده با برآوردگرهای خطی: فرض کنید که $y = (y_1, \dots, y_n)^T$، برداری از مشاهدات را نشان می‌دهد. مدل‌های SV، ساختار زیر را برای y در نظر می‌گیرند:

$$\begin{aligned} y_t &= x_t\beta + \exp(h_t/2)\,\varepsilon_t \\ h_{t+1} &= \mu + \varphi(h_t - \mu) + \sigma\eta_t \\ \varepsilon_t &\sim \mathcal{N}(0,1) \\ \eta_t &\sim \mathcal{N}(0,1) \end{aligned} \qquad (۲)$$

که $\mathcal{N}(b, B)$ توزیع نرمال با میانگین $b \in \mathbb{R}$ و واریانس $B \in \mathbb{R}^+$ را نشان می‌دهد و ε_t و η_t مستقل هستند. روند لگاریتم واریانس $h = (h_1, \dots, h_n)^T$ نیز از طریق توزیع $h_0 \sim \mathcal{N}(\mu, \sigma/(1-\varphi^2))$ نمایش داده می‌شود. ماتریس $X = (x_1^T, \dots, x_n^T)^T$ ماتریس $n \times K$ است که t امین ردیف آن، بردار K تخمین‌زننده در زمان t را نشان می‌دهد. ضرایب رگرسیون K در $\beta = (\beta_1, \dots, \beta_K)^T$ گردآوری شده‌اند. پارامترهای مدل SV با $\vartheta = (\mu, \varphi, \sigma)$ نشان داده می‌شوند که μ سطح، φ ماندگاری و σ انحراف معیار لگاریتم واریانس است.

۳-۱-۲. مدل SV با خطای توزیع t استیودنت: تعدادی از پژوهشگران پیشنهاد نموده‌اند که از توزیع‌های پسماند شرطی غیرنرمال برای مدلسازی تلاطم تصادفی استفاده شود که برای نمونه می‌توان به توصیه برخی از آنان مبنی بر به‌کارگیری توزیع t استیودنت (توسط

هاروی و همکاران، ۱۹۹۴)، گاوسی معکوس تعمیم‌یافته گسترده (سیلوا[1] و همکاران، ۲۰۰۶)، پسماندهای پارامتریک یا شبه پارامتریک (جنسن و ماهیو[2]، ۲۰۱۰ و دیلاتولا و گریفین[3]، ۲۰۱۱) یا توزیع t استیودنت چوله هذلولی تعمیم‌یافته (ناکاجیما و اُموری، ۲۰۱۲) اشاره کرد. اگر خطای t استیودنت برای معادله مشاهدات در تلاطم تصادفی اعمال شود، خواهیم داشت:

$$\begin{aligned} y_t &= x_t\beta + \exp(h_t/2)\,\varepsilon_t \\ h_{t+1} &= \mu + \varphi(h_t - \mu) + \sigma\eta_t \\ \varepsilon_t &\sim t_v(0,1) \\ \eta_t &\sim \mathcal{N}(0,1) \end{aligned} \qquad (۳)$$

که ε_t و η_t مستقل هستند و $t_v(a,b)$ توزیع t استیودنت با درجه آزادی v، میانگین a و واریانس b است. تنها تفاوت معادله (۲) و (۳) آن است که در معادله (۳)، مشاهدات توزیع t دارند، لذا معادله (۳)، شکل تعمیم‌یافته‌ای از معادله (۲) است زیرا هنگامی‌که درجه آزادی به سمت بی‌نهایت میل کند، توزیع t به توزیع نرمال استاندارد تبدیل خواهد شد.

۳-۱-۳. مدل SV با اهرم: پیشنهادهایی در ارتباط با تغییرات نامتقارن مشتمل بر توزیع‌های ناپارامتریک (جنسن و ماهئو، ۲۰۱۴)، توزیع‌های چوله (ناکاجیما و اُموری، ۲۰۱۲) و توزیع‌های همبسته توأم با تغییر واریانس که به آن اثر اهرم نیز گفته می‌شود (هاروی و شفارد، ۱۹۹۶[4]، ژاکیه و همکاران ۲۰۰۴[5]) مطرح شده‌اند. با اعمال اثر اهرم در مدل تلاطم تصادفی داریم:

$$\begin{aligned} y_t &= x_t\beta + \exp(h_t/2)\,\varepsilon_t \\ h_{t+1} &= \mu + \varphi(h_t - \mu) + \sigma\eta_t \\ \varepsilon_t &\sim \mathcal{N}(0,1) \\ \eta_t &\sim \mathcal{N}(0,1) \end{aligned} \qquad (۴)$$

که ماتریس همبستگی (ε_t, η_t) بدین صورت است:

$$\Sigma^{\rho} = \begin{pmatrix} 1 & \rho \\ \rho & 1 \end{pmatrix} \qquad (۵)$$

---

1. Silva
2. Jensen & Maheu
3. Delatola & Griffin
4. Harvey & Shephard
5. Jacquier

که بردار $\varsigma = (\mu, \varphi, \sigma, \rho)^T$، تمامی پارامترهای SV را نشان می‌دهد. در مقایسه با معادله (۲)، پارامتر جدید، عبارت همبستگی ρ است که پسماندهای مشاهدات را به تغییرات فرآیند واریانس مرتبط می‌سازد. بنابراین معادله (۲)، حالت خاصی از معادله (۴) است مشروط به اینکه $\rho = 0$ باشد.

۴-۱-۳. مدل SV با خطای t استیودنت و اهرم: برخی پژوهشگران، ترکیب توزیع خطای t و اثر اهرمی را پیشنهاد نموده‌اند (ژاکیه و همکاران، ۲۰۰۴، اُموری و همکاران، ۲۰۰۷ و ناکاجیما و اُموری، ۲۰۰۹). با تعمیم معادله (۳) و (۴) خواهیم داشت:

$$\begin{aligned} y_t &= x_t\beta + \exp(h_t/2)\,\varepsilon_t \\ h_{t+1} &= \mu + \varphi(h_t - \mu) + \sigma\eta_t \\ \varepsilon_t &\sim t_v(0,1) \\ \eta_t &\sim \mathcal{N}(0,1) \end{aligned} \qquad (۶)$$

که ماتریس همبستگی (ε_t, η_t)، عبارت $\sum^{\rho}$ در معادله (۵) می‌باشد.

۳-۲. مدل‌های SV چندمتغیره یا عاملی

برای دستیابی به هدف تحقیق، در این مقاله از چارچوب چندمتغیره مبتنی بر اصل صرفه‌جویی که بر تغییرپذیری در طول زمان بازده دارایی‌ها استوار است در قالب مدل تلاطم تصادفی استفاده شده است. علاوه بر اینکه، این مدل قادر است مؤلفه‌های محتمل در بازده دارایی‌ها از قبیل «تلاطم خوشه‌ای» و «هم‌حرکتی تلاطم» را به خوبی در بر گیرد. همچنین از آنجایی‌که به طور همزمان، مدل باید در مقابل شوک‌های مختص به آن دارایی مقاوم باشد، MFSVM به خوبی می‌تواند تمامی موضوعات مرتبط با داده‌ها و استحکام را تأمین سازد زیرا این مدل از فضای عامل پنهان متعامد با ابعاد کمتر بهره می‌گیرد. این عوامل می‌توانند هم‌حرکتی‌های متلاطم در طول زمان متغیر را در برگیرند. علاوه بر این، این رویکرد، تلاطم خوشه‌ای را نیز منظور می‌کند که آن را در مقابل شوک‌های مختص مرتبط با ماهیت فرآیندهای تلاطم تصادفی، مقاوم و مستحکم می‌سازد. اصلی‌ترین دشواری تخمین کوواریانس پویا، تعداد نسبتاً بالای مجهولات در مقایسه با تعداد مشاهدات است. اگر mابعاد مقطع را نشان دهد، در آن صورت ماتریس کوواریانس مرتبط با آن یعنی Σ_t، درجه آزادی $m(m+1)/2$ خواهد بود. یک شیوه برای از بین بردن «نفرین یا مزاحمت ابعاد[1]»، استفاده از عوامل پنهان و دستیابی به تخمینی کارا از Σ_t است. مدل‌های عامل نهفته بر این ایده استوارند که حتی سیستم‌های با ابعاد بالا نیز

[1]. Curse of Dimensionality

توسط چند منبع تصادفی هدایت می‌شوند. این چند منبع تصادفی، چند عامل را کنترل می‌کنند که به نوبه خود تعاملات بین مشاهدات را متأثر می‌سازد. علاوه بر این، مدل‌های عامل پنهان، ابزاری کارآمد برای تخمین ماتریس کوواریانس پویا فراهم می‌سازد. این مدل‌ها اجازه می‌دهند تا تعداد مجهولات کاهش یابد. یک مدل متداول عامل پنهان با r عامل به صورت زیر تجزیه می‌شود:

$$\Sigma_t = \breve{\Sigma}_t + \bar{\Sigma}_t \qquad (۷)$$

که مرتبه $\breve{\Sigma}_t$ برابر با r است و r<m می‌باشد. همچنین $\bar{\Sigma}_t$ ماتریس قطری است که شامل واریانس‌های خاص خطاها می‌باشد. فرض مرتبه روی $\breve{\Sigma}_t$ متقارن باعث ایجاد «عاملی‌سازی[1]»، $\breve{\Sigma}_t = \Psi\Psi^T$ می‌شود که $\Psi \in \mathbb{R}^{m\times r}$ شامل $mr - r(r-1)/2$ تعداد عنصر آزاد خواهد بود. بنابراین $mr - r(r-1)/2$ تعداد عنصر آزاد در Σ_t باقی خواهد ماند. در الگوهای SV عاملی، مشاهدات $y = (y_{t1}, \dots, y_{tm})^T$ را به شیوه زیر می‌توان مدل‌سازی نمود.

$$\begin{aligned} &y_t|\beta, \Lambda, f_t, \bar{\Sigma}_t \sim \mathcal{N}_m(\beta + \Lambda f_t, \bar{\Sigma}_t) \\ &f_t|\tilde{\Sigma}_t \sim \mathcal{N}_r(0, \tilde{\Sigma}_t) \end{aligned} \qquad (۸)$$

که $f_t = (f_{t1}, \dots, f_{tr})^T$ بردار عوامل، $\beta = (\beta_1, \dots, \beta_m)^T$ میانگین خاص مشاهدات و $\Lambda \in \mathbb{R}^{m\times r}$ ماتریس بار عاملی است. ماتریس‌های کوواریانس $\bar{\Sigma}_t$ و $\tilde{\Sigma}_t$ هر دو قطری هستند که فرآیند تلاطم تصادفی ساده مستقل را نشان می‌دهند.

$$\begin{aligned} &\bar{\Sigma}_t = diag\left(\exp(\bar{h}_{t1}), \dots, \exp(\bar{h}_{tm})\right), \\ &\tilde{\Sigma}_t = diag\left(\exp(\tilde{h}_{t1}), \dots, \exp(\tilde{h}_{tr})\right), \\ &\bar{h}_{ti} \sim \mathcal{N}\left(\bar{\mu}_i + \bar{\varphi}_i(\bar{h}_{t-1,i} - \bar{\mu}_i), \bar{\sigma}_i^2\right), \ \ i = 1, \dots, m \\ &\tilde{h}_{tj} \sim \mathcal{N}\left(\tilde{\mu}_j + \tilde{\varphi}_j(\tilde{h}_{t-1,j} - \tilde{\mu}_j), \tilde{\sigma}_j^2\right), \ \ j = 1, \dots, r \end{aligned} \qquad (۹)$$

بر اساس معادله (۸)، معادله (۷) را به صورت زیر می‌توان فرمول‌بندی مجدد کرد:

$$\Sigma_t = \Lambda\tilde{\Sigma}_t\Lambda^T + \bar{\Sigma}_t \qquad (۱۰)$$

که چندین مسئله شناسایی شامل مرتبه، علامت و مقیاس عوامل وجود دارد که نامشخص‌اند. به طور خاص برای هر ماتریس جایگزینی تعمیم‌یافته P با اندازه $r \times r$، می‌توان تجزیه معتبر دیگری مانند $\Sigma_t = \Lambda'\tilde{\Sigma}_t'(\Lambda')^T + \bar{\Sigma}_t$ یافت که $\Lambda' = \Lambda P^{-1}$ و

[1]. Factorization

$\tilde{\Sigma}_t' = P\tilde{\Sigma}_t P^T$ می‌باشد. ابهام موجود در مقیاس عوامل را از طریق ثابت نمودن سطح لگاریتم واریانس با صفر یعنی $\tilde{\mu}_j = 0$ برای $j = 1, \dots, r$ می‌توان برطرف کرد. شناسایی علامت و مرتبه را نیز می‌توان از طریق محدودیت‌هایی روی ماتریس بار عاملی Λ انجام داد (حسیجنی و کاستنر، ۲۰۲۱). بر اساس رابطه (۱۰)، تلاطم (لگاریتم واریانس) را به دو جزء می‌توان تجزیه کرد، جزء اول مرتبط با تأثیر عامل (یا عوامل) پنهان بر متغیر مورد بررسی است و جزء دوم، تلاطم خاص هر متغیر را نشان می‌دهد. در عبارت نخست از رابطه (۱۰) یعنی $\Lambda\tilde{\Sigma}_t\Lambda^T$، ماتریس بار عاملی با Λ نشان داده می‌شود که نشان‌دهنده میزان اثرپذیری هر یک از متغیرها از عامل (یا عوامل) پنهان است و ماتریس $\tilde{\Sigma}_t$ نیز ماتریس تلاطم عامل (یا عوامل) پنهان را نشان می‌دهد.

البته همانطور که پیش‌تر نیز توضیح داده شد برآورد سازگار از واریانس‌های مربوطه غیرممکن است اگر محدودیت‌های مطلق روی پارامترها در نظر گرفته شود. تحت چنین شرایطی، استنباط بیزی برای توزیع پسین می‌تواند انعطاف‌پذیری برآوردها را فراهم سازد. بدین ترتیب ممکن است از فرآیند برآورد زنجیره مارکف مونت‌کارلو (MCMC) استفاده شود (شی و همکاران، ۲۰۲۰). هر چد این الگوریتم عمدتاً با فقدان همگرایی روبروست و امکان دارد که نتایج اریب‌داری از پارامترهای مرتبط ارائه کند. فرآیند برآورد معرفی شده توسط کاستنر و همکاران (۲۰۱۷)، راهکارهای مختلفی را برای غلبه بر این مشکلات بالقوه ارائه می‌کند.

به طور خلاصه، در این مقاله به سه دلیل از MFSVM معرفی شده توسط کاستنر و همکاران (۲۰۱۷) استفاده می‌شود. اولاً این رویکرد قادر است ویژگی‌های دارایی‌های مالی خصوصاً «تلاطم خوشه‌ای» و «هم‌حرکتی تلاطمات در طول زمان متغیر» را در نظر بگیرد. ثانیاً این رویکرد نسبت به واریانس‌ها و شوک‌های خاص دارایی مقاوم است. ثالیاً از استنباط بیزی برای توزیع پسینی استفاده می‌شود که ضمن انعطاف‌پذیری برآوردها، مسئله‌ای در ارتباط با «فقدان همگرایی» ندارد.

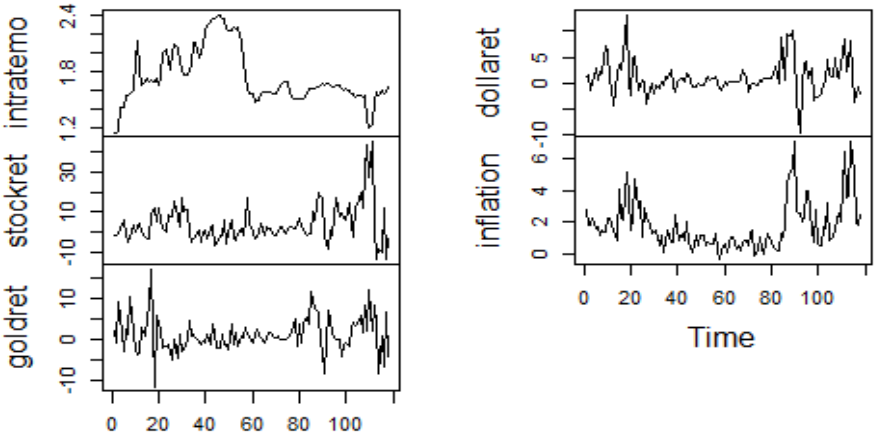
۴. پایه‌های آماری، برآورد مدل و تحلیل نتایج

۴-۱. آماره‌های توصیفی

به منظور الگوسازی تلاطم تصادفی چند متغیره که انعطاف بسیار بیشتری نسبت به الگوهای رقیب دارند و در چارچوب رویکرد فضا-حالت غیرخطی، سرایت تلاطم بازارهای دارایی در ایران با استفاده از داده‌های ماهانه ۵ دارایی پرداخته می‌شود. این ۵ بازار دارایی عبارتند از:

بازار ارز، طلا، سهام، بازار بین‌بانکی و کالاهای بادوام که آمارهای مرتبط با نرخ ارز (دلار)، قیمت طلا، بازده سهام (مبتنی بر شاخص هم‌وزن بورس) از سایت ره‌آورد نوین، نرخ بهره بین بانکی از بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران و نرخ تورم کالاها از سایت مرکز آمار ایران به صورت ماهانه و برای برای دوره زمانی ۱۰ خرداد ۱۳۹۰ تا ۱۰ اسفند ۱۳۹۹ (مقارن با ۳۱ مه ۲۰۱۱ تا ۲۸ فوریه ۲۰۲۱) استخراج شده است که در مجموع ۱۱۸ مشاهده برای هر یک از متغیرهای برشمرده وجود دارد. بر اساس نمودار (۱)، می‌توان روی چند حقیقت مشاهده شده در بازارهای مالی اشاره کرد. اولاً فرآیند تلاطم بازده دارایی‌ها در طول زمان ثابت نبوده و در حال تغییر است. همانطور که مشاهده می‌شود تلاطمات مربوط به نرخ بهره در نیمه اول دوره مورد بررسی بالاتر از نیمه دوم بوده است. این در حالی‌است که بر تلاطم دلار، سهام و تورم به ویژه در یک‌سوم پایانی دوره بررسی افزوده شده است. ثانیاً رفتار خوشه‌ای در دارایی‌های مالی مشاهده می‌شود بدین معنا که نوسانات شدید به دنبال خود تلاطمات بالایی را ایجاد می‌کنند و معمولاً نوسانات اندک با تلاطمات اندک در دوره‌های بعدی همراه می‌شوند. برای نمونه، تشدید تلاطمات در یک‌سوم ابتدایی و یک‌سوم انتهایی دوره در نمودار دلار به خوبی قابل رؤیت است در حالی‌که در یک‌سوم میانی، تلاطمات بسیار اندکی مشاهده می‌شود. ثالثاً هم‌حرکتی‌های بین بازارهای دارایی‌ها در طول زمان ثابت نیست. مثلاً هم‌حرکتی بازده بازار سهام با بازار دلار و تورم در ابتدای دوره مورد بررسی با انتهای دوره متفاوت است به‌طوری‌که بر شدت این هم‌حرکتی در انتهای دوره افزوده شده است.

نمودار (۱): لگاریتم بازدهی دارایی‌ها طی دوره ۱۳۹۰/۰۳/۱۰ الی ۱۳۹۹/۱۲/۱۰



منبع: یافته‌های پژوهش

جدول (۱): آماره‌های توصیفی بازده ماهانه دارایی‌ها در دوره ۱۳۹۰/۰۳/۱۰ تا ۱۳۹۹/۱۲/۱۰

بازده دارایی‌های مختلف	اسامی اختصاری	میانگین	انحراف معیار	چولگی	کشیدگی
نرخ بهره	Intratemo	۱/۷۳۷۶۳	۰/۲۸۹۲۲	۰/۶۹۳۴۱	۰/۱۴۷۹۷
نرخ بازده سهام	Stockret	۳/۶۸۶۵۳	۹/۲۷۷۱۵	۱/۷۷۶۳۷	۵/۱۸۱۰۷
نرخ بازده طلا	Goldret	۱/۱۹۰۰۸	۴/۱۷۴۵۹	۰/۵۲۵۳۱	۱/۸۲۸۳۹
نرخ بازده دلار	Dollaret	۱/۱۲۷۶۳	۳/۱۸۹۶۸	۰/۹۲۹۲۷	۲/۴۷۸۱۴
نرخ تورم	Inflation	۱/۷۴۵۸۵	۱/۴۸۲۲۱	۱/۵۱۸۴۶	۲/۳۴۵۱۳

منبع: یافته‌های پژوهش

آماره‌های توصیفی سری‌های زمانی بازده ۵ دارایی در جدول (۱) منعکس شده است که نشان‌دهنده مثبت بودن میانگین ماهانه بازده تمامی دارایی‌هاست که بازده سهام و بازده دلار طی دوره بررسی، به ترتیب بیشترین و کمترین بازدهی را در این دوره تجربه نموده‌اند. بیشترین و کمترین نوسانات بازده بازار دارایی‌ها نیز به ترتیب به سهام و نرخ بهره اختصاص دارد. آماره‌های مرتبط با چولگی بازده شاخص‌های مختلف نیز حکایت از نامتقارن بودن توزیع بازده و چولگی به سمت راست تمامی بازده‌های دارایی‌ها دارد و در ارتباط با آماره‌های کشیدگی نیز به استثنای بازار سهام، کشیدگی بازدهی سایر دارایی‌ها کمتر از نرمال است.

۴-۲. برآورد الگو و تحلیل نتایج

هدف اصلی از به‌کارگیری مدل‌های تلاطم تصادفی عاملی، تجزیه تلاطم متغیرها به دو جزء است: جزء اول مربوط به تلاطم خاص همان متغیر و جزء دوم، مرتبط با اثرگذاری عامل یا عوامل پنهانی است که قابل مشاهده نیست. تفکیک تلاطم و برآورد الگوی تلاطم تصادفی عاملی از طریق الگوهای فضا-حالت و با روش‌های بیزین در بسته نرم‌افزاری R امکان‌پذیر است.[۱] بدین ترتیب در گام اول لازم است تعداد عوامل پنهان که بازده دارایی‌های مختلف را متأثر می‌کنند، شناسایی کرد. پایین‌مثلثی بودن ماتریس بارعاملی، رایج‌ترین شیوه شناسایی الگو در مدل‌های تلاطم تصادفی است[۲] و در این راستا مقادیر مشخصه ماتریس $\Lambda^T\Lambda$ می‌تواند راهنمای دقیقی برای تشخیص و انتخاب تعداد عوامل پنهان یا نهفته محسوب شود. طبق نمودار (۲)، میانگین و انحراف معیار مربوط به ۵ عامل

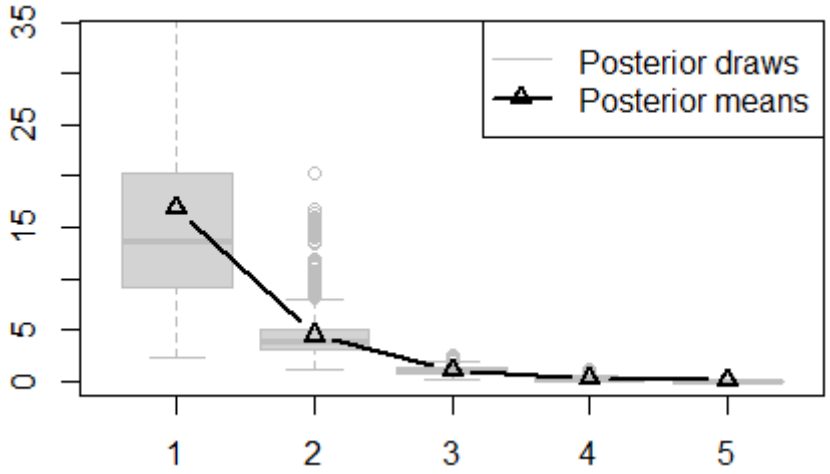
---

[۱]. در برآوردها از بسته‌های stochvol، factorstochvol، Zoo، corrplot، mvtnorm و fGarch استفاده شده است.

[۲]. برای اطلاعات بیشتر به مطالعه زو و همکاران (۲۰۱۴) مراجعه نمایید.

پنهان گزارش شده است و همانطور که مشخص است صرفاً دو عامل پنهان قابل تشخیص هستند که اولاً میانگین آن‌ها مثبت بوده و ثانیاً بازه انحراف معیار آن‌ها نیز اختلاف معنی‌داری از صفر دارند.

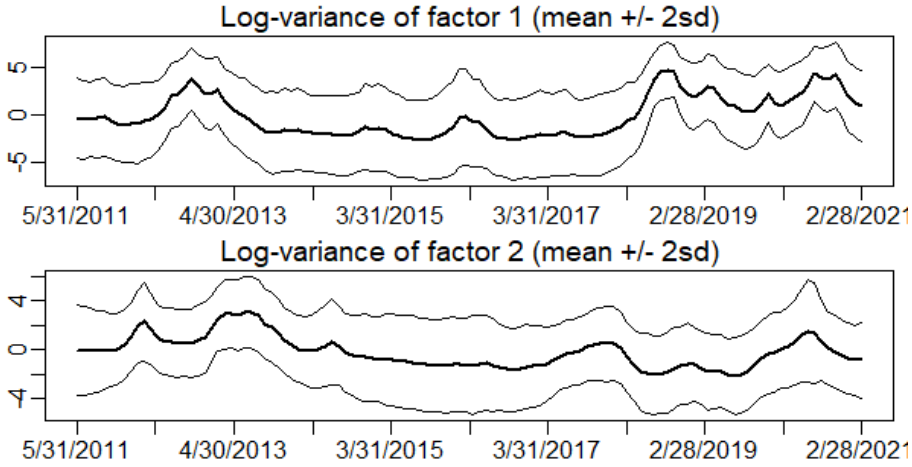
نمودار (۲): مقادیر مشخصه و شناسایی تعداد عوامل نهفته



منبع: یافته‌های پژوهش

گام دوم، بررسی تلاطم (لگاریتم واریانس) میانگین پسین عوامل پنهان است که در بازه مثبت/منفی ۲ انحراف معیار ترسیم شده است و به درک بهتر تلاطم بازده دارایی‌های مختلف که تحت تأثیر یک یا هر دو عامل پنهان هستند، کمک خواهد کرد. همانطور که در نمودار (۳) مشخص است، تلاطم عامل پنهان اول طی دوره زمانی مورد بررسی، بیشتر از عامل پنهان دوم بوده است و طی این فرآیند نوسانی‌اش، تقریباً چهار محدوده اوج یا پیک را داشته است. محدوده اوج اول، به فصل سوم ۲۰۱۲ باز می‌گردد که با تشدید تحریم‌ها به ویژه توقف خرید نفت توسط کشورهای اروپایی همراه بود. اوج دوم در فصل نخست ۲۰۱۶ و به موازات با برگزاری کمپین‌های انتخاباتی در آمریکا بود. تلاطم‌های عامل پنهان اول تقریباً تا شروع ۲۰۱۸ ثابت باقی ماند اما پس از آن با شیب نسبتاً تندی رو به افزایش گذاشت که تقریباً مقارن با خروج رسمی آمریکا از برجام بود. در حد فاصل سال‌های ۲۰۱۸ تا اواخر ۲۰۲۰ نیز سطوح بالایی از نوسانات در تلاطم عامل پنهان اول مشاهده می‌شود که از اواخر ۲۰۲۰ و به موازات با استقرار دولت جدید در آمریکا، کاهش محسوسی داشته است.

نمودار (۳): تلاطم میانگین پسین عامل‌های اول و دوم در دوره زمانی ۱۳۹۰/۰۳/۱۰ تا ۱۳۹۹/۱۲/۱۰



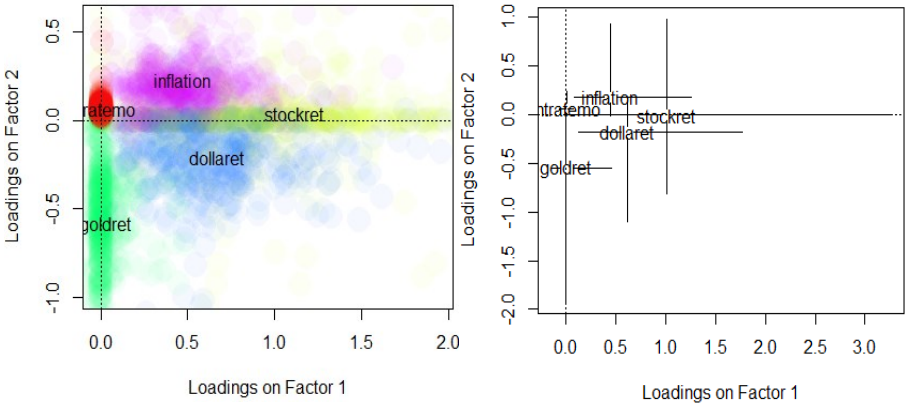
منبع: یافته‌های پژوهش

تلاطم میانگین پسین عامل دوم در مقایسه با عامل، رفتار نسبتاً هموارتری داشته و چهار پیک محسوسی در اوایل ۲۰۱۲، اوایل ۲۰۱۳، اواخر ۲۰۱۷ و اوایل ۲۰۲۰ را تجربه نموده است. نقاط اوج ۲۰۱۲ و ۲۰۱۳ تقریباً مقارن با تمایل بانک‌های مرکزی و همچنین سرمایه‌گذاران انفرادی به متنوع‌سازی پرتفو و ارتقای امنیت سرمایه‌گذاری و تبدیل بخشی از دارایی‌های دلاری به طلا بود که در سال ۲۰۱۱ شروع شد و به دلیل اتخاذ سیاست‌های محرک اقتصادی از سوی بانک‌های مرکزی بزرگ جهان در سال ۲۰۱۲ ادامه یافت. همچنین طی این دوره، تشدید تحریم‌های بین‌المللی علیه ایران نیز رخ داد. پس از آن نیز روند نزولی با شیب اندک در تلاطم عامل پنهان دوم مشاهده می‌شود که با دوره‌ای از کاهش نگرانی‌های جهانی در خصوص احتمال توقف پروژه‌های معدنی، تقویت چشم‌اندازهای افزایش نرخ بهره در آمریکا و تقویت دلار در مقابل سایر ارزهای مهم و همچنین کاهش تنش‌ها در روابط بین‌المللی ایران مصادف بود. پیک‌های اواخر ۲۰۱۷ و اوایل شوک‌های ۲۰۲۰ نیز به ترتیب مقارن با خروج آمریکا از برجام و شیوع ویروس کرونا بود.

گام سوم، شناسایی میزان اثرپذیری هر یک از بازده‌های دارایی‌ها از دو عامل پنهان در قالب یک تصویر کلی است که در نمودار (۴) منعکس شده است. شناسایی جهت و میزان اثرپذیری در این نمودار از این قاعده تبعیت می‌کند که قرار گرفتن روی محور عمودی یا افقی به مفهوم اثرپذیری از یک عامل پنهان است و اگر اثرپذیری دارایی در محدوده‌ای

مابین این محورها قرار گرفته باشد به مفهوم اثرپذیری از هر دو عامل است. مثلاً نرخ بهره و بازده طلا تقریباً روی محور عمودی قرار گرفته است و اولی در محدوده‌ای بالای صفر و دومی در محدوده منفی است. این بدین معناست که نرخ بهره متأثر ار عامل پنهان دوم به صورت مثبت است در حالی‌که بازده طلا به طور منفی از عامل پنهان دوم تأثیر می‌پذیرد. توزیع بار عاملی دلار در ناحیه جنوب شرقی است که تأثیرپذیری مثبت از عامل پنهان اول و تأثیرپذیری منفی از عامل پنهان دوم را نشان می‌دهد. این در حالی‌است که نرخ تورم در شمال شرقی با دوایر به رنگ بنفش است که تأثیرپذیری مثبت و معنی‌دار از هر دو عامل پنهان را نشان می‌دهد. بازده سهام به شدت تحت تأثیر عامل پنهان دوم است (چون روی منفی افقی است که فاصله زیادی با مبدأ دارد) و تقریباً تأثیری از عامل پنهان دوم نمی‌پذیرد.

نمودار (۴): توزیع بار عاملی پسین عامل‌های اول و دوم

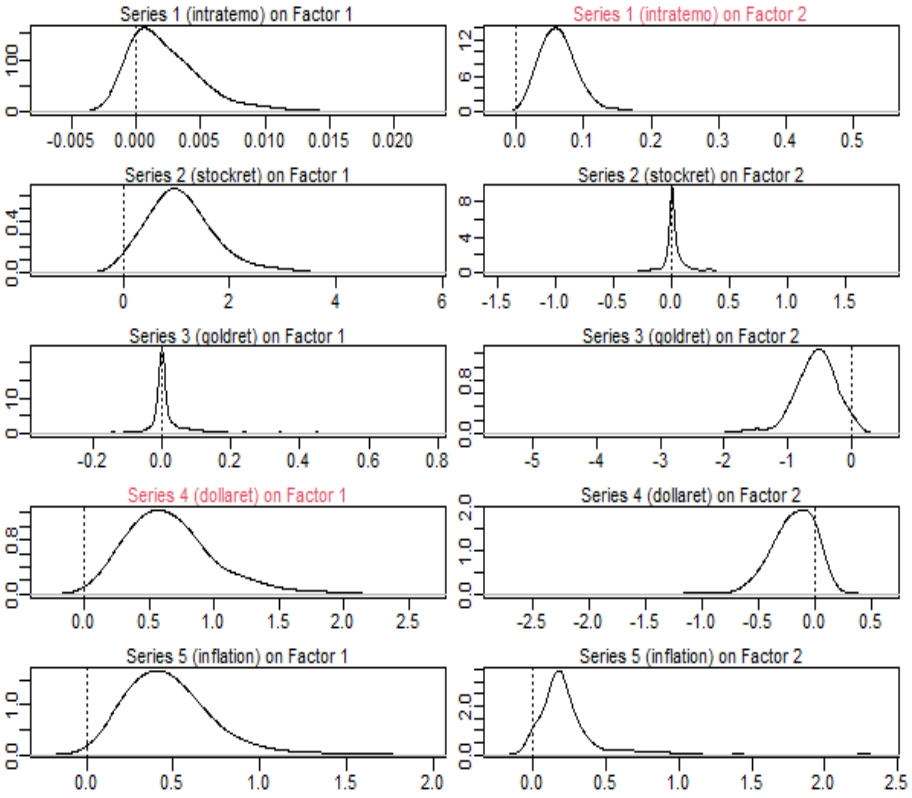


منبع: یافته‌های پژوهش

در نمودار (۵)، به طور دقیق‌تر، تابع چگالی احتمال توزیع بار عاملی برای هر دارایی به تفکیک دو عامل پنهان ترسیم شده است که ستون سمت چپ و راست به ترتیب توزیع بار عاملی مربوط به عوامل ۱ و ۲ را روی شاخص بازده دارایی‌ها نشان می‌دهند. مثلاً دو نمودار سطر اول، توزیع بار عاملی نرخ بهره را نشان می‌دهد. نمودار سمت چپ نشان می‌دهد که میانگین اثرپذیری نرخ بهره از عامل پنهان اول تقریباً صفر است بدین معنا که عامل پنهان اول، تأثیر معنی‌داری بر تلاطم نرخ بهره ندارد. این در حالی‌است که طبق نمودار سمت راست، میانگین اثرپذیری نرخ بهره از عامل پنهان دوم، اختلاف معنی‌داری از صفر دارد و به طور مثبت و معنی‌داری از عامل پنهان دوم تأثیر می‌پذیرد. تابع توزیع

احتمال اثرپذیری سهام (سطر دوم) در نمودار (۵) دقیقاً منطبق بر یافته‌های تشریح شده در نمودار (۴) است و بدین معناست که سهام، تأثیر مثبت و معنی‌داری از عامل پنهان اول می‌پذیرد در حالی‌که عامل پنهان دوم، هیچ اثری بر تلاطمات بازده سهام نمی‌گذارد. سطر سوم بی‌معنا بودن تأثیر عامل پنهان اول و تأثیر منفی و معنی‌دار عامل پنهان دوم را بر بازدهی طلا نشان می‌دهد. تأثیر مثبت و معنی‌دار عامل پنهان اول و تأثیر منفی و معنی‌دار عامل پنهان دوم بر بازدهی دلار در سطر چهارم قابل تشخیص است. توابع توزیع احتمال در سطر پنجم نیز تأثیر مثبت و معنی‌دار عوامل پنهان اول و دوم را بر نرخ تورم منعکس می‌سازد.

نمودار (۵): توزیع بار عاملی پسین عامل اول و دوم به تفکیک هر دارایی

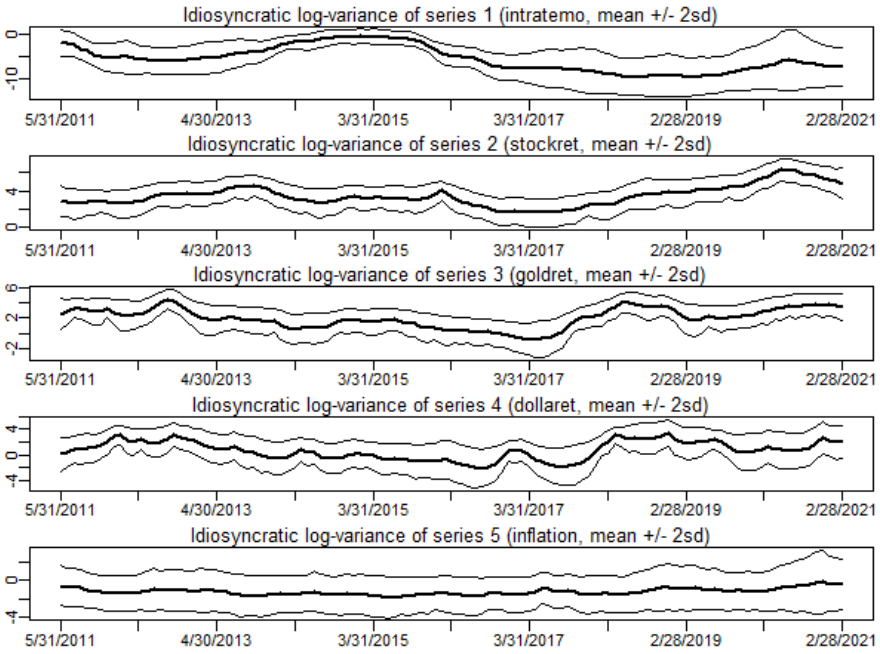


منبع: یافته‌های پژوهش

همانطور که پیش‌تر توضیح داده شد طبق معادله (۱۰) یعنی $\Sigma_t = \Lambda\tilde{\Sigma}_t\Lambda^T + \bar{\Sigma}_t$، تلاطم بازده هر دارایی از طریق مدل‌های MFSV به دو جزء قابل تفکیک است، «تلاطم متأثر از عوامل پنهان» و «تلاطم خاص بازده هر دارایی» که به ترتیب با عبارت‌های $\Lambda\tilde{\Sigma}_t\Lambda^T$ و

$\bar{\Sigma}_t$ در معادله (۱۰) نمایش داده شده‌اند. تا به اینجا تلاش گردید تأثیر عوامل پنهان بر تلاطم بازده‌های دارایی‌ها مورد بحث قرار گیرد و تمرکز مباحث بعدی، روی تلاطم خاص بازده هر صنعت ($\bar{\Sigma}_t$) و مجموع تلاطم (Σ_t) است که به ترتیب در در نمودارهای (۶) و (۷) ترسیم شده است. نمودار (۶) مربوط به تلاطم خاص بازده هر دارایی است که تلاطم میانگین‌های پسین (با خط پررنگ‌تر) به اضافه/منهای ۲ برابر انحراف معیار (با دو خط کمرنگ‌تر در اطراف میانگین) را به تصویر کشیده و به طور جداگانه برای هر ۵ دارایی ارائه شده است. بر خلاف نمودار (۱) که روند متلاطمی از بازده هر دارایی را منعکس می‌کرد، در نمودار (۶)، روند نسبتاً هموارتری برای تلاطمات خاص بازده هر دارایی مشاهده می‌شود. علاوه بر این، در این نمودار می‌توان تشخیص داد که تلاطمات خاص هر دارایی در چه محدوده‌ای به طور متوسط در نوسان بوده است. برای نمونه، تلاطم خاص نرخ بهره در زمان‌های مختلف به طور متوسط منفی است و دو برابر انحراف معیار نیز در بازه صفر تا ۱۰- قرار گرفته است. به همین ترتیب تلاطمات خاص بازده سایر دارایی‌ها نیز قابل تفسیر است.

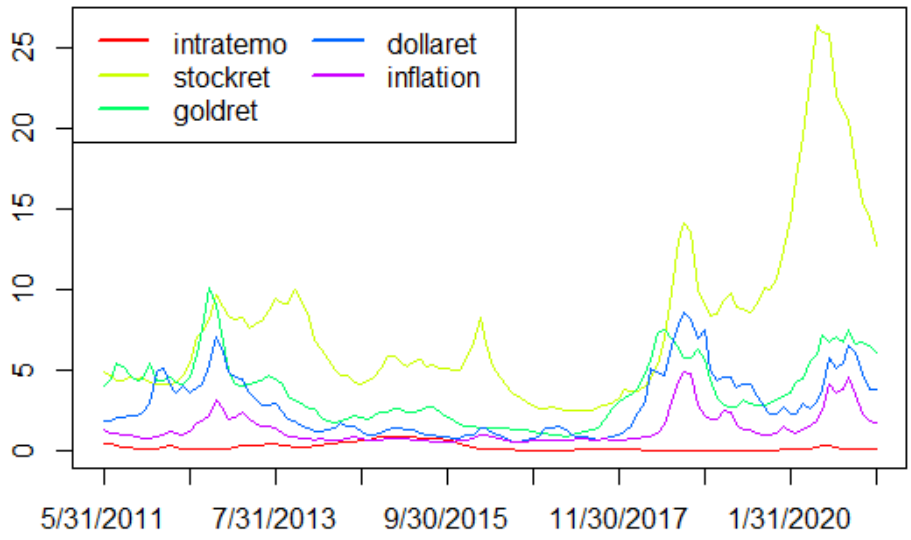
نمودار (۶): میانگین و انحراف معیار تلاطم خاص بازده هر یک از دارایی‌ها طی دوره ۱۳۹۰/۰۳/۱۰ تا ۱۳۹۹/۱۲/۱۰



منبع: یافته‌های پژوهش

چنانچه تحولات میانگین پسین تلاطمات بازده هر ۵ دارایی (یعنی عبارت Σ_t در معادله ۱۰) به صورت یکپارچه و همزمان ترسیم گردد، نمودار (۷) حاصل می‌شود. همانطور که قبلاً درباره حقایق آماری بازارهای مالی توضیح داده شد «تلاطمات متغیر در طول زمان»، «رفتار خوشه‌ای» و «هم‌حرکتی‌های متغیر در طول زمان»، سه واقعیت انکارناپذیر سری‌های زمانی مالی است که در نمودار (۷) به خوبی قابل رویت است. اولاً به استثنای نرخ‌بهره که روند نسبتاً همواری را طی کرده است، هم‌حرکتی و رفتار خوشه‌ای به ویژه در ثلث سوم دوره مورد بررسی (اواخر ۲۰۱۷) به طور شدیدتری در میان بازده ۴ دارایی دیگر رخ داده است. ثانیاً علاوه بر این، تلاطم بازده سهام، در مقایسه با سایر بازارها به مراتب بالاتر است که در اواسط ۲۰۲۰ نیز تلاطماتی به مراتب فراتر از روند تاریخی خود و همچنین سایر دارایی‌ها را تجربه نموده است.

نمودار (۷): تلاطم میانگین پسین هر یک از دارایی‌ها طی دوره ۱۳۹۰/۰۳/۱۰ تا ۱۳۹۹/۱۲/۱۰



منبع: یافته‌های پژوهش

علاوه بر تجزیه تلاطم بازده هر دارایی به دو جز که محور مباحث قبلی بود، پیش‌بینی ماتریس همبستگی سری‌های زمانی، از جمله مهم‌ترین مزیت‌های استفاده از مدل‌های تلاطم تصادفی عاملی محسوب می‌شوند که از طریق توزیع پیش‌بینانه پسینی به دست می‌آید که میانگین آن‌ها در جدول (۲) درج شده است. یافته‌ها حکایت از آن دارد که اولاً تلاطم بازده بازار سهام بیشترین همبستگی را به ترتیب با تلاطمات نرخ تورم و نرخ بازده دلار دارد. ثانیاً تلاطم نرخ بازده دلار با اختلاف زیادی با تلاطم نرخ تورم همبسته است.

ثالثاً بیشترین همبستگی تلاطم نرخ تورم با تلاطم نرخ بازده دلار و پس از آن با نرخ بازده سهام مشاهده می‌شود. رابعاً تلاطم نرخ بهره عمدتاً با تلاطم نرخ تورم همبستگی دارد. در نهایت، تلاطم نرخ بازده طلا با تلاطم نرخ بهره بیشترین همبستگی منفی را به نمایش می‌گذارد.

جدول (۲): ماتریس میانگین همبستگی بازده دارایی‌ها

	نرخ بهره	نرخ بازده سهام	نرخ بازده دلار	نرخ تورم	نرخ بازده طلا
نرخ بهره	۱	۰/۰۵	۰/۰۳	۰/۲۱	-۰/۰۸
نرخ بازده سهام	۰/۰۵	۱	۰/۱۲	۰/۱۸	۰/۰۱
نرخ بازده دلار	۰/۰۳	۰/۱۲	۱	۰/۳۱	۰/۰۲
نرخ تورم	۰/۲۱	۰/۱۸	۰/۳۱	۱	-۰/۰۱
نرخ بازده طلا	-۰/۰۸	۰/۰۱	۰/۰۱	-۰/۰۱	۱

منبع: یافته‌های پژوهش

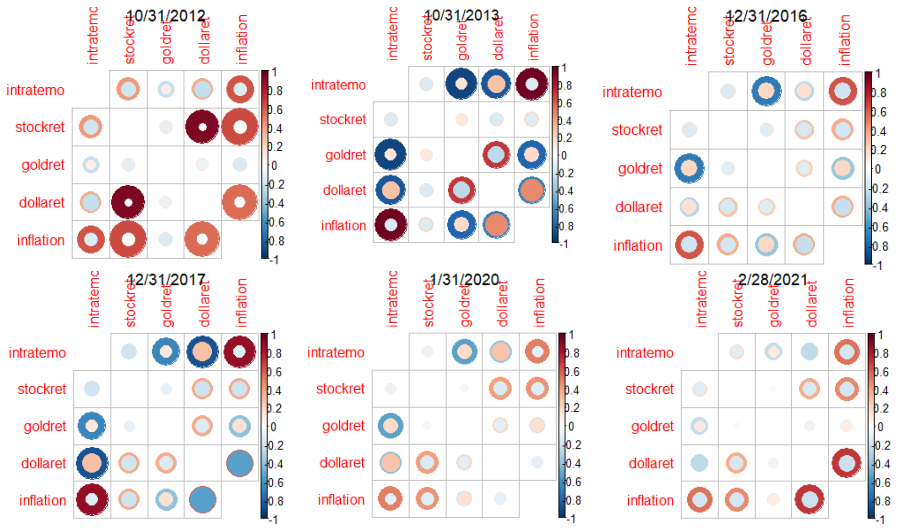
علاوه بر جدول (۲) که میانگینی از شدت همبستگی تلاطم بازده دارایی‌های مختلف را در طول دوره مورد بررسی نشان می‌دهد، شدت همبستگی را به دو صورت دیگر نیز می‌توان ترسیم و بررسی نمود. شیوه نخست، ارائه نمودارهای همبستگی پسینی در مقاطع مختلف زمانی و شیوه دوم، ترسیم نمودارهای همبستگی پسینی تلاطم بازده هر دارایی با سایر دارایی‌ها طی دوره مورد بررسی است.[۱] بر این اساس، ماتریس همبستگی پسینی در ۶ مقطع زمانی مختلف با استفاده از دوایر در نمودار (۸) ترسیم شده است که همبستگی ۱+ به رنگ قرمز تیره و همبستگی ۱- با رنگ آبی تیره به نمایش درآمده است. علاوه بر این، در نمودار (۹) نیز همبستگی‌های پویای بین تلاطم بازده هر یک از دارایی‌ها با ۴ دارایی دیگر به تفکیک هر دارایی ترسیم شده است. یافته‌ها حاکی از آن است که:

- اولاً سهام، تنها دارایی است که تلاطم نرخ بازده‌اش به طور همزمان و به ترتیب با تلاطم تورم، نرخ بازده دلار و نرخ بهره همبستگی دارد که مشاهده دور از انتظاری نیست. بازار سهام متشکل از صنایع صادراتی کالامحور (نظیر پتروشیمی، فلزات و فرآورده‌های نفتی) و صنایع داخلی (مانند صنایع غذایی، زراعت، انبوه‌سازی، خودرو و قطعات و امثالهم) است که قیمت سهام گروه نخست عمدتاً تحت تأثیر شوک‌های نرخ ارز و قیمت سهام گروه دوم تحت تأثیر شاخص عمومی قیمت‌ها تغییر می‌کند.

[۱]. نمودارهای مربوط به پویایی‌های درجه همبستگی هر صنعت با سایر صنایع در پیوست الف ارائه شده است.

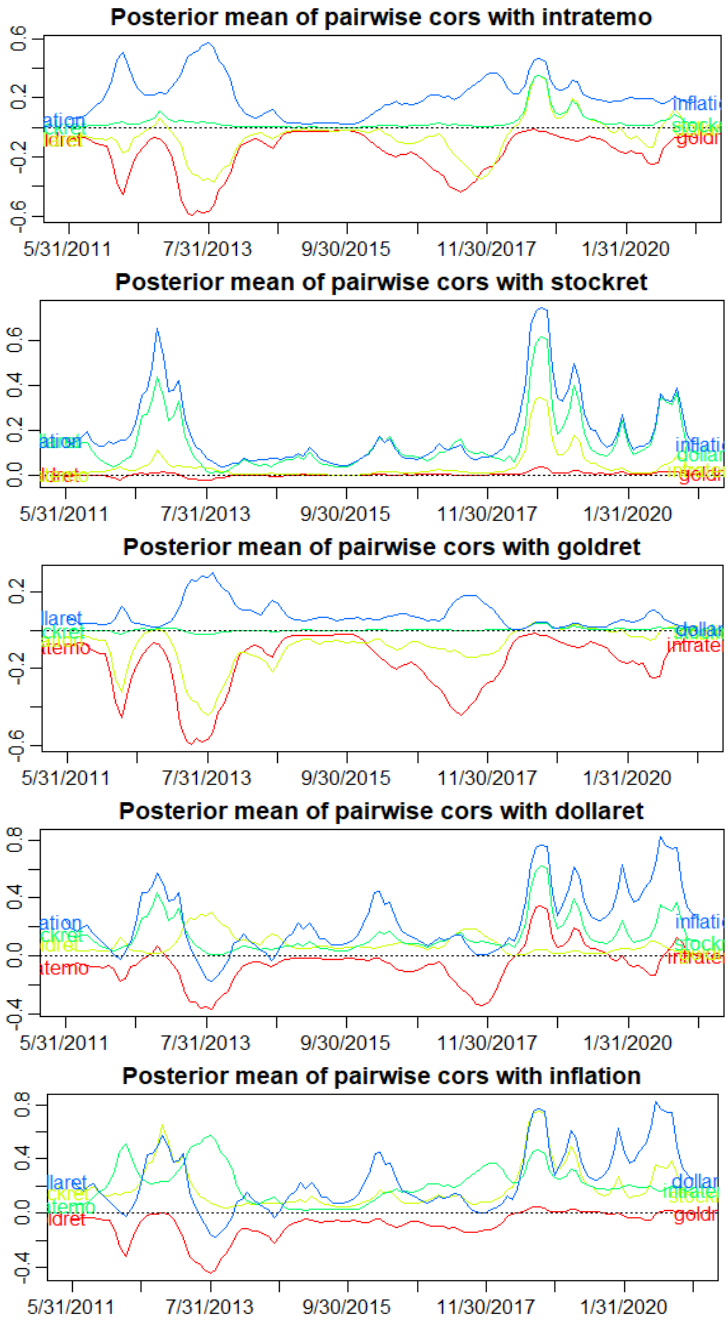
- ثانیاً همبستگی بین تلاطم نرخ تورم و نرخ بهره همواره مثبت بوده است که تداعی‌کننده اثر فیشر است. همبستگی تلاطم نرخ تورم و نرخ بازده دلار نیز به استثنای برخی از ماه‌های سال ۲۰۱۳ (که همزمان با کاهش تنش‌های بین‌المللی و استقرار دولت جدید ایران در سال ۱۳۹۲ بود)، در مابقی دوره مورد بررسی عمدتاً مثبت بوده است که با توجه به واردات‌بری بالای تولید در ایران و برقرار بودن نسبی نظریه برابری قدرت خرید، قابل توضیح است.
- ثالثاً همبستگی تلاطم بین نرخ بازده طلا و نرخ بازده دلار مثبت است در حالی‌که تلاطم نرخ بهره و نرخ تورم، همبستگی منفی با نرخ بازده طلا دارند.

نمودار (۸): ماتریس همبستگی پسین تلاطم بازده ۵ دارایی در ۶ مقطع زمانی مختلف



منبع: یافته‌های پژوهش

نمودار (۹): ماتریس همبستگی پسین تلاطم بازده ۵ دارایی طی دوره ۱۳۹۰/۰۳/۱۰ تا ۱۳۹۹/۱۲/۱۰



منبع: یافته‌های پژوهش

در نمودار (۸)، با استفاده از نمودارهای دایره‌ای، همبستگی تلاطمات بازده ۵ دارایی صرفاً در ۶ مقطع زمانی ارائه گردید اما در نمودار (۹)، در ۵ تصویر جداگانه، همبستگی‌های پویای تلاطم بازده هر یک از دارایی‌ها با ۴ دارایی دیگر به نمایش درآمده است. در تصویر نخست، پویایی‌های همبستگی تلاطمات نرخ بهره با سایر بازده‌ها منعکس شده است. همانطور که مشاهده می‌شود نمودار قرمزرنگ (بازده طلا) در ناحیه منفی در حال تغییر است و نشان می‌دهد که بازده طلا، به طور متوسط همبستگی منفی با نرخ بهره دارد. بیشترین همبستگی منفی مربوط به سال ۲۰۱۳ است که به خوبی با دایره آبی تیره تقاطع بهره-طلا در نمودار (۸) مطابقت دارد. به نحو مشابه، بیشترین همبستگی تلاطمات نرخ بهره، با تلاطمات نرخ تورم است که با خط آبی در قسمت اول نمودار (۹) ترسیم شده است و این خط در تمامی زمان‌ها بالاتر از سایر خطوط همبستگی نرخ بهره با سایر بازده‌ها قرار گرفته است. قوی‌ترین همبستگی (که طبق نمودار ۹ بیش از ۵۰ درصد است) مربوط به سال ۲۰۱۳ است که یافته‌ای مشابه با نمودار (۸) را به دست می‌دهد. بر اساس نمودار (۸)، دایره به رنگ قرمز تیره در تقاطع نرخ بهره-نرخ تورم قابل رؤیت است.[۱]

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

هدف مقاله حاضر به‌کارگیری روش کارآمد و مبتنی بر اصل صرفه‌جویی برای برآورد ماتریس کوواریانس متغیر در طول زمان با استفاده از مدل‌های تلاطم تصادفی عاملی است. در این مقاله با به‌کارگیری رویکرد بیزی که با اصل صرفه‌جویی عجین است، ساختار واریانس-کوواریانس بازده ۵ دارایی با استفاده از عوامل پنهان (که به نوبه خود از یک فرآیند تلاطم تصادفی پیروی می‌کنند)، مدل‌سازی شده و همچنین اثرپذیری تلاطم هر یک از دارایی‌ها از عوامل پنهان با استفاده از برآورد ماتریس بار عاملی شناسایی شده است. یافته‌های مقاله حاکی از آن است که:

- سه حقیقت مشاهده شده در سری‌های زمانی مالی وجود دارد که عبارتند از «تلاطمات متغیر در طول زمان»، «رفتار خوشه‌ای» و «هم‌حرکتی‌های وابسته به زمان» که هر ۳ مورد در خصوص تلاطمات بازده دارایی‌های مختلف در ایران نیز صادق است. نمودارهای (۱)، (۶)، (۷)، (۸) و (۹) بخش‌های مختلفی از ابعاد این موضوع را آشکار می‌سازد. چنانچه بازه زمانی حدوداً ۱۰ ساله تحقیق حاضر را به ۳ زیردوره تقسیم نماییم

[۱]. تفسیرهای مشابهی با تلفیق نمودار (۸) و نمودار (۹) در خصوص پویایی‌های همبستگی‌های تلاطمات بازده ۵ دارایی قابل ارائه است که برای اجتناب از تطول مقاله، مطرح نشده است.

تشدید نوسانات در ثلث اول و سوم به ویژه در بازده چهار دارایی (مشتمل بر طلا، دلار، سهام و کالا) مشاهده می‌شود که در ثلث سوم (اواخر ۲۰۱۷ تاکنون)، تلاطمات همزمان بازده دارایی‌ها شدت بیشتری داشته که همزمان بودن آن، انعکاسی از «هم‌حرکتی تلاطمات» است و تشدید تلاطمات نیز از «خوشه‌ای بودن رفتار نوسانات بازده هر یک از دارایی‌ها» پرده بر می‌دارد.

- یکی از مزایای به‌کارگیری مدل‌های MSVM در مقابل مدل‌های کلاس GARCH، توانمندی و انعطاف‌پذیری بالای این مدل‌ها در تجزیه تلاطمات بازده هر دارایی به دو جزء «تلاطمات منبعث از عوامل پنهان» و «تلاطمات خاص هر دارایی» است. بر اساس نمودارهای (۲)، (۴) و (۵)، دو عامل پنهان را می‌توان شناسایی کرد که بر تلاطمات بازده هر یک از دارایی‌ها اثرگذارند. نرخ بهره و نرخ بازده طلا صرفاً تحت تأثیر عامل پنهان دوم هستند حال‌آنکه اثرگذاری عامل پنهان اول، غیرمعنی‌دار است. در مقابل بازده سهام عمدتاً از عامل پنهان اول تأثیر می‌پذیرد و عامل پنهان دوم، اثر معنی‌داری بر تلاطمات آن ندارد. نرخ بازده دلار و نرخ تورم از هر دو عامل متأثر می‌شوند به طوری‌که اثر عامل پنهان اول بر تلاطم هر دوی آن‌ها مثبت و معنی‌دار است اما عامل پنهان دوم، اثر منفی بر نرخ بازده دلار و اثر مثبت بر نرخ بازده طلا دارد.
- جزء دوم از تلاطمات بازده دارایی‌ها مربوط به «تلاطمات خاص بازده هر دارایی» است که در نمودار (۶) ارائه شده است. طبق این نمودار، تلاطمات خاص بازده دلار، طلا و سهام از اواسط ۲۰۱۷ به طور همزمان تشدید شده و به مرور زمان افزایش یافته است که انعکاسی از «هم‌حرکت بودن تلاطمات در بازارها» و «رفتار خوشه‌ای» است. همچنین تلاطم خاص بازده کالاهای بادوام (تورم کالاهای بادوام) تقریباً هموار است که نشان‌دهنده آن است که عمده تلاطمات تورم، تحت تأثیر عوامل پنهان می‌باشد. یافته‌های قاضی‌فینی و پناهیان (۱۳۹۸) مؤید رفتار خوشه‌ای در بازار سهام و شیرازیان و همکاران (۱۳۹۷) در بازارهای مالی است.
- نتایج همبستگی‌های پویای تلاطم بازده دارایی‌ها در نمودارهای (۸) و (۹) منعکس شده و میانگین همبستگی‌ها طی دوره ۱۰ ساله در جدول (۲) ارائه شده است. یافته‌ها حاکی از آن است که تلاطم بازده سهام با تلاطم تورم و بازده دلار بیشترین همبستگی را دارد و همبستگی آن با طلا چندان قابل ملاحظه نیست. همچنین همبستگی‌های بالایی بین نرخ تورم و دلار از یک سو و نرخ تورم و نرخ بهره از سوی دیگر وجود دارد که به ترتیب با نظریه برابری قدرت خرید و اثر فیشر، سازگاری و هماهنگی دارد. علاوه بر این

یافته‌ها منعکس‌کننده وجود همبستگی مثبت طلا با دلار و همبستگی منفی طلا با نرخ بهره و نرخ تورم است. نتایج مطالعه فلاحی و همکاران (۱۳۹۳) نیز حاکی از وجود همبستگی مثبت بین بازده نرخ ارز و طلا و همبستگی ضعیف طلا با بازار سهام است که نتایج مقاله حاضر را تأیید می‌کند. همچنین مشاهدات سفیدبخت و رنجبر (۱۳۹۶) نیز نشان‌دهنده رابطه میان تغییرات نرخ ارز با قیمت طلا و شاخص سهام است که با نتایج مقاله حاضر هم‌راستا است لکن وجود همبستگی بین طلا و شاخص سهام نیز در مقاله مذکور گزارش شده است که در مقاله حاضر تأیید نمی‌شود. اثرپذیری مثبت و معنی‌دار ریسک بازدهی شاخص های مختلف صنایع بورس اوراق بهادار تهران از نوسانات نرخ ارز نیز از جمله یافته‌های مطالعه ذوالفقاری و سحابی (۱۳۹۵) است که یافته‌های مقاله حاضر را تأیید می‌کند.

با عنایت به اینکه تنوع‌بخشی کارای سبد دارایی‌ها بدون آگاهی از رفتار و همبستگی‌های بین دارایی‌های مورد نظر امکان‌پذیر نیست، نتایج مطالعه حاضر می‌تواند در ارائه بینشی روشن در مورد تحلیل تلاطم بازدهی بازار دارایی‌های ایران و اتخاذ استراتژی مناسب برای سیاست‌گذاری و سرمایه‌گذاری یاری رساند. در متنوع‌سازی سبد دارایی‌ها، چنانچه همبستگی تلاطم بازده یک دارایی با یک یا برخی دارایی‌ها منفی باشد، از آن دارایی می‌توان برای تنوع‌بخشی و مدیریت ریسک سبد استفاده کرد. یافته‌های مقاله حاضر نشان می‌دهد که از ۵ دارایی مختلف، طلا از چنین ویژگی برخوردار است لذا نگهداری این دارایی می‌تواند به عنوان یکی از استراتژی‌های مدیریت ریسک سبد دارایی‌ها در نظر گرفته شود. وجود همبستگی‌های مثبت و نسبتاً قابل ملاحظه میان بازده سه دارایی سهام، دلار و کالای بادوام نیز حکایت از آن دارد که نگهداری همزمان هر سه نوع دارایی، کمک چندانی به مدیریت ریسک سبد دارایی نمی‌کند و با توجه به اینکه میانگین بازده سهام بالنسبه بالاتر از بازده دو دارایی دیگر است، به نظر می‌رسد نگهداری آن، مرجح بر دو دارایی دیگر باشد. از آنجایی که از یک سو طی دهه اخیر، کاربست مدل‌های MFSV در حوزه‌های مطالعات اقتصادسنجی مالی، روند رو به رشدی در پژوهش‌های خارجی را تجربه نموده است و انعطاف‌پذیری بالاتر این مدل نسبت به مدل‌های GARCH در تبیین حقایق بازارهای مالی هم از منظر نظری و هم از زاویه مطالعات تجربی مورد تأیید است و از سوی دیگر، به‌کارگیری این مدل‌ها در فضای پژوهشی داخلی مورد توجه قرار نگرفته است لذا می‌توان از این مدل‌ها برای محاسبه ارزش در معرض ریسک، قیمت‌گذاری اختیارات معاملات و بهینه‌سازی سبد دارایی‌ها استفاده نمود.

منابع

ابونوری، اسمعیل، نوفرستی، محمد و تور، منصور (۱۳۹۹)، بررسی اثرات نامتقارن تلاطم در بازار سهام ایران و امارات، فصلنامه مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار، ۴۳: ۷۵-۵۷.

ابونوری، اسمعیل و مؤتمنی، مانی (۱۳۸۶)، تجزیه و تحلیل بازخورد نوسانات در بازار سهام تهران، پژوهشنامه اقتصادی، ۷ (۲۷): ۲۴۷-۲۶۱.

ابونوری، اسمعیل و موتمنی، مانی (۱۳۸۶)، بررسی هم‌زمان اثر اهرمی و بازخورد نوسانات در بازار سهام تهران، مجله تحقیقات اقتصادی، ۷۶: ۱۱۷-۱۰۱.

اربابی، فرزین (۱۳۹۷)، پیش‌بینی تلاطم بازدهی سکه طلا در بازار دارایی‌های مالی (رهیافت ANN-GARCH)، فصلنامه اقتصاد مالی، ۱۲ (۴۳) ۱۹۲-۱۷۹.

بت‌شکن، محمدهاشم و محسنی، حسین (۱۳۹۷)، بررسی سرریز نوسانات قیمت نفت بر بازدهی بازار سهام، دانش سرمایه‌گذاری، ۷ (۲۵): ۲۶۷-۲۸۴.

توکلیان، حسین، اعتمادی، سیدامیر و تهرانی، رضا (۱۳۹۵)، بررسی سرریز تلاطم بازده شاخص قیمت نفت برنت بر بازده شاخص‌های کل و صنایع مرتبط با قیمت نفت در بازارهای مالی ایران و آمریکا با استفاده از مدل MGARCH، پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران، ۶ (۲۱): ۳۳-۶۱.

تیموری، بشری، امامووردی، قدرت‌اله، اسماعیل‌نیا کتابی، علی‌اصغر، نصابیان، شهریار (۱۳۹۹)، بررسی سرایت شوک‌های غیرمنتظره در بازارهای مالی ایران با رویکرد DFGM، فصلنامه مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار، ۴۳: ۵۶-۳۰.

جهانگیری، خلیل و حکمتی فرید، صمد (۱۳۹۳)، مطالعه آثار سرریز تلاطم بازارهای سهام، طلا، نفت و ارز، پژوهشنامه اقتصادی، ۱۵ (۵۵): ۱۵۹-۱۹۲.

حسینیون، نیلوفر سادات، بهنامه، مهدی و ابراهیمی سالاری، تقی (۱۳۹۵)، بررسی انتقال تلاطم نرخ بازده بین بازارهای سهام، طلا و ارز در ایران، پژوهش‌های اقتصادی ایران، ۲۱ (۶۶): ۱۲۳-۱۵۰.

حسینی نسب، سیدابراهیم، خضری، محسن و رسولی، احمد (۱۳۹۰)، تعیین اثرات نوسانات قیمت نفت بر روی بازده سهام بورس اوراق بهادار تهران: آنالیز موجک و راه‌گزینی مارکف، فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی، ۸ (۲۹): ۳۱-۶۰.

حیدری، حسن، سنگین‌آبادی، بهرام، الماسی، سامان و نصیرزاده، فرزانه (۱۳۹۱)، تأثیر نوسانات پیش‌بینی شده و پیش‌بینی نشده بازده سهام صنعت خودرو بر بازده آن در بازار بورس اوراق بهادار تهران، دو فصلنامه اقتصاد پولی-مالی، ۱۹ (۴): ۱۶۳-۱۹۰.

خدایاری، محمدعظیم، یعقوب‌نژاد، احمد و خلیلی عراقی، مریم (۱۳۹۹)، مقایسه برآورد تلاطم بازارهای مالی با استفاده از مدل رگرسیون و مدل شبکه عصبی، فصلنامه اقتصاد مالی، ۱۴ (۵۲):۲۲۳-۲۴۰.

ذوالفقاری، مهدی و سحابی، بهرام (۱۳۹۵)، «بررسی تأثیر نوسانات نرخ ارز بر ریسک بازدهی سهام صنایع خودرو، معدن و سیمان بر پایه انتقالات رژیمی مارکوف»، مجله مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار، ۲۹: ۸۵-۱۰۶.

راستین‌فر، علی و همت‌فر، محمود (۱۳۹۹)، مدل‌سازی و پیش‌بینی نوسانات بازار سهام با استفاده از ترکیب شبکه‌های عصبی و الگوهای واریانس شرطی، فصلنامه مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار، ۴۳: ۴۵۱-۴۷۳.

راسخی، سعید و خانعلی‌پور، امیر (۱۳۸۸)، تحلیل تجربی نوسانات و کارایی اطلاعاتی بازار سهام (مطالعه موردی: بورس اوراق بهادار تهران)، پژوهش‌های اقتصادی ایران، ۱۳ (۴۰): ۵۷-۲۹.

رضازاده، روح‌اله و فلاح، میرفیض (۱۳۹۹)، بررسی سرریز نوسانات شاخص استرس مالی بر تورم، نرخ بهره، نقدینگی و شاخص صنعت با تأکید بر مدل‌های GARCH-BEKK، VAR و علیت گرانجر، فصلنامه مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار، ۴۲: ۳۰۱-۲۷۲.

رعنایی کردشولی، حبیب‌اله، عباسی، عباس و پشوتنی‌زاده، هومن (۱۳۹۶)، شبیه‌سازی الگوی تأثیرات نوسانات دارایی‌های رقیب سهام بر شاخص کل بورس اوراق بهادار تهران و قیمت مسکن با رویکرد پویایی‌شناسی سیستمی، مجله مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار، ۳۳: ۵۰-۲۵.

زاهدی تهرانی، پریوش (۱۳۹۱)، تبیین راهبرد سرایت نوسانات بازارهای سرمایه بین‌المللی بر بورس اوراق بهادار تهران، مطالعات مدیریت راهبردی، ۱۱: ۶۵-۴۳.

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

سیدحسینی، سیدمحمد، ابراهیمی، سیدبابک و باباخانی، مسعود (۱۳۹۳)، مدل سرایت تلاطم همبستگی شرطی ثابت با حافظه بلندمدت شواهدی از بازار سهام تهران و دبی، دانش سرمایه‌گذاری، ۳ (۱۱): ۴۵- ۲۵.

سیدحسینی، سیدمحمد، ابراهیمی، سیدبابک و باباخانی، مسعود (۱۳۹۲)، مدل سرایت تلاطم همبستگی شرطی ثابت با حافظه بلندمدت شواهدی از بازار سهام تهران و دبی، مجله مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار، ۱۵: ۱۴۵-۱۲۵.

سید حسینی، سید محمد و ابراهیمی، سید بابک (۱۳۹۲)، بررسی سرایت تلاطم بین بازارهای سهام؛ مطالعه موردی بازار سهام ایران، ترکیه و امارات، فصلنامه علمی پژوهشی دانش مالی تحلیل اوراق بهادار، ۶ (۱۹): ۸۱-۹۷.

شیرازیان، زهرا، نیکومرام، هاشم، رهنمای رودپشتی، فریدون و ترابی، تقی (۱۳۹۷)، خوشه‌بندی نوسانات در بازارهای مالی با مدل شبیه‌سازی عامل بنیان، مجله مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار، ۳۶: ۲۲۴-۲۰۱.

علمی، زهرا، ابونوری، اسمعیل، راسخی، سعید، شهرازی، محمدمهدی (۱۳۹۳)، اثر شکست‌های ساختاری در نوسانات بر انتقال تکانه و سرریز نوسان میان بازارهای طلا و سهام ایران، فصلنامه مدلسازی اقتصادی، ۸ (۲): ۵۷-۷۳.

کاشانی‌تبار، شهرزاد، رهنمای رودپشتی، فریدون، فلاح، میرفیض، چیرانی، ابراهیم و زمردیان، علیرضا (۱۳۹۹)، بررسی تأثیر سرریز نوسانات در بازارهای مالی و ویژگی‌های بازاری در پیش‌بینی ترکیدن حباب قیمت در بورس با رویکرد تلاطم شرطی، فصلنامه مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار، ۴۴: ۳۵۰-۳۲۸.

کریمی، مجتبی، صراف، فاطمه، امام‌وردی، قدرت‌اله و باغانی، علی (۱۳۹۸)، همبستگی شرطی پویای نوسانات قیمت نفت و بازار سهام کشورهای حوزه خلیج‌فارس با تأکید بر سرایت بحران مالی، فصلنامه اقتصاد مالی، ۱۳ (۴۹): ۱۰۱-۱۳۰.

کشاورز حداد، غلامرضا و مفتخر دریائی نژاد، کبری (۱۳۹۷)، تأثیر سرایت بازده و تلاطم در برآورد ارزش در معرض ریسک سبد دارایی، متشکل از طلا، ارز و سهام، تحقیقات اقتصادی، ۵۳ (۱): ۱۱۷-۱۵۲.

کشاورز حداد، غلامرضا و محمدی، الهام (۱۳۹۵)، آیا در تلاطم‌های شدید بازار سهام تهران، متنوع‌سازی ریسک را کاهش می‌دهد؟، تحقیقات اقتصادی، ۵۱ (۲): ۴۹۳-۵۱۵.

کشاورز حداد، غلامرضا، ابراهیمی، سیدبابک و جعفر عبدی، اکبر (۱۳۹۰)، بررسی سرایت تلاطم میان بازدهی سهام صنعت سیمان و صنایع مرتبط با آن در ایران، پژوهش‌های اقتصادی ایران، ۱۶ (۴۷): ۱۶۲- ۱۲۹.

کشاورز حداد، غلامرضا و حیدری، هادی (۱۳۹۰)، بررسی تأثیر اخبار سیاسی بر تلاطم بازار سهام ایران (مقایسه مدل‌های FAGARCH و MSM)، تحقیقات اقتصادی، ۴۶ (۱): ۱۳۵-۱۱۱.

کشاورز حداد، غلامرضا و اسمعیل‌زاده، موسی (۱۳۸۹)، مدل‌سازی سری زمانی برای پیش‌بینی تلاطم در بازدهی سهام شرکت سیمان، تحقیقات اقتصادی، ۹۱: ۲۵۵-۲۱۹.

کشاورز حداد، غلامرضا و صمدی، باقر (۱۳۸۸)، برآورد و پیش‌بینی تلاطم بازدهی در بازار سهام تهران و مقایسه دقت روش‌ها در تخمین ارزش در معرض خطر: کاربردی از مدل‌های خانواده FIGARCH، تحقیقات اقتصادی، ۸۶: ۲۳۵-۱۹۳.

فتاحی، شهرام، خانزادی، آزاده و نفیسی مقدم، مریم (۱۳۹۵)، پیش‌بینی تلاطم بازده سهام در بورس اوراق بهادار تهران با استفاده از روش شبیه‌سازی MCMC و الگوریتم متروپلیس هستینگ، دانش مالی تحلیل اوراق بهادار، ۹ (۳۲): ۷۹-۹۴.

فلاحی، فیروز، حقیقت، جعفر، صنوبر، ناصر و جهانگیری، خلیل (۱۳۹۳)، بررسی همبستگی بین تلاطم بازار سهام، ارز و سکه در ایران با استفاده از مدل DCC-GARCH، پژوهشنامه اقتصادی، ۱۴ (۵۲) ۱۴۷-۱۲۳.

قاضی فینی، سیدرضا و پناهیان، حسین (۱۳۹۸)، پیش‌بینی و مدل‌سازی تلاطم بازدهی سهام در بورس اوراق بهادار تهران با استفاده از مدل‌های GARCH، تحقیقات حسابداری و حسابرسی، ۴۳: ۷۰-۵۵.

مقدس بیات، مریم، شیرین بخش، شمس اله و محمدی، تیمور (۱۳۹۷)، تحلیل نوسانات بورس اوراق بهادار تهران با استفاده از مدل MSBVAR-DCC، فصلنامه چشم انداز مدیریت مالی، ۸ (۲۲): ۱۱۲- ۹۷.

مملی‌پور، سیاب و فعلی، عاطفه (۱۳۹۵)، بررسی سرریز تلاطم قیمت نفت بر بازدهی صنایع منتخب در بورس اوراق بهادار تهران: رویکرد تغییر رژیم مارکوف و تجزیه واریانس، پژوهش‌های اقتصاد پولی، مالی، ۲۴ (۱۴): ۲۰۶-۲۳۴.

نادمی، یونس، ابونوری، اسمعیل و علمی، زهرا (۱۳۹۴)، ارائه یک الگوی هشدار پیش از وقوع نوسانات شدید در بازار سهام تهران: رویکرد مارکوف سوئیچینگ گارچ، دانش مالی تحلیل اوراق بهادار، ۸ (۲۸) ۲۷-۴۰.

نبوی چاشمی، سیدعلی و مختاری‌نژاد، ماریه (۱۳۹۵)، مقایسه مدل‌های حرکت براونی و براونی کسری و گارچ در برآورد نوسانات بازده سهام، مجله مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار، ۲۹: ۴۴-۲۵.

نظیفی نایینی، مینو، فتاحی، شهرام، صمدی، سعید (۱۳۹۱)، مدل‌سازی و پیش‌بینی نوسانات بازار سهام با استفاده از مدل انتقالی گارچ مارکف، فصلنامه تحقیقات مدل‌سازی اقتصادی، ۹: ۱۴۱-۱۱۷.

Aguilar, O., & West, M. (2000), Bayesian Dynamic Factor Models and Portfolio Allocation, *Journal of Business and Economic Statistics*, 18(3): 338–357.

Bollerslev, T. (1986), Generalized Autoregressive Conditional Hetroskedasticity. *Journal of Econometrics*, 31(3): 307-327.

Boss, C. S. (2012), Relating Stochastic Volatility Estimation Methods. In Bauweans, L., Hafner, C., & Laurent, S. (eds.), *Handbook of Volatility Model and Their Applications*, Chapter 6, John Wiley & Sons, 147-174.

Calvo, S., & Reinhart, C. M. (1996), Capital Flows to Latin America: Is There Evidence of Contagion Effects?, In Guillermo, A., Calvo, S., Goldstein, M. & Hochreiter, E. eds.: *Private Capital Flow to Emerging Markets after the Mexican Crisis*, Institute for International Economics, Washington DC.

Chib, S., Nardari, F., & Shephard, N. (2006), Analysis of High Dimensional Multivariate Stochastic Volatility Models, *Journal of Econometrics*, 134(2): 341–371.

Classens, S., & Forbes, K. (2004). International Financial Contagion: The Theory, Evidence and Policy Implications. For the Conference ‘the IMF’s Role in Emerging Market Economies: Reassessing the Adequacy of its Resources’ Organized by RBWC, DNB and WEF in Amsterdam on November 18-19.

Delatola, E.I., & Griffin, J.E. (2011), Bayesian Nonparametric Modeling of the Return Distribution with Stochastic Volatility, *Bayesian Analysis*, 6: 901–926.

Engle, R. F. (1982), Autoregressive Conditional Heteroskedasticity with Estimates of the Variance of United Kingdom Inflation, Econometrica, 50(4): 987–1007.

Esposti, R. (2021), On the Long-Term Common Movement of Resource and Commodity Price, A Methodological Proposal. *Resource Policy*, 72, 102010.

Han, Y. (2006), Asset Allocation with a High Dimensional Latent Factor Stochastic VolatilityModel, *Review of Financial Studies*, 19(1): 237–271.

Harvey, A. C., Ruiz E., & Shephard, N. (1994), Multivariate Stochastic Variance Models, *The Review of Economic Studies*, 61 (2): 247–264.

Hosszenjni, D., & Kastner, G. (2021), Modeling Univariate and Multivariate Stochastic Volatility in R with stochvol and factorstochvol. Retrieved from https://cran.r-project.org/web/packages/factorstochvol/vignettes/paper.pdf.

Ishihara, T., & Omori, Y. (2017), Portfolio Optimization Using Dynamic Factor and Stochastic Volatility: Evidence on Fat-Tailed Error and Leverage, Japanese Economic Review, 68 (1): 63-94.

Jacquier, E., Polson, N.G., & Rossi, P.E. (2004), Bayesian Analysis of Stochastic Volatility Models with Fat-Tails and Correlated Errors, *Journal of Econometrics*, 122(1): 185–212.

Jensen, M.J., & Maheu, J.M. (2010). Bayesian Semiparametric Stochastic Volatility Modeling. *Journal of Econometrics*, 157(2): 306–316.

Jensen, M.J., & Maheu, J.M. (2014), Estimating a Semiparametric Asymmetric Stochastic Volatility Model with a Dirichlet Process Mixture, *Journal of Econometrics*, 178(3): 523–538.

Kastner, G. (2016), Dealing with Stochastic Volatility in Time Series Using the R Package Stochvol, *Journal of Statistical Software*, 69 (5): 1-30.

Kastner, G., Fruhwirth-Schnatter, S., & Lopes, H. F. (2017), Efficient Bayesian Inference for Multivariate Factor Stochastic Volatility Model, *Journal of Computational and Graphical Statistics*, 26 (4): 905-917.

Kastner, G., & Huber, F. (2020), Sparse Bayesian Vector Autoregressions in Huge Dimensions, *Journal of Forecasting*, 39 (7): 1142-1165.

Liu, W., & Yu, Y. (2019), Comparison of Price Fluctuation Among Domestic and Oversea Oil Shipping Stocks Based on DC-MSV Model, *Tongi Daxue Xubao*, 47 (10): 1528-1532.

Lopes, H.F., & Carvalho, C.M. (2007), Factor Stochastic Volatility with Time Varying Loadings and Markov Switching Regimes, *Journal of Statistical Planning and Inference*, 137 (10): 3082-3091.

Nakajima, J. & West, M. (2013), Dynamic Factor Volatility Modeling: A Bayesian Latent Threshold Approach, *Journal of Financial Econometrics*, 11(1): 116-153.

Nakajima, J., & Omori, Y. (2012), Stochastic Volatility Model with Leverage and Asymmetrically Heavy-Tailed Error Using GH Skew Student's *t* Distribution, *Computational Statistics & Data Analysis*, 56(11): 3690–3704.

Nakajima, J., & Omori, Y. (2009), Leverage, Heavy-Tails and Correlated Jumps in Stochastic Volatility Models, *Computational Statistics and Data Analysis*, 53(6): 2335–2353.

Omori, Y., Chib, S., Shephard, N., & Nakajima, J. (2007). Stochastic Volatility with Leverage: Fast and Efficient Likelihood Inference. *Journal of Econometrics*, 140(2), 425–449.

Philipov, A., & Glickman, M. E. (2006), Factor Multivariate Stochastic Volatility via Wishart Processes, *Econometric Review*, 25(2-3): 311-334.

Poon, S. H., & Granger, W. J. (2003), Forecasting Volatility in Financial Markets: A Review, *Journal of Economic Literature*, 41 (2): 478-539.

Shi, Y., Tiwari, A.K., Gozgor, G., & Lu, Z. (2020), Correlations among Cryptocurrencies: Evidence from Multivariate Factor Stochastic Volatility Model, *Research in International Business and Finance*, 53, 101231.

Silva, R.S., Lopes, H.F., & Migon, H.S. (2006), The Extended Generalized Inverse Gaussian Distribution for Log-Linear and Stochastic Volatility Models, *Brazilian Journal of Probability and Statistics*, 20(1): 67–91.

Tsay R. S. (2002), Analysis of Financial Time Series, John Wiley & Sons.

Taylor, J. W. (2001), Smooth Transition Exponential Smoothing, *Journal of Forecasting*, 23(6): 385-404.

Yamauchi, Y., & Omori, Y. (2020), Multivariate Stochastic Volatility Model with Realized Volatilities and Pairwise Realized Correlations, *Journal of Business and Economic Statistics*, 38 (4): 839-855.

Zaharieva, M.D., Trade, M., & Wilfling, B. (2020), Bayesian Semiparametric Multivariate Stochastic Volatility with Application, *Econometric Review*, 39 (9): 947-970.

Zhang, J., & Zhuang, Y.M. (2021), Cross-Market Infection Research on Stock Herding Behavior Based on DGC-MSV Models and Bayesian Network, *Complexity*, Retrieved from https://www.hindawi.com/journals/complexity/2021/6645151/.

Zhang, J., & Zhuang, Y.M. (2017), Volatility Spillover among USA and Major East Asian Stock Indices Based on Multivariate Stochastic Volatility with Regime-Switching Model, International Conference on Control, Automation and Systems, South Korea, 18-21 October 2017.

Zhou, X., Nakajima, J., & West, M. (2014), Bayesian Forecasting and Portfolio Decisions Using Dynamic Dependent Sparse Factor Models, *International Journal of Forecasting*, 30(4): 963–980.

https://cran.r-project.org/web/packages/zoo

https://cran.r-project.org/web/packages/mvtnorm

https://cran.r-project.org/web/packages/stochvol

https://cran.r-project.org/web/packages/factorstochvol

https://cran.r-project.org/web/packages/fGarch

https://cran.r-project.org/web/packages/corrplot