

مدلسازی شاخص کل
قیمت با استفاده از
روش‌های سری زمانی

۱. مقدمه	۳
۲. معیارهای نکویی برازش	۵
۳. برآورد مدل	۶
۴. پیش‌بینی	۶
۵. مدل‌های تغییر مارکوف	۶
۶. ریسک‌های سیستماتیک و غیر سیستماتیک	۷
۷. برازش مدل MSGARCH	۹
۸. آزمون BACK TEST	۱۲
۹. برازش مدل ARIMA-GARCH	۱۴
۱۰. شبیه‌سازی بازدهی‌ها	۱۶

۱. مقدمه

سری زمانی متغیر بازده، دارای الگوها و ویژگی‌های جالبی نظیر عدم تقارن^۱، خوشه‌بندی نوسانات^۲، ناهمسانی واریانس^۳، پایداری^۴ یا حافظه طولانی^۵ و غیره بوده که قابلیت پیش‌بینی^۶ این متغیر را افزایش می‌دهند. به همین دلیل، به جای استفاده از قیمت، معمولاً از متغیر بازده یا نمو قیمت استفاده می‌شود.

مقدار قیمت (P_t) در زمان t را در نظر بگیرید. مقدار بازده یا تغییر قیمت (r_t)، به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$r_t = \log\left(\frac{P_t}{P_{t-1}}\right)$$

اغلب سری‌های زمانی در طول زمان، گرایش به یک جهت خاص دارند و ممکن است که میانگین، واریانس آنها از زمان تبعیت نماید. این امر موجب ایجاد رگرسیون‌های کاذب می‌گردد و به چنین سری‌هایی، سری‌های زمانی ناپایا^۷ می‌گویند و این بدان جهت است که میانگین، واریانس و خودکواریانس این سری‌ها در طول زمان ثابت نیستند. برای بررسی پایایی، بایستی تعیین شود که آیا سری زمانی مورد نظر ریشه واحد دارد یا خیر. در صورت وجود ریشه واحد، سری ناپایا است. برای آزمون ریشه واحد از آزمون ADF^۸ استفاده می‌شود.

همانطور که گفته شد بازدهی‌های روزانه اغلب دارای الگوهای شناخته شده‌ای مانند خودهمبستگی و ناهمسانی واریانس هستند. باید توجه داشت که واریانس شرطی با واریانس غیرشرطی، که همان واریانس کل نمونه می‌باشد، متفاوت است. بنابراین متوسط واریانس، غیرشرطی است درحالی که واریانس متغیر طی زمان، شرطی است. شواهد تجربی قابل توجهی وجود دارد که نشان می‌دهند مدل‌های نوسانات شرطی، ریسک را به خوبی پیش‌بینی می‌کنند. یکی از روش‌های مدل‌سازی ویژگی ناهمسانی واریانس، استفاده از مدل ناهمسانی واریانس شرطی اتورگرسیو^۹ (ARCH) است. گسترش و تعمیم منطقی مدل‌های ARCH، تحت عنوان مدل‌های GARCH^{۱۰} شناخته می‌شوند. مدل GARCH(1,1) به صورت زیر تعریف می‌شود:

¹ Asymmetry

² Volatility clustering

³ Heteroskedasticity

⁴ Persistency

⁵ Long memory

⁶ Predictability

⁷ Non-stationary

⁸ Augmented Dickey-Fuller

⁹ Autoregressive Conditional Heteroskedasticity (ARCH)

¹⁰ Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedastic (GARCH)

$$\sigma_t^2 = \alpha_0 + \alpha_1 \epsilon_{t-1}^2 + \beta_1 \sigma_{t-1}^2$$

مدل GARCH(1,1) بسیاری از ویژگی‌های نوسانات سری‌های زمانی را منعکس می‌سازد و تحلیل آن راحت‌تر از تحلیل مدل‌های مشابه مرتبه بالاتر است. این مدل می‌تواند الگوی خوشه‌بندی نوسانات موجود در داده‌های سری زمانی مالی را به خوبی مدل‌سازی کند. مدل کلی $GARCH(p, q)$ به صورت زیر است:

$$\sigma_t^2 = \alpha_0 + \sum_{i=1}^p \alpha_i \epsilon_{t-i}^2 + \sum_{j=1}^q \beta_j \sigma_{t-j}^2$$

در این مدل، $\alpha_0 > 0$ ، $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_p \geq 0$ و $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_q \geq 0$ است. در صورتی که $\sum_{i=1}^p \alpha_i + \sum_{j=1}^q \beta_j < 1$ باشد، این مدل در سطح کوواریانس مانا است.

یکی از حالت‌های خاص مدل $GARCH(p, q)$ موقعی اتفاق می‌افتد که $\sum_{i=1}^p \alpha_i + \sum_{j=1}^q \beta_j = 1$ باشد. این حالت خاص، مدل GARCH انباشته یا IGARCH نامیده می‌شود. مدل‌های زیادی از خانواده GARCH معرفی شده و توسعه یافته‌اند که هریک حالتی خاص از مدل کلی بوده و یا تحت فروض یا ویژگی‌های معینی از داده‌های سری زمانی، بهتر از مدل کلی می‌توانند داده‌های سری زمانی را توصیف و مدل‌سازی کنند. به عنوان مثال، یکی از مفیدترین آنها مدلی است که فرایند GARCH را با فرایند ARIMA تلفیق می‌کند. این مدل، ساختاری منعطف ارائه می‌دهد که می‌تواند مشخصات طیف وسیعی از داده‌های سری زمانی را مدل‌سازی کند (Sweeting, 2011).

مدل‌های فوق، همگی برای داده‌های سری زمانی متقارن به کار می‌روند و لذا مدل واریانس اتورگرسیو شرطی آنها متقارن است. در این مدل‌ها اثرات مثبت و منفی، یکسان در نظر گرفته می‌شوند. اما اغلب داده‌های سری زمانی مالی، به علت وجود دنباله‌های بلند به خصوص در سمت چپ توزیع، نامتقارن هستند. انتشار اخبار منفی که باعث کاهش قیمت سهام در بازار مالی می‌شوند اثر بیشتری در ریسک و نوسانات قیمت دارد تا اخبار مثبت که باعث افزایش قیمت سهام می‌شوند. بنابراین، به عنوان یکی از ویژگی‌های بازار سهام، اثبات شده است که رویدادهای بد اثر بیشتری نسبت به رویدادهای خوب بر نوسان قیمت سهام دارد. در مورد بسیاری از اوراق سهام، همبستگی منفی شدیدی میان بازده فعلی و نوسانات آتی وجود دارد. میل نوسانات بازده به کاهش (افزایش) را در شرایطی که بازده افزایش (کاهش) می‌یابد، اصطلاحاً اثر اهرمی^{۱۱} می‌گویند (شهریار، ۱۳۹۳).

¹¹ Leverage effect

برای حل این مساله، مدل‌هایی با عنوان مدل‌های واریانس ناهمسانی اتورگرسیو شرطی نامتقارن معرفی^{۱۲} شده‌اند. از جمله این مدل‌ها می‌توان واریانس ناهمسانی اتورگرسیو شرطی آستانه‌ای^{۱۳} و واریانس ناهمسانی اتورگرسیو شرطی تعمیم یافته نمایی^{۱۴} را نام برد. معادله واریانس شرطی در مدل TARCH به صورت زیر است (شهریار، ۱۳۹۳):

$$\sigma_t^2 = \alpha_0 + \alpha_1 \varepsilon_{t-1}^2 + \gamma \varepsilon_{t-1}^2 d_{t-1} + \beta \sigma_{t-1}^2$$

که در این معادله d_{t-1} یک متغیر مجازی^{۱۵} است که به ازای $\varepsilon_{t-1} < 0$ برابر با ۱ و به ازای $\varepsilon_{t-1} \geq 0$ برابر با صفر است. منطق نهفته در مدل TARCH این است که به ازای مقادیر مثبت ε_{t-1} مقدار d_{t-1} برابر با صفر باشد. لذا اگر $\varepsilon_{t-1} \geq 0$ باشد، تاثیر شوک ε_{t-1} بر σ_t^2 برابر با $\alpha_1 \varepsilon_{t-1}^2$ بوده و اگر $\varepsilon_{t-1} < 0$ باشد، در این صورت $d_{t-1} = 1$ است و لذا تاثیر شوک ε_{t-1} بر σ_t^2 به اندازه $(\alpha_1 + \gamma) \varepsilon_{t-1}^2$ خواهد بود. با فرض اینکه $\gamma > 0$ باشد، شوک‌های منفی در مقایسه با شوک‌های مثبت، اثرات مثبت و نمایان تری بر نوسانات خواهد داشت. بنابراین اگر ضریب $\gamma < 0$ باشد، اثر اهرمی وجود دارد و اگر $\gamma \neq 0$ باشد، اثر حالات متقارن وجود دارد و اگر $\gamma > 0$ باشد، انتشار خبر بد و منفی موجب افزایش نوسان خواهد شد (شهریار، ۱۳۹۳). مدل GARCH نمایی یا EGARCH به شکل معادله زیر است:

$$\log(\sigma_t^2) = \alpha_1 + \sum_{j=1}^q \beta_j \log(\sigma_{t-1}^2) + \sum_{i=1}^p \alpha_i \left| \frac{\varepsilon_{t-i}}{\sigma_{t-i}} \right| + \sum_{k=1}^r \gamma_k \frac{\varepsilon_{t-k}}{\sigma_{t-k}}$$

سمت چپ معادله فوق، لگاریتم واریانس شرطی است. این بدان معناست که اثر اهرمی به صورت نمایی و درجه دوم بوده و پیش بینی واریانس شرطی، قطعاً به صورت غیرمنفی محاسبه می‌شود. وجود اثر اهرمی را می‌توان با آزمون $\gamma_k < 0$ مورد بررسی قرار داد. اگر $\gamma_k \neq 0$ باشد، رابطه نامتقارن است.

۲. معیارهای نکویی برازش

به طور کلی، تعداد وقفه‌های معادلات ARCH و GARCH را می‌توان با استفاده از حداقل مقدار معیارهای AIC^{16} ، SBC^{17} ، HQ^{18} و یا سایر معیارهای مربوط به دست آورد. برای تشخیص وجود یا عدم وجود اثر ARCH و GARCH و یا به عبارتی ناهمسانی واریانس نیز می‌توان از آزمون ضریب لاگرانژ (ARCH-LM) استفاده نمود.

12 Asymmetric Autoregressive Conditional Heteroskedasticity (AARCH)

13 Threshold Autoregressive Conditional Heteroskedasticity (TARCH)

14 Exponential Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity (EGARCH)

¹⁵ Dummy variable

16 Akaike Information Criterion (AIC)

17 Schwartz Bayesian Criterion (SBC)

18 Hannan-Quinn (HQ)

نکویی برازش مدل GARCH را می توان با بررسی باقیمانده های مدل بررسی کرد. این فرایند، مشابه فرایند مورد استفاده در مدل های سری زمانی، نظیر ARIMA است، با این تفاوت که اثر ناهمسانی واریانس باید در باقی مانده ها حذف شود.

۳. برآورد مدل

این مدل ها را می توان با روش حداکثر درست نمایی^{۱۹} تخمین زد. معمولاً پارامترهای این مدل ها را با همین روش برآورد می کنند. در مورد این مدل ها، نقطه شروع، تابع درست نمایی شرطی است.

۴. پیش بینی

هنگامی که داده ها با مدل ARCH یا GARCH برآورد شدند، از این مدل ها می توان برای پیش بینی نوسان استفاده کرد. به عبارتی، مقدار ریسک را پیش بینی کرد. در این راستا می توان از معیار ارزش در معرض خطر (VaR) استفاده کرد. جهت اندازه گیری مقدار VaR، ابتدا لازم است دو پارامتر کمی یعنی سطح اطمینان و دوره زمانی تعریف شوند. هرچه سطح اطمینان بالاتر باشد، مقدار VaR بزرگتر خواهد بود. متغیر بودن سطح اطمینان، اطلاعات مفیدی را در مورد توزیع بازده و زیان های شدید بالقوه ارائه می دهد. همچنین هرچه دوره زمانی بلندتر باشد، مقدار VaR بزرگتر خواهد بود. برای تبدیل معیار ریسک از دوره روزانه به دوره های بلند مدت تر، لازم است فرض شود که مقادیر بازده مستقل از یکدیگر بوده و دارای توزیع یکسان هستند. در این صورت، از طریق ضرب مقدار معیار ریسک روزانه در ریشه دوم مقدار زمان می توان نوسانات روزانه را به نوسانات چند روزه تبدیل کرد. علاوه بر این لازم است فرض شود که توزیع بازده روزانه برای دوره های بلند مدت تر بدون تغییر باقی می ماند که در این صورت طبقه توزیع به خانواده به اصطلاح توزیع های باثبات^{۲۰} محدود می شود. طبقه توزیع های نرمال یکی از اعضای خانواده توزیع های باثبات است. در این صورت داریم:

$$VaR(T \text{ days}) = VaR(1 \text{ day}) \times \sqrt{T}$$

۵. مدل های تغییر مارکوف

مدل های تغییر مارکوف^{۲۱} ابزار قدرتمندی برای بررسی رفتار واقعی داده های سری زمانی ارائه می دهند. مدل های سری زمانی کلاسیک فرض می کنند که می توان از یک مجموعه از پارامترهای مدل برای توصیف رفتار داده ها در تمام زمان ها استفاده کرد. این فرض همیشه برای آنچه در داده های دنیای واقعی با آن مواجه می شویم معتبر نیست.

داده های سری زمانی در دنیای واقعی ممکن است در دوره های زمانی مختلف ویژگی های متفاوتی مانند میانگین و واریانس متفاوت داشته باشند. مدل های تغییر رژیم این امکان را فراهم می کنند که بتوان داده ها را در «رژیم های» متفاوت و

¹⁹ Maximum Likelihood

²⁰ Stable

²¹ Markov-switching models

تکرارشونده قرار داد و به میانگین و واریانس داده‌های سری زمانی و پارامترهای مدل اجازه می‌دهد تا در رژیم‌ها تغییر کنند.

فرض کنید در هر بازه زمانی معین، این احتمال وجود دارد که سری در یکی از رژیم‌ها باشد و ممکن است به رژیم دیگر منتقل شود. این ویژگی‌ها باعث می‌شوند که مدل‌های تغییر رژیم بتوانند رفتار واقعی داده‌ها را بهتر از مدل‌های استاندارد ثبت کنند.

مدل‌های تغییر رژیم معمولاً برای مدل‌سازی داده‌های سری زمانی استفاده می‌شوند که بین «حالت‌های» تکرارشونده نوسان می‌کنند. به عبارت دیگر، اگر از داده‌هایی استفاده می‌کنیم که به نظر می‌رسد بین دوره‌های رفتاری مختلف چرخش می‌کنند، بهتر است از یک مدل تغییر رژیم استفاده کنیم.

مدل تغییر مارکوف یکی از پرکاربردترین مدل‌های تغییر رژیم است که فرض می‌کند که حالت‌های غیرقابل مشاهده از طریق یک فرآیند تصادفی به نام زنجیره مارکوف تعیین می‌شوند.

اجزای یک مدل تغییر مارکوف به شرح زیر می‌باشند:

- تعداد فرضی رژیم‌ها
- متغیر وابسته
- متغیرهای مستقل
- پارامترهای مربوط به متغیر وابسته نسبت به متغیرهای مستقل برای هر رژیم
- احتمالات انتقال
- استنباط‌های آماری در مورد پارامترهای مدل و حالت‌های تعیین شده

۶. ریسک‌های سیستماتیک و غیر سیستماتیک

بسیاری از رخدادهای سیاسی یا اقتصادی بر بازارهای مالی اثرگذار هستند. ریسک ناشی از این رخدادهای ریسک سیستماتیک نامیده می‌شود. بنابراین ریسک سیستماتیک حاکم بر اقتصاد کلان بازار است. این نوع ریسک که به «ریسک غیرقابل حذف» یا «ریسک بازار» نیز شناخته شده، بر کل بازار و نه فقط سهام یک شرکت یا صنعت خاص تأثیر می‌گذارد. ریسک سیستماتیک از طریق متنوع‌سازی حذف نمی‌شود. این موضوع در شکل زیر نشان داده شده است.



تنها راه کاهش این ریسک از طریق به‌کارگیری استراتژی‌های پوشش ریسک یا با استفاده از استراتژی تخصیص دارایی است. برای مثال استراتژی سرمایه‌گذاری در اوراق مشارکت یا سرمایه‌گذاری در املاک می‌تواند ریسک سیستماتیک ناشی از سرمایه‌گذاری در بورس را کاهش دهد؛ اما از سوی دیگر بر عملکرد بازده پرتفوی نیز اثر می‌گذارد.

ریسک سیستماتیک شامل موارد زیر می‌شوند:

- تغییر در دولت که منجر به تغییر در سیاست‌های اقتصادی می‌شود.
- تغییر در سیاست‌های اقتصادی نظیر ورشکستگی، تغییر نرخ بهره، نرخ تورم، تغییر در کنترل سرمایه، استرداد دارایی‌ها، تغییر در قوانین مالیاتی، سلب مالکیت، و غیره
- کودتا، جنگ داخلی، تهاجم یا سایر نشانه‌های بی‌ثباتی سیاسی
- تحریم‌های سیاسی - اقتصادی
- کاهش ارزش پول و ارز که معمولاً با سایر تغییرات شدید متغیرهای بازار همراه است.

این ریسک‌ها اغلب در بازارهای نوظهور و اغلب به دلیل فقدان نسبی ثبات سیاسی آنها به وجود می‌آیند. برای حفاظت در قبال این ریسک، مدیران ریسک باید رخدادهای آتی را تجسم کرده و پیامدها و آثار آنها را بر ارزش پرتفوی خود تحلیل کنند. تجسم و تحلیل رخدادهای آسان نیست. رویدادهای اخیر نشان داده است که به نظر می‌رسد بازارها مرتب غافلگیر می‌شوند.

در مقابل **ریسک غیرسیستماتیک** ریسک یکی از انواع ریسک‌های سرمایه‌گذاری بوده و ناشی از ریسک منحصر بفرد شرکت یا صنعتی خاص است که در آن سرمایه‌گذاری شده است. این ریسک با متنوع‌سازی پرتفو کاهش می‌یابد.

۷. برازش مدل MSGARCH

در این بررسی دو رژیم برای سری زمانی شاخص کل در نظر گرفته شده است و مدل‌های مختلف GARCH بر داده‌ها برازش داده شده‌اند. از میان مدل‌های موجود مدل EGARCH با در نظر گرفتن توزیع GED^{22} چوله برای باقیمانده‌ها، برازش بهتری بر بازدهی‌های شاخص کل نسبت به سایر مدل‌ها داشته است.

خروجی مدل MSGARCH برای بازده شاخص کل با فرض دو رژیم در جدول زیر ارائه شده است. مشاهده می‌شود که تمام ضرایب مدل معنی‌دار می‌باشند. بر اساس معیارهای نکویی برازش نیز می‌توان نتیجه گرفت که مدل برازش مطلوبی بر داده‌ها داشته است.

رژیم ۱					رژیم ۲				
Parameter	Estimate	Std.Error	t value	Pr(> t)	Parameter	Estimate	Std.Error	t value	Pr(> t)
α_0	-1.418	0.043	33.214	<1e-16	α_0	-0.204	0.076	-2.674	0.004
α_1	0.588	0.111	5.323	0.000	α_1	0.195	0.038	5.124	0.000
α_2	0.152	0.036	4.175	0.000	α_2	0.028	0.011	2.570	0.005
β_1	0.884	0.003	76.090	<1e-16	β_1	0.980	0.008	30.497	<1e-16
ν_1	0.727	0.119	6.112	0.000	ν_1	2.003	0.170	11.809	<1e-16
ξ_1	0.942	0.009	2.979	<1e-16	ξ_1	0.830	0.042	19.947	<1e-16
P	0.996	0.002	484.167	<1e-16	P	0.0031	0.002	1.202	1.148e-01

ماتریس انتقال از یک رژیم به رژیم دیگر

	t+1 k=1	t+1 k=2
t k=1	0.9961	0.0039
t k=2	0.0031	0.9969

احتمالات پایداری رژیم‌ها

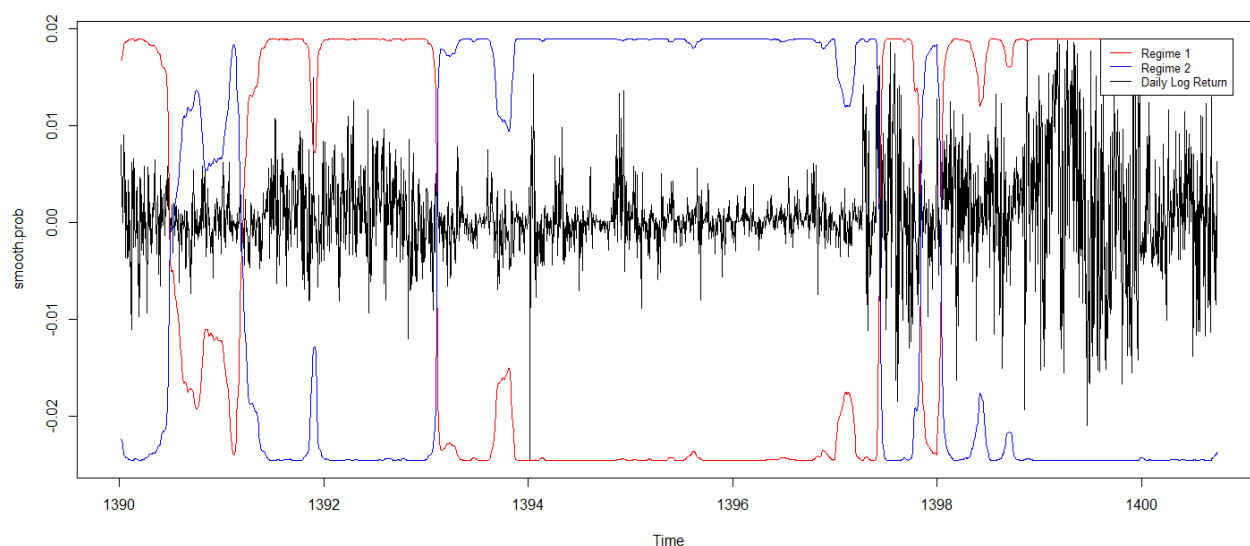
Stable probabilities:	
State 1	State 2
0.437	0.563

معیارهای نکویی برازش

Goodness of fit	
LL	11082.444
AIC	-22136.888
BIC	-22054.954

²² Generalized error distributions (Generalized normal distributions)

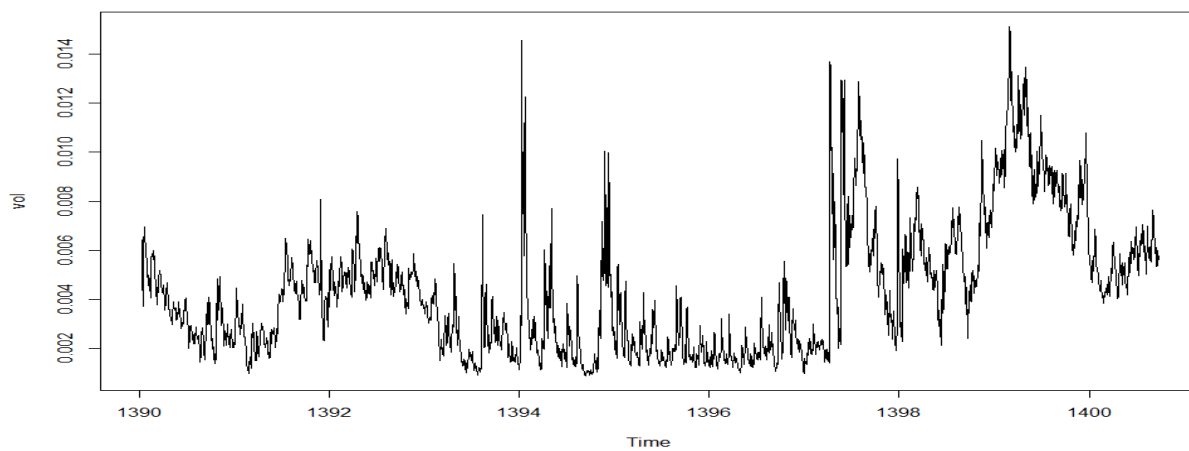
احتمال قرار گرفتن در هر یک از دو رژیم در شکل زیر نمایش داده شده است. باید توجه شود که در رژیم ۱ بازدهی‌ها دارای نوسان بالاتری نسبت به رژیم ۲ هستند. مشاهده می‌شود که از سال ۱۳۹۸ بازدهی شاخص کل در رژیم ۱ قرار گرفته است که انعکاس دهنده شرایط پرنوسان بازار بورس بوده است.



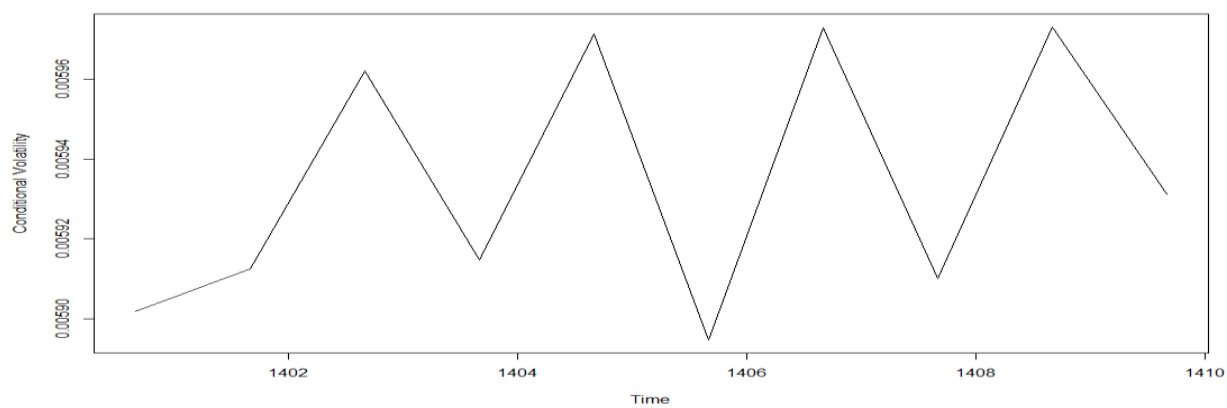
احتمالات انتقال از یک رژیم به رژیم دیگر در بازه ده روزه در جدول زیر ارائه شده است.

	$t+1 k=1$	$t+1 k=2$	$t+2 k=1$	$t+2 k=2$	$t+3 k=1$	$t+3 k=2$	$t+4 k=1$	$t+4 k=2$	$t+5 k=1$	$t+5 k=2$
$t k=1$	0.996	0.004	0.992	0.008	0.988	0.012	0.984	0.0164	0.980	0.020
$t k=2$	0.003	0.997	0.006	0.994	0.009	0.991	0.0126	0.987	0.0157	0.984
	$t+6 k=1$	$t+6 k=2$	$t+7 k=1$	$t+7 k=2$	$t+8 k=1$	$t+8 k=2$	$t+9 k=1$	$t+9 k=2$	$t+10 k=1$	$t+10 k=2$
$t k=1$	0.976	0.024	0.972	0.028	0.968	0.032	0.964	0.036	0.960	0.040
$t k=2$	0.019	0.981	0.022	0.978	0.025	0.975	0.028	0.972	0.031	0.969

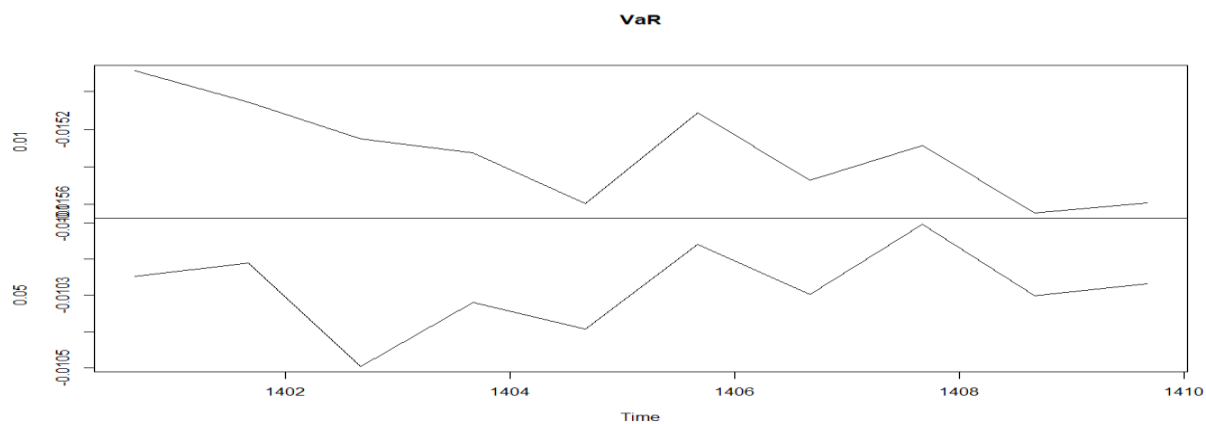
انحراف معیار شرطی (σ_t) بازدهی‌های روزانه شاخص کل



برآورد واریانس شرطی برای ۱۰ روز آتی

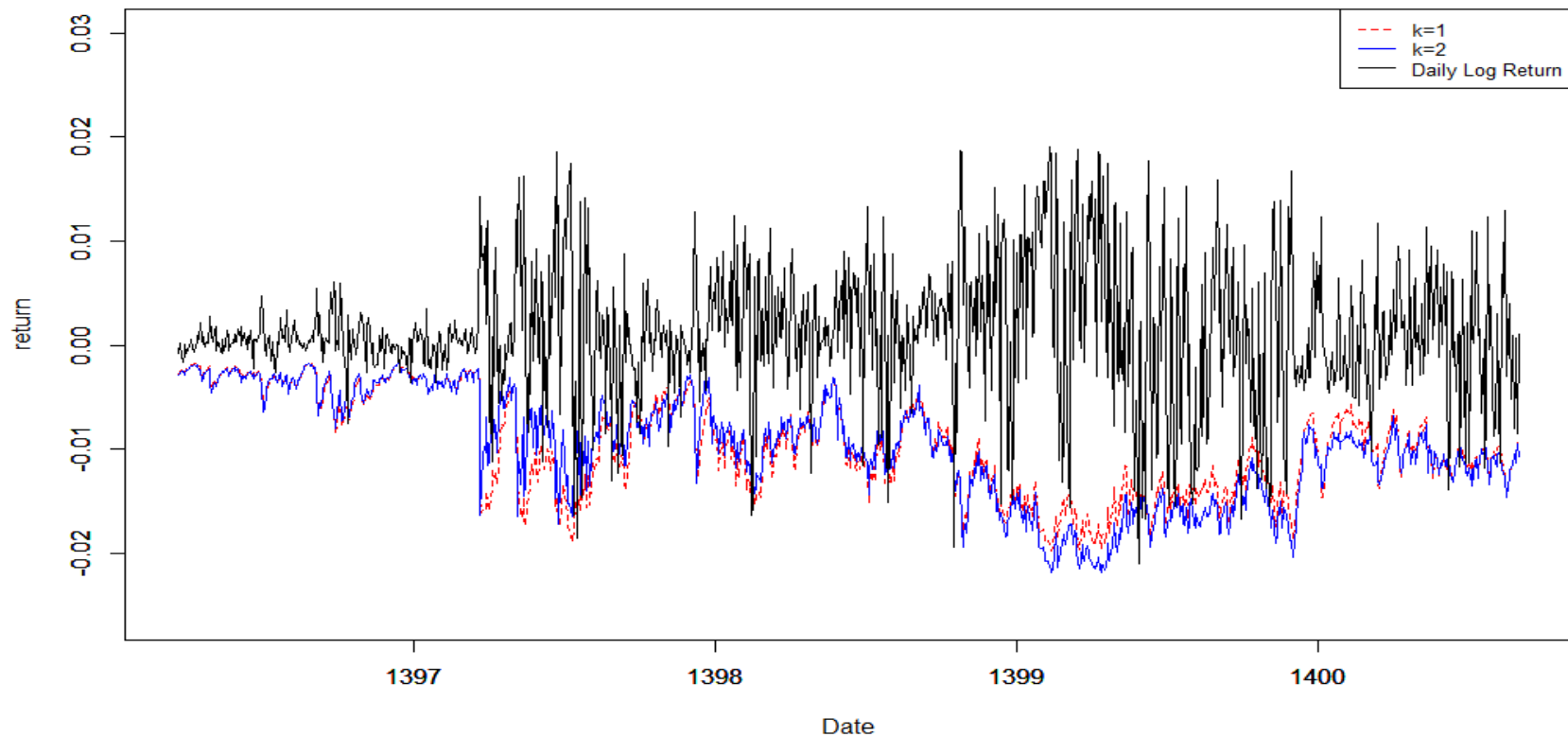


برآورد ارزش در معرض خطر (VaR) روزانه برای زیان (بازدهی‌های منفی) در سطح برای ۱۰ روز آتی

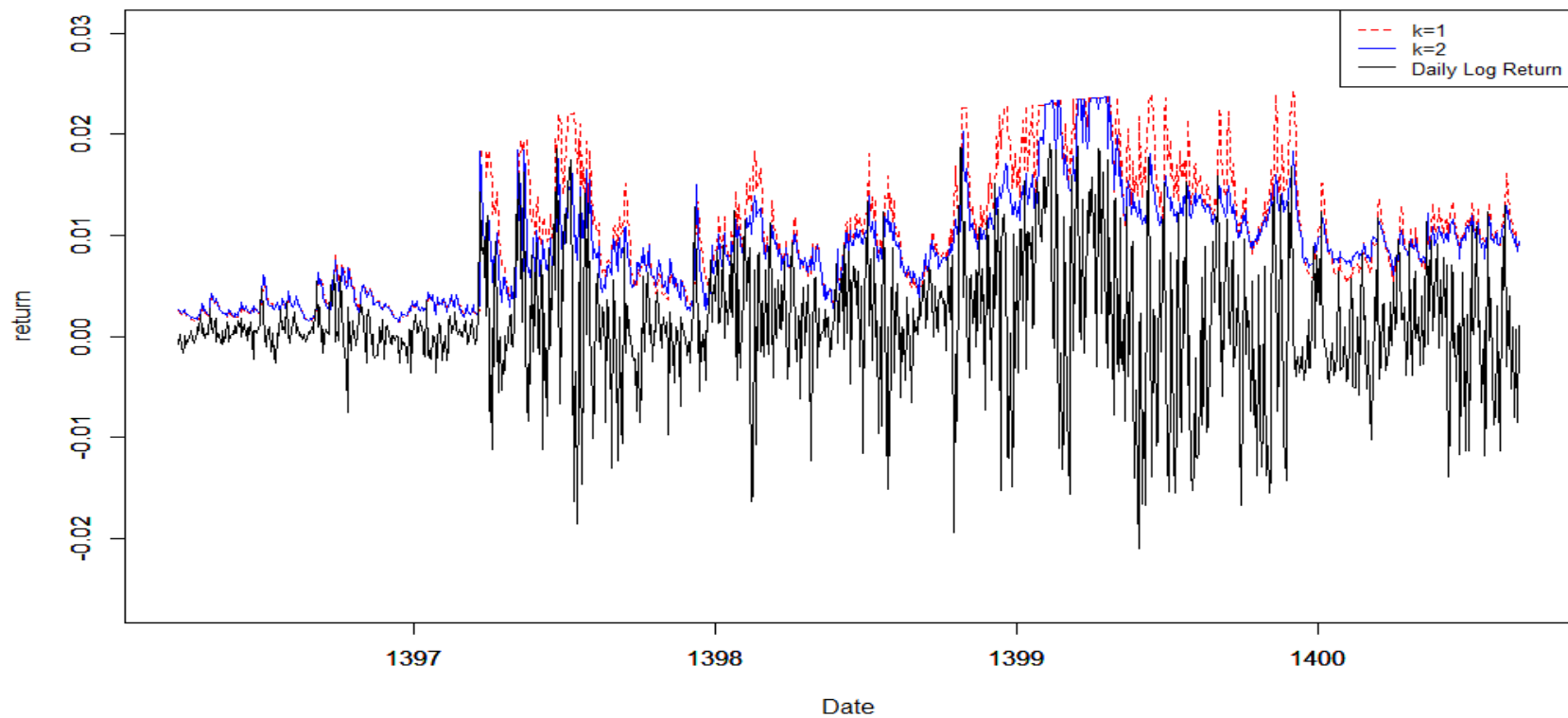


۸. آزمون BACK TEST

آزمون (Back test) برای ارزش در معرض خطر بازدهی‌های منفی (زیان) در مقابل بازدهی‌های روزانه، با در نظر گرفتن چارچوب متحرک با ۱۵۰۰ مشاهده و ۱۰۰ مشاهده خارج از نمونه به عنوان تست. درصد خطای مدل در سطح ۵٪ برابر با ۴.۶٪ بوده است. باید توجه شود که به دلیل نوسانات بالاتر موجود در بازدهی‌های منفی، مدل برآورد بالاتر و در واقع محتاطانه‌تری ارائه می‌دهد.



آزمون (Back test) برای ارزش در معرض خطر بازدهی‌های مثبت در مقابل بازدهی‌های روزانه، با در نظر گرفتن چاقوب متحرک با ۱۵۰۰ مشاهده و ۱۰۰ مشاهده خارج از نمونه به عنوان تست. درصد خطای مدل در سطح ۵٪ برابر با ۸٪ بوده است.



۹. برازش مدل ARIMA-GARCH

از میان مدل‌های موجود مدل EGARCH(1,1) - Arima(۲,۰,۱) با در نظر گرفتن توزیع GED چوله برای باقیمانده‌ها، برازش بهتری بر بازدهی‌های شاخص کل نسبت به سایر مدل‌ها داشته‌اند. خروجی مدل در جدول زیر ارائه شده است. مشاهده می‌شود تمام ضرایب مدل معنی‌دار هستند.

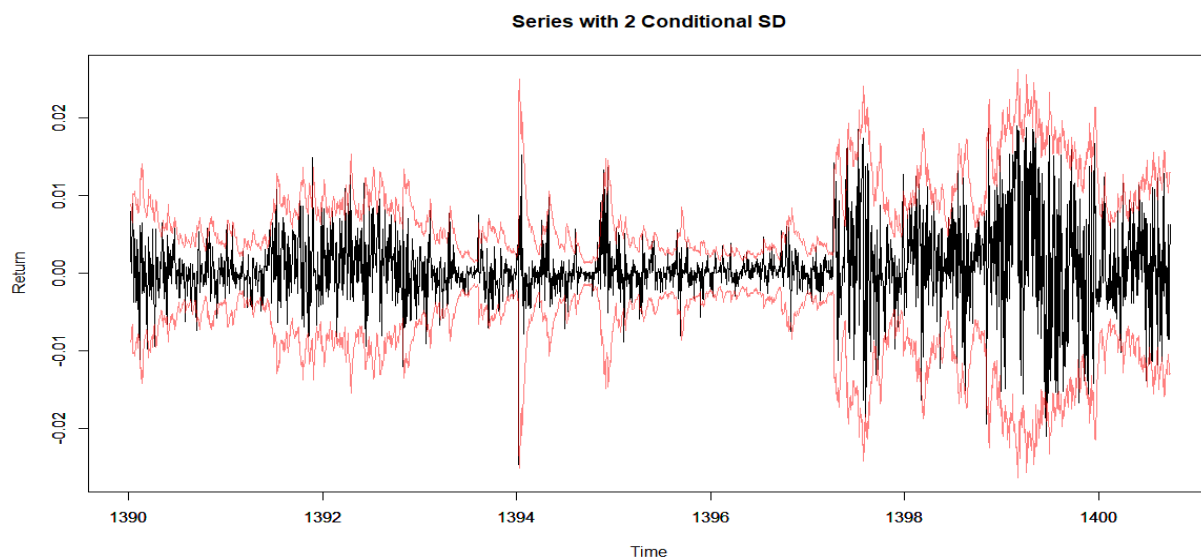
	Pr(> t)	t value	Std.Error	Estimate
μ	0.000	0.000	3.319	0.001
AR(1)	0.343	0.023	14.862	0.000
AR(2)	0.151	0.019	7.860	0.000
MA(1)	0.717	0.021	34.082	0.000
ω	0.234	0.019	12.112	0.000
α_0	0.052	0.014	3.777	0.000
β_1	0.980	0.002	53.484	0.000
γ_1	0.317	0.017	18.253	0.000
skew	0.964	0.020	49.398	0.000
shape	1.144	0.040	28.938	0.000

آماره‌های نکویی برازش نشان می‌دهند که مدل برازش مطلوبی بر داده‌ها داشته است.

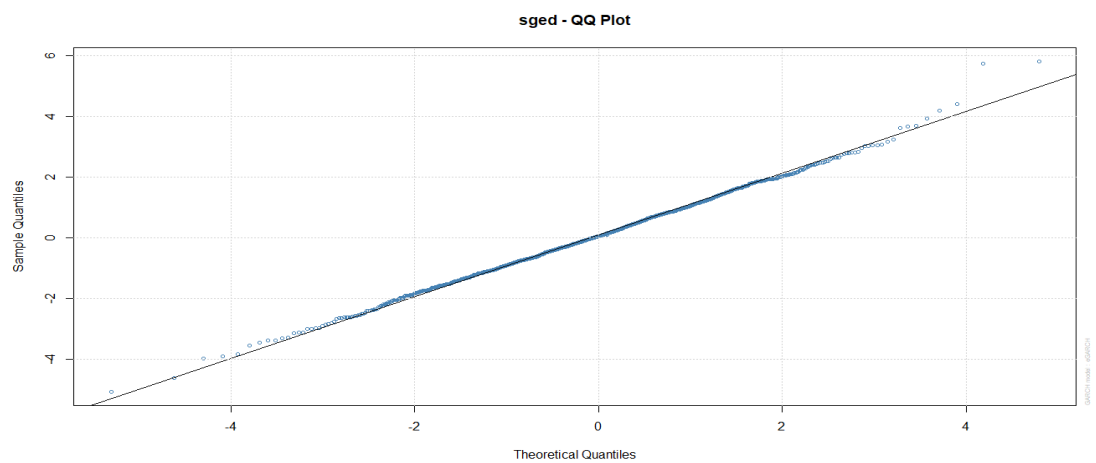
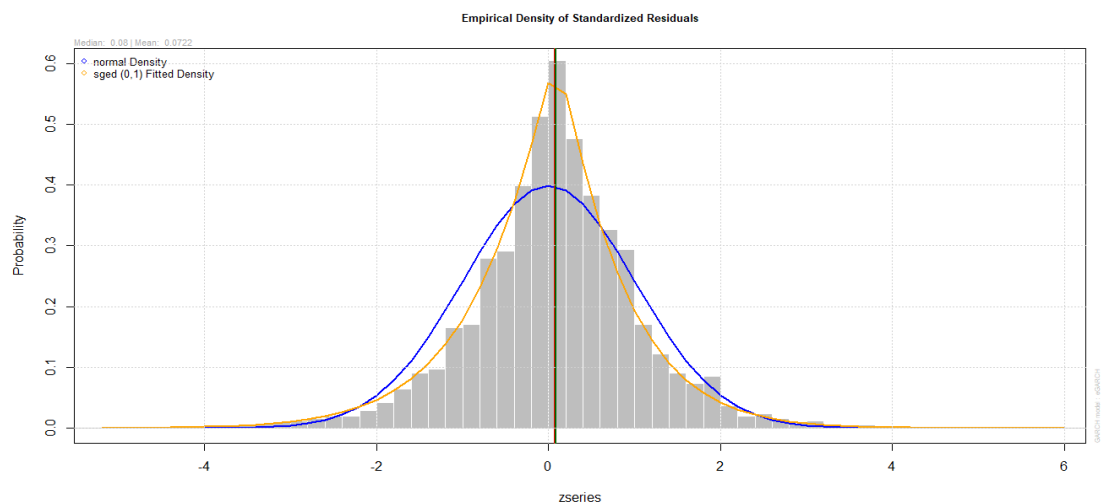
Goodness of fit statistics

LogLikelihood	11199.76
Akaike	-8.6978
Bayes	-8.6751
Shibata	-8.6979
Hannan-Quinn	-8.6896

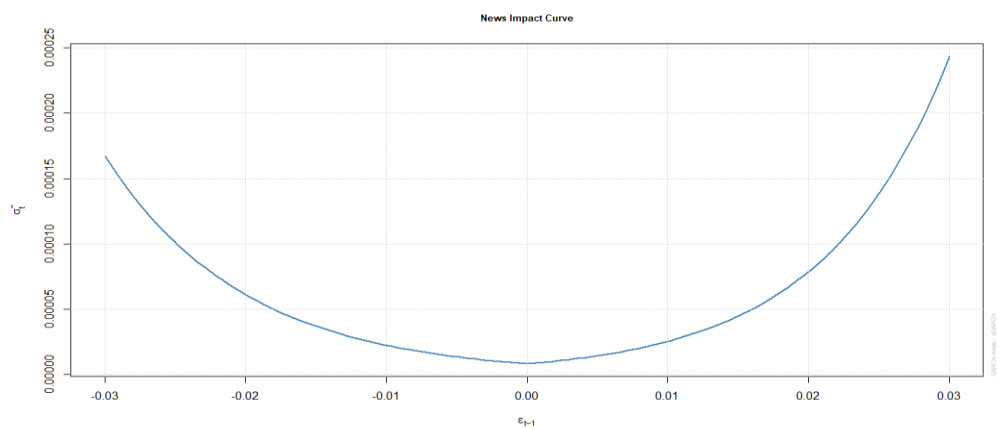
نمودار مقادیر دو برابر انحراف معیار شرطی در مقابل بازدهی‌ها در شکل‌های زیر ارائه است.



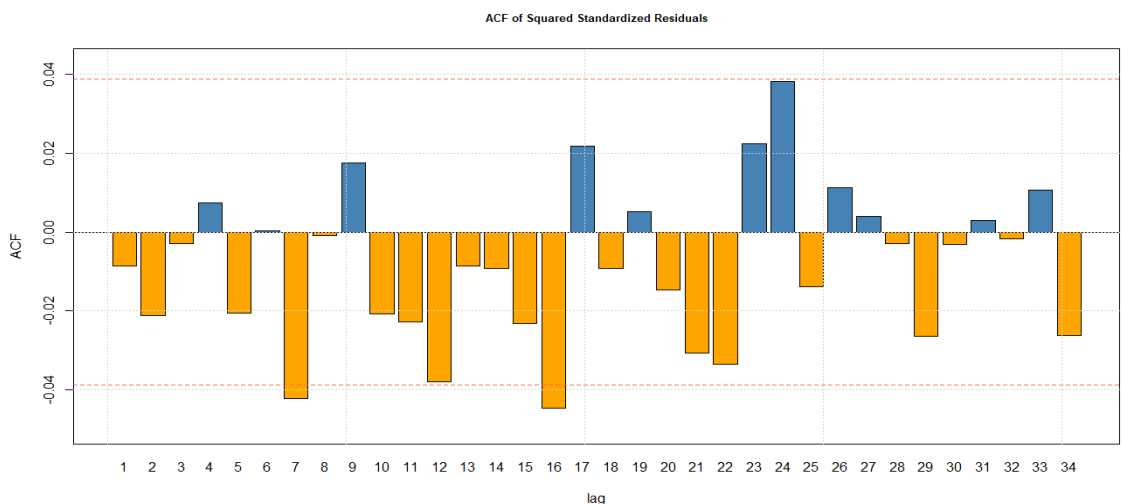
در شکل زیر مشاهده می‌شود که توزیع GED چوله به خوبی بر باقیمانده‌های استاندارد شده برازش داده شده است. نمودار Q-Q نیز این موضوع را تأیید می‌کند.



در شکل زیر مشاهده می‌شود اثر اخبار خوب بر بازدهی شاخص کل بازار بیشتر اثر اخبار بد است.

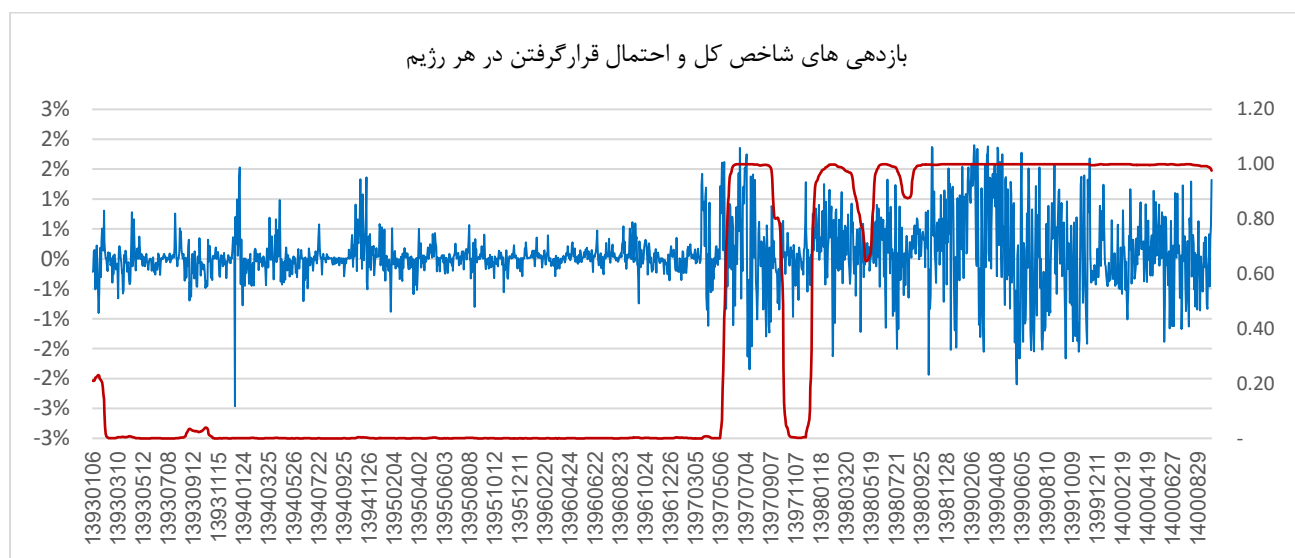


پس از برازش مدل ملاحظه می‌شود که خودهمبستگی جزئی میان مجذور باقیمانده‌ها غیرمعنی‌دار هستند. بنابراین خود همبستگی میان بازدهی‌ها به خوبی توسط مدل در نظر گرفته شده است.

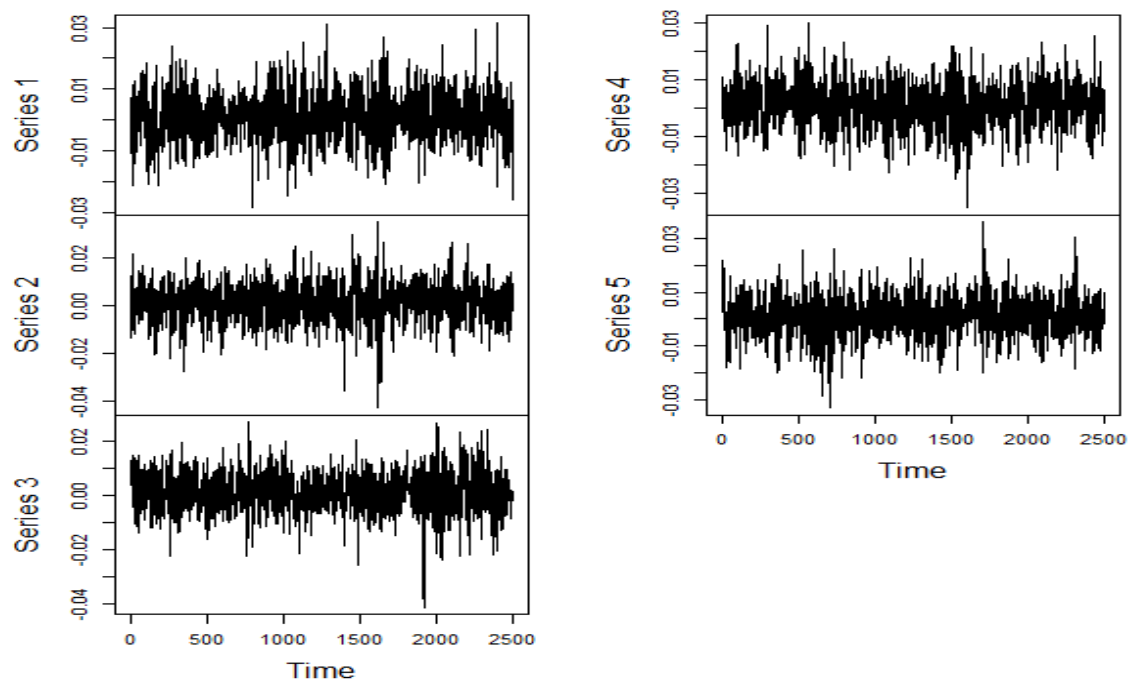


۱۰. شبیه‌سازی بازدهی‌ها

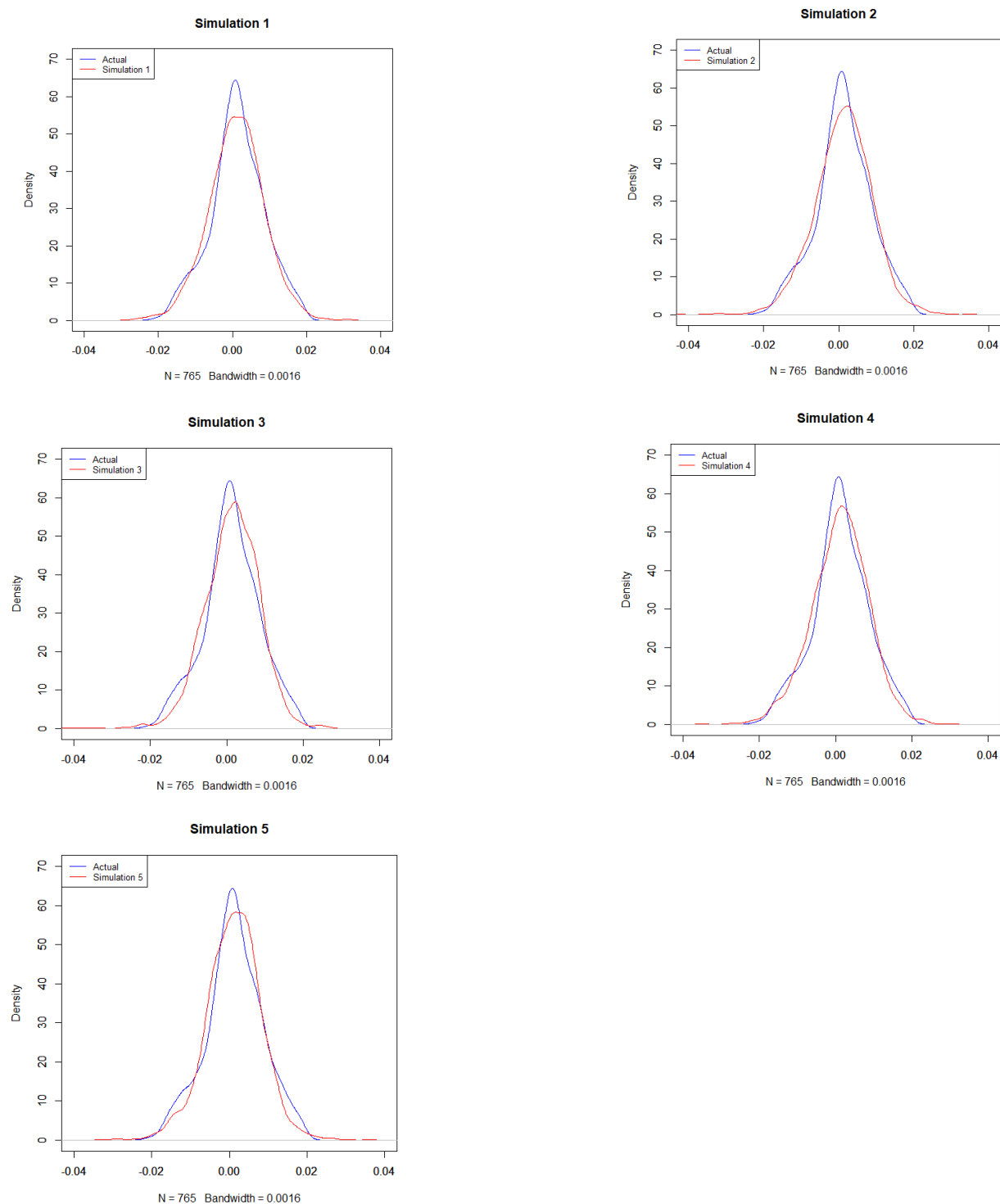
بر اساس تحلیل مدل‌های تغییر مارکف انجام شده بر اساس نوسانات بازدهی‌های شاخص کل در بازه زمانی ۱۳۹۳/۰۱/۰۱ تا ۱۴۰۰/۱۰/۰۱، با استفاده از مدل‌های سری زمانی ARIMA-GARCH شبیه‌سازی از برای هر یک از رژیم‌ها به صورت مجزا انجام شده است. باید توجه شود که رژیم ۱ بیانگر رژیم پرنوسان و رژیم ۲ بیانگر رژیم کم‌نوسان است. احتمال قرارگرفتن در هر یک از دو رژیم در شکل زیر نشان داده شده است:



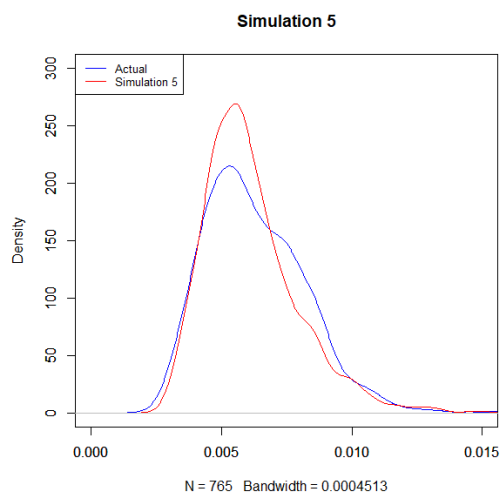
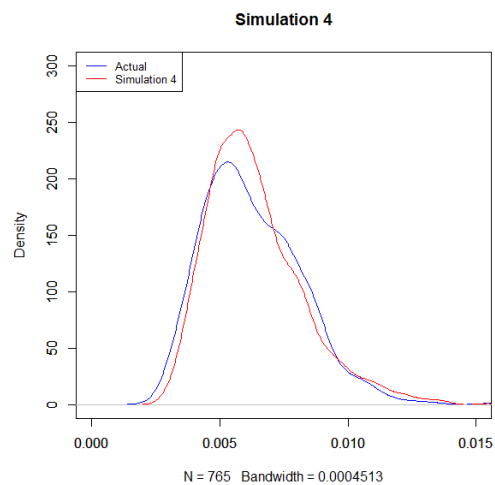
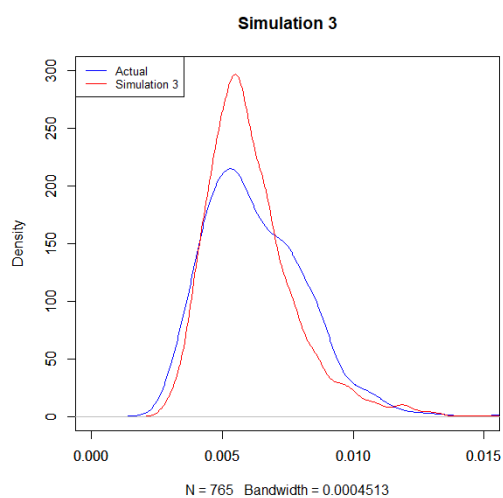
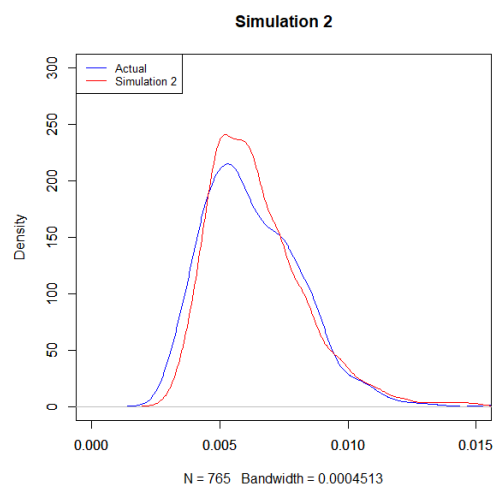
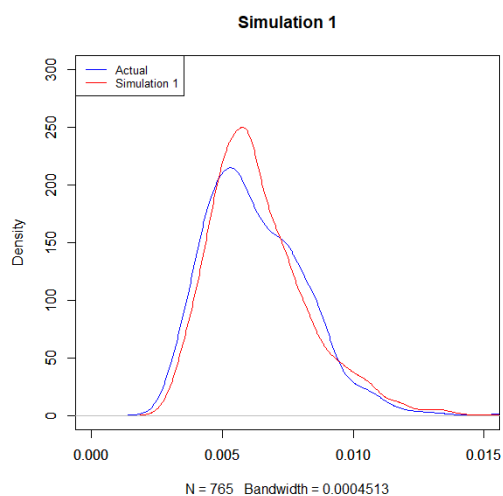
نتایج شبیه‌سازی برای رژیم ۱ (رژیم پرنوسان) برای ۲۵۰۰ مشاهده و ۵ تکرار در شکل زیر نمایش داده شده است.



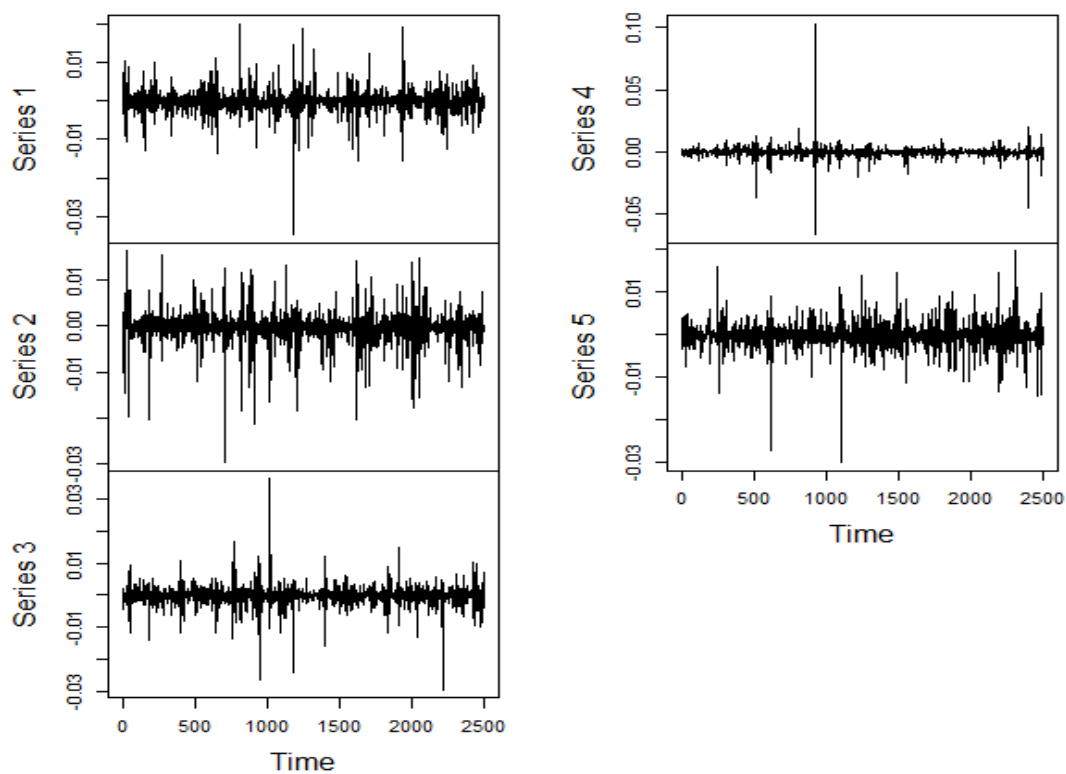
شبیه‌سازی انجام شده برای توزیع احتمال بازدهی‌ها در رژیم ۱ در شکل‌های زیر نمایش داده شده‌اند. مشاهده می‌شود که تابع توزیع داده‌های شبیه‌سازی شده به تابع توزیع داده‌های واقعی بسیار نزدیک است.



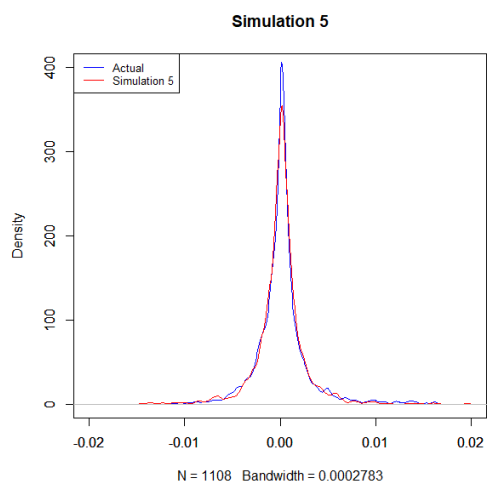
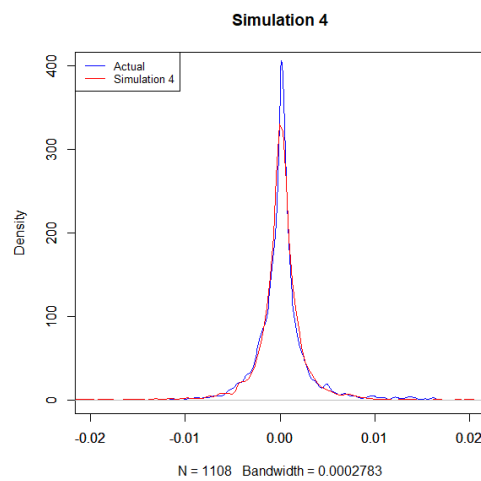
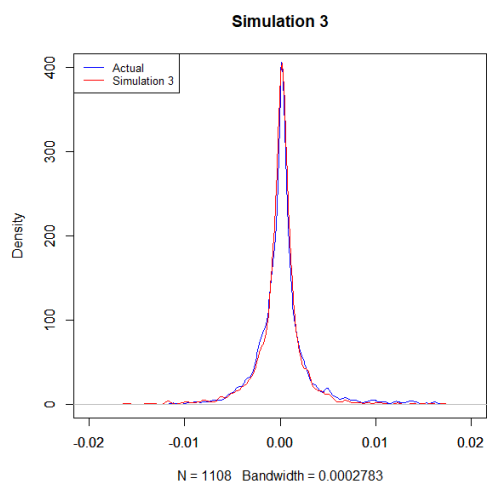
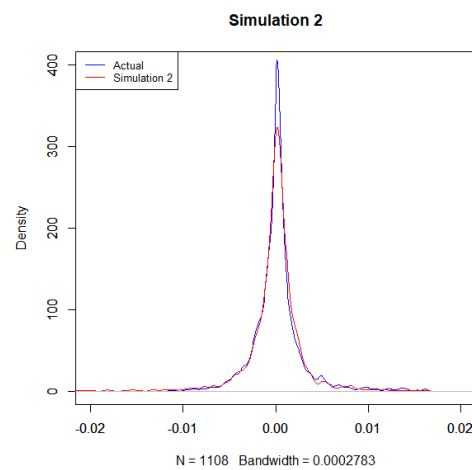
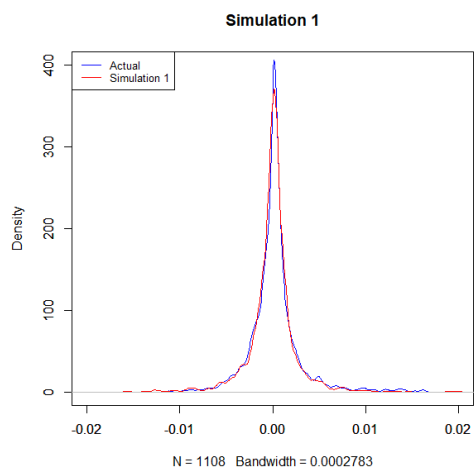
شبیه‌سازی انجام شده برای انحراف معیار شرطی در رژیم ۱ در شکل‌های زیر نمایش داده شده‌اند. مشاهده می‌شود که تابع توزیع احتمال انحراف معیار داده‌های شبیه‌سازی شده به تابع توزیع احتمال انحراف معیار شرطی داده‌های واقعی بسیار نزدیک است.



نتایج شبیه‌سازی برای رژیم ۲ (رژیم کم‌نوسان) برای ۲۵۰۰ مشاهده و ۵ تکرار در شکل زیر نمایش داده شده است.



شبیه‌سازی انجام شده برای توزیع احتمال بازدهی‌ها در رژیم ۲ در شکل‌های زیر نمایش داده شده‌اند. مشاهده می‌شود که تابع توزیع داده‌های شبیه‌سازی شده به تابع توزیع داده‌های واقعی بسیار نزدیک است.



شبیه‌سازی انجام شده برای انحراف معیار شرطی در رژیم ۲ در شکل‌های زیر نمایش داده شده‌اند. مشاهده می‌شود که تابع توزیع احتمال انحراف معیار داده‌های شبیه‌سازی شده به تابع توزیع احتمال انحراف معیار شرطی داده‌های واقعی بسیار نزدیک است.

