مجله تحقیقات اقتصادی / شماره ۷۹ / تابستان ۸۶ / صفحات ۱۴۹ – ۱۲۱

محاسبه ارزش در معرض خطر برای شاخص‌های عمده بورس اوراق بهادار تهران با استفاده از روش پارامتریک

اصغر شاهمرادی
استادیار اقتصاد، دانشکده اقتصاد دانشگاه تهران

محمد زنگنه
دانشجوی دوره دکترای اقتصاد، دانشکده اقتصاد دانشگاه تهران

تاریخ دریافت: ۱۳۸۵/۹/۱۱ تاریخ تصویب: ۱۳۸۶/۵/۱۳

چکیده

در این مقاله، با استفاده از چهار مدل از نوع مدل‌های GARCH ارزش در معرض خطر (VaR) برای ۵ شاخص عمدهٔ بورس اوراق بهادار تهران که واریانس ناهمسانی شرطی در آن‌ها مشاهده می‌شود، براورد می‌گردد. با توجه به این‌که پهن بوده دنبالهٔ توزیع احتمال داده‌ها (که یک ویژگی آشکارشده داده‌های مالی به‌شمار می‌رود) در مورد شاخص‌های مورد بررسی تأیید می‌شود، مدل‌ها فرض توزیع t نیز براورد می‌شوند. نتایج حاکی از آن است که این گروه مدل‌ها رفتار میانگین و واریانس داده‌ها را به نحوه مطلوبی توضیح می‌دهند، و فرض توزیع t بهبودی در نتایج براوردها ایجاد نمی‌کند. در براورد ارزش در معرض خطر، نتایج به‌دست آمده بیانگر اهمیت توجه به پهن بودن دنباله توزیع داده‌هاست؛ ضمن این‌که مدل ریسک‌سنجی حساسیت کم‌تری نسبت به نوع تابع توزیع احتمال دارد. در مجموع شاخص‌های قیمت و بازده نقدی، صنعت و ۵۰ شرکت فعال‌تر، نسبت به شاخص‌های دیگر ارزش در معرض خطر کم‌تری دارند.

طبقه‌بندی JEL : H26

کلید واژه‌ها: ارزش در معرض خطر، مدل‌های خودرگرسیونی واریانس ناهمسانی تعمیم یافته، مدل ریسک‌سنجی، ریسک بازار.

مقدمه

مؤسساتی که به فعالیت‌های اقتصادی و سرمایه‌گذاری می‌پردازند، به‌طور عمده با چهار نوع ریسک مواجه‌اند: ریسک اعتباری؛ که به ناتوانی طرف دیگر تجاری در ایفای

تعهداتش مربوط می‌شود. ریسک عملیاتی؛ زیان بالقوه است، که از طریق بروز خطا یا تقلب در تسویۀ قراردادها و مبادلۀ اسناد ایجاد می‌شود. ریسک نقدینگی؛ زمانی بروز می‌کند که مؤسسه برای نیازهای فوری خود نقدینگی کافی در اختیار ندارد. ریسک بازار؛ عدم اطمینان در مورد بازدهی آتی سبد دارایی‌ها، در نتیجۀ تغییر در شرایط بازار است.

ریسک بازار، شامل اثر تغییرات بازار بر ارزش سبد دارایی‌ها است و لذا برای مؤسسات مالی و سرمایه‌گذاری از اهمیت فراوانی برخوردار است. معیاری که هم‌اکنون برای اندازه‌گیری این ریسک بین تحلیل‌گران و مؤسسات مالی متداول است، معیار ارزش در معرض خطر[1] یا VaR است. این معیار حداقل کاهش در ارزش (زیان) یک سبد دارایی با یک احتمال کوچک α طی یک دورۀ زمانی (معمولاً ۱ روز) را نشان می‌دهد. به‌عنوان مثال اگر ارزش در معرض خطر یک روزۀ یک سبد دارایی در سطح $\alpha = ۰/۰۵$، برابر با ۱۰ میلیون ریال باشد، به این معنی است که انتظار می‌رود که در هر ۲۰، روز به‌طور متوسط ۱ روز زیان سبد دارایی بیش از ۱۰ میلیون ریال باشد. هم‌چنین این معیار را می‌توان به‌صورت حداکثر کاهش در ارزش (زیان) یک سبد دارایی با احتمال $1-\alpha$ طی یک دورۀ زمانی (معمولاً ۱ روزه) بیان کرد. با این تعریف در مثال فوق، برای $1-\alpha = ۰/۹۵$، انتظار می‌رود که در هر ۲۰ روز، به‌طور متوسط در ۱۹ روز زیان سبد کم‌تر از ۱۰ میلیون ریال شود. بنابراین ارزش در معرض خطر با رابطۀ زیر تعریف می‌شود:

$$p(\Pi_t - \Pi_{t-1} \leq VaR(t,k,\alpha)) = p(r_t \leq VaR(t,k,\alpha)) = 1-\alpha \qquad (۱)$$

در این رابطه، Π_t (معمولاً لگاریتم) ارزش سبد دارایی در دورۀ t، k دورۀ زمانی‌ای که ارزش در معرض خطر برای آن محاسبه می‌شود، و α سطح احتمال است. یکی از دلایل اصلی مقبولیت معیار ارزش در معرض خطر، سادگی مفهوم و تفسیر آن است. با این معیار، ریسک بازار سبد دارایی‌های یک مؤسسۀ مالی در یک عدد و یک سطح احتمال خلاصه می‌شود.

معیار ارزش در معرض خطر برای نهادهای نظارتی بر بازار سرمایه، در تعیین سطوح سرمایۀ مورد نیاز برای مؤسسات مالی نیز به‌کار می‌رود. با استفاده از این مدل‌ها حداقل

1-Value at Risk.

موجودی سرمایه برای مؤسساتی که دارایی‌هایشان ترکیبی از دارایی‌های مالی (سهام، اوراق قرضه و اوراق مشتقه) را شامل می‌شود، از طریق محاسبۀ ارزش در معرض خطر پرتفولیوی دارایی‌های این مؤسسات برای یک دورۀ زمانی خاص، تعیین می‌شود.

برخلاف مفهوم ساده و قابل درک ارزش در معرض خطر، محاسبۀ آن با دشواری‌های فراوانی روبروست. محاسبۀ ارزش در معرض خطر، از نظر آماری به‌معنی یافتن مقدار بحرانی برای سطح احتمال مورد نظر α است. با توجه به این واقعیت که توزیع احتمال بازدهی در طول زمان ثابت نیست، مشکلاتی در محاسبه ارزش در معرض خطر به‌وجود می‌آید. روش‌های متعددی برای محاسبۀ ارزش در معرض خطر ارایه شده است که آن‌ها را می‌توان در چهار گروه کلی: روش‌های پارامتریک (مدل‌های اقتصاد سنجی)، روش‌های ناپارامتریک (شبیه‌سازی تاریخی[1])، روش‌های شبه پارامتریک و روش شبیه سازی مونت کارلو، دسته‌بندی کرد. به‌عنوان نمونه، منگنلی و انگل (۲۰۰۱) و هندریکس (۱۹۹۶)، مبانی نظری و عملکرد تجربی این روش‌ها را بررسی کرده‌اند. پاگان و شِورتز (۱۹۹۰) نیز عملکرد روش‌های پارامتریک را در ارتباط با روش‌های ناپارامتریک مطالعه می‌کنند. هر یک از این روش‌ها، به‌دنبال توضیح دادن برخی یا تمامی‌وقایع آشکار شدۀ بازارهای مالی‌اند. دو ویژگی بسیار مهم بازارهای مالی که توجه بسیاری از تحلیل‌گران این بازارها را به خود معطوف داشته، واریانس ناهمسانی شرطی شوک‌های بازدهی و دنباله‌های پهن توزیع احتمال آنهاست (چانگ و همکاران (۲۰۰۵)).

در این مقاله، بر رویکرد پارامتریک یا اقتصاد سنجی برای محاسبۀ ارزش در معرض خطر تمرکز می‌شود. این گروه از مدل‌ها، ابتدا توسط انگل(۱۹۸۲) معرفی شدند و به مدل‌های واریانس ناهمسانی شرطی خودرگرسیونی شهرت یافتند. بُلرسلف (۱۹۸۶)، مدل انگل را تعمیم داد و گروهی از مدل‌ها را که به مدل‌های تعمیم یافتۀ خودرگرسیون واریانس ناهمسان (GARCH[2]) شهرت یافتند، ارایه کرد. از آن پس، این مدل‌ها با تأکید بر ویژگی‌های مختلف داده‌های مالی گسترش یافتند، که از آن جمله می‌توان به مدل‌های IGARCH[3]، EGARCH[4]، FGARCH[5] اشاره کرد. در سال ۱۹۹۴، گروه

1- historical simulation.
2- Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedastic.
3- Integrated GARCH.
4- Exponential GARCH.
5- Fractional GARCH.

ریسک متریکس[1]، مدلی تحت عنوان ریسک‌سنجی (ریسک متریکس) ارایه کردند، که علی‌رغم سادگی، نتایج قابل قبولی را فراهم می‌کند و هم‌اکنون نیز به‌عنوان شاخصی برای ارزیابی ریسک بازار پذیرفته شده است. پافکا و کندر (۲۰۰۱)، عملکرد مدل ریسک‌سنجی را در براورد *ارزش در معرض خطر*، بررسی کردند. سو و یو (۲۰۰۶)، عملکرد ۷ مدل نوع GARCH را در محاسبهٔ ارزش در معرض خطر ارزیابی می‌کنند. برخی دیگر از مطالعاتی که از مدل‌های پارامتریک برای براورد ارزش در معرض خطر استفاده کرده‌اند، عبارتند از: چانگ و همکاران (۲۰۰۵)، پوجارلف و پلاسک (۲۰۰۰)، هندریکس (۱۹۹۶). هم‌چنین گیوت و لورنت (۲۰۰۲)، مدل‌های نوع GARCH را برای بورس‌های کالایی به‌کار بردند.

با وجود گسترش چشم‌گیر این مدل‌ها و استفادهٔ روز افزون از آن‌ها در بازارهای مالی دنیا، در ایران این مدل‌ها در بررسی ریسک بازار مورد توجه قرار نگرفته‌اند. در این مقاله، از روش پارامتریک با تصریح چهار مدل نوع GARCH، برای ۵ شاخص بورس اوراق بهادار: شاخص کل، شاخص وزنی، شاخص صنعت، شاخص قیمت و بازده نقدی و شاخص ۵۰ شرکت فعال‌تر استفاده شده و عملکرد آن‌ها در مدل‌سازی هم‌زمان میانگین و واریانس بازدهی و براورد مقادیر ارزش در معرض خطر، بررسی می‌شود. مطالعات متعددی حاکی از عملکرد مطلوب روش پارامتریک در توضیح ویژگی‌های داده‌های مالی‌اند، از جمله سو و یو (۲۰۰۶)، گیوت و لورنت(۲۰۰۴)، چانگ و همکاران (۲۰۰۵)، پوجارلف و پلاسک (۲۰۰۰)، هندریکس (۱۹۹۶). هم‌چنین پاگان و شوارتز (۱۹۹۰)، نشان می‌دهند که روش‌های پارامتریک در براوردهای خارج از نمونه، عملکرد بهتری را نسبت به روش‌های غیر پارامتریک دارند. با توجه به پدیدهٔ پهن بودن دنباله‌های توزیع شوک‌های بازدهی (که در شاخص‌های مورد بررسی نیز تأیید می‌شوند)، علاوه بر فرض توزیع نرمال (که ادبیات متداول است)، مدل‌ها با فرض توزیع t نیز براورد می‌شوند.

در ادامه، پس از مرور مبانی روش پارامتریک و مدل‌های واریانس ناهمسانی شرطی خود رگرسیونی (ARCH) و واریانس ناهمسانی شرطی خود رگرسیونی تعمیم یافته (GARCH)، مدل‌های مورد استفاده در این مقاله، ارایه می‌شوند. در قسمت سوم، داده‌ها و ویژگی‌های آماری آن‌ها بررسی می‌شوند. روش‌های مورد استفاده در براورد مدل‌ها، در قسمت چهارم تشریح و در قسمت پنجم نتایج براوردها ارایه می‌شوند. براورد

1- RiskMetrics.

ارزش در معرض خطر در قسمت ششم ارایه و در قسمت پایانی مهم‌ترین یافته‌ها مرور می‌شوند.

۱- روش پارامتریک محاسبهٔ ارزش در معرض خطر

در رویکرد پارامتریک، روش‌های اقتصاد سنجی برای مدل‌سازی هم‌زمان میانگین و نوسانات بازدهی مالی، استفاده و مقادیر میانگین و واریانس شرطی[۱] داده‌ها پیش‌بینی می‌شوند. از مقادیر پیش‌بینی شده، به‌طور مستقیم می‌توان مقادیر بحرانی و با استفاده از آن‌ها، ارزش در معرض خطر را محاسبه کرد. در این مدل‌ها، فرض می‌شود که بازده از فرایند زیر پیروی کند:

$$r_t = \mu_t + \varepsilon_t \qquad \varepsilon_t \sim D(0, \sigma_t^2) \qquad (۲)$$

که μ_{t-1}، میانگین شرطی بازدهی، مشروط به اطلاعات موجود تا دورهٔ $t-1$ ($E_{t-1}(r_t) = \mu_{t-1}$) و ε_t، شوک بازدهی در دورهٔ t است. بنابراین، واریانس بازدهی برابر خواهد بود با:

$$\mathrm{var}_{t-1}(r_t) = E[(r_t - \mu_t)^2] = E_{t-1}(\varepsilon_t^2) = \sigma_t^2$$

هم‌چنین، فرض می‌شود که ε_t از فرایند زیر تبعیت می‌کند:

$$\varepsilon_t = \sigma_t v_t \qquad v_t \sim iid(0,1) \qquad (۳)$$

بنابراین؛ $\mathrm{var}_{t-1}(\varepsilon_t) = \sigma_t^2$ وابسته به زمان است. برای توضیح رفتار میانگین و واریانس شرطی در طول زمان، معادلاتی برای میانگین و واریانس به شرح زیر تصریح می‌شوند:

۱-۱- معادلهٔ میانگین[۲]

برای تصریح و براورد معادلهٔ میانگین، از روش‌های معمول سری‌های زمانی، مدل‌های ARMA استفاده می‌شود. فرم کلی معادلهٔ میانگین عبارتست از:

$$r_t = a_0 + \sum_{i=1}^{m} a_i r_{t-i} + \varepsilon_t - \sum_{j=1}^{n} b_j \varepsilon_{t-j} \qquad (۴)$$

انتخاب مدل با معیارهای معمول در مدل‌های ARMA انجام می‌گیرد. یکی از

1- conditional.
2- mean equation.

ویژگی‌هایی که به‌طور خاص در مدل‌سازی نوسانات از اهمیت برخوردار است، این است که همبستگی بین مقادیر باقیماندهٔ معادلهٔ میانگین برداشته شود.

۲-۱- معادله نوسانات[1]

در مدل‌های سنتی سری‌های زمانی، فرض بر این است که واریانس شرطی (و همین‌طور واریانس غیرشرطی) جملهٔ اخلال ثابت است. این فرض با یافته‌های تجربی بازارهای مالی سازگار نیست. اگرچه نوسانات در بازارهای مالی به‌طور مستقیم قابل مشاهده نیستند، ولی یافته‌های تجربی حاکی از وجود برخی ویژگی‌ها در آن‌ها است. یکی از مهم‌ترین این ویژگی‌ها، وجود رفتار خوشه‌ای در نوسانات است، به این معنی که نوسانات در برخی دوره‌ها زیاد و در برخی دوره‌ها کم است. روش مورد استفاده هنگامی‌که در واریانس غیرشرطی ناهمسانی وجود دارد، روش حداقل مربعات تعمیم یافته (GLS) است. انگل در سال ۱۹۸۲ مدل‌های واریانس ناهمسانی شرطی[2] را به‌عنوان روش براورد، زمانی که ناهمسانی در واریانس غیرشرطی وجود دارد، معرفی کرد، که در آن‌ها گشتاور مرتبهٔ دوم بازده نیز در کنار معادلهٔ میانگین، مدل‌سازی می‌شود[3].

مدل‌های خود رگرسیونی واریانس ناهمسان (ARCH)

این گروه از مدل‌ها توسط انگل (۱۹۸۲) ارایه شد و اولین گروه مدل‌ها برای براورد واریانس شرطی بازدهی محسوب می‌شوند. ایدهٔ اساسی این مدل‌ها، این است که شوک‌های بازدهی، ε_tها همبستگی سریالی ندارند، ولی به‌طور غیرخطی به یکدیگر وابسته‌اند که این وابستگی را می‌توان با یک تابع درجهٔ دوم بیان کرد. بدین‌ترتیب؛

$$\varepsilon_t = \sigma_t \, v_t \qquad v_t \sim iid\,(0,1)$$
$$\sigma_t^2 = \alpha_0 + \alpha_1 \varepsilon_{t-1}^2 + \ldots + \alpha_q \varepsilon_{t-q}^2 \qquad (۵)$$

برای اطمینان از این‌که واریانس غیرشرطی نامحدود نمی‌شود، ضرایب شوک‌ها، α_iها (که ضرایب ARCH نیز نامیده می‌شوند) باید شرایط خاصی را تأمین کنند؛

1- Volatility equation.

2- Conditional heteroskedastic models.

۳- روش‌های معمول برای آزمون واریانس ناهمسانی شرطی جملات اخلال، آزمون انگل و آزمون Q لیونگ-باکس برای مربع باقیمانده‌های معادله میانگین است. آزمون Q لیونگ-باکس که در این مقاله مورد استفاه قرار گرفته است، در پیوست ۱ ارایه شده است.

$\alpha_0 > 0$,$\alpha_k \geq 0$ برای $k \geq 1$. این فرایند با ARCH(q) نشان داده می‌شود و می‌تواند پدیده نوسانات خوشه‌ای را به‌خوبی توضیح دهد. بدین‌ترتیب که هرچه مقادیر شوک‌های گذشته $\{\varepsilon_{t-k}\}_{k=1}^{q}$ بزرگ‌تر باشند، واریانس شوک دورهٔ فعلی افزایش یافته و احتمال این را که شوک دورهٔ فعلی مقدار بزرگ‌تری باشد، افزایش می‌دهد.

مدل‌های تعمیم یافتهٔ خود رگرسیونی واریانس ناهمسانی (GARCH)

یکی از نقاط ضعف مدل‌های ARCH، این است که یک مدل قابل قبول به‌طور معمول نیازمند براورد تعداد زیادی پارامتر است. علاوه بر آن، برای جلوگیری از منفی شدن مقادیر براورد شدهٔ واریانس، نیاز است که ساختار خاص و از پیش تعیین شده‌ای بر مدل اعمال شود. برای رفع این مشکلات، بلرسلف (۱۹۸۶)، گروه دیگری از مدل‌ها را با تعمیم مدل ARCH ارایه کرد. در این مدل‌ها، نوسانات به شکل زیر مدل‌سازی می‌شوند، در حالی که فرم کلی معادلهٔ میانگین تغییری نمی‌کند:

$$\varepsilon_t = \sigma_t \, v_t \qquad v_t \sim iid\,(0,1)$$
$$\sigma_t^2 = \alpha_0 + \sum_{k=1}^{q} \alpha_k \, \varepsilon_{t-k}^2 + \sum_{k=1}^{q} \gamma_h \sigma_{t-h}^2 \qquad (۶)$$

در این رابطه، γ_hها را ضرایب GARCH می‌نامند. هم‌چنین، $\alpha_0 > 0$, $\alpha_k \geq 0$ برای $k \geq 1$ و $\beta_h \geq 0$ برای $h \geq 1$. براساس مدل عمومی GARCH، مدل‌های متعددی ارایه شده‌اند که هریک بر ویژگی خاصی از داده‌های مالی تأکید می‌کنند.

به‌طور خلاصه، روش پارامتریک شامل مراحل زیر می‌شود:

۱- تصریح و براورد معادلهٔ میانگین و آزمون وجود وابستگی بین مربع باقیمانده‌ها (یا آزمون وجود اثر ARCH)،

۲- براورد هم‌زمان معادلات میانگین و نوسانات، ارزیابی مدل و تعیین مناسب‌ترین مدل،

۳- محاسبهٔ *ارزش در معرض خطر*،

۲- چهار مدل نوع GARCH

در این مقاله، چهار مدل نوع GARCH برای محاسبهٔ *ارزش در معرض خطر* براورد می‌شوند. این کار با هدف مقایسهٔ عملکرد برخی مدل‌های نوع GARCH در توضیح

رفتار میانگین و واریانس و *ارزش در معرض خطر* بازدهی ۵ شاخص بورس اوراق بهادار انجام می‌شود. بدین‌ترتیب، حساسیت نتایج و مقادیر *ارزش در معرض خطر* نسبت به تصریح مدل بررسی می‌شود.

۲-۱- مدل GARCH(p,q)

فرم کلی این مدل، همان مدل عمومی GARCH است، که از روابط (۲)، (۴) و (۶) برای براورد هم‌زمان بازدهی و نوسانات استفاده می‌کند:

$$r_t = \mu_t + \varepsilon_t = \varepsilon_t \sim D(0, \sigma_t^2)$$
$$\mu_t = \alpha_0 + \sum_{i=1}^{m} \alpha_i r_{t-i} - \sum_{j=1}^{m} b_j \varepsilon_{t-j} \qquad (۷)$$
$$\varepsilon_t = \sigma_t v_t \qquad v_t \sim iid(0,1)$$
$$\sigma_t^2 = \alpha_0 + \sum_{k=1}^{q} \alpha_k \varepsilon_{t-k}^2 + \sum_{k=1}^{q} \gamma_h \sigma_{t-h}^2$$

در براورد این مدل، بهترین وقفه‌ها به‌طور هم‌زمان در معادلات میانگین و نوسانات تعیین شده و اثر همبستگی‌های مرتبهٔ بالاتر در مدل وارد می‌شوند. این موضوع، به‌خصوص در داده‌هایی که اثر شوک‌های میانگین و واریانس در آن‌ها ماناست، اهمیت بیشتری می‌یابد.

۲-۲- مدل GARCH(1,1)

این مدل حالت خاصی از مدل عمومی GARCH است، که در آن p و q برابر یک در نظر گرفته می‌شوند. یافته‌ها حاکی از آن است که این مدل در بسیاری از سری‌های زمانی مالی نتایج قابل قبولی را ارایه می‌کند (سو و یو (۲۰۰۶)). بنابراین، مدل زیر که به‌عنوان یک حالت خاص از مدل قبل براورد می‌شود، در مقایسه با نتایج مدل GARCH(p,q)، امکان مشاهدهٔ اثر حذف وقفه‌های بالاتر (در مورد شاخص‌هایی که بر اساس مدل قبل شامل بیشتر از یک وقفه‌اند) را فراهم می‌کند:

$$\varepsilon_t = \sigma_t v_t \qquad v_t \sim iid(0,1)$$
$$\sigma_t^2 = \alpha_0 + \alpha \ \varepsilon_{t-1}^2 + \gamma \sigma_{t-1}^2 \qquad (۸)$$

۲-۳- مدل IGARCH(۱،۱)

نتایج تجربی به‌دست آمده از مدل‌های GARCH، حاکی از این است که دربسیاری از موارد مجموع ضرایب α_k و γ_h ($k=1,...,q$ و $h=1,...,p$)، تقریباً برابر ۱ است. لذا در مدل‌های IGARCH، قید زیر بر ضرایب تحمیل می‌شود:

$$\sum_{k=1}^{q}\alpha_k + \sum_{h=1}^{p}\gamma_h = 1$$

IGARCH(1,1)، حالت خاصی از این مدل‌هاست که در بسیاری از مطالعات مورد استفاده قرار گرفته و خواص خوبی را از خود نشان داده‌اند (به‌عنوان مثال سو و یو (۲۰۰۶)). فرم معادلهٔ واریانس در این مدل به‌شرح زیر است:

$$\begin{aligned} &\varepsilon_t = \sigma_t v_t \qquad v_t \sim iid(0,1) \\ &\sigma_t^2 = \alpha_0 + \theta\varepsilon_{t-1}^2 + (1-\theta)\sigma_{t-1}^2 \end{aligned} \qquad (۹)$$

۲-۴- مدل ریسک‌سنجی (RiskMetrics)

در مدل ریسک‌سنجی، از میانگین متحرک نمایی (با وزن‌های نمایی) برای پیش‌بینی واریانس استفاده می‌شود. این مدل در عین سادگی ویژگی‌های مطلوبی دارد و مورد استقبال تحلیل‌گران مالی قرار گرفته است و به‌عنوان یک مدل استاندارد به‌کار می‌رود. در این مدل، واریانس بازدهی نسبت به شوک‌هایی که در بازار اتفاق می‌افتند، سریع‌تر پاسخ می‌دهد، چراکه به شوک‌های جدید وزن‌های بیشتری داده می‌شود. هم‌چنین، بعد از وقوع شوک، بی‌ثباتی به‌صورت نمایی کاهش می‌یابد. در این مدل، واریانس به شکل زیر مدل‌سازی می‌شود:

$$\sigma_t^2 = (1-\lambda)\sum_{i=1}^{\infty}\lambda^i\varepsilon_{t-i}^2 = \lambda\sigma_{t-1}^2 + (1-\lambda)\varepsilon_{t-1}^2 \qquad 0 \le \lambda \le 1 \qquad (۱۰)$$

هر چه λ کوچک‌تر باشد، شوک‌های جدید اثر بیشتری بر واریانس خواهند داشت. بنابراین معادله واریانس مدل ریسک‌سنجی به شکل زیر بیان می‌شود:

$$\begin{aligned} &\varepsilon_t = \sigma_t v_t \qquad v_t \sim iid(0,1) \\ &\sigma_t^2 = \lambda\varepsilon_{t-1}^2 + (1-\lambda)\sigma_{t-1}^2 \end{aligned} \qquad (۱۱)$$

در این مدل پیشنهاد می‌شود که برای داده‌های روزانه $\lambda=$ ۰/۹۴ در نظر گرفته شود

(RiskMetrics Group,1996). مطالعات تجربی مناسب بودن این مقدار را تأیید می‌کنند.

۳- توصیف آماری داده‌ها

داده‌های روزانهٔ شش شاخص بورس اوراق بهادار شامل؛ شاخص کل (TEPIX)، شاخص وزنی و شاخص صنعت، شاخص قیمت و بازده نقدی (TEDPIX)، شاخص بازده نقدی (TEDIX) و شاخص پنجاه شرکت فعال‌تر طی دورهٔ ۱۳۸۰/۱/۲۱ تا ۱۳۸۵/۵/۹، برای آزمون عملکرد مدل‌های ارایه شده در توضیح رفتار میانگین و نوسانات بازدهی و محاسبهٔ ارزش در معرض خطر، استفاده می‌شوند. بدین‌ترتیب، برای هریک از شاخص‌ها تعداد ۱۲۹۱ داده وجود دارد. بازدهی برای هریک از این شاخص‌ها به‌صورت $r_t = \log \pi_t - \log \pi_{t-1}$ تعریف می‌شود (که π معرف مقدار شاخص است). ویژگی‌های آماری بازدهی شاخص‌ها در جدول (۱) ارایه شده‌اند. مشاهده می‌شود که بیشترین بازدهی مربوط به شاخص قیمت و بازده نقدی با میانگین ۰/۱۳ درصد و کم‌ترین میانگین بازدهی مربوط به شاخص بازده نقدی با میانگین ۰/۰۴ درصد است. براساس انحراف معیار نمونهٔ بازدهی شاخص‌ها، ملاحظه می‌شود که شاخص بازده نقدی کم‌ترین ریسک و شاخص وزنی بیشترین ریسک را دارد. با کنار گذاشتن شاخص قیمت و بازده نقدی که بازدهی زیاد و ریسک به نسبت کم‌تری دارد، ارقام مربوط به بازدهی و ریسک درباره بقیهٔ شاخص‌ها رابطهٔ مثبت بین ریسک و بازدهی را نشان می‌دهند. تمامی‌شاخص‌ها چولگی مثبت دارند، که مقدار آن برای شاخص بازده نقدی در مقایسه با بقیهٔ شاخص‌ها بسیار شدیدتر است. بررسی معیار کُرتُسیس[1] یا کشیدگی، حاکی از این است که توزیع احتمال داده‌ها نسبت به توزیع نرمال کشیده‌تر و دنبالهٔ آن‌ها اندکی از توزیع نرمال پهن‌تر است. مقدار این معیار برای شاخص بازده نقدی نسبت به بقیهٔ

۱- معیار کرتسیس، که معیار کشیدگی نیز نامیده می‌شود، برای توزیع نرمال معادل ۳ است. هرچه این معیار برای یک توزیع بزرگتر از ۳ باشد، این توزیع دنباله‌های پهن‌تری نسبت به توزیع نرمال دارد. این معیار برای نمونه با T مشاهده به شکل زیر محاسبه می‌شود:

$$K = \frac{\sum_{t=1}^{T} (r_t - \bar{r})^4}{(T-1)\hat{\sigma}_r^2}$$

شاخص‌ها بسیار بالاتر است. توابع چگالی احتمال تجربی این شاخص‌ها در نمودار ۱ در مقابل نمودار توزیع نرمال رسم شده که به‌خوبی کشیدگی بیشتر توابع توزیع احتمالی تجربی این شاخص و (به‌جز شاخص وزنی) پهن‌تر بودن دنباله‌های توزیع آن‌ها را نسبت به توزیع نرمال نشان می‌دهد. در نهایت، آزمون جارک-برا[1]، فرض نرمال بودن توزیع بازدهی شاخص‌ها را در تمامی موارد رد می‌کند. آمارهٔ آزمون جارکو-برا، دو معیار چولگی و کشیدگی را برای آزمون فرضیهٔ نرمال بودن توزیع بازدهی‌ها تلفیق می‌کند. آمارهٔ این آزمون، که به‌طور مجانبی دارای توزیع چی-دو با ۲ درجه آزادی است، به شرح زیر است:

$$JB = \frac{S^2}{6/T} + \frac{(K-3)^2}{24/T}$$

S^2، معیار چولگی (نمونه‌ای) و K، معیار کشیدگی (نمونه‌ای) است.

برای آزمون وجود خود همبستگی بین واریانس یا اثر ARCH در داده‌ها، از آزمون انگل (۱۹۸۲) با فرضیهٔ صفر عدم وجود اثر ARCH استفاده می‌شود. در این آزمون، همبستگی بین شوک‌های بازدهی از طریق براورد یک مدل خودرگرسیونی برای مربع شوک‌ها و بررسی معنی‌داری این رگرسیون بررسی می‌شود. درحالتی که بازدهی‌ها خودهمبستگی دارند، باید ابتدا معادلهٔ میانگین تصریح شود و سپس برای باقیمانده‌های معادلهٔ میانگین، آزمون انگل انجام شود. با توجه به این‌که بازده‌های تمامی شاخص‌ها همبستگی قابل توجهی با مرتبه‌های بالا از خود نشان می‌دهند، بهترین معادلهٔ میانگین بر اساس معیار آکائیک، با فرض این‌که بازدهی از یک فرایند AR(m) تبعیت می‌کند، تصریح و براورد شده، از رفع خود همبستگی بین باقیمانده‌ها اطمینان حاصل می‌شود و سپس برای مربع باقیمانده‌ها بهترین مدل ARCH(q) براورد می‌شود. بنابراین، با فرض این‌که μ_t بهترین معادله میانگین است، رابطه زیر براورد می‌شود:

$$\hat{\varepsilon}_t = \alpha_0 + \alpha_1 \hat{\varepsilon}_{t-1} + \ldots + \alpha_m \hat{\varepsilon}_{t-m} \qquad t = m+1,\ldots,T$$
$$\hat{\varepsilon}_t = r_t - \mu_t$$

آمارهٔ آزمون انگل برای رگرسیون فوق، $T \times R^2$ است، که به‌طور مجانبی دارای توزیع چی-دو با m درجه آزادی است. نتایج آزمون انگل برای وجود اثر ARCH در

1- Jerque-Bra test.

جدول (۲) ارایه شده‌اند. ملاحظه می‌شود که به‌جز شاخص بازده نقدی، در بقیه شاخص‌ها اثر ARCH وجود دارد. برای بررسی اثر ARCH، می‌توان از آزمون Q لیونگ-باکس نیز استفاده کرد.

۴- روش براورد

برای براورد مدل‌ها، از روش حداکثر درست‌نمایی استفاده می‌شود. در تخمین مدل GARCH(p,q) و GARCH(1,1)، با فرض این‌که میانگین شرطی بازدهی از یک فرایند AR(m) تبعیت می‌کند، براساس معیار آکائیک، بهترین مدل برای شاخص‌ها تعیین می‌شود. نتایجی که از این دو مدل به‌دست می‌آید، حاکی از این است که میانگین بازدهی تمامی شاخص‌ها از یک فرایند AR(1) پیروی می‌کند، لذا در دو مدل بعدی، معادلهٔ میانگین به‌صورت یک فرایند AR(1) در نظر گرفته می‌شود. تمامی مدل‌ها، هم با فرض توزیع نرمال و هم با فرض توزیع t، براورد می‌شوند. با فرض این‌که شوک‌ها دارای توزیع نرمال‌اند، تابع درست‌نمایی عبارت خواهد بود از:

$$L=\sum_{t=\varsigma}^{T}\left(-\frac{1}{2}\ln(2\pi)-\frac{1}{2}\ln(\sigma_t^2)-\frac{1}{2}\frac{\varepsilon_t^2}{\sigma_t^2}\right) \qquad (۱۲)$$

که ς برابر تعداد مشاهداتی است که در فرایند براورد از دست می‌رود. در یک مدل با معادلهٔ میانگین AR(1) و معادلهٔ نوسانات GARCH(1,1)، ς، برابر ۲ خواهد بود. از آن‌جا که داده‌های بازدهی مالی به‌طور معمول دارای دنباله‌های پهن‌ترند، توزیع t می‌تواند ویژگی‌های آن‌ها را بهتر بیان کند. با توجه به این موضوع، انتظار می‌رود که مقدار ارزش در معرض خطر بر اساس توزیع نرمال، براورد صحیحی از ریسک سبد دارایی نباشد. بروز این مسأله در سطوح اطمینان ($1-\alpha$) بیشتر، محتمل‌تر است. تابع حداکثر درست‌نمایی برای توزیع t به‌شکل زیر است:

$$L=-\sum_{t=\varsigma}^{T}\left[\frac{\tau+1}{2}\ln\left(1+\frac{\varepsilon_t^2}{(\tau-2)\sigma_t^2}\right)+\frac{1}{2}\ln(\sigma_t^2)\right] \qquad (۱۳)$$

τ، درجات آزادی توزیع است، که از پیش تعیین شده و مقدار آن معمولاً بین ۳ تا ۶ در نظر گرفته می‌شود (Tsay,2005,p. 108). برای براورد هم‌زمان τ، از رابطهٔ (۱۴) استفاده می‌شود:

$$\ell = L + (T - \varsigma)\left(\ln(\Gamma(\frac{(\tau+1)}{2})) - \ln(\Gamma(\frac{\tau}{2})) - \frac{1}{2}\ln((\tau-2)\pi) \right) \qquad (۱۴)$$

که در این رابطه، $\Gamma(.)$، تابع گاماست $\left(\Gamma(\theta) = \int_0^\infty y^{\theta-1}e^{-y}dy\right)$. در این مقاله در براورد مدل‌ها با فرض توزیع t، از رابطهٔ (۱۵) استفاده می‌شود و درجات آزادی توزیع نیز به‌طور هم‌زمان براورد می‌شوند.

۵- تخمین مدل‌ها

در این قسمت، مدل‌های ارایه شده با استفاده از داده‌های مربوط به ۵ شاخص بورس اوراق بهادار تهران که اثر ARCH در آن‌ها مشاهده شد، براورد می‌شوند. تمامی مدل‌ها یک‌بار با فرض این‌که شوک‌ها دارای توزیع احتمال نرمال‌اند و یک‌بار با فرض این‌که از توزیع t تبعیت می‌کنند، براورد می‌شوند.

۵-۱- مدل GARCH(p,q)

نتایج براورد مدل GARCH(p,q) با فرض این‌که شوک‌ها از توزیع نرمال تبعیت می‌کنند، در جدول (۳) ارایه شده است. تعداد وقفه‌ها در این مدل‌ها براساس معیار آکائیک تعیین شده‌اند. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، معادلهٔ میانگین در تمامی‌موارد یک فرایند خود رگرسیونی از مرتبهٔ اول است، که بیانگر وجود خودهمبستگی در بازدهی‌ها است. آمارهٔ آزمون Q لیونگ-باکس برای باقیمانده‌های معادلهٔ میانگین تا ۷ وقفه،Q(۷)، در سطح ۵ درصد معنی‌دار نیست، که حاکی از مطلوب بودن نتایج براورد است[1]. البته به‌جز شاخص قیمت و بازده نقدی، در بقیهٔ شاخص‌ها همبستگی در وقفه‌های بالاتر مشاهده می‌شود. آزمون لیونگ-باکس برای مربع باقیمانده‌های معادلهٔ میانگین، حاکی از رفع اثر ARCH تا وقفهٔ ۷ است. در شاخص‌های کل و صنعت همبستگی از مرتبهٔ بالاتر هنوز وجود دارد.

۱- انتخاب تعداد وقفه در آزمون Q لیونگ باکس، می‌تواند عملکرد آن را تحت تأثیر قرار دهد. مطالعات شبیه‌سازی پیشنهاد می‌کنند که $m \approx \ln(T)$ نتایج مناسبی را ارایه می‌کند (تِسی (۲۰۰۵) صفحه ۲۷).

نتایج براوردها با فرض توزیع t در جدول(۴) ارایه شده است. معادلهٔ میانگین در تمامی شاخص‌ها هم‌چنان خودرگرسیون مرتبهٔ اول است، اما معادلهٔ واریانس نسبت به براوردها با فرض نرمال بودن، کاملاً متفاوت بوده و در تمامی موارد GARCH(۱و۲) است. در شاخص وزنی، آزمون Q لیونگ-باکس حاکی از معنی‌دار بودن هم‌زمان خودهمبستگی‌ها تا وقفهٔ ۷ است، اگرچه خودهمبستگی تا وقفهٔ ۵ رفع می‌شود. نتایج شاخص قیمت و بازده نقدی به‌طور کلی مناسب نیست و آزمون Q لیونگ-باکس از وجود خودهمبستگی و اثر ARCH در باقیمانده‌ها حکایت دارد. ضرایب معادلهٔ میانگین نسبت به نتایج با فرض نرمال تغییر قابل توجهی را نشان نمی‌دهند (البته در شاخص وزنی این تغییر بیشتر است.)

بلرسلف (۱۹۸۶)، نشان می‌دهد که یک فرایند GARCH(p,q) مانا است، اگر و تنها اگر، $\sum_{k=1}^{q}\alpha_k + \sum_{h=1}^{p}\gamma_h < 1$ باشد. نتایج براوردها نشان می‌دهد که با فرض توزیع نرمال، در تمامی موارد این مجموع کم‌تر از یک است و در مورد شاخص صنعت به‌وضوح کم‌تر از بقیه شاخص‌ها است. اما با فرض توزیع t، مجموع این ضرایب تقریباً برابر ۱ است.

۵-۲- مدل GARCH(۱,۱)

نتایج براورد مدل‌های GARCH(۱.۱) با فرض توزیع نرمال و t در جدول‌های (۵) و (۶) ارایه شده‌اند. آزمون Q لیونگ-باکس حاکی از مطلوب بودن نتایج براورد در تمامی شاخص‌ها است. با فرض توزیع نرمال، مجموع ضرایب معادلهٔ نوسانات به‌جز در شاخص ۵۰ شرکت فعال‌تر، در بقیهٔ شاخص‌ها نزدیک به ۱ است. مجموع این ضرایب برای شاخص ۵۰ شرکت فعال‌تر حدود ۰/۶۶ است. با فرض توزیع t، مجموع ضرایب معادلهٔ نوسانات برای تمامی شاخص‌ها به‌میزان قابل توجهی افزایش می‌یابد و به‌جز درشاخص ۵۰ شرکت فعال‌تر در بقیه شاخص‌ها بزرگ‌تر از ۱/۵ است، که بیانگر نامانا بودن فرایند واریانس بازدهی‌ها در این شاخص‌ها است. در شاخص ۵۰ شرکت فعال‌تر، مجموع این ضرایب تقریباً برابر ۰/۸ می‌شود.

۵-۳- مدل IGARCH(۱,۱)

جدول‌های (۷) و (۸) به‌ترتیب نتایج براورد مدل IGARCH(۱ .۱) را برای ۵ شاخص نشان می‌دهند. آزمون Q لیونگ-باکس، مطلوب بودن نتایج مدل را در تمامی موارد

تأیید می‌کند. با فرض توزیع نرمال، ضرایب خودرگرسیون(ARCH) در معادلهٔ میانگین نسبت به مدل قبل به‌طور محسوسی تغییر نمی‌کنند، با این وجود، ضرایب خودرگرسیونی در معادلهٔ واریانس در تمامی موارد نسبت به مدل قبل افزایش و ضرایب GARCH کاهش می‌یابند. با فرض توزیع t، ضریب خود رگرسیون در معادلات میانگین تغییر محسوسی نمی‌کند و در معادلهٔ واریانس نیز به‌جز شاخص ۵۰ شرکت فعال‌تر، ضریب خودرگرسیونی کاهش می‌یابد.

۵-۴- مدل ریسک‌سنجی

نتایج براورد این مدل در جدول‌های (۹) و (۱۰) ارایه شده‌اند. آزمون Q لیونگ-باکس، حاکی از رفع خود همبستگی تا وقفهٔ ۷ است. براوردهای شاخص وزنی (با هر دو فرض توزیع نرمال و t) نسبت به مدل (۱. IGARCH۱) بهبود می‌یابد (در این مدل خود همبستگی مراتب بالاتر نیز رفع می‌شود.) معادلهٔ میانگین در برخی موارد بهبود جزئی نشان می‌دهد، با این وجود، خودهمبستگی از مرتبهٔ بالا، بین مقادیر باقیمانده و مربع آن‌ها در برخی معادلات مشاهده می‌شود. نکتهٔ جالب توجه این است که معادلهٔ واریانس در بیشتر موارد نسبت به مدل IGARCH نتایج بهتری را ارایه می‌کند، که بیانگر مناسب بودن مدل ریسک‌سنجی برای توضیح رفتار میانگین و واریانس بازدهی‌های ۵ شاخص مورد بررسی است. در تمامی براوردها و برای تمامی شاخص‌ها، λ (ضریب GARCH) حدود ۰/۸ به‌دست می‌آید. ملاحظه می‌شود که مقدار λ در تمامی موارد از ۰/۹۴ (که توسط گروه ریسک متریک به‌عنوان مقدار مناسب پیشنهاد شده) کم‌تر است.

۶- محاسبهٔ ارزش در معرض خطر

در این قسمت، *ارزش در معرض خطر* را برای یک سبد دارایی به ارزش ۱۰ میلیون ریال با فرض این‌که ارزش این سبد با مقدار شاخص‌ها تغییر کند، محاسبه می‌کنیم. به عبارت دیگر، برای هر شاخص فرض می‌کنیم که سرمایه‌گذار سبد دارایی به ارزش ۱۰ میلیون ریال از سهام مختلف به‌گونه‌ای تشکیل داده که قیمت آن دقیقاً با شاخص مورد نظر تغییر می‌کند (لازم به ذکر است در بورس‌هایی که ابزار مشتق مربوط به شاخص معامله می‌شوند، این حالت به‌طور دقیق انجام می‌شود.) با توجه به این‌که اثر ARCH در

شاخص بازده نقدی وجود ندارد، از انحراف معیار نمونه‌ای (انحراف معیار غیرشرطی[1]) این شاخص برای محاسبه *ارزش در معرض خطر* استفاده می‌شود. شاخص بازده نقدی از یک فرایند AR(2) به شرح زیر تبعیت می‌کند:

$$r_t = ۰/۰۰۰۳ + ۰/۰۶۵۵۸\, r_{t-1} + ۰/۳۲۰۲۴\, r_{t-2}$$

تمامی ضرایب این مدل در سطح ۵ درصد معنی‌دارند و آزمون لیونگ- باکس صفر بودن هم‌زمان خودهمبستگی باقیمانده‌ها تا وقفهٔ ۷ را تأیید می‌کند. مقدار *ارزش در معرض خطر* برای این شاخص با فرض توزیع نرمال در سطح ۵ و ۱ درصد، به‌ترتیب برابر با ۸۸۱۰۰ و ۱۳۰۸۰۰ ریال خواهد بود. با فرض این‌که شوک بازدهی این شاخص از توزیع t پیروی کند، مقدار *ارزش در معرض خطر* در این سطوح اطمینان به‌ترتیب برابر با ۱۲۵۵۰۰ و ۲۴۷۱۰۰ ریال است ملاحظه می‌شود که فرض نرمال بودن توزیع شوک‌ها به میزان قابل توجهی مقدار *ارزش در معرض خطر* را کم‌تر نشان می‌دهد.

مقادیر *ارزش در معرض خطر* برای بقیهٔ شاخص‌ها برای سبدهای دارایی به ارزش ۱۰ میلیون ریال برای یک روز و در سطوح ۵ و ۱ درصد، براساس چهار مدل براورد برای توزیع نرمال و t به‌ترتیب در جدول‌های (۱۱) و (۱۲) ارایه شده‌اند. مقادیر *ارزش در معرض خطر* در سطح ۵ درصد حاکی از این است که براساس مدل GARCH(p,q) و با فرض توزیع نرمال، بیشترین *ارزش در معرض خطر* مربوط به شاخص کل است و شاخص وزنی و شاخص صنعت در مکان‌های بعدی قراردارند. کم‌ترین *ارزش در معرض خطر* به‌ترتیب مربوط به شاخص قیمت و بازده نقدی و شاخص ۵۰ شرکت فعال‌تر (و شاخص بازده نقدی) می‌شود. در حالی که با فرض توزیع t، بیشترین مقدار *ارزش در معرض خطر* را به‌ترتیب شاخص‌های وزنی و ۵۰ شرکت فعال‌تر و کم‌ترین مقدار را شاخص صنعت و شاخص قیمت و بازده نقدی دارند (البته همان‌طور که در قسمت قبل اشاره شد، این مدل برای شاخص قیمت و بازده نقدی نتایج مناسبی را ارایه نمی‌کند.) افزایش بیشتر *ارزش در معرض خطر* برای شاخص وزنی، نتیجهٔ پهن‌تر بودن دنباله‌های آن نسبت به چهار شاخص دیگر است. هم‌چنین در شاخص صنعت، مقدار *ارزش در معرض خطر* با فرض نرمال بودن در سطح ۵ درصد، بیشتر از مقدار آن با فرض توزیع t است. اما در سطح ۱ درصد این رابطه تغییر می‌کند. این یافته بر اهمیت توجه به پدیدهٔ پهن بودن دنباله‌ها به‌ویژه در سطوح اطمینان بالاتر تأکید می‌کند.

1- unconditional square standard deviations.

در مدل GARCH(۱ .۱)، مقادیر براورد شدهٔ *ارزش در معرض خطر* نسبت بـه مـدل قبل (به‌جز در مواردی که تصریح مدل براورد شده تغییـر نمـی‌کنـد) افـزایش مـی‌یابـد. براساس این مدل و بـا فـرض توزیـع نرمـال، بیشـترین مقـدار *ارزش در معـرض خطـر* هم‌چنان مربوط به شاخص کل است و شاخص‌های وزنی و صنعت در مکان‌هـای بعـدی قرار دارند. *ارزش در معرض خطر* برای شاخص‌های دیگر تقریباً با هم مساوی بوده و بـه میزان قابل توجهی از سه شاخص قبلی کم‌تر است. با فـرض توزیـع t، *ارزش در معـرض خطر* شاخص وزنی به میزان زیادی افزایش می‌یابـد و تقریبـاً دو برابـر رقـم مربـوط بـه شاخص کل، که در مکان بعد قرار دارد، می‌شود. کم‌ترین *ارزش در معرض خطر* مربـوط به شاخص ۵۰ شرکت فعال‌تر است.

بر اساس مدل IGARCH(۱ ,۱)، با فرض توزیع نرمال شاخص‌هـای کـل و صـنعت، بیشترین و شاخص‌های ۵۰ شرکت فعال‌تر و نقدی کـم‌تـرین *ارزش در معـرض خطـر* را دارند، در حالی که با فرض توزیع t، شاخص وزنی بار دیگر بیشترین و شاخص قیمـت و بازده نقدی کم‌ترین *ارزش در معرض خطر* را دارند. در این مدل، با فرض توزیـع نرمـال، مقادیر *ارزش در معرض خطر* نسبت به دو مدل قبل، بـرای تمـامی شـاخص‌هـا بـه‌جـز شاخص وزنی افزایش می‌یابند، برعکس با فرض توزیـع t، بـراوردهـای *ارزش در معـرض خطر* برای تمـامی شـاخص‌هـا بـه‌جـز شـاخص ۵۰ شـرکت فعـال‌تـر نسـبت بـه مـدل (GARCH۱,۱)، کاهش می‌یابد.

مدل ریسک‌سنجی، مقادیر *ارزش در معرض خطر* را در تمامی مـوارد بیشـتر بـراورد می‌کند. در حالی که برخی مطالعات نشان می‌دهند. کـه بـا فـرض نرمـال بـودن، مـدل ریسک‌سنجی دنباله‌های پهن توزیع شوک‌های بازدهی را نادیده می‌گیرد (پافکا و کنـدر (۲۰۰۱))، نتایج بیانگر این است که در این مدل، حتی با فرض توزیع نرمال نیز شـاخص وزنی بیشترین *ارزش در معرض خطر* را دارد، در حالی که کم‌ترین آن مربوط به شاخص قیمت و بازده نقدی است (البته *ارزش در معرض خطر* شاخص بـازده نقـدی کوچـک‌تـر است.) با توزیع t، شاخص وزنی و بعد از آن شاخص کـل بیشـترین و شـاخص قیمـت و بازده نقدی (البته بعد از شاخص بازده نقدی) کم‌ترین *ارزش در معرض خطر* را دارند.

۷- نتایج

در ایـن مقالـه، عملکـرد ۴ مـدل پارامتریـک از نـوع GARCH، شـامل مـدل‌هـای GARCH(p,q)، GARCH(1.1)، IGARCH(1.1) و ریسک‌سـنجی، در توضـیح رفتـار

میانگین و واریانس شرطی ۵ شاخص بورس اوراق بهادار، یعنی شاخص کل، شاخص وزنی، شاخص صنعت، شاخص قیمت و بازده نقدی و شاخص ۵۰ شرکت فعال‌تر که واریانس ناهمسانی در ارقام بازدهی آن‌ها تأیید شد، مورد بررسی قرار گرفت. (در شاخص بازده نقدی که یکی دیگر از شاخص‌های عمدهٔ بورس اوراق بهادار تهران است، واریانس ناهمسانی شرطی مشاهده نشد.) با توجه به این‌که پهن بودن دنبالهٔ توزیع احتمال داده‌های مالی از ویژگی‌های آشکار شدهٔ داده‌های مالی به‌شمار می‌رود (چانگ و همکاران (۲۰۰۵)) و در شاخص‌های مورد بررسی نیز تأیید می‌شود، مدل‌های هم با فرض توزیع نرمال و هم با فرض توزیع t، براورد شدند. با فرض توزیع نرمال، تمامی مدل‌ها نتایج قابل قبولی را در توضیح رفتار میانگین و واریانس شرطی داده‌ها ارایه می‌کنند. فرض توزیع t، نه تنها بهبودی در نتایج ایجاد نمی‌کند، بلکه در مدل GARCH(1.1)، معادلهٔ واریانس نامانا خواهد بود و مدل GARCH(p,q)، نتایج قابل قبولی را برای شاخص قیمت و بازده نقدی ارایه نمی‌کند.

مقادیر *ارزش در معرض خطر* با فرض توزیع t، نسبت به توزیع نرمال در بیشتر موارد در هر دو سطح ۱ و ۵ درصد افزایش می‌یابد. در شاخص صنعت، براساس مدل اول و دوم و شاخص قیمت و بازده نقدی براساس مدل سوم، در سطح ۵ درصد *ارزش در معرض خطر* با فرض توزیع نرمال، بزرگ‌تر از این مقدار با فرض توزیع t است، در حالی‌که این رابطه در سطح ۵ درصد معکوس می‌شود. این یافته حاکی از اهمیت توجه به دنباله‌های به‌ویژه در سطوح اطمینان بالاتر است.

با فرض توزیع نرمال، به‌جز در مدل ریسک‌سنجی، در بقیهٔ مدل‌ها شاخص کل بیشترین *ارزش در معرض خطر* را داشته و شاخص وزنی در مکان بعدی قرار دارد. شاخص قیمت و بازده نقدی و شاخص ۵۰ شرکت فعال‌تر (درکنار شاخص بازده نقدی) کم‌ترین ارزش در معرض خطر را دارند. با فرض توزیع t، در تمامی مدل‌ها بیشترین *ارزش در معرض خطر* به‌ترتیب به شاخص وزنی و شاخص کل تعلق دارد. افزایش بیشتر *ارزش در معرض خطر* برای شاخص وزنی، می‌تواند در نتیجهٔ پهن‌تر بودن دنباله‌های آن نسبت به چهار شاخص دیگر باشد. نکتهٔ جالب توجه این است که در مدل ریسک‌سنجی، حتی با فرض نرمال بودن نیز شاخص وزنی بیشترین مقدار *ارزش در معرض خطر* را دارد، به‌عبارت دیگر، رتبه‌بندی *ارزش در معرض خطر* شاخص‌ها در مدل ریسک‌سنجی نسبت به فرض توزیع احتمال حساس نیست. بنابراین، به نظر می‌رسد ضمن این‌که نتایج براوردها با مدل ریسک‌سنجی تا حدودی نسبت به مدل‌های دیگر

مناسب‌تر است، اثر پهن بودن دنباله‌های توزیع را حتی بـا فـرض نرمـال بـودن بـه نحـو مطلوب‌تری دربرمی‌گیرد.

پیوست ۱- آزمون لیونگ-باکس

آزمون Q لیونگ-باکس برای بررسی معنی‌داری هم‌زمان خودهمبستگی‌ها بـا چنـد وقفه به‌کار می‌رود. آمارهٔ این آزمون که توسط لیونگ و باکس ارایه شده عبارتست از:

$$Q(m) = T(T+2)\sum_{\ell=1}^{m}\frac{\hat{\rho}_{\ell}^{2}}{T-\ell}$$

که دارای توزیع چی دو با m درجهٔ آزادی است. فرضیه صفر در این آزمون این است که مقادیر خودهمبستگی تا m وقفه به‌طور هم‌زمان برابر صـفرند. انتخـاب m مـی‌توانـد عملکرد این آزمون را تحت تأثیر قرار دهد. مطالعات شبیه سازی پیشنهاد می‌کننـد کـه $m \approx \ln(T)$ نتایج مناسبی را ارایه می‌کند (تِسی (۲۰۰۵) صفحهٔ ۲۷).

فهرست منابع

۱- کیانی، رضا. نگاهی تحلیلی بر شاخص‌های بورس و با رویکردی بر سهام شناور آزاد. مرکز تحقیقات و توسعهٔ بازار، سازمان کارگزاران بورس اوراق بهادار، از:
http://207. 176. 216. 190/researchdept/MainMenuPage.asp

2- Bollerslev, T. (1986). Generalized autoregressive conditional heteroskedasticity. Journal of Econometrics, 31, pp. 307-327.

3- Chan, N. H., Deng S., Peng, L., Xia, Z. Interval estimation of Value-at-Risk based on GARCH models with heavy-tailed innovations. Journal of Econometrics. Accepted 2005.

4- Enders, W. (2004). Applied Economic Time Series, Second ed. John Wiley & Sons .

5- Engle, R. F. (1982). Autoregressive conditional heteroscedasticity with estimates of the variance of United Kingdom inflation. Econometrica, 50(4), pp. 987-1008 .

6- Giot, P., Laurent, S. (2002). Market risk in commodity markets: a VaR approach. from: http://www. gloriamundi. org/ .

7- Giot, P., Laurent, S. (2004). Modeling daily Value-at-Risk using realized volatility and ARCH type models. Journal of Empirical Finance, 11, pp. 379-398 .

8- Hendricks, D. (1996). Evaluation of Value-at-Risk models using Historical Data. FRBNY Economic Policy Review. April, pp. 39-70 .

9- Manganelli S., Engle R. F. (2001). Value at Risk models in finance. European Central Bank, Working Papers, No. 75 .
10- Pagan, A. A., Schwert G. W. (1990). Alternative models for conditional stock volatility. Journal of Econometrics, 45, pp. 267-290 .
11- Pojarliev M., Polasek W. (2000) Volatility forecasts and Value at Risk Evaluation for the MSCI North America Index. from: http://www. gloriamundi. org/ .
12- Pafka, S., Kondor, I. (2001). Evaluating the RiskMetrics methodology in measuring Volatility and Value-at-Risk in financial markets. from: http://www. gloriamundi. org/ .
13- RiskMetrics Group, 1996. RiskMetrics-Technical Document, Morgan J. P .
14- So, M. K. P., Yu, P. L. H. (2005). Empirical analysis of GARCH models in value at risk estimation. International Financial Markets, Institutions and Money, 16, pp. 180-197 .
15- Tsay R. S. (2005). Analysis of Financial Time Series, second ed. New Jersy: John Wiley & Sons .

جدول ۱ – خلاصهٔ ویژگی‌های آماری داده‌ها

شاخص	میانگین	انحراف میانگین	شاخص چولگی	شاخص کشیدگی	سطح معنی‌داری آمارهٔ آزمون جارکو-برا
شاخص کل	۰/۰۸۵۸۰	۰/۰۰۵۵۲	۰/۵۱۲	۱۳/۶۱۱	۰/۰۰۰۰
شاخص وزنی	۰/۰۹۴۶۱	۰/۰۰۷۸۸	۱/۴۹۶	۲۳/۲۶۶	۰/۰۰۰۰
شاخص صنعت	۰/۰۷۷۹۳	۰/۰۰۵۵۵	۱/۳۵۳	۱۹/۴۴۳	۰/۰۰۰۰
شاخص قیمت و بازده نقدی	۰/۱۲۹	۰/۰۰۵۴۵	۱/۱۳۴	۱۴/۲۴۴	۰/۰۰۰۰
شاخص بازده نقدی	۰/۰۴۲۷۵	۰/۰۰۱۵۶	۸/۳۱۴	۹۵/۴۷۸	۰/۰۰۰۰
شاخص ۵۰ شرکت برتر	۰/۰۷۹۸۱	۰/۰۰۵۹۰	۰/۶۶۷	۸/۲۹۵	۰/۰۰۰۰

جدول ۲ – نتایج آزمون انگل برای وجود اثر ARCH

شاخص	آمارهٔ آزمون (TR^2)	سطح معنی‌داری	وجود اثر ARCH
شاخص کل	۰/۰۸۵۸۰	۰/۰۰۵۵۲	۰/۵۱۲
شاخص وزنی	۰/۰۹۴۶۱	۰/۰۰۷۸۸	۱/۴۹۶
شاخص صنعت	۰/۰۷۷۹۳	۰/۰۰۵۵۵	۱/۳۵۳
شاخص قیمت و بازده نقدی	۰/۱۲۹	۰/۰۰۵۴۵	۱/۱۳۴
شاخص بازده نقدی	۰/۰۴۲۷۵	۰/۰۰۱۵۶	۸/۳۱۴
شاخص ۵۰ شرکت برتر	۰/۰۷۹۸۱	۰/۰۰۵۹۰	۰/۶۶۷

جدول ۳ – نتایج براورد مدل GARCH(p,q) با فرض توزیع نرمال

		شاخص کل	شاخص وزنی	شاخص صنعت	شاخص قیمت و بازده نقدی	شاخص ۵۰ شرکت
		AR(1) q=1 p=2	AR(1) q=1 p=1	AR(1) q=1 p=2	AR(1) q=2 p=1	AR(1) q=1 p=1
معادلهٔ میانگین	a0 a1	۰/۰۰۰۲(۰/۰۲۶) ۰/۵۸۷۸(۰/۰۰۰)	۰/۰۰۰۱(۰/۴۳۸) ۰/۵۱۹۳(۰/۰۰۰)	۰/۰۰۰۱(۰/۱۷۸) ۰/۶۰۰۱(۰/۰۰۰)	۰/۰۰۰۳ (۰/۰۰۱) ۰/۵۹۳۱ (۰/۰۰۰)	۰/۰۰۰۲(۰/۱۳۴) ۰/۵۷۵۱(۰/۰۰۰)
معادلهٔ نوسانات	α_0	۰/۰۰۰۰(۰/۰۰۰)	۰/۰۰۰۰(۰/۰۰۰)	۰/۰۰۰۰(۰/۰۰۰)	۰/۰۰۰ (۰/۰۰۳)	۰/۰۰۰۰(۰/۰۰۰)
	α_1 α_2	۰/۴۴۶۵(۰/۰۰۰)	۰/۴۴۲۵(۰/۰۰۰)	۰/۴۶۷۷(۰/۰۰۰)	۰/۳۹۲۶ (۰/۰۰۰) −۰/۲۳۳۵(۰/۰۰۰)	۰/۲۸۱۲(۰/۰۰۰)
	γ_1 γ_2	۰/۰۷۰۳(۰/۰۹۰) ۰/۴۴۲۷(۰/۰۰۰)	۰/۴۴۷۲(۰/۰۰۰)	۰/۱۱۴۳(۰/۰۱۳) ۰/۳۴۷۷(۰/۰۰۰)	۰/۷۹۷۰ (۰/۰۰۰)	۰/۳۷۶۸(۰/۰۰۰)
Q(7) باقیمانده‌ها		۱۴ (۰/۰۵)	۱۰/۰۱ (۰/۱۹)	۱۱/۰۹ (۰/۱۰)	۵/۴۷ (۰/۶۰)	۷/۶۴ (۰/۳۶۵)
Q(7)مربع باقیمانده‌ها		۴/۱۰ (۰/۷۷)	۱/۳۹ (۰/۹۸۶)	۲/۱۹ (۰/۹۵)	۴/۴۱ (۱)	۰/۴۱ (۱)

جدول ۴ – نتایج براورد مدل GARCH(p,q) با فرض توزیع t

		شاخص کل	شاخص وزنی	شاخص صنعت	شاخص قیمت و بازده نقدی	شاخص ۵۰ شرکت
		AR(1) q=2 p=1	AR(1) q=2 p=1	AR(1) q=2 p=1	AR(1) q=2 p=1	AR(1) q=2 p=1
معادلهٔ میانگین	a0 a1	۰/۰۰۰۱(۰/۰۴۹) ۰/۶۰۱۶(۰/۰۰۰)	۰/۰۰۰(۰/۹۶۵) ۰/۴۶۳۸(۰/۰۰۰)	۰/۰۰۰۰(۰/۴۱۶) ۰/۵۸۸۰(۰/۰۰۰)	۰/۰۰۰۲ (۰/۰۱۶) ۰/۶۱۱۹ (۰/۰۰۰)	۰/۰۰۰۲(۰/۰۲۹) ۰/۵۴۰۶(۰/۰۰۰)
معادلهٔ نوسانات	α_0	۰/۰۰۰(۰/۰۷۹)	۰/۰۰۰(۰/۲۷۱)	۰/۰۰۰(۰/۰۹۱)	۰/۰۰۰ (۰/۳۵)	۰/۰۰۰۰(۰/۲۳۳)
	α_1 α_2	۰/۷۴۰۳(۰/۰۰۰) −۰/۷۱۱۸(۰/۰۰۰)	۰/۵۲۴۰(۰/۰۰۰) −۰/۴۷۸۵(۰/۰۰۰)	۰/۶۶۰۱(۰/۰۰۰) −۰/۶۳۰۱(۰/۰۰۰)	۰/۶۷۶۸ (۰/۰۰۰) −۰/۶۳۸۳(۰/۰۰۰)	۰/۳۶۳۱(۰/۰۰۰) −۰/۳۲۴۲(۰/۰۰۰)
	γ_1	۰/۹۷۲۵(۰/۰۰۰)	۰/۹۶۱۱(۰/۰۰۰)	۰/۹۷۴۶ (۰/۰۰۰)	۰/۹۷۱۷ (۰/۰۰۰)	۰/۹۵۱۲(۰/۰۰۰)
Q(7)باقیمانده‌ها		۱۲/۷۵ (۰/۰۷۹)	۲۲/۰۶ (۰/۰۰۲)	۹/۹۹ (۰/۱۹)	۱۷/۴۲ (۰/۰۱۵)	۱۳/۶۳ (۰/۰۶)
Q(7)مربع باقیمانده‌ها		۱/۴۸ (۰/۹۸)	۰/۷۱ (۰/۹۹۸)	۰/۷۹ (۰/۹۹۸)	۱۹/۴۰ (۰/۰۰۷)	۸/۴۵ (۰/۲۹)

جدول ۵- نتایج براورد مدل (GARCH۱ .۱) با فرض توزیع نرمال

		شاخص کل	شاخص وزنی	شاخص صنعت	شاخص قیمت و بازده نقدی	شاخص ۵۰ شرکت
معادلهٔ میانگین	a0	۰/۰۰۰۲(۰/۰۴۳)	۰/۰۰۰۱(۰/۴۳۸)	۰/۰۰۰۱(۰/۲۷۸)	۰/۰۰۰۳ (۰/۰۰۱)	۰/۰۰۰۲(۰/۱۳۴)
	a1	۰/۵۹۵۰(۰/۰۰۰)	۰/۵۱۹۳(۰/۰۰۰)	۰/۶۰۹۲(۰/۰۰۰)	۰/۶۰۰۹ (۰/۰۰۰)	۰/۵۷۵۱(۰/۰۰۰)
معادلهٔ نوسانات	α_0	۰/۰۰۰(۰/۰۰۰)	۰/۰۰۰(۰/۰۰۰)	۰/۰۰۰(۰/۰۰۰)	۰/۰۰۰(۰/۰۰۰)	۰/۰۰۰(۰/۰۰۰)
	α_1	۰/۳۱۵۱(۰/۰۰۰)	۰/۴۴۲۵(۰/۰۰۰)	۰/۳۴۹۲(۰/۰۰۰)	۰/۳۶۳۰ (۰/۰۰۰)	۰/۲۸۱۲(۰/۰۰۰)
	γ_1	۰/۶۴۸۷(۰/۰۰۰)	۰/۴۴۷۲(۰/۰۰۰)	۰/۶۱۴۶ (۰/۰۱۳)	۰/۵۱۹۸ (۰/۰۰۰)	۰/۳۷۶۷(۰/۰۰۰)
Q(7)باقیمانده‌ها		۱۰/۰۱ (۰/۱۸۸)	۹/۱۱ (۰/۲۲۵)	۹/۳۶ (۰/۲۱)	۱۳/۷۲ (۰/۰۶۸)	۷/۸۰ (۰/۳۵۰)
Q(7)مربع باقیمانده‌ها		۶/۱۱ (۰/۵۲۷)	۱/۴۲ (۰/۹۸۵)	۳/۵۸۹ (۰/۸۴)	۲/۷۱ (۰/۹۱۰)	۱/۲۱ (۰/۹۹۱)

جدول ۶- نتایج براورد مدل (GARCH۱ .۱) با فرض توزیع t

		شاخص کل	شاخص وزنی	شاخص صنعت	شاخص قیمت و بازده نقدی	شاخص ۵۰ شرکت
معادلهٔ میانگین	a0	۰/۰۰۰(۰/۹۰۶)	-۰/۰۰۰۱(۰/۲۴۰)	-۰/۰۰۰۰(۰/۵۰۴)	۰/۰۰۰۰ (۰/۶۳۱)	۰/۰۰۰(۰/۳۶۷)
	a1	۰/۶۰۹۹(۰/۰۰۰)	۰/۴۸۵۵(۰/۰۰۰)	۰/۶۰۰۰(۰/۰۰۰)	۰/۶۱۶۷ (۰/۰۰۰)	۰/۵۴۷۷(۰/۰۰۰)
معادلهٔ نوسانات	α_0	۰/۰۰۰(۰/۰۰۷)	۰/۰۰۰(۰/۰۸۰)	۰/۰۰۰(۰/۰۲۴)	۰/۰۰۰(۰/۰۷۳)	۰/۰۰۰(۰/۰۰۰)
	α_1	۱/۲۵۱۶(۰/۰۰۹)	۱/۰۳۷۷(۰/۰۷۳)	۱/۳۲۸(۰/۰۲۶)	۱/۲۳۴۸ (۰/۰۰۰)	۰/۳۱۷۲(۰/۰۰۰)
	γ_1	۰/۳۹۱۹(۰/۰۰۰)	۰/۶۲۰۹(۰/۰۰۰)	۰/۴۲۴۳ (۰/۰۰۰)	۰/۵۰۰۸ (۰/۰۰۰)	۰/۴۸۳۴(۰/۰۰۰)
Q(7)باقیمانده‌ها		۱۰/۲۶ (۰/۱۷۴)	۱۱/۸۶ (۰/۱۰۵)	۱۰/۷۸۷ (۰/۱۴۸)	۱۲/۲۴ (۰/۰۹۳)	۸/۴۸ (۰/۲۹۲)
Q(7)مربع باقیمانده‌ها		۲/۲۰ (۰/۹۸۴)	۱/۲۶ (۰/۹۸۹)	۲/۴۱ (۰/۹۳۴)	۷/۲۱ (۰/۴۰۷)	۱/۱۶ (۰/۹۹)

جدول ۷ – نتایج براورد مدل IGARCH(۱ .۱) با فرض توزیع نرمال

		شاخص کل	شاخص وزنی	شاخص صنعت	شاخص قیمت و بازده نقدی	شاخص ۵۰ شرکت
معادله میانگین	a0	۰/۰۰۰۰(۰/۷۳۱)	۰/۰۰۰۰(۰/۲۲۲)	۰/۰۰۰۱(۰/۰۷۴)	۰/۰۰۰۱ (۰/۰۳۰)	-۰/۰۰۰۱(۰/۰۶۵)
	a1	۰/۶۱۱۹(۰/۰۰۰)	۰/۵۷۱۸(۰/۰۰۰)	۰/۶۱۹۱(۰/۰۰۰)	۰/۶۱۹۶ (۰/۰۰۰)	۰/۵۵۵۹(۰/۰۰۰)
معادله نوسانات	α_0	۰/۰۰۰(۰/۰۰۰)	۰/۰۰۰(۰/۰۰۰)	۰/۰۰۰(۰/۰۰۰)	۰/۰۰۰(۰/۰۰۰)	۰/۰۰۰(۰/۰۰۰)
	α_1	۰/۳۶۳۱(۰/۰۰۰)	۰/۶۳۵۱(۰/۰۰۰)	۰/۳۹۶۹(۰/۰۰۰)	۰/۵۱۱۴ (۰/۰۰۰)	۰/۷۵۳۴(۰/۰۰۰)
	γ_1	۰/۶۳۶۹(۰/۰۰۰)	۰/۳۶۴۹(۰/۰۰۰)	۰/۶۰۳۱(۰/۰۱۳)	۰/۴۸۸۶ (۰/۰۰۰)	۰/۲۴۶۶(۰/۰۰۰)
Q(7)باقیمانده‌ها		۹/۹۵ (۰/۱۹۱)	۹/۰۱ (۰/۲۵۲)	۹/۶۸ (۰/۲۰۸)	۱۲/۶۵ (۰/۰۸۱)	۸/۹۶ (۰/۲۵۶)
Q(7)مربع باقیمانده‌ها		۶/۳۳ (۰/۵۰۲)	۱/۲۹ (۰/۹۸۹)	۳/۳۲ (۰/۸۵۴)	۴/۰۹ (۰/۷۶۹)	۲/۹۶ (۰/۸۸۹)

جدول ۸ – نتایج براورد مدل IGARCH(۱ .۱) با فرض توزیع t

		شاخص کل	شاخص وزنی	شاخص صنعت	شاخص قیمت و بازده نقدی	شاخص ۵۰ شرکت
معادلهٔ میانگین	a0	۰/۰۰۰۰(۰/۸۴۱)	-۰/۰۰۰(۰/۳۸۴)	-۰/۰۰۰(۰/۵۴۱)	۰/۰۰۰۱ (۰/۵۳۶)	۰/۰۰۰۱(۰/۴۰۵)
	a1	۰/۶۰۹۹(۰/۰۰۰)	۰/۴۸۸۰(۰/۰۰۰)	۰/۶۰۰۱(۰/۰۰۰)	۰/۶۱۲۹ (۰/۰۰۰)	۰/۵۴۹۵(۰/۰۰۰)
معادلهٔ نوسانات	α_0	۰/۰۰۰(۰/۰۰۰)	۰/۰۰۰(۰/۰۰۶)	۰/۰۰۰(۰/۰۰۰)	۰/۰۰۰(۰/۰۰۱)	۰/۰۰۰(۰/۰۱۱)
	α_1	۰/۶۲۷۵(۰/۰۰۰)	۰/۳۷۹۵(۰/۰۰۰)	۰/۵۷۰۳(۰/۰۰۰)	۰/۴۹۶۸ (۰/۰۰۰)	۰/۳۹۲۶(۰/۰۰۰)
	γ_1	۰/۳۷۲۵(۰/۰۰۰)	۰/۶۲۰۵(۰/۰۰۰)	۰/۴۲۹۷ (۰/۰۰۰)	۰/۵۰۳۲ (۰/۰۰۰)	۰/۶۰۷۴(۰/۰۰۰)
Q(7)باقیمانده‌ها		۱۰/۴۲ (۰/۱۶۶)	۱۱/۹۲ (۰/۱۰۳)	۱۰/۳۴ (۰/۱۷)	۱۲/۶۸ (۰/۰۸۰)	۸/۷ (۰/۲۷۵)
Q(7)مربع باقیمانده‌ها		۱/۵۲ (۰/۹۸۲)	۱/۵۴ (۰/۹۸۱)	۱/۸۲ (۰/۹۷)	۴/۳۵ (۰/۷۳۸)	۱/۴۱ (۰/۹۸۵)

جدول ۹ – نتایج براورد مدل ریسک‌سنجی با فرض توزیع نرمال

		شاخص کل	شاخص وزنی	شاخص صنعت	شاخص قیمت و بازده نقدی	شاخص ۵۰ شرکت
معادلۀ میانگین	a0	۰/۰۰۰۱(۰/۰۱۱)	-۰/۰۰۰(۰/۹۴۱)	۰/۰۰۰۱(۰/۲۱۳)	۰/۰۰۰۳ (۰/۰۰۰)	۰/۰۰۰۱(۰/۲۲۱)
	a1	۰/۵۷۰۰(۰/۰۰۰)	۰/۴۷۹۶(۰/۰۰۰)	۰/۵۸۰۳(۰/۰۰۰)	۰/۵۸۳۱ (۰/۰۰۰)	۰/۵۷ (۰/۰۰۰)
معادلۀ نوسانات	α_1	۰/۱۹۹۹(۰/۰۰۰)	۰/۱۷۸۵(۰/۰۰۰)	۰/۱۹۵۷(۰/۰۰۰)	۰/۱۹۷۹ (۰/۰۰۰)	۰/۱۸۲۶(۰/۰۰۰)
	γ_1	۰/۸۰۰۱(۰/۰۰۰)	۰/۸۲۱۵(۰/۰۰۰)	۰/۸۰۴۳ (۰/۰۰۰)	۰/۸۰۲۱ (۰/۰۰۰)	۰/۸۱۷۴(۰/۰۰۰)
Q(7)باقیمانده‌ها		۱۰/۴۳ (۰/۱۶۶)	۰/۰۱ (۱/۰۰۰)	۸/۴ (۰/۲۹۹)	۹/۰۹ (۰/۱۰۶)	۱۰/۲ (۰/۱۷۸)
Q(7)مربع باقیمانده‌ها		۱/۵۶ (۰/۹۸۰)	۰/۰۰۸ (۱/۰۰۰)	۰/۴۶ (۱)	۹/۵۶۱ (۰/۲۱۲)	۰/۶۳ (۰/۹۹۹)

جدول ۱۰ – نتایج براورد مدل ریسک‌سنجی با فرض توزیع t

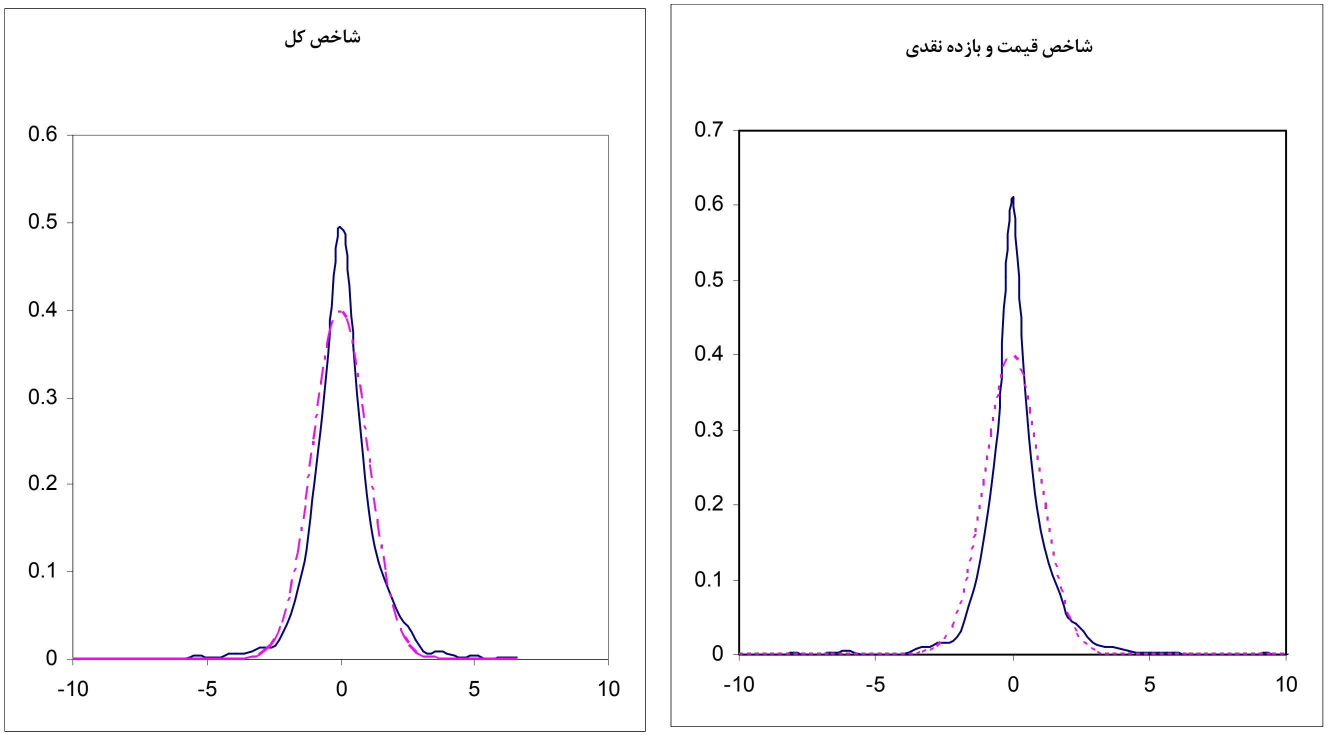
		شاخص کل	شاخص وزنی	شاخص صنعت	شاخص قیمت و بازده نقدی	شاخص ۵۰ شرکت
معادله میانگین	a0	-۰/۰۰۰۰(۰/۸۳۶)	-۰/۰۰۰۱(۰/۴۱۷)	-۰/۰۰۰۱(۰/۲۷۳)	۰/۰۰۰۰ (۰/۶۸۷)	۰/۰۰۰۱(۰/۳۸۱)
	a1	۰/۶۰۲۰(۰/۰۰۰)	۰/۴۶۶۱(۰/۰۰۰)	۰/۵۹۱۲(۰/۰۰۰)	۰/۶۰۲۹ (۰/۰۰۰)	۰/۵۳۸۲(۰/۰۰۰)
معادله نوسانات	α_1	۰/۱۸۸۲(۰/۰۴۲)	۰/۱۷۹۵(۰/۰۰۰)	۰/۱۸۶۷(۰/۰۰۰)	۰/۱۸۳۶ (۰/۰۰۰)	۰/۱۶۲۰(۰/۰۰۰)
	γ_1	۰/۸۱۱۸(۰/۰۰۰)	۰/۸۲۰۵(۰/۰۰۰)	۰/۸۱۳۳ (۰/۰۰۰)	۰/۸۱۶۴ (۰/۰۰۰)	۰/۸۳۸۰(۰/۰۰۰)
Q(7)باقیمانده‌ها		۵/۷۱ (۰/۵۷۴)	۲/۴۵ (۰/۹۳۱)	۶/۹۱ (۰/۴۳۸)	۹/۴۳ (۰/۲۲۳)	۱۲/۲۳ (۰/۰۹۳)
Q(7)مربع باقیمانده‌ها		۲/۰۳ (۰/۹۵۸)	۰/۰۰ (۱/۰۰۰)	۰/۴۹ (۰/۹۹۹)	۹/۵۹ (۰/۲۱۳)	۰/۵۶ (۰/۹۹۹)

جدول ۱۱- مقادیر *ارزش در معرض خطر* بافرض توزیع نرمال (ریال)

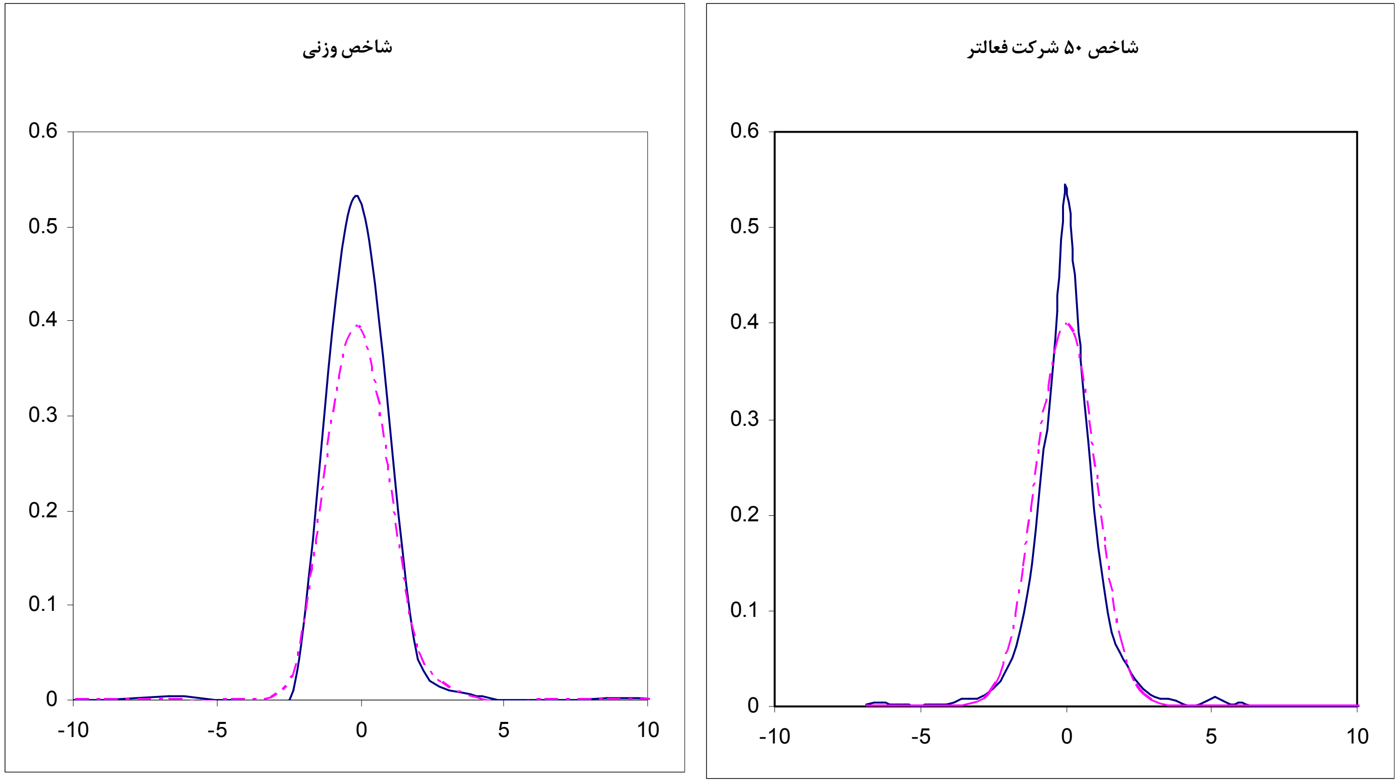
شاخص	سطح معنی‌داری	GARCH(p,q)	GARCH(۱ .۱)	IGARCH(۱ .۱)	ریسک‌سنجی
شاخص کل	۵ درصد	۱۸۱۵۰۰	۱۹۸۴۰۰	۲۱۱۱۰۰	۲۲۰۲۰۰
	۱ درصد	۲۵۸۰۰۰	۲۸۱۷۰۰	۲۹۸۸۰۰	۳۱۲۳۰۰
شاخص وزنی	۵ درصد	۱۷۰۳۰۰	۱۷۰۳۰۰	۱۶۲۷۰۰	۲۷۴۵۰۰
	۱ درصد	۲۴۰۹۰۰	۲۴۰۹۰۰	۲۲۹۳۰۰	۳۸۷۶۰۰
شاخص صنعت	۵ درصد	۱۵۲۴۰۰	۱۶۴۰۰۰	۱۷۲۲۰۰	۱۹۶۴۰۰
	۱ درصد	۲۱۶۴۰۰	۲۳۲۶۰۰	۲۴۳۵۰۰	۲۷۸۲۰۰
شاخص بازده نقدی	۵ درصد	۶۰۱۰۰	۸۴۲۰۰	۹۴۳۰۰	۹۹۸۰۰
	۱ درصد	۱۱۲۷۰۰	۱۲۱۰۰۰	۱۳۴۳۰۰	۱۴۲۷۰۰
شاخص ۵۰ شرکت	۵ درصد	۸۴۹۰۰	۸۴۹۰۰	۸۶۳۰۰	۱۶۵۳۰۰
	۱ درصد	۱۲۳۰۰۰	۱۲۳۰۰۰	۱۲۳۵۰۰	۲۳۶۱۰۰
شاخص نقدی	۵ درصد	۸۸۱۰۰	۸۸۱۰۰	۸۸۱۰۰	۸۸۱۰۰
	۱ درصد	۱۳۰۸۰۰	۱۳۰۸۰۰	۱۳۰۸۰۰	۱۳۰۸۰۰

جدول ۱۲- مقادیر *ارزش در معرض خطر* با فرض توزیع t (ریال)

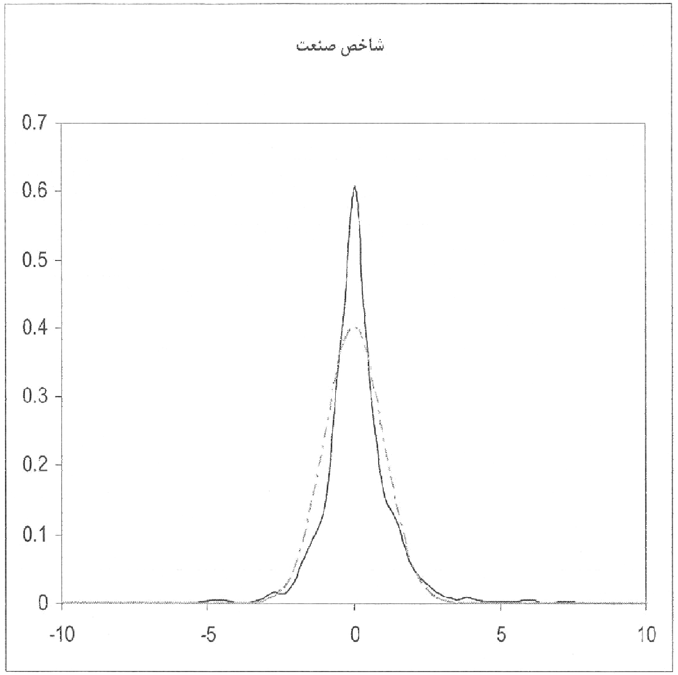
شاخص	سطح معنی‌داری	GARCH(p,q)	GARCH(۱ .۱)	IGARCH(۱ .۱)	ریسک متریک
شاخص کل	۵ درصد	۱۱۶۲۰۰	۱۶۰۲۰۰	۱۰۷۹۰۰	۳۲۱۱۰۰
	۱ درصد	۲۲۲۸۰۰	۳۱۱۰۰۰	۲۱۰۲۰۰	۶۲۱۳۰۰
شاخص وزنی	۵ درصد	۲۰۰۹۰۰	۳۳۴۸۰۰	۲۰۴۹۰۰	۳۸۹۷۰۰
	۱ درصد	۳۹۸۳۰۰	۶۴۴۹۰۰	۳۹۴۶۰۰	۷۵۱۳۰۰
شاخص صنعت	۵ درصد	۷۰۰۰۰	۱۴۶۲۰۰	۹۹۶۰۰	۲۸۴۰۰۰
	۱ درصد	۲۴۳۶۰۰	۲۸۳۳۰۰	۱۹۳۲۰۰	۵۴۸۷۰۰
شاخص بازده نقدی	۵ درصد	۸۹۷۰۰	۱۱۹۲۰۰	۷۸۴۰۰	۱۴۷۴۰۰
	۱ درصد	۱۷۲۶۰۰	۲۳۲۰۰۰	۱۵۳۵۰۰	۲۸۶۵۰۰
شاخص ۵۰ شرکت	۵ درصد	۱۵۷۰۰۰	۸۹۹۰۰	۱۲۸۹۰۰	۲۳۲۶۰۰
	۱ درصد	۳۰۹۹۰۰	۱۷۹۶۰۰	۲۵۴۷۰۰	۴۵۴۸۰۰
شاخص نقدی	۵ درصد	۱۲۵۵۰۰	۱۲۵۵۰۰	۱۲۵۵۰۰	۱۲۵۵۰۰
	۱ درصد	۲۴۷۱۰۰	۲۴۷۱۰۰	۲۴۷۱۰۰	۲۴۷۱۰۰

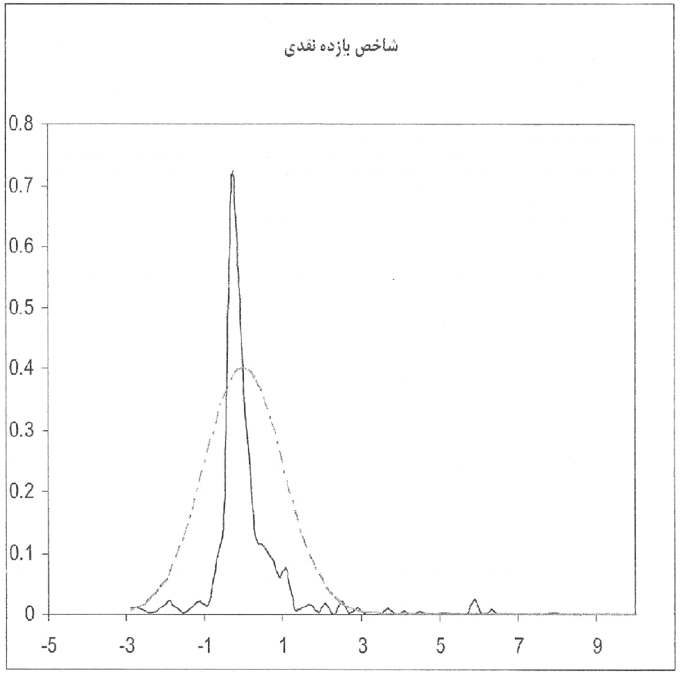


نمودار ۱– تابع توزیع احتمال تجربی بازدهی شاخص‌های بورس اوراق بهادار تهران



ادامه نمودار ۱– تابع توزیع احتمال تجربی بازدهی شاخص‌های بورس اوراق بهادار تهران





ادامه نمودار ۱– تابع توزیع احتمال تجربی بازدهی شاخص‌های بورس اوراق بهادار تهران