مجله مطالعات مالی
شماره ششم
تابستان ۱۳۸۹

مقایسهٔ مدل‌های Riskmetric و GARCH در پیش‌بینی نوسانات شاخص بازده کل بورس اوراق بهادارتهران

دکتر تیمور محمدی[۱]
سمیه نصیری[۲]

تاریخ دریافت: ۸۹/۰۲/۱۵ تاریخ پذیرش: ۸۹/۰۵/۲۰

چکیده

پیش‌بینی نوسان در بازارهای مالی یک فعالیت بحرانی و کلیدی است و دارای حوزهٔ تأثیرگذاری گسترده‌ای می‌باشد که شامل سرمایه‌گذاری، ارزش گذاری اوراق بهادار، مدیریت ریسک و ایجاد سیاست پولی است. همانطور که مشخص است این موارد بوضوح از ارزش زیادی در تصمیم گیریهای اقتصادی برخوردار است بنابراین، توجه به این مسائل سبب ایجاد سؤالهایی از این قبیل می‌شود که چطور می‌توانیم بطور مؤثری نوسانات را پیش‌بینی کنیم و آیا ممکن است که مشخصاً یک تکنیک ترجیح داده شده را انتخاب کنیم؟ روش‌های مختلفی که بوسیلهٔ آنها، چنین پیش‌بینی‌هایی می‌تواند بدست آید در ادبیات این موضوع گسترش یافته و در عمل بکار برده شده است. چنین تکنیکهایی، دربرگیرندهٔ محدودهٔ وسیعی از مدل‌های نسبتاً ساده که از مفروضات ساده استفاده می‌کنند (روش گام تصادفی) تا مدل‌های نسبتاً پیچیدهٔ واریانس ناهمسانی شرطی خانوادهٔ گارچ می‌باشند. در این تحقیق عملکرد پیش‌بینی خارج از نمونهٔ ٦ مدل برای نوسانات روزانهٔ شاخص قیمت و بازده نقدی TEDPIX در دورهٔ زمانی آغاز ۱۳۷۸ تا پایان ۱۳۸۷ (شامل ۲۳۵۵ مشاهده) مورد ارزیابی قرار گرفته است، که ۲۳۰۰ مشاهدهٔ اول برای تخمین پارامترها استفاده شده و باقیماندهٔ داده‌ها برای پیش‌بینی بکار رفته است. مدل‌هایی که در این تحقیق با هم مقایسه

۱- عضو هیات علمی نیمه وقت دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات و عضو هیات علمی دانشکده اقتصاد دانشگاه علامه طباطبایی
۲- دانش آموخته کارشناسی ارشد اقتصاد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران و مسئول مکاتبات

شده‌اند عبارتند از:مدل Riskmetric و تعدادی از مدل‌های نوع گارچ، شامل مدل GARCH , EGARCH , APARCH , TARCHو IGARCH .
برای ارزیابی عملکرد پیش‌بینی مدل‌های مورد مقایسه، از سه آمارهٔ ارزیابی‌خطااستفاده‌شده است:MAE,RMSE,Theil.
نتایج حاصله از این تحقیق بیانگر آن است که بر اساس هر سه معیار ارزیابی خطا، مدل Riskmetric بطور قابل ملاحظه‌ای بهترین عملکرد را در مقایسه با پنج مدل دیگر دارد. و از طرف دیگر، مدل EGARCH بدترین عملکرد پیش‌بینی را ارائه می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: پیش‌بینی، نوسان، ریسک‌متریک، گارچ، شاخص قیمت و بازده نقدی، بورس اوراق بهادار تهران.

مقدمه

نوسان[1] در بازار مالی یکی از ورودی‌های مهم برای سرمایه گذاری، قیمت‌گذاری اوراق اوراق بهادار (مشتقه‌ها)، مدیریت ریسک و تدوین مقررات و سیاستگذاری می‌باشد. بطور مثال سرمایه‌گذاران، سطوح معینی از ریسک پذیری یا درجهٔ تحمل ریسک را دارا می‌باشند و از این بابت، ارائهٔ مدل مناسبی برای پیش‌بینی نوسانات در طی دورهٔ سرمایه‌گذاری می‌تواند نقطهٔ آغازین خوبی برای ارزیابی ریسک سرمایه‌گذاری باشد. علاوه بر این، در حال حاضر مدیریت ریسک مالی از نقشهای ماهوی اکثر نهادهای مالی محسوب می‌شود و لذا شناخت و پیش‌بینی نوسان بازارهای مالی، از ضرورتهای عملیاتی چنین مؤسساتی خواهد بود.همچنین، بسیاری از مدل‌های قیمت‌گذاری دارایی،از تخمین نوسانات به عنوان یک سنجش ریسک ساده استفاده می‌کنند و توجه به محاسبهٔ بهتر نوسان باعث می‌شود که قدرت تخمین در سایر مدل‌های مالی همانند مدل قیمت‌گذاری بلک – شولز که در آنها از نوسان استفاده می‌گردد، بیشتر شده و از این رو کارایی تخمین در مدل‌های مذکور افزایش یابد.

به علاوه، نوسان پذیری بازارهای مالی تأثیر مهمی در اقتصاد کشورها از طریق ایجاد یا کاهش اطمینان و اعتماد عمومی ایفامی‌نماید. بدین دلیل، سیاستگذاران توجه خاصی را به پدیدهٔ نوسان نشان می‌دهند. با توجه به مطالب فوق، شناسایی دینامیک نوسان در تمامی بازارهای مالی از اهمیت و جایگاه خاصی برخوردار بوده و ارائهٔ مدل‌های مناسب برای پیش‌بینی نوسانات از ابزارهای اصلی دست‌اندرکاران اقتصادی و مالی کشورها، بورس‌ها و شرکت‌ها در اتخاذ تصمیمات سرمایه‌گذاری تلقی می‌شود.

در میان مدل‌های پیش‌بینی نوسان در بازار سهام، مدل‌های نوع GARCH با وجود موفقیت تجربی که در تحقیقات آکادمیک (که بر یافتن بهترین و مناسبترین مدل برای نوسانات بازده سهام تمرکز دارند) بدست آورده‌اند،استفاده از آنها در جامعهٔ سرمایه‌گذاری محدود می‌باشد.

دراین مورد،این فرض وجود دارد که علت ترجیح مدل‌های نوع GARCH در تحقیقات آکادمیک، طبیعت پیچیدهٔ مدل می‌باشد. بویژه مدل‌هایی از نوع GARCH که در آنها عدم تقارن یا حافظهٔ بلند مدت و یا سایر نکات مهم در داده‌ها بررسی می‌شود و دارای تنوعی از پارامترها می‌باشند. در عوض، جامعهٔ سرمایه‌گذاری ترجیح می‌دهد که از مدلی مانند تکنیک هموار سازی نمایی ساده Riskmetric که دارای مزیت ساده بودن هم بر حسب تعداد پارامترها و هم میزان دادهٔ مورد نیاز در تخمین میباشد، استفاده کند.

براین اساس،سؤال طبیعی که مطرح می‌شود این است که آیا قدرت پیش‌بینی نوسان مدل Riskmetric در بورس اوراق بهادار تهران بالاتر از مدل‌های نوع GARCHاست؟ فرضیه‌ای که در این تحقیق بیان می‌شود این است که قدرت پیش‌بینی کنندگی مدل Riskmetric در بورس تهران بالاتر از مدل‌های نوع GARCH است . لذا، در این تحقیق به دنبال این هستیم که پیش‌بینی نوسانات مدل ریسک متریک را با تعدادی از مدل‌های نوع گارچ در بورس اوراق بهادار تهران مقایسه کرده و تفاوتهای محسوسی را که در عملکرد هر مدل بر طبق تکنیک‌های مختلف ارزیابی وجود دارد، مورد تأکید قرار دهیم تا از این

طریق بتوانیم به درک درستی از رفتار نوسان در بازار سهام تهران رسیده و اطلاعات جامع-تری برای متخصصین و کارشناسان بازار سرمایهٔ کشور فراهم نماییم.

مروری بر پیشینه و مبانی علمی تحقیق

مطالعات تجربی اولیه که عملکرد پیش‌بینی مدل‌های GARCH را در مقابل مدل‌هایی که مدل‌های ساده نامیده شدند، مورد مقایسه قرار دادند بر این باور بودند که که علی رغم جذابیت پیچیدگی و مرسوم بودن مدل‌های نوع GARCH به هیچ وجه توافق بر این نیست که این مدل‌ها پیش‌بینی‌های برتری از نوسانات بازدهی فراهم می‌کنند. اگرچه مجموعهٔ کل مدارک نشانگر ترکیبی از این مدل‌هاست. فایلوسکی (Figlewski , ۱۹۹۷) استدلال کرد که مدل‌های پیش‌بینی نوسانات بر اساس میانگین متحرک نوسانات تاریخی، اغلب بهترین پیش‌بینی‌ها راانجام می‌دهند.

دایمسون و مارش (Dimson & Marsh , ۱۹۹۰) هم یک نمونهٔ قابل توجه هستند که در مقالهٔ آنها مدل‌های ساده بر مدل‌های پیچیده غالب شدند.آنها چند نوع مختلف از مدل‌های پیش‌بینی رابرای گروهی از داده‌های بازار سرمایهٔ انگلستان به کار بردند و به این نتیجه رسیدند که مدل هموار سازی نمایی و مدل رگرسیون ساده پیش‌بینی‌های بهتری ارائه می‌دهند.

مدارک بیشتر در حمایت از مدل‌های پیش‌بینی که داده‌های تاریخی ساده را بکار برده-اند و بر خلاف روش مدل‌های GARCH هستند بوسیلهٔ (۱۹۹۳) Figlewski,Cumby Hasbrouck, و (۱۹۹٦ , ۱۹۹۵) Jorion ارائه شده‌است.

با این وجود، تحقیقات دیگری نیز وجود دارد که روش GARCH را تأیید می‌کند. برای مثال، اکگیری (۱۹۸۹, Akgiray) دریافت که مدل‌های GARCH نسبت به مدل‌های ARCH، میانگین متحرک موزون نمایی و مدل‌های میانگین تاریخی در پیش‌بینی نوسان ماهانهٔ شاخص سهام آمریکا عملکرد بهتری داشته است.

پاگان و شوورت (Pagan & Schwert ,۱۹۹۰) توانایی مدل‌های GARCH , EGARCH , مدل انتقال رژیم مارکوف[۲] و سه مدل ناپارامتریک را در پیش‌بینی نوسان ماهانهٔ بازده سهام آمریکا با هم مقایسه نمودند و به این نتیجه رسیدند که مدل‌های EGARCH و GARCH به ترتیب پیش‌بینی‌های خوبی ارائه می‌دهند و دیگر مدل‌ها پیش‌بینی‌های خیلی ضعیفی از خود نشان می‌دهند.

دی و لوییس (Day & Lewis , ۱۹۹۲) به بررسی عملکرد پیش‌بینی خارج از نمونهٔ مدل‌های GARCH و EGARCH در پیش‌بینی نوسان شاخص سهام پرداخته‌اند.و پیش-بینی این مدل‌ها را با مدل نوسان ضمنی مورد مقایسه قرار داده‌اند. نتایج اصلی مطالعهٔ آنها حکایت از آن دارد که در داخل نمونه، مدل نوسان ضمنی حاوی اطلاعاتی اضافی است که در مدل‌های EGARCH و GARCH وجود ندارد. اما در خارج از نمونه نتایج حاکی از آن است که پیش‌بینی نوسان کار ساده‌ای نیست و نمی‌توان به نتیجه‌ای کلی در این خصوص رسید.

بریلسفورد و فف (Brailsford & Faff ,۱۹۹٦) دریافتند که برای پیش‌بینی نوسانات ماهانهٔ شاخص سهام استرالیا، مدل‌های GJR و GARCH به مقدار ناچیزی نسبت به مدل‌های ساده‌تر مختلف، برتری دارند.

بررسی مدل‌های پیش‌بینی نوسانات

۱- مدل Riskmetric

روش ریسک متریک برای پیش‌بینی نوسانات از مدل هموار سازی نمایی ساده استفاده می‌کند، که به موجب آن، پیش‌بینی نوسانات امروز برابر است با متوسط وزن داده شدهٔ پیش‌بینی نوسانات دیروز و نوسان تحقق یافتهٔ دیروز :

$$\sigma_t^2 = \lambda\sigma_{t-1}^2 + (1-\lambda)\, r_{t-1}^2 = (1-\lambda)\sum_{\tau=1}^{\infty} r_{t-\tau}^2 \qquad (۱)$$

که در اینجا :

σ_t^2: پیش‌بینی نوسانات است .

r_t^2: مربع بازدهی است که به عنوان نماینده برای نوسان واقعی عمل می‌کند .

توجه کنید که از طریق جایگذاری در معادلهٔ بالا به دومین عبارت می‌رسیم که به موجب آن، پیش‌بینی نوسانات عبارت است از میانگین متحرک وزن داده شدهٔ نمایی مربعات بازدهی‌های گذشته. اگرچه در اصل، پارامتر هموار λ می‌تواند تخمین زده شود اما روش ریسک متریک، ارزش آن را مقدار ۰/۹٤ برای پیش‌بینی‌های روزانه در نظر گرفته است.

روش ریسک متریک دارای چند مزیت واضح و روشن است:

۱) به طور گسترده‌ای، تغییرات نوسان روز به روز را مسیریابی می‌کند که به موجب آن، بازدهی‌های اخیر نسبت به بازدهی‌های زمانهای دورتر از اهمیت بیشتری برای نوسانات فردا برخوردارند، بدلیل اینکه λ کوچکتر از یک است.

۲) نسبتاً داده‌های کمی برای ذخیره کردن لازم است. به محض اینکه اولین مقدار برای نوسان پیدا شود، تنها متغیرهایی که برای محاسبهٔ نوسان فردا لازم است، نوسان امروز و مربع بازدهی امروز می‌باشد که هر دوی اینها در پایان معاملهٔ امروز مشخص می‌شود.

۳) مدل فقط شامل یک پارامتر نامشخص است (λ)، که همانطور که بیان شد برای داده‌های روزانه λ = ۰/۹٤ در نظر گرفته می‌شود. بنابراین هیچ تخمینی لازم نیست، که این مزیت قابل ملاحظه‌ای در پرتفولیوهای بزرگ است.

بااین وجود، روش ریسک متریک دو نقص عمده نیز دارد :

۱) قادر به گرفتن اثرات نامتقارنی که اغلب در داده‌های مالی ملاحظه می‌شود و بیانگر همبستگی منفی بین بازدهی‌ها و نوسانات است، نمی‌باشد.

۲) مدل قادر به پیش‌بینی‌های با افق زمانی بلند مدت نمی‌باشد.

۳) بدست آوردن پیش‌بینی نوسانات با افق زمانی چند گام (multi-step)، شاید به بهترین نحو بتواند این نکته را نمایان سازد :

$$\text{var} = = \sigma^2_{t\rightarrow t+k|t} = k\sigma^2_{t+1} \qquad (۲)$$

$$(r_{t+k} + r_{t+k-1} + r_{t+k-2} + \ldots + r_{t+1} \mid I_t)$$

که در اینجا I_t گروه شرطی[۳] است. و k تعداد پیش‌بینی‌های گام به جلو می‌باشد. بنابراین پیش‌بینی برای هر نقطه در زمان، یکسان است. در حالیکه پیش‌بینی یکجا، صرفاً بوسیلهٔ آخرین عبارت داده می‌شود. لذا، مدل ریسک متریک دلالت بر هیچ بازگشت به میانگینی در نوسانات ندارد، بنابراین آن نوسان ضرورتاً از یک فرآیند گام تصادفی پیروی می‌کند.

در نتیجه، وقتی هدف پیش‌بینی نوسانات، بدست آوردن تحرکات کوتاه مدت باشد مدل ریسک متریک مطلوب می‌باشد. (McMillan & Kambouroudis , ۲۰۰۹)

۲- GARCH و مقایسهٔ آن با Riskmetric

روش GARCH برای پیش‌بینی نوسانات از مدل Riskmetric پیچیده‌تراست و واریانس شرطی را از سری بازدهی‌هااستخراج می‌کند:

$$r_t = \varepsilon_t = \sigma_t z_t \qquad \text{with} \qquad z_t \sim \text{iid} \quad N(۰ , ۱) \qquad (۳)$$

سپس با مدل GARCH(۱ , ۱) به این صورت نوشته می‌شود:

$$\sigma^2_t = \alpha_0 + \alpha_1 r^2_{t-1} + \beta_1 \sigma^2_{t-1} \qquad (٤)$$

بنابراین، مدل GARCH شامل سه جزء است :

۱) عدد ثابت که نمایانگر متوسط نوسانات است.

۲) اطلاعات دربارهٔ نوسانات دورهٔ قبل، که بوسیلهٔ مربع بازدهی با تأخیرزمانی‌اندازه‌گیری می‌شود.

۳) واریانس پیش‌بینی آخرین دوره.

حالا مدل ریسک متریک می‌تواند به عنوان یک مورد ویژه از مدل GARCH مورد توجه قرار گیرد، بطوریکه در مدل ریسک متریک $\alpha_1 = 1-\lambda$ و $\beta = \lambda$ (از این رو توجه کنید که $\alpha + \beta = 1$ و $\alpha_0 = 0$). واضح است که در مدل ریسک متریک، واریانس بلند مدت نامحدوداست یا به خوبی تعریف نشده است (برای یک واریانس غیر شرطی محدود که $\alpha + \beta < 1$ باشد، دراینصورت $\sigma^2 = \alpha_0 / (1-\alpha-\beta)$)، بنابراین یک ویژگی مهم مدل ریسک متریک این است که این حقیقت را که متوسط واریانس بلند مدت، تمایل دارد که در طول زمان نسبتاً ثابت باشد نادیده می‌گیرد. در عوض، مدل GARCH بطور ضمنی بر σ^2 تکیه می‌کند.

مزیت دیگر روش GARCH برای پیش‌بینی نوسانات نسبت به مدل ریسک متریک، انعطاف پذیری آن برای گرفتن نکات جزئی که در داده‌ها وجود دارد می‌باشد که شامل عدم تقارن بین شوکهای مثبت و منفی و تأثیرات حافظهٔ بلند مدت است . در این تحقیق برای بررسی ویژگی‌های مختلفی که در داده‌ها وجود دارد، علاوه بر مدل GARCH(۱,۱) که توصیف شد، همچنین مدل‌های بیشتری از نوع گارچ شامل APARCH , EGARCH , IGARCH , TARCH را مورد بررسی قرار می‌دهیم.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

داده‌های مورد استفاده در این تحقیق، نرخ بازدهی روزانه در بورس اوراق بهادار تهران می‌باشد که به صورت روزانه جمع‌آوری شده است ودورهٔ زمانی ۱۳۷۸/۱/۷ تا ۱۳۸۷/۱۲/۲۸ را تحت پوشش قرار می‌دهد. این داده‌ها از تاریخ ۱۳۷۸/۱/۷ تا ۱۳۸۷/۱۰/۳ دوران درون نمونه را تشکیل می‌دهند که برای تخمین مدل‌ها از این سری استفاده می‌شود و داده‌های باقیمانده (شامل ۵۵ بازده روزانه) دوران برون نمونه را تشکیل می‌دهند که برای پیش‌بینی از این داده‌ها استفاده می‌شود. برای محاسبهٔ این داده‌ها از شاخص قیمت و بازده نقدی مربوط به تمامی شرکتهای پذیرفته شده در بورس اوراق بهادار تهران استفاده می-

گردد. سری زمانی شاخص قیمت و بازده نقدی بازار سهام تهران، از سایت اینترنتی سازمان بورس و اوراق بهادار استخراج شده است. لازم بذکر است نرخ بازده مورد استفاده در مدل‌های مورد بررسی باید یک سری مانا باشد. در غیر اینصورت در حالتی که نرخ بازدهی مورد بررسی نامانا باشد، نرخ بازده مورد قبول باید به نحوی مانا گردد. در این پژوهش برای مانا نمودن سری زمانی مورد بررسی از لگاریتم طبیعی شاخص (TEDPIX) استفاده می‌گردد :

$$r_t = \ln\left(\frac{TEDPIX_t}{TEDPIX_{t-1}}\right) \qquad (۵)$$

با استفاده از لگاریتم طبیعی سری داده‌های اولیه (۲۳۵۵ داده)، سری جدید با ۲۳۵٤ داده بازدهی روزانه بدست می‌آید.همچنین، برای تشخیص صحیح الگوی تغییرات و تخمین سری مورد بررسی از آزمونهای خودهمبستگی و اثرات ARCH برای سری مانا شده استفاده می‌کنیم. به منظور ایجاد یک سری نوسانات حقیقی رویداده، که بر اساس آن، پیش‌بینی‌های نوسانات می‌تواند ایجاد شود، از روش‌های آماری استفاده می‌شود که درآنها به منظور تهیهٔ نوسانات گذشتهٔ دقیق و صحیح از روش Pagan & Schwert (۱۹۹۰) پیروی می‌کنیم. در این روش، مربعات خطای تخمین زده شده از یک معادلهٔ میانگین شرطی برای بازدهیها در کل دورهٔ درون نمونه بدست می‌آید. که نوسانات حقیقی جانشین این مربعات خطا می‌شوند.

یافته‌ها و نتایج

۱- خلاصهٔ تجزیه و تحلیل‌های مرتبط با سریهای زمانی

به طور خلاصه می‌توان گفت که با توجه به نامانایی سری TEDPIX به محاسبهٔ سری بازده روزانهٔ r پرداختیم و نتایج آزمونهای مختلف بر روی این سری بیانگر عدم وجود ریشهٔ واحد، وجود خودهمبستگی و اثرات ARCH می‌باشد. این نکات را در مدلسازی در نظر گرفته و مدل‌های مورد نظر با توجه به این نتایج تخمین زده می‌شوند .

۲- تجزیه و تحلیل خروجی اطلاعات مربوط به مدل‌های مورد بررسی

۲-۱ نتایج مدل Riskmetric

با توجه به توضیحات ارائه شده در خصوص چگونگی محاسبات مربوط به مدل Riskmetric، معادلهٔ این مدل به صورت زیر برای انجام محاسبات در نظر گرفته شده است :

$$\sigma_t^2 = \lambda\sigma_{t-1}^2 + (1-\lambda)r_{t-1}^2 \qquad t = ۲۳۰۱ ,\dots ,۲۳۵۵ \qquad (٦)$$

لازم به ذکر است که پارامتر λ در این مدل ۰/۹٤ در نظر گرفته شده است که یکی از مزایای این مدل است که نیازی به محاسبهٔ پارامتر نیست.(گروه ریسک متریک تنها از یک عامل تنزل برای تمام سریهای مالی خود استفاده می‌کند که برای داده‌های روزانه ۰/۹٤ است).

مقدار آماره‌های MAE , RMSE , Theil برای این مدل در جدول زیر آورده شده است :

جدول ۱: مقادیر آماره‌های ارزیابی خطا در مدل Riskmetric

	MAE	RMSE	Theil
RM	۰/۰۰۲۱۳۸	۰/۰۰۰۲۱٦	۰/۵۸۷۹

همانگونه که ملاحظه می‌گردد ، در این مدل کمترین میزان خطا مربوط به معیار RMSE و بیشترین میزان خطا مربوط به معیار Theil می‌باشد.

۲-۲ مدل GARCH

در این مدل ، واریانس جملات خطا تابعی از واریانس دوره‌های گذشته و توان دوم جملات خطای دوره‌های گذشته می‌باشد و لذا تخمین مورد نظر بر اساس این موارد انجام می‌گردد(معادلهٔ مورد نظر در قسمت ۷-۲ آورده شده است). معادلهٔ میانگین و واریانس برای این مدل به ترتیب به صورت زیر تخمین زده شده است :

$$r_t = 0.0009 + 0.46\, r_{t-1} + 0.29\, r_{t-2} - 0.25\, \varepsilon_{t-2} + \varepsilon_t \qquad (۷)$$
$$(3.59) \quad (21.41) \quad (8.01) \quad (-6.21)$$

$$\sigma_t^2 = 5.37\times 10^{-6} + 0.35\, \varepsilon_{t-1}^2 + 0.46\, \sigma_{t-1}^2 \qquad (۸)$$
$$(25.76) \quad (19.13 \quad (23.29$$

اعداد داخل پرانتز، مقادیر آمارهٔ z برای ضرایب مربوطه می‌باشد و مشاهده می‌گردد که تمامی ضرایب در سطح اطمینان ۹۵٪ معنی‌دار هستند و ضرایب معادلهٔ واریانس نیز نامنفی می‌باشند. بنابراین، شرط منفی نبودن ضرایب رعایت شده است. معیارهای ارزیابی پیش-بینی برای معادلهٔ واریانس GARCH(۱,۱) در جدول زیرنشان داده شده است :

جدول ۲ : مقادیر آماره‌های ارزیابی برای مدل GARCH(۱,۱)

	MAE	RMSE	Theil
G	۰/۰۰٤۲۵۸	۰/۰۰۷۳۰۹	۰/۸۳۱٦۰۵

۲-۳ مدل EGARCH

نتایج تخمین معادلات میانگین و واریانس برای مدل EGARCH به صورت زیر می-باشد:

$$\log\left(\sigma_t^2\right) = \omega + \sum_{i=1}^{p} \alpha_i \left|\frac{\varepsilon_{t-i}}{\sigma_{t-i}}\right| + \sum_{k=1}^{r} \gamma_k \frac{\varepsilon_{t-k}}{\sigma_{t-i}} + \sum_{j=1}^{q} \beta_j \log\left(\sigma_{t-j}^2\right) \qquad (۹)$$

$$r_t = 0.0001 + 0.47\, r_{t-1} + 0.15\, r_{t-2} - 0.15\, \varepsilon_{t-2} + \varepsilon_t \qquad (۱۰)$$
$$(9.50) \quad (19.73) \quad (3.88)$$

$$\ln\left(\sigma_t^2\right) = -3.23 + 0.46 \left|\frac{\varepsilon_{t-1}}{\left(\sigma_{t-1}^2\right)^{0.5}}\right| + 0.04 \frac{\varepsilon_{t-1}}{\left(\sigma_{t-1}^2\right)^{0.5}} + 0.72 \ln\left(\sigma_{t-1}^2\right) \qquad (۱۱)$$
$$(-۱۰,۹٤) \quad (19.11 \quad (3.52) \quad (41.57)$$

همانطور که می‌دانیم در این مدل هیچگونه محدودیتی روی علامت ضرایب وجود ندارد، از اینرو این مدل، مدل مناسبی به نظر می‌رسد. علاوه بر این تمامی ضرایب این مدل، معنی‌دار هستند و معنا داری ضرایب این معادله بسیار بالاست.

معنی‌دار بودن ضریب اول عبارت سمت راست معادلهٔ واریانس، دلالت بر وجود اثرات خوشه‌ای نوسانات دارد. ضریب دوم عبارت سمت راست معادلهٔ واریانس، اثرات نامتقارن شوکها را اندازه می‌گیرد، چون در اینجا این ضریب مخالف صفر است، پس بر وجود اثرات نامتقارن شوکها بر نوسانات دلالت دارد و همچنین می‌بینیم که این ضریب مثبت است کهنشان‌دهنده این است که شوکهای مثبت نسبت به شوکهای منفی با اندازهٔ یکسان، تأثیر بیشتری بر نوسانات شرطی دارند. نتایج حاصل از پیش‌بینی نوسان در جدول زیر نشان داده شده است :

جدول ۳ : مقادیر آماره‌های ارزیابی برای مدل EGARCH(۱,۱,۱)

	MAE	RMSE	Theil
EG	۰/۰۰۵۱۲۸	۰/۰۰۷۸۲۶	۰/۸۷۰۰۷۸

۲-٤ مدل APARCH

دراین مدل بر خلاف مدل‌های قبلی ، در معادلهٔ واریانس به جای ثابت در نظر گرفتن پارامتر توان جزء واریانس ، این پارامتر به صورت بهینه توسط خود مدل تخمین زده می-شود . علاوه بر این ، تعدیل‌هایی نیز برای در نظر گرفتن تأثیر اخبار خوب و بد در نظر گرفته می‌شود . برای این مدل نیز با توجه به روش مدلسازی باکس – جنکینز، معادلات زیر برای میانگین و واریانس، تخمین زده شده است :

$$\sigma_t^{\delta} = \omega + \alpha_1 \left(|\varepsilon_{t-1}| - \gamma \varepsilon_{t-1}\right)^{\delta} + \beta_1 \sigma_{t-1}^{\delta} \qquad (۱۲)$$

$$r_t = 0.001 + 0.48\, r_{t-1} + 0.27\, r_{t-2} - 0.25\, \varepsilon_{t-2} + \varepsilon_t \qquad (۱۳)$$

(3.48) (20.73) (7.49) (−٦.٥٢)

$$\sigma_t^{2.55} = 2.41 \times 10^{-7} + 0.37\,(|\varepsilon_{t-1}| - (-0.11)\varepsilon_{t-1})^{2.55} + 0.41\,\sigma_{t-1}^{2.55} \quad (١٤)$$

(0.84) (14.53) (-٤.٥٤) (15.72)

مقدار آمارهٔ z برای پارامتر توان برابر ۱۲/۰۸ می‌باشد که حاکی از معناداری آن است . همانطور که می‌بینیم ضریب دوم معادلهٔ واریانس (γ) مخالف صفر است که بر اثر عدم تقارن شوکها بر نوسانات دلالت دارد. مقادیر معیارهای ارزیابی عملکرد پیش‌بینی برای این مدل در جدول زیر نشان داده شده است :

جدول ٤ : مقادیر آماره‌های ارزیابی برای مدل APARCH(۱,۱,۱)

	MAE	RMSE	Theil
AP	۰/۰۰٤۳۳۲	۰/۰۰۷۳٤۸	۰/۸۳۸۹۲۰

۲-۵ مدل TARCH

معادلهٔ میانگین و واریانس برای مدل TARCH به ترتیب به صورت زیر تخمین زده شده است :

$$\sigma_t^2 = \omega + \sum_{j=1}^{q} \beta_j\, \sigma_{t-j}^2 + \sum_{i=1}^{p} \alpha_i\, \varepsilon_{t-i}^2 + \sum_{k=1}^{r} \gamma_k\, \varepsilon_{t-k}^2\, I_{t-k} \quad (١٥)$$

$$r_t = 0.001 + 0.48\, r_{t-1} + 0.27\, r_{t-2} - 0.24\, \varepsilon_{t-2} + \varepsilon_t \quad (١٦)$$

(3.99) (24.01) (7.55) (-٦.٠٧)

$$\sigma_t^2 = 5.51 \times 10^{-6} + 0.46\, \varepsilon_{t-1}^2 - 0.21\, I_{t-1}\, \varepsilon_{t-1}^2 + 0.45\, \sigma_{t-1}^2 \quad (١٧)$$

(24.56) (17.93) (-٦.٠٠) (21.11

در این مدل، کلیهٔ ضرایب معنی دار هستند. ضریب دوم معادلهٔ واریانس (γ) مخالف صفر است که مبنی بر وجود اثر اخبار نامتقارن می‌باشد و در اینجا می‌بینیم که این ضریب کوچکتر از صفر است؛ بنابراین شوکهای مثبت نسبت به شوکهای منفی تأثیر نمایان‌تری بر نوسانات دارند. همچنین در مورد این مدل اخبار خوب یک اثر α_i دارد و اخبار بد، یک اثر $\alpha_i + \gamma_i$. بنابراین، در اینجا می‌بینیم که اثر اخبار خوب ۰/٤٦ است در حالیکه اثر اخبار بد ۰/۲۵ می‌باشد، بنابراین اثر اخبار خوب بیشتر است .

نتایج حاصل از پیش‌بینی نوسان در جدول زیر نشان داده شده است :

جدول ۵ : مقادیر آماره‌های ارزیابی برای مدل TARCH(۱,۱,۱)

	MAE	RMSE	Theil
TG	۰/۰۰٤٤۲٦	۰/۰۰۷٤۰۸	۰/۸۲۲۷٤٦

۲-٦ مدل IGARCH

معادلهٔ میانگین و واریانس برای مدل IGARCH به ترتیب به صورت زیر تخمین زده شده است :

$$\sigma_t^2 = \sum_{j=1}^{q} \beta_j \, \sigma_{t-j}^2 + \sum_{i=1}^{p} \alpha_i \, \varepsilon_{t-i}^2 \qquad (۱۸)$$

چنانکه ؛ $\sum_{j=1}^{q} \beta_j + \sum_{i=1}^{p} \alpha_i = 1$

$$r_t = 0.001 + 0.31\, r_{t-1} + 0.41\, r_{t-2} - 0.29\, \varepsilon_{t-2} + \varepsilon_t \qquad (۱۹)$$

(10.69) (25.28) (14.39 (—۹.۰۹)

$$v_t^2 = 0.02\, \varepsilon_{t-1}^2 + 0.97\, v_{t-1}^2 \qquad (۲۰)$$

(37.25) (1628.15

مشاهده می‌شود که ضرایب مدل کاملاً معنی‌دار هستند و حاصل جمع ضرایب معادلهٔ واریانس نزدیک ۱ می‌باشد که دلالت بر پایداری اثر شوکها بر نوسانات دارد. مقادیر معیارهای ارزیابی عملکرد پیش‌بینی برای این مدل در جدول زیر نشان داده شده است :

جدول ٦ : مقادیر آماره‌های ارزیابی برای مدل IGARCH(۱,۱)

	MAE	RMSE	Theil
IG	۰/۰۰٤٦٦۸	۰/۰۰۷۵۳۹	۰/۸۱۷۸۹۰

۳- تجزیه و تحلیل آزمون فرضیه

در فرضیه ادعا می‌شود که قدرت پیش‌بینی مدل Riskmetric در بورس اوراق بهادار تهران بیشتر از مدلهای نوع GARCH است. برای بررسی این فرضیه، از معیارهای ارزیابی خطای ریشهٔ میانگین مربعات خطا (RMSE)، متوسط قدر مطلق خطا (MAE) و تایل (Theil) استفاده می‌شود. هر کدام از روشها که معیار RMSE یا MAE و یا Theil کوچکتری داشته باشد، روش مناسب‌تری برای پیش‌بینی نوسانات خواهد بود.

همانگونه که بیان گردید، متدولوژی اصلی شامل تخمین پارامترهای مدلهای مورد استفاده با استفاده از یکسری داده‌های اولیه از تاریخ ۱۳۷۸/۱/۷ تا ۱۳۸۷/۱۰/۳ (شامل ۲۳۰۰ , ... , T = ۱ مشاهده) و سپس پیش‌بینی خارج از نمونه از تاریخ ۱۳۸۷/۱۰/٤ تا ۱۳۸۷/۱۲/۲۸ (برای ۲۳۵۵ , ... , T = ۲۳۰۱) با ۵۵ مشاهده می‌باشد. لازم بذکر است که ۵۵ مشاهدهٔ مذکور برای روزهای کاری در نظر گرفته شده است و پیش‌بینی مورد نظر به شکل پویا می‌باشد. مقایسهٔ خطای پیش‌بینی مدلهای ریسک متریک و گارچ با توجه به معیارهای ارزیابی خطا در جدول ۷ نشان داده شده است :

جدول ۷ : مقایسهٔ توان پیش‌بینی مدل‌های مختلف

مدل	MAE	RMSE	Theil
RM	۰/۰۰۲۱۳۸	۰/۰۰۰۲۱٦	۰/۵۸۷۹
G	۰/۰۰٤۲۵۸	۰/۰۰۷۳۰۹	۰/۸۳۱٦۰۵
EG	۰/۰۰۵۱۲۸	۰/۰۰۷۸۲٦	۰/۸۷۰۰۷۸
AP	۰/۰۰٤۳۳۲	۰/۰۰۷۳٤۸	۰/۸۳۸۹۲۰
TG	۰/۰۰٤٤۲٦	۰/۰۰۷٤۰۸	۰/۸۲۲۷٤٦
IG	۰/۰۰٤٦٦۸	۰/۰۰۷۵۳۹	۰/۸۱۷۸۹۰

با توجه به این جدول، در مجموع مدل Riskmetric پیش‌بینی بهتری نسبت به مدل‌های نوع GARCH انجام داده است.

با توجه به معیارهای سه گانهٔ Theil , RMSE , MAE برای تشخیص بهترین مدل برای پیش‌بینی، می‌توان نتایج مجموعه اطلاعات جدول ۷ را به شکل مجزا برای هر یک از معیارهای مورد نظررتبه‌بندی کرد :

جدول ۸: رتبه‌بندی بر اساس معیار Theil

رتبه	مدل
۱	RM
٤	G
٦	EG
۵	AP
۳	TG
۲	IG

جدول ۹: رتبه‌بندی بر اساس معیار RMSE

رتبه	مدل
۱	RM
۲	G
٦	EG
۳	AP
٤	TG
٥	IG

جدول۱۰: رتبه‌بندی بر اساس معیار MAE

رتبه	مدل
۱	RM
۲	G
٦	EG
۳	AP
٤	TG
٥	IG

با مقایسهٔ معیارهای ارزیابی خطا ملاحظه می‌شود که بر اساس هر سه معیار، مدل Riskmetric به طور قابل ملاحظه‌ای بهترین عملکرد را در مقایسه با پنج مدل دیگر دارد. و در میان مدل‌های نوع GARCH می‌بینیم که بر اساس معیار ارزیابی RMSE و MAE ، مدل GARCH استاندارد بهترین عملکرد را بعد از مدل Riskmetric دارد و بر اساس معیار Theil مدل IGARCH دارای دومین بهترین عملکرد می‌باشد. ملاحظه می‌شود که براساس معیارهای ارزیابی MAE و RMSE به دلیل ویژگیهای مشابه این دو معیار، نتایج یکسانی برای عملکرد مدل‌ها بدست می‌آید اما براساس معیار Theil نتایج متفاوت است. به جز اینکه مدل EGARCH براساس هر سه معیار ارزیابی، دارای بدترین عملکرد پیش-

بینی نوسانات و مدل Riskmetric بر اساس هر سه معیار، دارای بهترین عملکرد پیش‌بینی نوسانات برای شاخص قیمت و بازده نقدی بورس اوراق بهادار تهران می‌باشد.

نتیجه گیری و بحث و پیشنهادات

با توجه به کمبود مطالعات کاربردی در ایران در خصوص رفتار نوسان و توانایی پیش-بینی آن توسط مدل‌های مختلف، هدف این مقاله این است که این موضوع را مورد ارزیابی قرار دهد که آیا مدل سادهٔ Riskmetric با توجه به نقص‌هایی از قبیل واریانس غیر شرطی و یا ناتوانی در ایجاد پیش‌بینی‌های با افق زمانی بلند مدت، از کفایت لازم برای پیش‌بینی نوسانات در بورس اوراق بهادار تهران برخوردار است. به این منظور در این تحقیق، عملکرد پیش‌بینی روش هموارسازی نمایی Riskmetric با پنج مدل GARCH مورد مقایسه قرار گرفت .

در این میان، مدل‌های EGARCH , APARCH و TARCH برای نشان دادن عدم تقارن بین شوکهای مثبت و منفی؛ و مدل IGARCH برای نشان دادن تداوم حافظهٔ بلند مدت ارائه شده‌اند. منظور از تداوم حافظهٔ بلند مدت این است که شوکها در طول افق زمانی بلند مدت، یک تأثیر شرطی روی نوسانات دارند، اما چنانکه اثرات شوکها از بین برود، آن نوسانات سرانجام مانا می‌شود. همانگونه که ملاحظه گردید، در کل عملکرد پیش‌بینی مدل Riskmetric بهتر از مدل‌های نوع GARCH بود.

همانگونه که ملاحظه می‌شود، تفاوتی در رتبه‌بندی معیارهای RMSE و MAE وجود ندارد. امانتایج بدست آمده از معیار Theil به دلیل ویژگیهای متفاوت آن نسبت به دوآمارهٔ دیگر، متفاوت می‌باشد.طبق این جدول، مدل Riskmetric در هر سه معیار دارای رتبهٔ یک است. که این نشان می‌دهد که با استفاده از مشاهدات نزدیک و دور، با دادن وزن به هرکدام از مشاهدات، به صورت نمایی کاهنده می‌توان فرایند آتی سری زمانی بازده را به خوبی پیش‌بینی کرد. به عبارت دیگر، در این مدل به هر کدام از مشاهدات وزن داده می-

شود و مشاهدات نزدیکتر نسبت به مشاهدات دورتر وزن بیشتری می‌گیرند که این می-تواند سبب پیش‌بینی بهتری از نوسانات گردد.

درجدول زیرمدل‌ها براساس رتبه‌هایی که با توجه به معیارهای مختلف ارزیابی خطا بدست آورده‌اند نمایش داده شده‌اند :

جدول۱۱ : انتخاب مدل‌ها با توجه به معیارهای پیش‌بینی

رتبه	MAE	RMSE	Theil
۱	Riskmetric	Riskmetric	Riskmetric
۲	GARCH	GARCH	IGARCH
۳	APARCH	APARCH	TARCH
٤	TARCH	TARCH	GARCH
٥	IGARCH	IGARCH	APARCH
٦	EGARCH	EGARCH	EGARCH

بر اساس معیارهای RMSE و MAE مدل‌های واریانس شرطی به استثنای مدل APARCH و خود مدل GARCH ، عملکرد مناسبی نداشته‌اند و بر اساس معیار Theil می‌بینیم که نتایج متفاوت است. در مورد مدل گارچ توانی نامتقارن ، همانطور که می‌دانیم تمرکز اصلی بر عدم تقارن شوکهای مثبت و منفی بر نوسانات می‌باشد. به نظر می‌رسد عملکرد خوب این مدل نشان دهندهٔ این است که در داده‌های مورد استفاده، اثر شوکهای مثبت و منفی بر نوسانات متفاوت می‌باشد. و توجه بیشتر به این موضوع و در نظر گرفتن آن در مدلسازی مدل‌های شرطی می‌تواند منجر به نتایج بهتری شود. اما برای نشان دادن اینکه اثر شوکهای مثبت بر نوسانات بیشتر است یا شوکهای منفی، از مدل‌های EGARCH و TARCH استفاده کردیم که عملکرد پیش‌بینی این مدل‌ها چندان مناسب نمی‌باشد. و نتایج بدست آمده از آنها حاکی از آن است که در دورهٔ داده‌های مورد بررسی، اثر شوکهای مثبت بر نوسانات بیشتر است.

توضیحی که برای این نتیجه وجود دارد این است که در دورهٔ مورد بررسی غالباً وجود اخبار منفی، مورد انتظار سرمایه گذاران بوده و بنابراین اخبار مثبت تأثیر بیشتری بر تصمیم‌گیری‌های آنها داشته است، لذا شوک‌های مثبت اثر بیشتری بر نوسانات داشته است. بطور کلی نتیجهٔ مطالعهٔ مورد بررسی نشان می‌دهد که :

با توجه به اینکه بازار سهام ایران جزء بازارهای نوظهور می‌باشد، همانطور که انتظار می‌رود یک مدل ساده که در آن از مفروضات ساده استفاده شده و نیاز به تخمین پارامترهای مختلف در آن وجود ندارد، از قابلیت بیشتری برای پیش‌بینی نوسان در این بازار برخوردار می‌باشد.

با توجه به نتایج پژوهش بر اساس معیارهای سنجش مدل‌های بکارگرفته شده، پیشنهاد می‌گردد:

۱- برای تخمین داده‌های مرتبط با نوسان از مدل‌های برتر شامل Riskmetric و GARCH استاندارد استفاده نمود .

۲- هر کدام از مدل‌های واریانس شرطی برای بررسی موضوع خاصی طراحی شده‌اند، از اینرو بسته به هدف مورد نظر باید از آنها بهره جست. به طور مثال اگر تمرکز اصلی بر روی تأثیر اخبار خوب و بد باشد می‌توان از مدل EGARCH و یا TARCH استفاده کرد و یا اینکه اگر هدف، بررسی حافظهٔ بلند مدت در نوسانات است از مدل IGARCH استفاده نمود. بر طبق ویژگیهای مختلفی که این مدل‌ها دارند، تفاوتهایی هم در عملکرد پیش‌بینی آنها مشاهده می‌شود .

همچنین با توجه به نتیجه مطالعه و به منظور اینکه حساسیت نتایجمان به انتخاب فرکانس نمونه مورد سنجش قرار گیرد، پیشنهاد می‌شود که:

۱- در مطالعات آتی همهٔ ارزیابی‌های پیش‌بینی برای فرکانس داده‌های ماهانه، هفتگی و روزانه انجام شوند. انگیزهٔ کاربردی این بررسی آن است که هنگامی که تصمیمات سرمایه-

گذاری کوتاه مدت تاکتیکی و ارزیابی مشتقات بی دوام، مکرراً روی پیش‌بینی‌های کوتاه مدت نوسانات تمرکز می‌کنند، تصمیمات استراتژیک و ارزیابی سرمایه‌های با دوام نیاز به پیش‌بینی‌های بلند مدت نوسانات دارد. ملاحظهٔ عملکرد پیش‌بینی نوسانات در سرتاسر فرکانس‌های مختلف و به موجب آن، افقهای زمانی مختلف، ابزار مناسب چنین ملاحظاتی را فراهم می‌کند و موضوعی است که به احتمال زیاد مورد علاقهٔ چنین شرکت کنندگان بازار است به عنوان مدیران شاخص که سرمایه را پیگیری می‌کنند و نیاز دارند که از نوسانات این شاخصها در فرکانس‌های مختلف آگاه باشند .

۲- سه آمارهٔ خطا که در این تحقیق برای ارزیابی عملکرد پیش‌بینی مدل‌های مختلف مورد استفاده قرار گرفت، دارای تابع نقصان متقارن هستند یعنی در آنها به پیش‌بینی کمتر از حد نوسانات و یا بیشتر از حد نوسانات وزن یکسانی داده می‌شود، که برای مواردی که در آنها برای خطای پیش‌بینی از اهمیت یکسانی برخوردار است (مثل انتخاب پرتفولیو) کاربردی هستند. اما از نظر عملی، قابل تصور است که از دید بسیاری از سرمایه‌گذاران، پیش‌بینی‌های بیش از حد و کمتر از حد نوسانات با اندازهٔ یکسان از اهمیت یکسانی برخوردار نخواهد بود. خصوصاً با توجه به اینکه هم اکنون سازمان بورس و اوراق بهادار کشور در صدد ایجاد قراردادهای اختیار معامله[٤] می‌باشد، توجه به این نکته در این زمینه از اهمیت قابل ملاحظه‌ای برخوردار است.

برای مثال، رابطهٔ مثبت بین نوسانات قیمتهای سهام اصلی و قیمتهای آپشن را در نظر بگیرید. یک پیش‌بینی کمتر از حد نوسانات قیمت سهام، منجر به یک تخمین تورش دار به سمت پایین قیمت آپشن‌ها خواهد شد. این تخمین کمتر از حد قیمت آپشن، مسلماً برای فروشنده موضوع مهمتری است نسبت به خریدار و برعکس آن در مورد پیش‌بینی بیش از حد نوسانات قیمت سهام صادق است. بر این اساس توصیه می‌گردد که در مطالعات آتی این نکته مورد توجه قرار داده شود و علاوه بر آماره‌های خطای متقارن از آماره‌های خطا با توابع نقصان نامتقارن که پیش‌بینی کمتر از حد و یا پیش‌بینی بیشتر از حد را بشدت

مؤاخذه می‌کنند استفاده گردد که این می‌تواند نتایج کاربردی زیادی برای دست‌اندرکاران بازار سرمایه داشته باشد .

فهرست منابع

۱) احمدپور، احمد و سلیم، فرشاد و غلامی کیان، علیرضا،(۱۳۸٦) شاخص‌های بورس اوراق بهادار (با تأکید بر شاخصهای قیمتی)، تهران، انتشارات ترمه.

۲) ازکیا، مصطفی و دربان آستانه، علیرضا،(۱۳۸۲) روش‌های کاربردی تحقیق، انتشارات کیهان، چاپ اول.

۳) اندرز، والتر،(۱۳۸٦) اقتصاد سنجی سری‌های زمانی با رویکرد کاربردی، ترجمه مهدی صادقی و سعید شوال پور، انتشارات دانشگاه امام صادق، چاپ اول.

٤) باکس، جورج و جنکینز، گویلیم،(۱۳۷۱) تحلیل سریهای زمانی: پیش‌بینی و کنترل، ترجمه محمد رضا مشکانی، انتشارات دانشگاه شهید بهشتی.

۵) چتفیلد، سی،(۱۳۷۲) مقدمه‌ای بر تحلیل سریهای زمانی، ترجمه حسینعلی نیرومند و ابولقاسم بزرگ نیا، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.

6) Akigiray, V. (1989). Conditional heteroscedasticity in time series of stock returns. Journal of Business, 62, 55−80.
7) Andersen, T. G., & Bollerslev, T. (1998). Answering the skeptics:Yes, standard volatility models do provide accurate forecasts. International Economic Review, 39, 885−905.
8) Andersen, T. G., Bollerslev, T., & Lange, S. (1999). Forecasting financial market volatility: Sample frequency vis-a-vis forecast horizon. Journal of Empirical Finance, 6,457−477.
9) Baillie, R. T., Bollerslev, T., & Mikkelsen, H. O. (1996). Fractionally integrated generalized autoregressive conditional heteroscedasticity. Journal of Econometrics, 74, 3−30.
10) Bera, A. K., & Higgins, M. L. (1993). ARCH models: Properties, estimation and testing. Journal of Economic Surveys, 7, 305−362.
11) Bollerslev, T., Chou, R. Y., & Kroner, K. F. (1992). ARCH modelling in finance. Journal of Econometrics, 52, 5−59.

12) Brailsford, T. J., & Faff, R. W. (1996). An evaluation of volatility forecasting techniques. Journal of Banking and Finance, 20, 419−438.
13) Brooks, C. Introductory Econometrics for Finance. Cambridge University Press.2000.
14) Chong, Y. Y., & Hendry, D. F. (1986). Econometric evaluation of linear macroeconomic models. Review of Economic Studies, 53, 671−690.
15) Cumby, R., Figlewski, S., & Hasbrouck, J. (1993). Forecasting volatility and correlations with EGARCH models. Journal of Derivatives, 1, 51−63.
16) Davidson, J. (2004). Moment and memory properties of linear conditional heteroscedasticity models, and a new model. Journal of Business and Economics Statistics, 22, 16−29.
17) Dimson, E. and Marsh, P.R. (1990).Volatility forecasting without data-snooping. Journal of Banking and Finance, 14,399-421.
18) Davidson, J. (2004). Moment and memory properties of linear conditional heteroscedasticity models, and a new model. Journal of Business and Economics Statistics, 22, 16−29.
19) Ding, Z., Granger, C.W. J., & Engle, R. F. (1993). A long memory property of stock market returns and a new model. Journal of Empirical Finance,1, 83−106.
20) Engle, R. F., & Manganelli, S. (2004). CAViaR: Conditional autoregressive value at risk by regression quantiles. Journal of Business and Economic Statistics, 22, 367−381.
21) Figlewski, S. (1997). Forecasting volatility. Financial Markets, Institutions and Instruments,6, 1−88.
22) Hansen, P. R. (2005). A test for superior predictive ability. Journal of Business and Economic Statistics, 23, 365−380.
23) Hansen, P. R., Kim, J., & Lunde, A. (2003). Testing for superior predictive accuracy using Ox: A manual for SPA for Ox. Available from Peter Hansen, Stanford University.
24) 24 Hansen, P. R., & Lunde, A. (2005). A forecast comparison of volatility models: Does anything beat a GARCH(1,1)? Journal of Applied Econometrics, 20, 873−889.
25) Jorion, P. (1995). Predicting volatility in the foreign exchange market. Journal of Finance, 50, 507−528.

26) Jorion, P. (1996). Risk and turnover in the foreign exchange market. In J. A. Franke, G. Galli & A. Giovannini (Eds.), The Microstrucutre of Foreign Exchange Markets Chicago: Chicago University Press.
27) McMillan, D.G., Kambouroudis, D. (2009). Are Riskmetrics forecasts good enough ? Evidence from 31 stock markets. International Review of Financial Analysis, 18, 117-124.
28) McMillan, D. G., & Speight, A. (2004). Daily volatility forecasts: Reassessing the performance of GARCH models. Journal of Forecasting, 23, 449−460.
29) McMillan, D. G., Speight, A., & ap Gwilym, O. (2000). Forecasting UK stock market volatility: A comparative analysis of alternate methods. Applied Financial Economics,10, 435−448.
30) Pafka, S., Kondor, I. (2001). Evaluating the Riskmetrics methodology in measuring volatility and Value-at-Risk in financial markets, 299,305-310.
31) Nelson, D. B. (1991). Conditional heteroscedasticity in asset returns: A new approach. Econometrica, 59, 347−370.
32) Pagan, A. R., & Schwert, W. (1990). Alternative models for conditional stock volatility. Journal of Econometrics, 45, 267−290.
33) Rashid, A., Ahmad, S. (2008). Predicting stock returns volatility : An evaluation of linear vs. nonlinear methods. Journal of Finance and Economics, 20, 1450-2887.
34) Schwert, W. (1990). Stock volatility and the crash of '87. Review of Financial Studies, 3, 77−102.

یادداشت‌ها

1-Volatility
2- Markov Switching Regime
۳ شرطی در اینجا به معنی این است که در گروه اطلاعات در زمان t شرطی است که معمولاً شامل سریهای بازدهی گذشتهٔ موجود در زمان t می‌باشد .
4- Option