



دانشکده‌ی ریاضی
ریاضی-ریاضی مالی

مقایسه‌ی مدل‌های GARCH، E-GARCH و GAS در پیش‌بینی تلاطم قیمت نفت و گاز طبیعی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد

امیرحسین طاهرخانی

اساتید راهنما: حسن داداشی آرانی

علی آقا محمدی

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

تقدیم بہ پدر و مادر عزیزم۔

تشکر و قدردانی

سپاس خداوندگار حکیم را که نعمت علم آموزی و توفیق پژوهش را ارزانی ام داشت. از پدر و مادر عزیزم که با محبت بی پایان و گرمای امیدبخش حضورشان، بهترین پشتیبان من بودند و مرا در مراحل سخت زندگی یاری نمودند، صمیمانه قدردانی می کنم. در پایان، از زحمات بسیار اساتید راهنمای خود، جناب آقای دکتر علی آقامحمدی و دکتر حسن داداشی آرانی صمیمانه تشکر می کنم که با راهنمایی های حکیمانه ی ایشان این پژوهش به پایان رسید. برایشان طول عمر با عزت همراه با سربلندی آرزو مندم. از تمامی استادان فرهیخته ای که در طول دوران تحصیل افتخار شاگردی شان را داشته ام و از علم و تجربه شان بهره مند شده ام، سپاسگزارم. همچنین از اساتید بزرگواری که زحمت داوری این پایان نامه را متقبل شدند، کمال تشکر را دارم.

چکیده

با توجه به اینکه بیش از یک سوم انرژی مصرفی جهان از نفت و گاز طبیعی تأمین می‌شود، نوسانات قیمتی در این بازارها تأثیر بسزایی در اقتصاد جهانی و تصمیمات سرمایه‌گذاری دارد. از این رو، پیش‌بینی دقیق بازده و تلاطم بازارهای انرژی به‌ویژه در بازه‌های زمانی مختلف، از اهمیت فراوانی برخوردار است. در این پژوهش، با هدف ارزیابی دقت پیش‌بینی و تحلیل رفتار بازده و تلاطم بازار انرژی، با بهره‌گیری از مدل‌های سری‌زمانی شامل GARCH، EGARCH و GAS، به بررسی رفتار بازده و تلاطم سه دارایی کلیدی نفت خام برنت، نفت خام غرب تگزاس و گاز طبیعی پرداخته شده است. پیش‌بینی‌ها در افق‌های زمانی کوتاه‌مدت (۱ و ۵ روزه)، میان‌مدت (۲۰ روزه) و بلندمدت (۶۰ روزه) انجام شده‌اند تا پویایی رفتار بازار در این دوره‌ها مورد بررسی قرار گیرد. به منظور ارزیابی عملکرد مدل‌ها، از رویکرد پنجره غلتان برای برازش‌های پیاپی و از آزمون‌های نرخ برتری، RMSE، دایبولد-ماریانو و CSSFED بهره گرفته شده است. نتایج این پژوهش نشان داد که دقت پیش‌بینی مدل‌ها در شرایط مختلف و بازه‌های زمانی متغیر است؛ از این رو کاربران بسته به اهداف تحلیلی خود، باید در انتخاب مدل بهینه دقت داشته باشند. همچنین، مقایسه عملکرد مدل‌ها در افق‌های مختلف زمانی، اهمیت انتخاب افق مناسب را در تحلیل‌های کاربردی برجسته می‌سازد. یافته‌های حاصل می‌توانند راهنمایی مؤثر برای تحلیل‌گران بازار، مدیران سرمایه‌گذاری و سیاست‌گذاران اقتصادی باشد که در پی بهینه‌سازی تصمیمات مبتنی بر پیش‌بینی هستند. در مجموع، بهره‌گیری از رویکردی ساخت‌یافته در ارزیابی دقت پیش‌بینی می‌تواند به ارتقاء استراتژی‌های مدیریت ریسک در بازار انرژی منجر شود.

واژه‌های کلیدی: گاز، ای‌گاز، گاز، گارچ‌نمایی، پیش‌بینی، تلاطم، نوسانات، نفت، گاز طبیعی، برنت، سری‌زمانی، مقایسه مدل

فهرست

چکیده	.....	پنج
۱ تعاریف و مفاهیم پایه	.....	۱
۱.۱ سری زمانی	.....	۱
۱.۱.۱ معیارهای مهم در بررسی سری‌های زمانی	.....	۲
۲.۱.۱ انواع توزیع‌های آماری	.....	۴
۲.۱ آزمون‌های بررسی نرمال و ایستا بودن توزیع داده‌ها	.....	۶
۱.۲.۱ آزمون فرض آماری	.....	۷
۲.۲.۱ آزمون جاک-برا	.....	۸
۳.۲.۱ مانایی	.....	۸
۴.۲.۱ آزمون دیکی-فولر	.....	۹
۵.۲.۱ مراجع قیمت نفت و گاز طبیعی	.....	۱۰
۲ پیش‌بینی تلاطم	.....	۱۲
۱.۰.۲ بازده	.....	۱۳
۲.۰.۲ تلاطم	.....	۱۴
۳.۰.۲ ویژگی‌های تلاطم	.....	۱۶

۱۷	انواع مدل‌های سری‌زمانی	۱.۲
۱۷	مدل میانگین متحرک (MA)	۱.۱.۲
۱۸	مدل اتورگرسیون (AR)	۲.۱.۲
۱۸	مدل اتورگرسیون میانگین متحرک (ARMA)	۳.۱.۲
۱۹	مدل‌های اتورگرسیون واریانس ناهمسان شرطی	۲.۲
۱۹	مدل ARCH	۱.۲.۲
۲۱	تعمیم مدل‌های اتورگرسیون واریانس ناهمسان شرطی (GARCH)	۲.۲.۲
	مدل اتورگرسیون واریانس ناهمسان شرطی تعمیم‌یافته نمایی (E-GARCH)	۳.۲.۲
۲۱		
۲۲	مدل اتورگرسیون تعمیم‌یافته امتیازی (GAS)	۴.۲.۲

۲۶	نحوه‌ی اعمال برآزش داده‌ها	۳
۲۶	مقدمه	۱.۳
۲۶	معیارهای انتخاب مراجع قیمت نفت	۲.۳
۳۰	بررسی داده‌ها	۱.۲.۳
۳۰	محاسبه بازده‌ها	۲.۲.۳
۳۴	روش برآزش مدل‌ها	۳.۳
۳۴	برآزش درون‌نمونه‌ای	۱.۳.۳
۳۵	پیش‌بینی تلاطم و بازده	۲.۳.۳
۳۷	آزمون‌های بررسی دقت پیش‌بینی	۴.۳
۳۸	آزمون دایبولد-ماریانو	۱.۴.۳
۳۹	آزمون ریشه میانگین مربع خطاها	۲.۴.۳
۴۰	نرخ برتری	۳.۴.۳

۴۰	نمودار مجموع انباشته مربع تفاوت خطای پیش‌بینی	۴.۴.۳
۴۲	۴ نتایج برازش‌ها	
۴۲	نتایج درون‌نمونه‌ای	۱.۰.۴
۴۵	نتایج آزمون‌های پیش‌بینی برون‌نمونه‌ای یک قدم بازده	۲.۰.۴
۴۹	نتایج آزمون‌های دقت پیش‌بینی برون‌نمونه‌ای ۵ قدم بازده	۳.۰.۴
۵۲	نتایج آزمون‌های پیش‌بینی برون‌نمونه‌ای ۲۰ قدم بازده	۴.۰.۴
۵۶	نتایج آزمون‌های پیش‌بینی برون‌نمونه‌ای ۶۰ قدم بازده	۵.۰.۴
۶۰	نتایج آزمون‌های پیش‌بینی برون‌نمونه‌ای یک قدم تلاطم	۶.۰.۴
۶۵	نتایج آزمون‌های پیش‌بینی برون‌نمونه‌ای ۵ قدم تلاطم	۷.۰.۴
۶۸	نتایج آزمون‌های دقت پیش‌بینی ۲۰ قدم تلاطم	۸.۰.۴
۷۲	نتایج آزمون‌های پیش‌بینی برون‌نمونه‌ای ۶۰ قدم تلاطم	۹.۰.۴
۷۵	بررسی عملکرد مدل‌ها در افق‌های مختلف پیش‌بینی	۱۰.۰.۴
۷۶	نتیجه‌گیری و پیشنهادها	۱.۴
۷۶	نتیجه‌گیری	۱.۱.۴
۷۷	پیشنادهایی برای تحقیقات آتی	۲.۱.۴
۷۸	مراجع	
۸۷	واژه‌نامه	

فهرست تصاویر

۱۰.۱	توزیع نرمال استاندارد	۵
۲۰.۱	توزیع تی با درجه‌ی آزادی ۵.	۶
۱۰.۳	نمودار شمعی گاز طبیعی .	۲۷
۲۰.۳	نمودار شمعی نفت خام برنت.	۲۸
۳۰.۳	نمودار شمعی نفت خام غرب تگزاس.	۲۹
۴۰.۳	نمودار بازده‌ها دارایی‌های مالی مورد بررسی.	۳۱
۵۰.۳	هیستوگرام بازده‌های نفت خام غرب تگزاس.	۳۳
۶۰.۳	هیستوگرام بازده‌های گاز طبیعی.	۳۳
۷۰.۳	هیستوگرام بازده‌های نفت خام برنت.	۳۳
۸۰.۳	[۴۵] ساختار پنجره غلتان .	۳۶
۹۰.۳	روندنا پنجره غلتان استفاده‌شده در این پژوهش .	۳۷
۱۰.۴	نمودار CSSFED بازده یک قدم نفت خام غرب تگزاس مدل‌های مورد بررسی .	۴۶
۲۰.۴	نمودار CSSFED پیش‌بینی یک قدم بازده نفت خام برنت مدل‌های مورد بررسی	۴۷
۳۰.۴	نمودار CSSFED پیش‌بینی یک قدم بازده گاز طبیعی مدل‌های مورد بررسی . .	۴۷

۴.۴	نمودار CSSFED پیش‌بینی ۵ قدم بازده نفت خام غرب تگزاس مدل‌های مورد
۵۰	بررسی
۵.۴	نمودار CSSFED پیش‌بینی ۵ قدم بازده گاز طبیعی مدل‌های مورد بررسی . . .
۶.۴	نمودار CSSFED پیش‌بینی ۵ قدم سه مدل مورد بررسی در دارایی مالی نفت خام
۵۱	برنت
۷.۴	نمودار CSSFED پیش‌بینی ۲۰ قدم بازده نفت خام غرب تگزاس مدل‌های مورد
۵۴	بررسی
۸.۴	نمودار CSSFED پیش‌بینی ۲۰ قدم بازده نفت خام برنت مدل‌های مورد بررسی
۹.۴	نمودار CSSFED پیش‌بینی ۲۰ قدم بازده گاز طبیعی مدل‌های مورد بررسی . .
۱۰.۴	نمودار CSSFED پیش‌بینی ۶۰ قدم بازده نفت خام غرب تگزاس مدل‌های مورد
۵۸	بررسی
۱۱.۴	نمودار CSSFED پیش‌بینی ۲۰ قدم بازده نفت خام برنت مدل‌های مورد بررسی
۱۲.۴	نمودار CSSFED پیش‌بینی ۶۰ قدم بازده گاز طبیعی مدل‌های مورد بررسی . .
۱۳.۴	نمودار CSSFED پیش‌بینی یک قدم تلاطم نفت خام برنت مدل‌های مورد بررسی
۱۴.۴	نمودار CSSFED پیش‌بینی یک قدم تلاطم گاز طبیعی مدل‌های مورد بررسی . .
۱۵.۴	نمودار CSSFED پیش‌بینی یک قدم تلاطم نفت خام غرب تگزاس مدل‌های مورد
۶۳	بررسی
۱۶.۴	نمودار CSSFED پیش‌بینی ۵ قدم تلاطم گاز طبیعی مدل‌های مورد بررسی . . .
۱۷.۴	نمودار CSSFED پیش‌بینی ۵ قدم تلاطم نفت خام برنت مدل‌های مورد بررسی
۱۸.۴	نمودار CSSFED پیش‌بینی یک قدم تلاطم نفت خام غرب تگزاس مدل‌های مورد
۶۷	بررسی
۱۹.۴	نمودار CSSFED پیش‌بینی ۲۰ قدم تلاطم نفت خام برنت مدل‌های مورد بررسی

۲۰.۴	نمودار CSSFED پیش‌بینی ۲۰ قدم تلاطم نفت خام غرب تگزاس مدل‌های مورد
۷۰	بررسی
۲۱.۴	نمودار CSSFED پیش‌بینی ۲۰ قدم تلاطم گاز طبیعی مدل‌های مورد بررسی . .
۲۲.۴	نمودار CSSFED پیش‌بینی ۶۰ قدم تلاطم نفت خام غرب تگزاس مدل‌های مورد
۷۳	بررسی
۲۳.۴	نمودار CSSFED پیش‌بینی ۶۰ قدم تلاطم گاز طبیعی مدل‌های مورد بررسی . .
۷۴	نمودار CSSFED پیش‌بینی ۶۰ قدم تلاطم نفت خام یرنت مدل‌های مورد بررسی

فهرست جداول

۱۰۳	آمار توصیفی برای قیمت برنت، گاز طبیعی و نفت خام غرب تگزاس	۳۰
۲۰۳	آمار توصیفی بازده‌های برنت، گاز طبیعی و نفت خام غرب تگزاس	۳۲
۱۰۴	جدول پارامترهای درون نمونه‌ای مدل $GARCH$	۴۳
۲۰۴	جدول پارامترهای درون نمونه‌ای $E - GARCH$	۴۴
۳۰۴	جدول پارامترهای درون نمونه‌ای مدل GAS	۴۴
۴۰۴	نتایج آزمون ریشه میانگین مربع خطاها پیش‌بینی یک قدم بازده	۴۵
۵۰۴	نرخ برتری مدل‌ها در پیش‌بینی یک قدم بازده	۴۶
۶۰۴	نتایج آزمون دایبولد-ماریانو برای پیش‌بینی یک قدم بازده	۴۸
۷۰۴	رتبه‌بندی مدل‌ها برای پیش‌بینی یک قدم بازده	۴۸
۸۰۴	جدول نرخ برتری مدل‌های مورد بررسی در پیش‌بینی پنج قدمی بازده	۴۹
۹۰۴	جدول ریشه میانگین مجذور خطاهای پیش‌بینی بازده ۵ قدم مدل‌های مورد بررسی	۴۹
۱۰۰۴	مقادیر نتایج آزمون دایبولد-ماریانو برای پیش‌بینی ۵ قدم بازده	۵۲
۱۱۰۴	رتبه بندی مدل‌ها بر اساس تایج آزمون دایبولد-ماریانو برای پیش‌بینی ۵ قدم بازده	۵۲
۱۲۰۴	جدول ریشه میانگین مجذور خطاهای پیش‌بینی بیست قدم بازده مدل‌های مورد	
۵۳	بررسی	

۱۳.۴	نرخ برتری مدل‌های مورد بررسی در پیش‌بینی بیست قدمی بازده	۵۳
۱۴.۴	مقادیر نتایج آزمون دایبولد-ماریانو برای پیش‌بینی ۲۰ قدم بازده	۵۶
۱۵.۴	جدول رتبه‌بندی مدل‌ها بر اساس آزمون دایبولد-ماریانو (پیش‌بینی ۲۰ قدم بازده)	۵۶
۱۶.۴	نتایج نرخ برتری پیش‌بینی شصت قدم بازده	۵۷
۱۷.۴	نتایج RMSE های پیش‌بینی برون‌نمونه‌ای ۶۰ قدمی بازده	۵۷
۱۸.۴	نتایج آزمون دایبولد-ماریانو برای پیش‌بینی ۶۰ قدم بازده	۶۰
۱۹.۴	رتبه‌بندی مدل‌ها برای پیش‌بینی شصت قدمی بازده	۶۰
۲۰.۴	نتایج ریشه میانگین مربع خطاهای پیش‌بینی یک قدم تلاطم	۶۱
۲۱.۴	نرخ برتری مدل‌های مورد بررسی در پیش‌بینی یک قدم تلاطم	۶۱
۲۲.۴	نتایج آزمون دایبولد-ماریانو برای پیش‌بینی یک قدم تلاطم	۶۴
۲۳.۴	رتبه‌بندی مدل‌ها برای پیش‌بینی یک قدم تلاطم (بر اساس آزمون دایبولد-ماریانو)	۶۴
۲۴.۴	نتایج ریشه میانگین مربع خطاهای پیش‌بینی ۵ قدم تلاطم	۶۵
۲۵.۴	جدول نرخ برتری مدل‌های مورد بررسی در پیش‌بینی ۵ قدم تلاطم	۶۵
۲۶.۴	نتایج آزمون دایبولد-ماریانو برای پیش‌بینی ۵ قدم تلاطم	۶۷
۲۷.۴	رتبه‌بندی مدل‌ها برای پیش‌بینی نوسانات	۶۸
۲۸.۴	نتایج ریشه میانگین مربع خطاهای پیش‌بینی تلاطم ۲۰ قدم	۶۸
۲۹.۴	نرخ برتری برای مدل‌های مورد بررسی در پیش‌بینی ۲۰ قدم تلاطم	۶۸
۳۰.۴	مقادیر نتایج آزمون دایبولد-ماریانو برای پیش‌بینی ۲۰ قدم تلاطم	۷۱
۳۱.۴	رتبه‌بندی مدل‌ها بر اساس آزمون دایبولد-ماریانو (۲۰ قدم تلاطم)	۷۱
۳۲.۴	نتایج ریشه میانگین مربع خطاهای پیش‌بینی ۶۰ قدم تلاطم	۷۲
۳۳.۴	نتایج نرخ برتری پیش‌بینی ۶۰ قدمی نوسانات برای دارایی‌ها	۷۲
۳۴.۴	نتایج آزمون دایبولد-ماریانو برای پیش‌بینی ۶۰ قدم تلاطم	۷۴

- ۳۵.۴ رتبه‌بندی مدل‌ها برای ۶۰ قدم پیش‌بینی نوسانات (بر اساس آزمون دایبولد-ماریانو) ۷۵
- ۳۶.۴ بهترین افق پیش‌بینی بازده هر مدل برای هر دارایی بر اساس کمترین RMSE . . ۷۵
- ۳۷.۴ بهترین افق پیش‌بینی تلاطم هر مدل برای هر دارایی بر اساس کمترین RMSE . ۷۵

فصل ۱

تعاریف و مفاهیم پایه

۱.۱ سری زمانی

سری‌های زمانی^۲، مجموعه مشاهدات x_t است که در زمان t ثبت شده‌اند. یا به عبارتی دیگر مجموعه‌ای از داده‌های متوالی هستند که با فاصله‌های زمانی منظم (یا غیرمنظم) ثبت شده‌اند. معمولاً فاصله‌های زمانی ثبت شده به صورت ساعتی ($H1$)، چهار ساعته ($H4$)، روزانه ($D1$)، هفتگی ($W1$)، ماهیانه ($M1$) و یا غیره است. نمودارهای قیمتی دارایی‌های مالی، نمودار تعداد انسان‌های زنده در ماه‌های میلادی، تعداد دانشجویان ریاضیات مالی دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه زنجان در دهه اخیر، دمای روزانه شهر زنجان، مقدار تولید سالانه انگور در شهر تاکستان و... هر یک مثالی از یک سری زمانی است. گستره‌ی استفاده از سری‌های زمانی در حوزه‌های مختلف کاملاً مشهود است. مقصود از گردآوری، ثبت و بررسی داده‌های سری زمانی، ایجاد یک مدل مناسب برای پی‌بردن به ساختار ذاتی داده‌ها و پیش‌بینی آن‌ها است. پیش‌بینی یک سری زمانی عبارت است از: ساخت یک مدل از داده‌های موجود برای پیش‌بینی مقادیر آینده [۱۶] [۲۲].

² Time series

سری‌های زمانی از نظر تعداد متغیر به دو دسته‌ی سری‌های زمانی تک‌متغیره^۱ و چندمتغیره^۲ و از نظر پیوستگی به دو دسته‌ی گسسته و پیوسته^۳ تقسیم شده‌اند [۶۱]. سری‌های زمانی تک‌متغیره تنها یک متغیر وابسته به زمان دارند. برای مثال، قیمت روزانه بسته‌شدن نفت خام غرب تگزاس در بورس کالا و انرژی یا دمای ساعتی شهر زنجان مثال‌هایی از سری‌های زمانی تک‌متغیره هستند [۹]. سری‌های زمانی چندمتغیره دو یا چند متغیر وابسته به زمان دارند. برای مثال، اطلاعات قیمت نفت خام تگزاس در روز کاری پیش در بورس کالا و انرژی یک سری زمانی چندمتغیره است؛ زیرا دارای متغیرهای بیشینه^۴، کمینه^۵، حجم^۶، قیمت بازشدن^۷، قیمت بسته‌شدن^۸ و غیره است [۱۰]. اگر مشاهدات به‌طور پیوسته برحسب زمان در نظر گرفته‌شوند، سری زمانی حاصله را پیوسته می‌نامند. اگر مشاهدات را به‌طور منظم در فاصله‌های مساوی ثبت کنیم، یک سری زمانی گسسته به‌دست می‌آید. برای مثال، داده‌های استفاده‌شده در این پژوهش از نوع گسسته است [۱۰] [۳۲].

۱.۱.۱ معیارهای مهم در بررسی سری‌های زمانی

بررسی پراکندگی داده‌ها به کاربران کمک می‌کند تا کیفیت داده‌ها را به‌صورت عینی و قابل‌سنجش ارزیابی کنند. معیارهای پراکندگی داده زیادی وجود دارند که در این پایان‌نامه، تعدادی از آن‌ها را بررسی می‌کنیم.

واریانس^۹ در آمار و نظریه احتمالات، معیاری برای سنجش پراکندگی داده‌ها حول میانگین آن‌ها است. به عبارت دیگر، واریانس نشان می‌دهد که به‌طور میانگین، هر نقطه داده چقدر از میانگین کل مجموعه

¹ Univariate Time Series

² Multivariate Time Series

³ Discrete and Continuous-time Time Series

⁴ High

⁵ Low

⁶ Volume

⁷ Open

⁸ Close

⁹ Variance

فاصله دارد. واریانس را می‌توان به مقدار مورد انتظار از مجذور انحرافات از میانگین تعریف کرد:

$$\sigma^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

البته اگر واریانس نمونه را به جای جامعه استفاده کنیم، باید از فرمول زیر استفاده کنیم:

$$\sigma^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

که در آن‌ها σ^2 واریانس، n تعداد مشاهدات و \bar{x} میانگین داده‌ها است.

واریانس بزرگ نشان‌دهنده‌ی پراکندگی زیاد داده‌ها حول میانگین است، به این معنا که داده‌ها به‌طور قابل‌توجهی از میانگین فاصله دارند. همچنین، واریانس کوچک، نشان‌دهنده‌ی پراکندگی کم داده‌ها حول میانگین است. به این معنا که داده‌ها به‌طور نسبی به یکدیگر نزدیک هستند [۴۳].

انحراف معیار^۱ در واقع همان جذر واریانس است. واحد اندازه‌گیری واریانس توان دوم واحد داده‌ها است اما انحراف معیار واحد اندازه‌گیری مشابه به داده‌های مورد بررسی را دارد [۴۰].

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}$$

چولگی^۲ و **کشیدگی**^۳ فرمول‌های ضرایب عدم تقارن پیرسون معروف هستند و به صورت زیر محاسبه می‌شوند:

¹ Standard Deviation

² Skewness

³ Kurtosis

$$\text{Skewness} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{(x_i - \bar{x})^3}{\sigma^3}$$

$$\text{Kurtosis} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{(x_i - \bar{x})^4}{\sigma^4}$$

برخی از توزیع‌های فراوانی متقارن نیستند و به راست یا چپ چولگی دارند که مقدار آن بر حسب میانه یا مد به دست می‌آید. چولگی نشان‌دهنده میزان عدم تقارن توزیع احتمالی است. اگر داده‌ها نسبت به میانگین متقارن باشند، چولگی برابر صفر خواهد بود. توزیع‌ها با چولگی مثبت معمولاً میانگین‌های بزرگتری نسبت به میانه دارند [۳۵].

کشیدگی بیانگر میزان قله‌ای بودن و مسطح بودن یک توزیع است. هرچقدر شکل تابع چگالی احتمال^۱ قله‌ای‌تر و دارای دم پهن‌تر^۲ یا دنباله پهن‌تر^۳ باشد میزان کشیدگی آن بیشتر است.

۲.۱.۱ انواع توزیع‌های آماری

به طور کلی، توزیع‌های آماری به دو دسته‌ی گسسته و پیوسته^۴ تقسیم می‌شود و هرکدام دارای انواع خود است. در این پایان‌نامه از توزیع نرمال^۵ و توزیع t^۶ استفاده شده است.

یکی از مهم‌ترین توزیع‌های پیوسته، توزیع نرمال یا توزیع گاوسی^۷ است. تابع چگالی احتمال این توزیع بر اساس پارامترهای میانگین و انحراف معیار تعیین می‌شود و منحنی تابع چگالی آن حول میانگین دارای تقارن است. تابع چگالی احتمال توزیع نرمال با میانگین μ و واریانس σ^2 به صورت زیر است:

¹ Probability Density Function

² Fat-Tailed

³ Heavy-Tailed

⁴ Continuous and Discrete Distribution

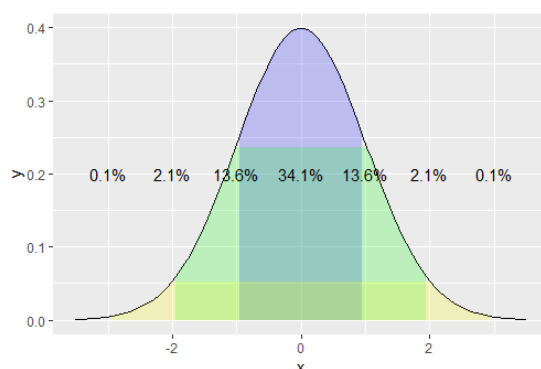
⁵ Normal Distribution

⁶ Student's t-distribution

⁷ Gaussian Distribution

$$f(x; \mu, \sigma^2) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left(-\frac{(x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right)$$

هنگامی که میانگین یک توزیع نرمال برابر با صفر و انحراف معیار آن برابر با یک باشد، به آن توزیع نرمال استاندارد^۱ گفته می شود [۳۵].



شکل ۱.۱: توزیع نرمال استاندارد

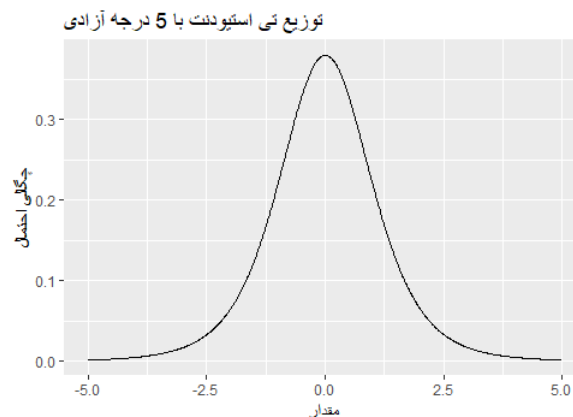
توزیع تی استیودنت (توزیع تی) یک توزیع احتمالی پیوسته است که توزیع نرمال استاندارد را تعمیم می دهد و برای مدل سازی خطا در آزمون های آماری، به خصوص زمانی که اندازه نمونه کوچک است، استفاده می شود. این توزیع که توسط ویلیام سیلی گاست^۲ با نام مستعار استیودنت در سال ۱۹۰۸ معرفی شد، شکلی شبیه به توزیع نرمال داشته ولی دارای دم های سنگین تر است و به این معنی که توزیع نرمال مشاهدات بیشتری در مرکز توزیع و توزیع تی در دم های خود دارد. شکل دقیق این توزیع با پارامتر درجه آزادی تعیین می شود. به طوری که هرچه درجه آزادی بیشتر باشد، این توزیع به توزیع نرمال نزدیک تر است. از این توزیع در آزمون های آماری، محاسبه فواصل اطمینان و غیره استفاده می شود. تابع چگالی آن با درجه آزادی ν به صورت زیر است:

¹ Standard Normal Distribution

² William Sealy Gosset

$$f(x; \nu) = \frac{\Gamma\left(\frac{\nu+1}{2}\right)}{\sqrt{\nu\pi}\Gamma\left(\frac{\nu}{2}\right)} \left(1 + \frac{x^2}{\nu}\right)^{-\frac{\nu+1}{2}}$$

در شکل زیر یک مثال از این توزیع با درجه‌ی آزادی ۵ نشان داده شده‌است.



شکل ۲.۱: توزیع تی با درجه‌ی آزادی ۵.

۲.۱ آزمون‌های بررسی نرمال و ایستا بودن توزیع داده‌ها

آزمون نرمال بودن^۱ داده‌ها برای آن است که مشخص شود، داده‌های گردآوری شده از چه توزیعی برخوردار است. قبل از هر گونه آزمونی که با فرض نرمال بودن داده‌ها صورت می‌گیرد، باید آزمون نرمال بودن انجام شود. برای این منظور، روش‌ها و آزمون‌های متعددی وجود دارد که در ادامه یکی از آن‌ها را بررسی خواهیم کرد.

^۱ Normality Test

۱.۲.۱ آزمون فرض آماری

آزمون فرض آماری^۱ در علم آمار روشی برای بررسی ادعاها یا فرضها درباره پارامترهای توزیع در جوامع آماری است. در این روش فرض صفر^۲ یا فرض اولیه، مورد بررسی قرار می‌گیرد. متناسب با موضوع مطالعه، فرضی به عنوان فرض مقابل^۳ انتخاب می‌شود تا درستی هر کدام نسبت به دیگری مورد آزمون قرار گیرد [۴].

مقدار احتمال^۴ یک مفهوم کلیدی در آمار است که برای تصمیم‌گیری درباره‌ی رد یا پذیرش فرضیه‌ی صفر^۵ (H_0) در یک آزمون آماری استفاده می‌شود. این مقدار بیانگر احتمال مشاهده‌ی داده‌ها در صورت درستی فرض صفر است. به عبارتی، مقدار احتمال نشان می‌دهد که داده‌های مشاهده‌شده چقدر با فرض صفر سازگار هستند. فرض صفر، فرضیه‌ای است که می‌خواهیم آزمون کنیم و معمولاً بیان می‌کند که هیچ تفاوت یا اثر وجود ندارد. مثلاً، ”میانگین وزن افراد در جامعه A برابر میانگین وزن افراد در جامعه B است.“

مقدار احتمال در آزمون فرض آماری یا معناداری فرض صفر، احتمال بدست آوردن نتایج آزمون تحت فرض صفر است مقدار احتمال در آزمون فرض آماری، شاخصی است که کمک می‌کند تا بدون مراجعه به جداول توزیع‌های آماری بتواند در مورد رد یا عدم رد فرض صفر تصمیم بگیرد.

به طور خاص، $p - value$ احتمال این است که وقتی فرضیه صفر صحیح است، آماره آزمون (مثلاً میانگین اختلاف بین دو گروه) یا با مقدار مشاهده حاصل از نمونه برابر بوده یا از آن بسیار دور باشد. اگر $p - value$ کمتر از سطح معناداری (معمولاً ۰/۰۵) باشد، فرض صفر رد می‌شود. اما باید توجه

¹ Statistical hypothesis testing

² Null-hypothesis

³ Alternative-hypothesis

⁴ P- Value

⁵ Null Hypothesis

کنیم که رد فرض صفر به معنی قبول فرض مقابل^۱ نیست [۳۷].

۲.۲.۱ آزمون جارك-برا

آزمون جارك-برا^۲ یک آزمون آماری است که برای بررسی نرمال بودن توزیع داده‌ها استفاده می‌شود. این آزمون به طور خاص بر روی چولگی و کشیدگی داده‌ها تمرکز دارد. هدف اصلی این آزمون این است که بررسی کند آیا داده‌های مورد بررسی از یک توزیع نرمال پیروی می‌کنند یا خیر. این آزمون براساس مقادارهای مربوط به تقارن افقی و عمودی توزیع نرمال عمل می‌کند که توسط مقادیر چولگی و کشیدگی محاسبه می‌شوند. آماره آزمون جارك-برا برحسب این دو مقدار به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$JB = \frac{n}{6} \left(S^2 + \frac{(K - 3)^2}{4} \right)$$

که در آن n تعداد مشاهدات، S چولگی و K نشان‌دهنده کشیدگی است. اگر آماره JB بزرگتر از مقدار بحرانی از جدول کای دو (در سطح معناداری مشخص) باشد، فرض صفر (که داده از توزیع نرمال پیروی می‌کنند) رد می‌شود و نتیجه می‌گیریم که داده‌ها از توزیع نرمال پیروی نمی‌کنند. به عبارت دیگر مقدار p -value کمتر از سطح معناداری باشد، فرض صفر رد می‌شود. به عبارت دیگر، داده‌ها از توزیع نرمال پیروی نمی‌کنند [۳۳].

۳.۲.۱ مانایی

اساس تجزیه و تحلیل سری‌های زمانی، مانایی است. یک فرایند مانا^۳ در ریاضیات و آمار، یک فرایند تصادفی است که توزیع احتمال توأم غیرشرطی آن، پس از جابجایی در طول زمان تغییر نمی‌کند. در

¹ Alternative Hypothesis

² Jarque-Bera Test

³ Stationary Process

نتیجه، پارامترهایی مثل میانگین و واریانس برای آن در طول زمان تغییر نمی‌کند. برای ایجاد یک شهود از مانایی، می‌توان یک آونگ بدون اصطکاک را تصور کرد. این آونگ در یک حرکت نوسانی به عقب و جلو نوسان می‌کند، با این حال دامنه و بسامد این حرکت ثابت باقی می‌ماند. اگرچه آونگ حرکت می‌کند، اما فرایند مانا است زیرا «آماره» هایش (یعنی فرکانس و دامنه) ثابت است. با این حال، اگر یک نیرو به آونگ اعمال گردد، فرکانس یا دامنه تغییر می‌کند، که در نتیجه آن به یک فرایند غیرمانا^۱ تبدیل می‌گردد. به بیانی دیگر یک فرایند $\{X(t) | t \in T\}$ ایستا است اگر و تنها اگر به ازای هر $t, s \in T$ دو متغیر تصادفی $[X(t), X(s)]$ و $[X(t+h), X(s+h)]$ هم‌توزیع باشند. گفته می‌شود که یک سری‌زمانی مانند $\{r_t\}$ مانای اکید^۲ است اگر توزیع مشترک $(r_{t_1}, \dots, r_{t_k})$ با توزیع مشترک $(r_{t_1+\tau}, \dots, r_{t_k+\tau})$ برای هر τ ، هر $k \in \mathbb{N}$ (عدد صحیح مثبت) و هر مجموعه‌ای از زمان‌های t_1, \dots, t_k یکسان باشد. به بیانی دیگر در مانایی اکید لازم است توزیع مشترک در طی زمان ثابت باقی بماند [۴۹] [۳۰].

۴.۲.۱ آزمون دیکی-فولر

این آزمون که برگرفته از نام دو آماردان به نام‌های دیوید دیکی و وین فولر^۳، که توسعه‌دهندگان این آزمون هستند، است. برای جلوگیری از برآورد رگرسیون‌های کاذب و وجود ریشه واحد لازم است قبل از هر اقدامی مانایی هریک از متغیرها مورد بررسی قرار گیرد. در این راستا، آزمون ریشه واحد دیکی-فولر تعمیم یافته^۴ مورد استفاده قرار خواهد گرفت. آزمون دیکی-فولر نوعی آزمون آماری است که به آن آزمون ریشه واحد^۵ نیز می‌گویند.

در این آزمون فرضیه صفر (H_0): سری‌های زمانی ثابت نیستند و نشان می‌دهد سری‌زمانی دارای ریشه واحد است، به این معنی که غیرمانا است و فرض مقابل آن (H_1): سری فاقد ریشه واحد است و ممکن

¹ Non-Stationary

² Strictly Stationary

³ David Dickey and Wayne Fuller

⁴ Fuller-Dickey Augmented

⁵ Unit Test Root

است مانا باشد [۵] [۷] [۶۰] [۴۸].

۵.۲.۱ مراجع قیمت نفت و گاز طبیعی

منظور از قیمت نفت عموماً قیمت لحظه‌ای^۱ یک بشکه (معادل ۱۵۹ لیتر) نفت خام معیار است که قیمت مرجع آن برای خریداران و فروشندگان نفت خام مانند وست تگزاس اینترمیدیت^۲ (WTI)، نفت برنت^۳، دبی و غیره است. طی ۲۰ سال گذشته، کشف قیمت در بازار نفت حول سه معیار اصلی نفت خام منطقه‌ای متمرکز شده است که وست تگزاس اینترمیدیت از ایالات متحده، برنت مخلوط از دریای شمال انگلستان و دبی یا فاتح، نفت خام امارات متحده عربی هستند. قیمت نفت خام جهانی همواره رفتار پیچیده‌ای از خود نشان داده است و قیمت آن از فاکتورهای زیادی تاثیر می‌پذیرد. مهم‌ترین عامل تعیین‌کننده قیمت نفت، عرضه و تقاضای جهانی آن است نه مقدار تولید آن و همچنین ارزش نسبی نفت خام توسط دو عامل اصلی مکان و کیفیت تعیین می‌شود. قیمت بین‌المللی گاز طبیعی و نفت خام به طور کامل به عوامل بنیادین و غیربنیادین اعم از عرضه و تقاضای جهانی نفت و تلاطم‌های آن، تغییرات فصلی، شرایط پالایشگاه‌ها، روند جهانی اقتصاد، سطح ذخایر استراتژیک و غیر استراتژیک کشورها، وضعیت آب و هوایی، حوادث غیرمترقبه، مقررات زیست‌محیطی، سفته‌بازی و وضعیت بازار فیوچرها، ارزشمندی دلار، شرایط سیاسی جهان، تصمیمات فدرال رزرو، تصمیمات کنگره و گروه‌های تولیدکننده نفت و کشورهای با قدرت اقتصادی بالا، حجم نقدینگی، هزینه حمل و نقل و غیره بستگی دارد. عوامل موثر در تقاضای جهانی نفت عمدتاً شامل افزایش جمعیت و رشد اقتصادی کشورهاست که باعث افزایش میزان تقاضا می‌گردد. در آن سو، سیاست‌های صرفه‌جویی و بالابردن بازدهی‌ها و افزایش قیمت سوخت مصرفی و پیدا کردن منابع انرژی جایگزین باعث کاهش تقاضا می‌گردد [۴۷]. نفت خام غرب تگزاس (WTI) یکی از انواع نفت خام بسیار سبک و شیرین است که در ایالات

¹ Spot price

² West Texas Intermediate

³ Brent Crude

متحدہ تولید می‌شود. تولید این نفت خام عمدتاً در مناطق خشکی مانند تگزاس و اوکلاهاما^۱ صورت می‌گیرد. سبکی و محتوای کم گوگرد از ویژگی‌های اصلی WTI است. با این حال، یکی از چالش‌های اصلی تولید نفت WTI، به دلیل تولید عمدتاً در مناطق خشکی، هزینه‌های بالای انتقال آن به بازارهای بین‌المللی است. اخیراً نفت خام غرب تگزاس توجهات محققان را به خود جذب کرده است [۴۷]. یکی دیگر از مهم‌ترین مراکز قیمت‌گذاری نفت خام در بازارهای بین‌المللی، نفت خام برنت^۲ است که از چهار چاه نفتی بریتانیایی و نروژی در دریای شمال تولید می‌شود. نفت برنت به عنوان نفتی سبک و شیرین (با میزان گوگرد کم) شناخته می‌شود که آن را برای فرآیند پالایش به محصولات با کیفیت و ارزش بالا مناسب می‌سازد و به دلیل موقعیت جغرافیایی و دسترسی آسان به بازارهای اروپایی، یکی از مهم‌ترین معیارهای قیمت‌گذاری نفت در سطح بین‌المللی است. در محدوده‌ی آتلانتیک^۳، برنت مهم‌ترین شاخص برای قیمت نفت خام است و در حدود ۶۰ درصد مبادلات نفتی بر اساس نفت برنت قیمت‌گذاری می‌شود. این امر نشان‌دهنده‌ی اهمیت بالای نفت برنت در تعیین قیمت‌های جهانی است. در همین حال، دبی (بازار فروش فاتح) یک نفت خام متوسط، سنگین و کم‌گوگرد است که نمونه‌ای از گریدهای تولید شده در خلیج فارس است، اما از مراکز مصرف فاصله دارد. در نتیجه، تمایل به فروش با قیمت کمتری نسبت به برنت و WTI دارد.

مقدار دقیق تولید، صادرات و مصرف هیچ کشور به طور دقیق ارائه نمی‌شود ولی به طور حدودی ایالات متحده بزرگترین تولیدکننده نفت در جهان است و پس از آن عربستان سعودی رتبه‌ی دوم را داراست و پس از آن روسیه در رتبه سوم است. ایران تنها در حدود ۴ درصد (در منابعی کمتر از این مقدار نیز ذکر شده است). نفت مصرفی جهان را تامین می‌کند. البته که این اعداد ممکن است با تغییرات زمان، بازار جهانی نفت و تصمیمات سیاسی و اقتصادی کشورها تغییر کنند [۲۸].

روسیه، ایران، ایالات متحده آمریکا و قطر بزرگترین تولید کنندگان گاز طبیعی در جهان هستند.

¹ Oklahoma

² Brent Crude

³ Atlantic

فصل ۲

پیش‌بینی تلاطم

هدف این فصل معرفی ابزارهای ضروری برای مدل‌سازی تلاطم در بازار نفت و گاز طبیعی، با تمرکز بر مدل‌های سری‌زمانی است. پیش‌بینی رویدادهای آینده همواره یکی از چالش‌های اساسی بشر به‌شمار می‌آید؛ زیرا توانایی درک و پیش‌بینی شرایط پیش‌رو، امکان آمادگی و مقابله با تغییرات را فراهم می‌کند. پیش‌بینی به معنای شناسایی پارامترهایی است که بر متغیرهای دیگر تأثیرگذارند. در میان کالاهای ضروری، موضوع نوسانات، بازده و قیمت نفت و گاز طبیعی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است؛ چرا که نفت و گاز، به عنوان مهم‌ترین حامل‌های انرژی، بیش از یک‌سوم از نیازهای انرژی بشر را تامین می‌کنند. علاوه بر این، نقش حیاتی این منابع در صنعت، رفاه و پیشرفت کشورها موجب می‌شود که تغییرات در قیمت آن‌ها تأثیر مستقیمی بر قیمت سایر کالاها و نرخ تورم داشته باشد. هرگونه تغییر در قیمت نفت، چه کاهش و چه افزایش غیرمنتظره، می‌تواند تأثیر قابل‌توجهی بر درآمدهای نفتی کشورهای تولیدکننده و همچنین بر میزان واردات، هزینه‌ها و ذخایر کشورهای واردکننده و مصرف‌کنندگان به همراه داشته باشد؛ به نحوی که اقتصاد جهانی به‌طور گسترده‌ای تحت تأثیر قرار می‌گیرد. بنابراین، پیش‌بینی دقیق این تغییرات قیمتی، نه تنها از آثار منفی جلوگیری می‌کند، بلکه با اتخاذ استراتژی‌ها و راهبردهای مناسب، امکان کسب سود را نیز فراهم می‌سازد. در مقابل، عدم اجرای سیاست‌های اقتصادی مناسب می‌تواند

منجر به بحران‌های بزرگ و ناترازی‌های اقتصادی گردد. پیش‌بینی قیمت به عنوان یک ابزار کلیدی در مدیریت اقتصادی و تصمیم‌گیری‌های استراتژیک نقش بسیار مهمی دارد. اهمیت پیش‌بینی قیمت به ویژه در بازارهای مالی و کالاهای اساسی مانند نفت و گاز طبیعی به دلایل متعددی بارز است. قیمت نفت خام بخشی از فرآیند تصمیم‌گیری برای توسعه و تولید در صنایع و همچنین برنامه‌ریزی کوتاه‌مدت و بلندمدت دولت، سیاست صادرات و ذخایر ملی بوده است. تلاطم قیمت‌های نفت و فرآورده‌های نفتی دارای پیامدهای اقتصادی و مالی گسترده‌ای است. برای کشورهای وابسته به درآمد نفت (مانند ایران) تلاطم قیمت‌های نفت موجب ضرر و زیان زیاد و درآمد کمتر یا بیشتر و در نتیجه نرسیدن به اهداف توسعه‌ای است. بنابراین پیش‌بینی دقیق آن، به موضوعی حیاتی برای دولت‌ها و صنایع برای تصمیم‌گیری دقیق تبدیل شده است. برای برنامه‌های توسعه ملی و بین‌المللی استفاده کرد تا از سختی‌هایی که معمولاً ناشی از نوسان قیمت نفت خام تحمیل می‌شود، بکاهد [۲۸] [۲۴] [۴۷]. جهت مطالعه بیشتر منبع [۱۹] پیشنهاد می‌شود.

۱۰.۰.۲ بازده

در اکثر پژوهش‌های مالی به علت قابل کنترل بودن و بدون‌واحد بودن بازده، به جای قیمت از بازده استفاده می‌شود [۳۸]. اگر p_t قیمت دارایی ما در زمان t باشد و p_{t+1} قیمت دارایی ما در زمان $t + 1$ باشد مبنا را بر این بگیریم این دارایی هیچگونه پرداختی جز در زمان سر رسید یا فروش ندارد (دارایی مالی هیچگونه سود تقسیمی نداشته باشد)، بازده لگاریتمی^۱ برای آن دارایی مالی در دوره‌ی زمانی t تا $t + 1$ به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$r_t = 100 \times \ln \left(\frac{P_{t+1}}{P_t} \right)$$

¹ Log Return

و بازده ساده^۱ی آن به صورت $r_t = \left(\frac{P_{t+1}}{P_t}\right) - 1$ محاسبه می‌شود. با این‌که بازده لگاریتمی اندازه‌گیری مستقیمی از تغییر ارزش دارایی سرمایه گذار در یک دوره خاص نمی‌دهد ولی بازده لگاریتمی ویژگی‌های مثبتی نیز داراست. می‌توان از بازده لگاریتمی به جای بازده مرکب پیوسته^۲ تفسیر کرد. بازده‌های مرکب پیوسته (بازده لگاریتمی) افزودنی زمان هستند و استخراج ویژگی‌های سری‌زمانی فرآیندهای افزایشی آسان‌تر از فرآیندهای ضربی است.^۳ به کارگیری بازده‌های لگاریتمی از منفی شدن قیمت در مدل‌های بازدهی جلوگیری می‌کند. همچنین اگر قیمت یک اوراق بهادار از حرکت براونی^۴ هندسی پیروی کند، آنگاه بازده‌های لگاریتمی آن به صورت نرمال توزیع می‌شوند. برای پیش‌بینی بازدهی تجمعی آینده، مرکب‌سازی پیوسته بازده مورد انتظار لگاریتمی نسبت به مرکب‌سازی بازده مورد انتظار ساده، راهنمای بهتری برای بازده تجمعی میانه ارائه می‌دهد. با این‌که بازده‌های لگاریتمی تقریباً برابر با بازده‌های ساده هستند. نباید اشتباهاً نتیجه‌گیری کرد که میانگین یک مجموعه بازده‌ها لگاریتمی لزوماً با میانگین بازده‌های ساده همان مجموعه برابر است [۳۰] [۲۸] [۵۰].

معیاری آماری برای توصیف میزان نوسانات بازده یک دارایی در یک دوره زمانی مشخص است.

۲.۰.۲ تلاطم

یکی از مهم‌ترین موضوعات مورد بررسی در ریاضیات مالی، مبحث تلاطم^۵ است. تلاطم برای توصیف پراکندگی از یک مقدار (قیمت یا مدل انتظاری) بیان می‌شود و یک معیار آماری برای توصیف میزان

¹ Simple Return

² Continuously Compounded Returns

^۳ بازده مرکب پیوسته چند دوره‌ای به سادگی جمع بازده‌های مرکب پیوسته تک‌دوره‌ای است. این ویژگی باعث می‌شود که بازده‌های مرکب پیوسته به زمان اضافه‌پذیر باشند. وقتی بازده‌ها به صورت اضافه‌پذیر هستند، آن‌ها را می‌توان به راحتی با هم جمع کرد و خواص سری‌های زمانی فرآیندهای اضافه‌پذیر را راحت‌تر می‌توان استخراج کرد. در مقابل، بازده‌های ساده دارای خاصیت ضرب‌پذیری هستند که باعث می‌شود محاسبات پیچیده‌تری داشته باشند.

⁴ Brownian Motion

⁵ Volatility

نوسانات بازده یک دارایی در یک دوره زمانی مشخص است. البته تلاطم را به صورت عمومی به عنوان میزان تغییرپذیری^۱ متغیر نیز بیان کرده‌اند. در بازاری که تلاطم زیاد است، دارایی‌های مالی به خوبی و منصفانه قیمت‌گذاری نمی‌شوند. بنابراین، تلاطم زیاد یکی از دلایل شکست بازارهای مالی در نظر گرفته می‌شود. کوپر^۲ و اسکات^۳ بر این باور بودند که شاخص و معیار میزان پراکندگی بازده در آمار همان تلاطمات است. تلاطم بیشتر باعث بیشتر شدن ریسک اوراق می‌شود (البته در بیشتر مواقع). تلاطم می‌تواند نشان دهد قیمت یک دارایی از قیمت متوسط همان دارایی چه مقدار نوسان کرده است. برای اندازه‌گیری تلاطم روش‌هایی از جمله انحراف معیار بازده‌ها، مدل قیمت‌گذاری اختیارات، ضرایب بتا و... برای اندازه‌گیری مقدار تلاطم وجود دارد. عامل اصلی قیمت‌گذاری اختیار معاملات هر دارایی مالی، تلاطم قیمت آن دارایی مالی است. تلاطم بیشتر اوقات به میزان عدم ثبات یا خطر مربوط به میزان افزایش یا کاهش قیمت مربوط می‌شود. هرچه تلاطم بیشتر باشد، قیمت دارایی مالی به‌القوه توانایی افزایش و کاهش قیمت با طیف و دامنه بیشتری است. به عبارتی دیگر، می‌تواند در زمان مشخص می‌تواند به هر دو سمت (صعود و نزول) به حالت خیره‌کننده‌تری حرکت کند. البته تلاطم کمتر به معنای این است که دارایی مالی ما نوسان کمتری دارد یا به طور خیره‌کننده‌ای حرکت نمی‌کند و قیمت آن ثبات و اطمینان بیشتری دارد. یکی از معیارهای اندازه‌گیری تلاطم، استفاده از معیار انحراف بازده‌ها در طول زمان مشخص است. یعنی:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (r_i - \bar{r})^2}$$

که در آن r_i : بازده در دوره زمانی i و \bar{r} میانگین بازده‌ها [۲۶] است. فرآیند نوسانات در مدل‌سازی بازده دارایی‌های مالی نقش اساسی دارد. تلاطم یکی از عوامل اساسی در قیمت‌گذاری اختیارات معامله است (فرمول بلک - شولز) و همچنین کاربردهای دیگری نیز در حوزه مالی دارد. برای مثال از مدل‌های

¹ Variability

² Kuepper

³ Scott

تلاطم به عنوان یک روش ساده جهت محاسبه ارزش در معرض خطر^۱ در مدیریت ریسک استفاده می‌شود. با توجه به اهمیت بالای آن شاخص نوسان به عنوان یک ابزار مالی معرفی شده است. برای مثال شاخص نوسان VIX به وسیله بورس اختیارات شیکاگو^۲ محاسبه و ارائه می‌شود [۲۱] [۸]. تلاطم‌های یک دارایی مالی به دیگر دارایی‌های مالی، حتی در دیگر بازارها، سرایت می‌کند و تاثیر زنجیروار دارد. نمونه‌ی بارز این سرایت‌های مالی را می‌توان به بحران مالی سال ۲۰۰۸ اشاره کرد که از بخش مسکن در ایالات متحده شروع شد و به سرعت به بازارهای مالی جهانی سرایت کرد. مشاهده شده است که شوک‌های منفی تأثیر بیشتری روی تلاطم دارند تا شوک‌های مثبت، بنابراین شوک‌ها اثر نامتقارن بر روی تلاطم دارند (البته نه الزاماً) [۵۷] [۳۴]. طبق گفته شیلر^۳، تلاطم بازار سهام اگر نسبت به شاخص‌های بنیادی بالا باشد، امکان کاهش اعتماد در آن بازار افزایش می‌یابد. در نتیجه، انتقال پول به بازار مالی کاهش می‌یابد. بنابراین، تلاطم بر نقدینگی بازار و همچنین قدرت نقد شوندگی بازار تأثیر می‌گذارد و باعث فرار معامله‌گران و سرمایه‌گذاران ریسک‌گریز می‌شود. افزایش ریسک موجب کاهش مشارکت در آن فعالیت می‌شود و نتیجه‌ی معکوسی بر سرمایه‌گذاری خواهد داشت [۲۲]. تلاطم بالا نشان‌دهنده عدم قطعیت بیشتر در مورد حرکت‌های آینده قیمت است. تلاطم بالا باعث کاهش اطمینان سرمایه‌گذاران می‌شود و آن‌ها را به سمت محافظه‌کاری و کاهش ریسک سوق می‌دهد. رابطه بین ریسک و تلاطم مستقیم است. به این معنا که هرچه تلاطم بازار بیشتر باشد، ریسک سرمایه‌گذاری نیز بیشتر می‌شود [۳۱].

۳.۰.۲ ویژگی‌های تلاطم

یکی از ویژگی‌های خاص نوسان یک دارایی مالی، این است که به طور مستقیم قابل مشاهده نیست. همین ویژگی غیر قابل مشاهده بودن نوسان، ارزیابی پیش‌بینی عملکرد مدل‌های ناهمسان شرطی را

¹ Value at Risk

² CBOE (Chicago Board Options Exchange)

³ Shiller

سخت می‌کند. با این وجود دارای بعضی از ویژگی‌هایی است که در بازده دارایی مالی قابل مشاهده است از این ویژگی‌ها می‌توان به ویژگی خوشه بندی نوسان^۱، تکامل نوسان در یک رفتار پیوسته، عدم واگرایی به سمت نامحدود و نوسان در یک دامنه‌ی ثابت (که همین ویژگی موجب می‌شود که اغلب تلاطم‌ها مانا باشند) و عکس‌العمل متفاوت به افزایش قیمتی بزرگ و کاهش قیمتی بزرگ^۲، که به آن اثر اهرمی^۳ گفته می‌شود [۲۶]، نام‌برد. این ویژگی‌ها نقش اساسی و مهمی در توسعه مدل‌های تلاطم ایفا کرده‌اند [۸] [۳۰].

۱.۲ انواع مدل‌های سری زمانی

در این بخش به بررسی تعدادی از مدل‌های سری زمانی پایه می‌پردازیم که معمولاً در تحلیل داده‌های مالی بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۱.۱.۲ مدل میانگین متحرک (MA)

مدل میانگین متحرک^۴ یکی از ساده‌ترین مدل‌های سری زمانی است که مرتبه‌ی q آن به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$r_t = c. + a_t - \sum_{i=1}^q \theta_i a_{t-i}$$

که در آن: $c.$ جزء ثابت، a سری نوفه سفید^۵ با میانگین صفر و واریانس ثابت است، θ ضریب تاثیر

^۱ Volatility Clusters

^۲ Big price increase and big price decrease

^۳ Leverage Effect

^۴ Moving Average

^۵ White Noise

^۶ نوفه سفید به دنباله‌ای از متغیرهای تصادفی گفته می‌شود که دارای توزیع نرمال با میانگین صفر و واریانس ثابت هستند.

گام‌های قبلی است. این مدل بسیار ساده و قابل فهم و با کاربرد گسترده است. ولی به نویزهای تصادفی بسیار وابسته و در پیش‌بینی‌های بلند مدت محدودیت و نقص دارد [۱۰].

۲.۱.۲ مدل اتورگرسیو (AR)

در مدل‌های اتورگرسیو^۱ متغیر پاسخ (r_t) روی مقادیر گذشته سری یعنی r_{t-1} ، r_{t-2} و ... برگشت داده می‌شود. مدل خود رگرسیو با مرتبه‌ی P به صورت زیر بیان می‌شود [۵۴]:

$$r_t = \phi_0 + a_t - \phi_1 r_{t-1} - \phi_2 r_{t-2} + \dots - \phi_p r_{t-p}$$

که در آن r_t متغیر پاسخ وابسته در زمان t ، ϕ_0 یک مقدار ثابت، a_t نوفه سفید در زمان t ، p تعداد متغیرهای وابسته تاخیری است و ϕ_i از پارامترهای مدل است و تاثیر گام‌های قبلی بر گام جدید را تعیین می‌کند. هر چند این مدل ساده قابل فهم است و کاربرد گسترده‌ای در تحلیل سری‌های زمانی دارد، به مقادیر گذشته وابستگی بالا و در پیش‌بینی‌های طولانی مدت دقت خوبی ندارد [۲۳].

۳.۱.۲ مدل اتورگرسیو میانگین متحرک (ARMA)

مدل ARMA^۲ یا مدل اتورگرسیو میانگین متحرک یکی از مدل‌های مهم در تحلیل سری‌های زمانی است که برای پیش‌بینی مقادیر آینده با استفاده از مقادیر گذشته به کار می‌رود. این مدل ترکیبی از دو مدل پایه میانگین متحرک و خودرگرسیو است. با توجه به ضعف‌های مدل‌های میانگین متحرک و خودرگرسیو ضرورت وجود یک مدل مرتبه‌ی بالاتر با پارامترهای بیشتر جهت توصیف کافی ساختار

مشاهدات در نوفه سفید از همدیگر مستقل هستند. این به این معنی است که هیچ ارتباطی بین مشاهدات مختلف وجود ندارد. یا تعریفی دیگر یک نوع سری زمانی هتند که همبستگی خودکار ندارند.

¹ Autoregressive

² Autoregressive Moving Average

پویای داده‌ها است. مدل $ARMA(p, q)$ به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$r_t = \phi + \sum_{i=1}^p \phi_i r_{t-i} + \alpha_t - \sum_{j=1}^q \theta_j * a_{t-j}$$

که در آن r_t متغیر وابسته به زمان t ، ϕ مقدار ثابت، p ، مرتبه خود رگرسیوی ϕ_i ، پارامترهای خودرگرسیوی q مرتبه‌ی میانگین متحرک θ_j پارامترهای میانگین متحرک، α_t نوفه سفید (عبارت خطا) در زمان t است. این مدل توانایی بالا و پیش‌بینی دقیق‌تری در پیش‌بینی سری‌های زمانی مالی دارد [۱۶].

۲.۲ مدل‌های اتورگرسیو واریانس ناهمسان شرطی

اکثر داده‌های سری‌های زمانی مالی به دلیل نوسانات بازار، رویدادهای اقتصادی و شرایطی مانند رکود و غیره دارای میانگین ثابت نیستند. در یک بازه‌ی زمانی ممکن است تلاطم کم و در بازه‌ی بعدی تلاطم بالایی داشته باشند. از آنجایی که نوسان ثابت نیست، احتمالاً واریانس نیز ثابت نخواهد ماند. بنابراین، نیاز به مدل‌هایی است که واریانس را ثابت در نظر نگیرند و این مقدار را متغیر فرض کنند. این مدل‌ها فرض می‌کنند واریانس سری‌های زمانی متغیر است و تغییرات نوسانات را مدل‌سازی می‌کنند. برخی از مهم‌ترین این مدل‌ها به شرح ذیل است.

۱.۲.۲ مدل ARCH

نخستین مدلی که چارچوب سیستماتیک برای مدل‌سازی نوسان ارائه می‌دهد، مدل ARCH یا مدل اتورگرسیو واریانس ناهمسان شرطی^۱ (ARCH) است که توسط اقتصاددان رابرت انگل^۲ در سال ۱۹۸۲ معرفی شد. این مدل برای مدل‌سازی و پیش‌بینی واریانس متغیرهای تصادفی، به خصوص در

^۱ Autoregressive Conditional Heteroscedasticity

^۲ Robert Fry Engle

مطالعات اقتصادی و مالی، استفاده می‌شود. انگل برای این کار در سال ۲۰۰۳ جایزه نوبل اقتصاد را نیز دریافت کرد. این مدل دو ایده اساسی دارد یک اینکه وابستگی شوک می‌تواند از طریق یک تابع درجه‌ی ساده از مقادیر گذشته بیان شود و دو اینکه شوک بازده دارایی همبستگی سریالی ندارد ولی وابسته است. به عبارت دیگر می‌توان گفت که این مدل واریانس سری‌زمانی را ناهمسان در نظر گرفته و بر این تفکر استوار است که واریانس خطاها در طول زمان ثابت نیست و می‌تواند در دوره‌های مختلف تغییر کنند. این مدل برای مدل‌سازی طیف گسترده‌ای از سری‌های زمانی مالی، از جمله قیمت سهام، نرخ ارز، نرخ بازده اوراق قرضه و نرخ تغییر جفت ارزها کاربرد دارد. این مدل به خصوص برای تحلیل داده‌های مالی که واریانس ناهمسان دارن، مثل داده‌های مربوط به بازارهای مالی پرنوسان، بسیار مفید است. این مدل بصورت:

$$a_t = \sigma_t \epsilon_t$$

$$\sigma_t^2 = \alpha_0 + \alpha_1 a_{t-1}^2 + \alpha_2 a_{t-2}^2 + \dots + \alpha_p a_{t-p}^2$$

بیان می‌شود که در آن a_t : انحراف در زمان t ; σ_t : انحراف معیار شرطی در زمان t ; ϵ_t : نوفه سفید در زمان t ; σ_t^2 : واریانس شرطی. α_i : مقدار ثابت پارامترهای مدل است.

برای تخمین پارامترهای این مدل از روش‌های آماری مختلفی از جمله روش حداکثر درست‌نمایی استفاده می‌شود. مدل ARCH هرچند که مدلی ساده و کارآمد است که اما محدودیت‌هایی نیز دارد. مدل ARCH فقط توانایی مدل‌سازی واریانس ناهمسان همبسته خطی را دارد. به عبارت دیگر، این مدل فرض می‌کند که واریانس خطاها فقط به مقادیر مطلق خطاهای دوره‌ی قبل بستگی دارد و به جهت یا علامت آنها توجهی ندارد. همچنین این مدل تنها اثر شوک‌های قبلی تا p دوره‌ی قبل را مدل‌سازی می‌کند. به همین دلیل مدل‌های دیگری نظیر GARCH و EGARCH معرفی شده‌اند که توانایی رفع این محدودیت‌ها را دارند [۵۴].

۲.۲.۲ تعمیم مدل‌های اتورگرسو واریانس ناهمسان شرطی (GARCH)

همانطور که گفته شد مدل ARCH غالباً به پارامترهای زیادی برای توصیف مناسب تلاطم بازدهی دارایی‌های مالی نیاز دارد. از این رو جهت رفع این نیاز از مدل مناسب‌تری به نام ARCH تعمیم‌یافته یا گارچ (GARCH)^۱ [۶۴] [۵۳] استفاده می‌کنیم. این مدل بصورت زیر بیان می‌شود:

$$r_t = \mu + \varepsilon_t \quad \varepsilon_t = \sigma_t \cdot \eta_t \quad \eta_t \sim \text{i.i.d.}(0, 1) \quad (1.2)$$

$$\sigma_t^2 = \alpha_0 + \sum_{i=1}^q \alpha_i \varepsilon_{t-i}^2 + \sum_{j=1}^p \beta_j \sigma_{t-j}^2 \quad (2.2)$$

که در آن r_t مقدار سری‌زمانی در زمان t ، μ مقدار میانگین بازده‌ها، ε_t خطای تصادفی، σ_t انحراف معیار شرطی در زمان t ، α مقدار ثابت مثبت، α_i تأثیر نوسانات گذشته ε_{t-i}^2 بر واریانس جاری و β_j تأثیر مقدارهای پیشین واریانس شرطی σ_{t-j}^2 بر واریانس جاری، است. جهت مثبت بودن واریانس و ایستایی مدل GARCH شروط زیر باید برقرار باشد:

$$\forall i, j > 0 \quad \alpha, \beta \geq 0, \quad \alpha_0 > 0, \quad \sum_{i=1}^q \alpha_i + \sum_{j=1}^p \beta_j < 1$$

۳.۲.۲ مدل اتورگرسیونی واریانس ناهمسان شرطی تعمیم‌یافته نمایی (E-GARCH)

در مدل GARCH کلاسیک، فرض بر این است که اثر شوک‌های مثبت و منفی بر واریانس شرطی متقارن است. به عبارت دیگر، صرف نظر از جهت حرکت قیمت (مثبت یا منفی)، میزان تأثیر آنها بر نوسانات آینده یکسان است. اما همانطور که گفته شد در واقعیت بازارهای مالی، شوک‌های منفی

¹ Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity

(کاهش قیمت) اغلب تأثیر بیشتری بر افزایش نوسانات آینده دارند تا شوکهای مثبت. همچنین از ایرادات وارد بر مدل $GARCH$ ، تأثیر یکسان خبرهای مثبت یا منفی بر روی (σ_t^2) است (اثر تقارن^۱). در حالی که ممکن است واکنش بازار به اخبار مثبت و منفی (حتی با قدر مطلق برابر) متفاوت باشد. یکی از مدل‌هایی که قابلیت اثر متفاوت جمله‌های خطای قبلی را بر تغییرپذیری خطای شرطی دارد، مدل گارچ نمایی ($E - GARCH$) یا مدل ناهمسانی واریانس شرطی اتورگرسو تعمیم‌یافته نمایی است که توسط نلسون در سال ۱۹۹۱ معرفی شد. در مدل $E - GARCH$ به جای واریانس شرطی، از لگاریتم واریانس استفاده می‌شود. معادله $E - GARCH$ با مرتبه (p, q) به صورت زیر است [۳۰] [۹] [۵۳]:

$$\epsilon_t = \sigma_t z_t$$

$$\ln(\sigma_t^2) = \omega + \sum_{i=1}^q \beta_i \ln(\sigma_{t-i}^2) + \sum_{j=1}^p \alpha_j \frac{a_{t-j}}{\sigma_{t-j}} + \sum_{k=1}^r \gamma_k \left(\left| \frac{a_{t-k}}{\sigma_{t-k}} \right| - \mathbb{E} \left(\left| \frac{a_{t-k}}{\sigma_{t-k}} \right| \right) \right)$$

که در آن: σ_t^2 واریانس شرطی در زمان t ، ω مقدار ثابت، β_i ضرایب مدل، a_{t-i} خطای تصادفی در زمان $t - i$ ، γ پارامتر نامتقارن، α_j ضرایب مدل و $\mathbb{E} \left(\left| \frac{a_{t-k}}{\sigma_{t-k}} \right| \right)$ میانگین مورد انتظار از مطلق شوک‌های استاندارد شده است. γ_k پارامتر اثر نامتقارن است و اگر $\gamma_k < 0$ باشد شوک‌های منفی تأثیر بیشتری بر نوسانات دارند و اگر $\gamma_k = 0$ باشد اثر شوک‌ها (مشابه $GARCH$) متقارن است.

۴.۲.۲ مدل اتورگرسو تعمیم‌یافته امتیازی (GAS)

مدل‌های سری زمانی با پارامترهای متغیر با زمان در بسیاری از زمینه‌های علمی کاربرد دارند. بسیاری از مدل‌های پیشنهادی یا تخمینشان سخت است یا شکل توزیع شرطی داده‌ها را به درستی در نظر نمی‌گیرند. برای حل این مشکل پیشنهاد شد که از امتیاز تابع چگالی شرطی به عنوان عامل اصلی تغییرات زمانی

¹ Symmetry Effect

در پارامترها استفاده شود. این روش تخمین ساده‌تری دارد و مدل حاصل از آن با نام‌های مختلفی مانند مدل مبتنی بر امتیاز^۱، DCS یا GAS شناخته می‌شود. در این پژوهش، از اصطلاح GAS استفاده شده است مدل امتیازی خودرگرسیو تعمیم‌یافته^۲ GAS یکی از مدل‌های پیشرفته در تحلیل سری‌های زمانی است که برای مدل‌سازی نوسانات و تغییرات در داده‌ها استفاده می‌شود. این مدل توسط Creal و Koopman و Lucas در سال ۲۰۱۲ معرفی شد و به عنوان یک توسعه از مدل‌های GARCH و $E - GARCH$ شناخته شده است. مدل GAS از تابع امتیاز^۳ برای به‌روزرسانی پارامترهای نوسان استفاده می‌کند. این تابع نمره بر اساس مشتقات لگاریتم تابع چگالی احتمال شرطی محاسبه می‌شود. به عبارت دیگر، مدل GAS از اطلاعات موجود در داده‌ها برای بهبود پیش‌بینی‌های خود استفاده می‌کند. این مدل با اینکه توسط اقتصاددان‌ها توسعه‌یافته است ولی به قدر کافی این مدل منعطف است که می‌توان در تمامی زمینه‌ها که متغیر زمان استفاده کرد. دشواری اصلی استفاده از این مدل مربوط به تابع امتیاز، هسیان و برآورد درست‌نمایی بیشینه نتایج مدل‌های غیرخطی است.

فرض کنید y_t بردار وابسته با ابعاد $1 \times N$ ، f_t بردار پارامترهای متغیر با زمان، x_t بردار متغیرهای خارجی و بردار پارامترهای ثابت θ را در زمان t نشان می‌دهند. مجموعه اطلاعات موجود در زمان t به صورت $\{F_t, \mathcal{F}_t\}$ تعریف می‌شود:

فرض می‌کنیم که y_t از چگالی مشاهده $p(y_t | f_t, \mathcal{F}_t; \theta)$ تولید می‌شود.

$$t = 1, 2, \dots, n \quad \text{برای} \quad \mathcal{F}_t = \{Y^{-1}, F^{-1}, X^1\},$$

همچنین، مکانیزم به‌روزرسانی پارامترهای متغیر f_t با معادله اتورگرسیوی $f_{t+1} = \kappa + A \cdot s_t + B \cdot f_t$

¹ Score-driven

² Generalized Autoregressive Score

³ Score Function

تعریف می‌شود. آنگاه معادله لگاریتم واریانس شرطی آن بصورت زیر است:

$$f_t = \omega + \sum_{j=1}^q B_j f_{t-j} + \sum_{i=1}^p A_i s_{t-i}$$

$$s_t = S_t \cdot \nabla_t$$

$$S_t = E_{t-1} [\nabla_t \nabla_t']^{-1}$$

$$\nabla_t = \frac{\partial \ln p(R_t | \sigma_t^2, \mathcal{F}_t; \theta)}{\partial \sigma_t^2}$$

که در آن‌ها، σ_t^2 واریانس شرطی در زمان t ، A ماتریس ضریب امتیاز، ω مقدار ثابت، ξ ضریب امتیاز قبلی، ϖ ضریب لگاریتم واریانس شرطی قبلی، s_t نمره شرطی در زمان t ، S_t ماتریس نرمالیزه‌کننده، ∇_t ، گرادیان درست‌نمایی نسبت به واریانس شرطی $E_{t-1} [\nabla_t \nabla_t']$ امید ریاضی از مشتق دوم درست‌نمایی، $p(R_t | \sigma_t^2, \mathcal{F}_t; \theta)$ تابع احتمال، \mathcal{F}_t اطلاعات موجود تا زمان t و S تابع ماتریسی است. مدل GAS از طریق انتخاب ماتریس مقیاس بندی S_t ، انعطاف بیشتری در نحوه استفاده از امتیاز برای به‌روز رسانی f_t فراهم می‌کند. توجه به این نکته مهم است که هر انتخاب متفاوت برای ماتریس مقیاس بندی S_t منجر به یک مدل GAS متفاوت می‌شود. ویژگی‌های آماری و تجربی هر یک از این مدل‌ها می‌تواند متفاوت باشد. در بسیاری از موارد، استفاده از شکل خاصی از مقیاس‌دهی که به واریانس امتیاز وابسته باشد طبیعی است. به عنوان مثال، می‌توان ماتریس مقیاس‌دهی را به صورت زیر تعریف کرد:

$$S_i = \mathcal{I}_{i|i-1}^{-1}, \quad \mathcal{I}_{i|i-1} = E_{i-1} [\nabla_i \nabla_i']$$

$$S_i = \mathcal{J}_{i|i-1}, \quad \mathcal{J}_{i|i-1} \mathcal{J}_{i|i-1} = \mathcal{I}_{i|i-1}^{-1}$$

که در آن E_{t-1} نشان‌دهنده امید ریاضی نسبت به $p(y_t|f_t, F_{t-1}; \theta)$ و S_t به‌عنوان ماتریس ریشه دوم از (شبه) معکوس ماتریس اطلاعات^۱ تعریف شده‌است. این انتخاب موجب سهولت در تحلیل خواص آماری مدل GAS می‌شود. چارچوب GAS توسط اقتصادسنگ‌ها ایجاد شده، اما به دلیل انعطاف‌پذیری بالا، در هر حوزه‌ای که مدل‌های با پارامترهای متغیر با زمان کاربرد داشته باشند، قابل استفاده‌است. چالش اصلی در کار با مدل‌های GAS محاسبه تابع امتیاز و ماتریس هسیان و اجرای تخمین حداکثر درست‌نمایی برای مدل‌های غیرخطی است [۵۱] [۵۲] [۵۳] [۶۵] [۵۹].

در مدل GARCH، واریانس شرطی به صورت تابعی از واریانس‌های شرطی گذشته و شوک‌های گذشته مدل‌سازی می‌شود. در حالی که در مدل GAS، واریانس شرطی به صورت تابعی از امتیازهای شرطی مدل‌سازی می‌شود. امتیاز شرطی در واقع حساسیت تابع درست‌نمایی نسبت به پارامترها است و اطلاعات بیشتری در مورد ساختار نوسانات ارائه می‌دهد.

مدل GAS به دلیل استفاده از امتیاز شرطی، انعطاف‌پذیری بیشتری نسبت به مدل GARCH دارد و می‌تواند انواع پیچیده‌تری از ساختارهای نوسانات را مدل‌سازی کند. مدل GAS با توزیع تی نسبت به مدل GARCH انعطاف‌پذیری بیشتری دارد و می‌تواند انواع مختلفی از ساختارهای نوسانات را مدل‌سازی کند. مدل GAS می‌تواند نوسانات شدید و غیرمنتظره را بهتر از مدل GARCH مدل‌سازی کند. در مدل‌های GARCH، تغییرات واریانس فقط به مربع داده‌های گذشته وابسته‌است. اما در مدل GAS، تغییرات پارامترها از طریق امتیاز توزیع، که شکل توزیع را هم در نظر می‌گیرد، هدایت می‌شود. این باعث می‌شود مدل GAS برای توزیع‌های غیرنرمال عملکرد بهتری داشته‌باشد.

¹ Information Matrix

فصل ۳

نحوه‌ی اعمال بر ارزش داده‌ها

۱.۳ مقدمه

در این فصل، قصد چگونگی بررسی داده‌ها و نتایج و آزمون‌ها و نحوه بدست آمدن نتایج و اعمال عملیات روی داده‌های خام را مورد بررسی قرار دهیم.

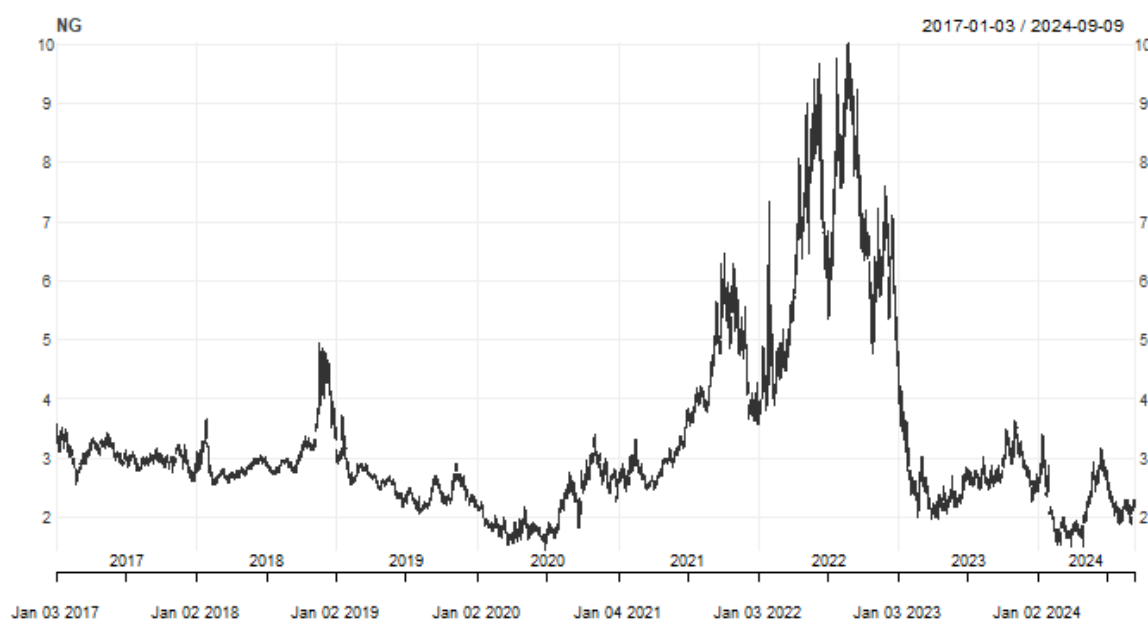
۲.۳ معیارهای انتخاب مراجع قیمت نفت

این پژوهش از بین مراجع قیمت نفت، نفت خام برنت و غرب تگزاس به علت گردش مالی بالاتر نسبت به دیگر مراجع و دقت بالاتر انتخاب شدند و برای قیمت گاز طبیعی، از قیمت جهانی آن استفاده شد.

در رابطه با مراجع‌ای که داده‌ها را در اختیار پژوهشگر قرار می‌دهند، داده‌ها از سایت یاهو فایننس^۲،

² <https://finance.yahoo.com>

سایت investing^۱ و همچنین کارگزاری آلپاری^۲ (جهانی) از حساب *Pro ECN* دریافت شد. داده‌های این سه منبع تا حد بسیار زیادی شباهت داشته و با چشم‌پوشی کمی، تطابق داشتند. بیشتر تفاوت‌ها در بیشترین و کمترین قیمت روز و قیمت بازگشایی روز تفاوت داشتند. قیمت بازگشایی با توجه به تفاوت ساعت زمانی امری طبیعی بوده ولی تفاوت بیشترین و کمترین قیمت روز هرچند ناچیز، قابل توجیه نبود. با این حال که نتایج برآزش این سه داده تفاوت چندانی نداشت، در این پایان‌نامه از داده‌های سایت یاهو فایننس به دلیل کاربری بیشتر و عدم بهره‌وری از نوسانات روز (برخلاف داده‌های کارگزاری) استفاده شد. تمامی نتایج و برآزش‌هایی که در این پایان‌نامه در اختیار شما قرار گرفته‌است، از داده‌های دریافتی از همین منبع است. داده‌های دریافتی شامل بیشینه و کمینه قیمت روز، قیمت بازگشایی و بسته‌شدن معاملات روز، و حجم معاملات روز بوده‌است. نمودار شمعی^۳ داده‌ها دریافتی به شکل زیر ارائه شده‌است:



شکل ۱.۳: نمودار شمعی گاز طبیعی .

¹ <https://investing.com/commodities/crude-oil-historical-data>

² Alpari

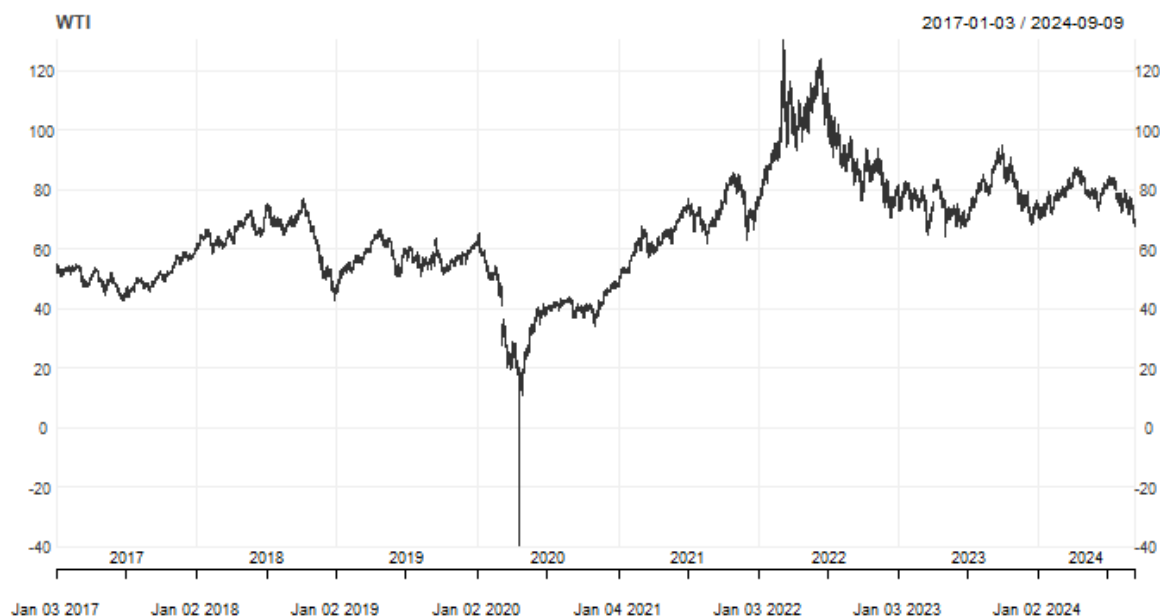
³ Candel stick

با توجه به نمودار شمعی قیمت گاز طبیعی قیمت آن در آن جهش صعودی در حدود ۴ دلار تا ۱۰ دلار و بعد از آن روند نزولی قیمت حتی به زیر ۳ دلار را مشاهده می‌کنیم. دلیل افزایش قیمت گاز طبیعی در سال ۲۰۱۹ به بعد، کاهش عرضه‌ی گاز از روسیه و افزایش تقاضا و... بود.



شکل ۲.۳: نمودار شمعی نفت خام برنت.

نمودار شمعی بالا قیمت نفت برنت را از تاریخ ۳ ژانویه ۲۰۱۷ تا ۹ سپتامبر ۲۰۲۴ نشان می‌دهد. قیمت‌ها در این بازه زمانی از حدود ۳۰ دلار تا بیش از ۱۳۰ دلار متغیر بوده‌اند و نقاط اوج و فرود قابل توجهی در این نمودار دیده می‌شود. کف قیمت ۲۰ دلاری و صعود قیمت و یک افزایش شدید در سال ۲۰۲۲ که قیمت را به بالای ۱۳۰ دلار رساند و پس از آن به حدود ۷۰ دلار کاهش یافتن قیمت نفت خام برنت، مشاهده می‌شود.



شکل ۳.۳: نمودار شمعی نفت خام غرب تگزاس.

با توجه به نمودار شمعی نفت خام غرب تگزاس، از ژانویه ۲۰۱۷ تا اوایل ۲۰۲۰ قیمت‌ها نسبتاً ثابت بوده و در محدوده ۴۰ تا ۷۰ دلار نوسان داشته‌اند. در اوایل ۲۰۲۰ یک سقوط شدید قیمت به زیر صفر، که به دلیل کاهش تقاضا ناشی از همه‌گیری کووید^۱ ۱۹ و مشکلات ذخیره‌سازی نفت بوده‌است، مشاهده می‌شود. با شروع بهبود تقاضا، اواسط ۲۰۲۰ بازیابی قیمت‌ها به محدوده ۳۰ تا ۴۰ دلار و پس از آن اواخر ۲۰۲۰ تا اوایل ۲۰۲۲ افزایش سریع قیمت به حدود ۱۰۰ دلار به دلیل بهبود اقتصادی جهانی و کاهش تولید نفت را مشاهده می‌کنیم. اواسط ۲۰۲۲ به دلیل بحران‌های ژئوپلیتیکی و افزایش تقاضا اوج‌گیری قیمت به بیش از ۱۰۰ دلار و در اواخر ۲۰۲۲ تا ۲۰۲۴ نوسانات قیمت با کاهش تدریجی به محدوده ۷۰ دلار رسید.

^۱ Covid-19

۱.۲.۳ بررسی داده‌ها

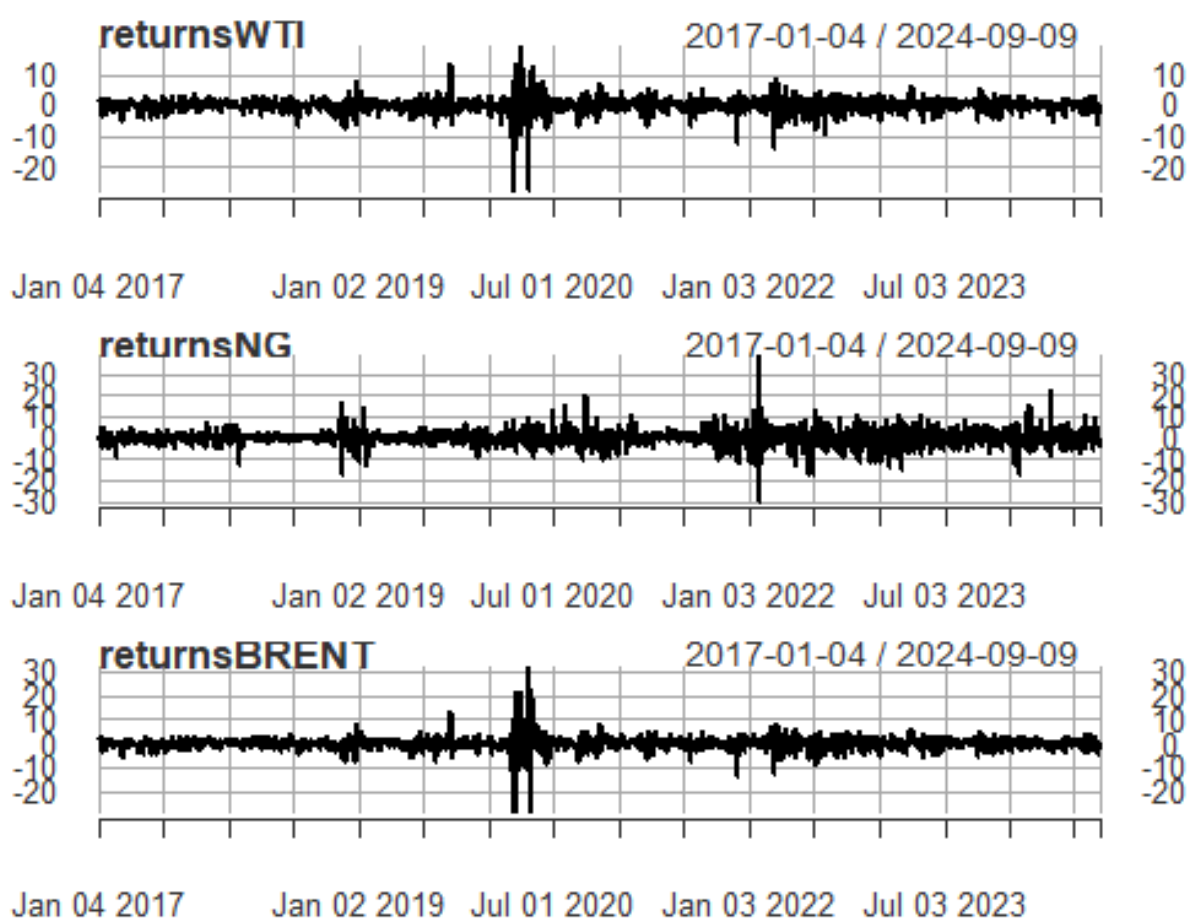
از بین داده‌های دریافتی، داده‌های قیمتی بسته‌شدن روزانه هر یک از دارایی‌ها را جدا کردیم. در جدول زیر داده‌های اولیه آورده شده‌است:

جدول ۱.۳: آمار توصیفی برای قیمت برنت، گاز طبیعی و نفت خام غرب تگزاس

مقادیر	Brent	NG	WTI
میانگین	۷۰/۵۶	۳/۲۷۴۰۲۳	۶۵/۷۹۵۱۴
کمینه	۱۹/۳۳	۱/۴۸۲	-۳۷/۶۳
بیشینه	۱۲۷/۹۸	۹/۶۸	۱۲۳/۷
چولگی	۰/۰۹۱	۲/۰۰۸۱۶۴	۰/۱۲۱۰۰۴۴
کشیدگی	۳/۲۰۹۳۳۴	۶/۷۸۱۹۸۸	۳/۷۸۴۹۸
واریانس	۳۲۸/۷۷۹۸	۲/۳۸۹۱۹۷	۳۳۰/۳۴۵۱
انحراف معیار	۱۸/۱۳۲۲۹	۱/۵۴۵۷۰۳	۱۸/۱۷۵۴
تست جارتک-برا	۶/۲۵۲۱	۲۴۵۲/۵	۵۴/۳۴۶
تست دیکی-فولر	-۲/۰۱۰۲	-۲/۱۶۳۲	-۲/۰۶۴۱
تعداد مشاهدات	۱۹۳۴	۱۹۳۴	۱۹۳۴

۲.۲.۳ محاسبه بازده‌ها

در این پژوهش از بازده لگاریتمی استفاده کردیم. قیمت بسته‌شدن روزانه دارایی‌های مورد بررسی مورد استفاده قرار گرفت و بازده‌های لگاریتمی متناظر با آن‌ها را محاسبه کردیم. نمودار این برآوردها نیز به صورت زیر است:



شکل ۴.۳: نمودار بازده‌ها دارایی‌های مالی مورد بررسی.

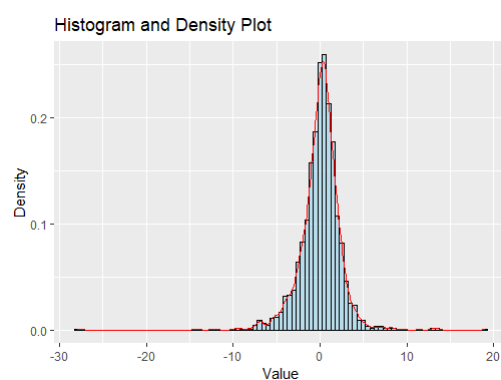
و همچنین آمار توصیفی بازده‌های داده‌های قیمتی دارایی مالی مورد بررسی به صورت زیر است.

جدول ۲.۳: آمار توصیفی بازده‌های برنت، گاز طبیعی و نفت خام غرب تگزاس

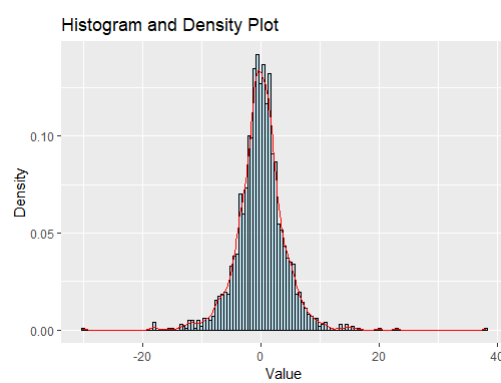
مقادیر	NG	Brent	WTI
میانگین	-۰/۰۲۲۱۰۷۸	۰/۰۱۳۳۷۸۱۲	۰/۰۴۵۲۸۵۰۱
کمینه	-۳۰/۰۴۷۹۸	-۲۷/۹۷۶۱۵	-۲۸/۲۲۰۶۱
بیشینه	۳۸/۱۷۲۶۷	۱۹/۰۷۷۴	۳۱/۹۶۳۳۶
چولگی	۰/۱۸۰۳۳۶۸	۱/۳۹۳۲۰۶	۰/۰۳۶۷۰۲۵۳
کشیدگی	۷/۶۶۱۰۳۴	۲۰/۴۹۳۱۵	۲۷/۵۸۲۸۱
واریانس	۱۶/۶۰۰۷۵	۶/۳۰۸۶۱۸	۸/۶۴۴۸۹۲
انحراف معیار	۴/۰۷۴۴۰۲	۲/۵۱۱۶۹۶	۲/۹۴۰۲۲
آزمون جارک- برا	۴۷۵۱/۲	۳۴۵۳۲	۶۱۳۲۳
آزمون دیکی- فولر	-۱۱/۸۴۶	-۱۲/۸۸۶	-۱۲/۸۳۶
تعداد مشاهدات	۱۹۳۳	۱۹۳۳	۱۹۳۳

بر اساس نتایج آزمون جارک- برا، توزیع بازده‌های گاز طبیعی، نفت برنت و نفت خام غرب تگزاس به‌طور معناداری از نرمال بودن انحراف دارد. مقادیر آماره این آزمون به ترتیب برابر با ۴۷۵۱/۲، ۳۴۵۳۲ و ۶۱۳۲۳ بوده که همگی، فرض نرمال بودن را رد می‌کنند و همه سری داده‌ها از توزیع تی‌استیودنت برخوردار هستند. برای بررسی ایستایی سری‌های بازده، از آزمون دیکی- فولر تعمیم‌یافته استفاده شد. مقادیر آماره این آزمون برای گاز طبیعی، نفت برنت و WTI به‌ترتیب برابر با -۱۱/۸۴۶، -۱۲/۸۸۶ و -۱۲/۸۳۶ گزارش شده‌اند. از آنجایی که این مقادیر از مقادیر بحرانی در سطوح معمول آزمون کوچک‌تر (منفی‌تر) هستند، می‌توان نتیجه گرفت که سری‌های مذکور ایستا بوده و فاقد ریشه‌واحد هستند.

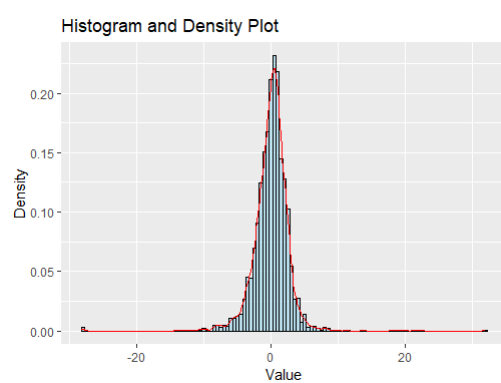
هیستوگرام بازده‌های دارایی‌های مالی مورد بررسی به صورت زیر است:



شکل ۵.۳: هیستوگرام بازده‌های نفت خام غرب تگزاس.



شکل ۶.۳: هیستوگرام بازده‌های گاز طبیعی.



شکل ۷.۳: هیستوگرام بازده‌های نفت خام برنت.

۳.۳ روش برازش مدل‌ها

در این پژوهش، ما از دو نوع برازش درون‌نمونه‌ای^۱ و برون‌نمونه‌ای^۲ بهره برده‌ایم که به توضیح هرکدام از این روش‌ها خواهیم پرداخت.

۱.۳.۳ برازش درون‌نمونه‌ای

برازش درون‌نمونه‌ای به معنی ارزیابی مدل بر روی همان داده‌هایی است که برای آموزش (برازش) مدل استفاده شده‌اند. این روش میزان انطباق مدل با داده‌های تاریخی را می‌سنجد، اما خطر بیش‌برازش^۳ در آن وجود دارد و توانایی مدل در پیش‌بینی داده‌های جدید را نشان نمی‌دهد. در این نوع برازش، جهت پیدا کردن پارامترهای مدل سری‌زمانی با توجه به داده‌های مورد بررسی انجام می‌شود. با اعمال این نوع برازش، مقادیر پارامترهای مدل، درست‌نمایی، درجه آزادی، AIC و BIC^۴ محاسبه می‌گردد که در فصل بعد نتایج آن را بررسی می‌کنیم. در این پژوهش تعداد ۱۹۳۴ بازده داده‌های مورد بررسی مصادف با ۰۱ - ۰۱ - ۲۰۱۷ تا ۱۰ - ۰۹ - ۲۰۲۴ را تحت مدل‌های $GARCH(1,1)$ ، $EGARCH(1,1)$ و $GAS(1,1)$ مورد برازش قرار دادیم تا مقادیر پارامترهای مدل‌ها، مقادیر درست‌نمایی و... را به دست آوریم. جداول و نتیجه این بررسی‌ها در فصل بعد گزارش شده‌اند.

¹ In-Sample

² Out-of-Sample

³ Overfitting

^۴ AIC (معیار اطلاعات آکایکه) و BIC (معیار اطلاعات بیزی)، شاخص‌هایی برای مقایسه نسبی مدل‌ها هستند که تعادل میان برازش مدل و پیچیدگی آن را بررسی می‌کنند. هرچه مقدار این معیارها کمتر باشد، نشان‌دهنده برازش بهتر با لحاظ تعداد پارامترهای کمتر است.

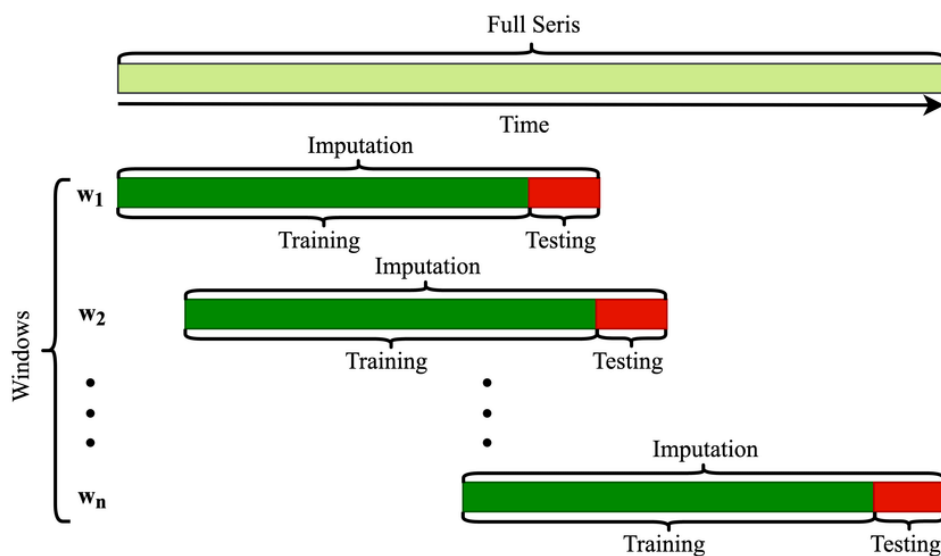
۲.۳.۳ پیش‌بینی تلاطم و بازده

برازش برون‌نمونه با استفاده از داده‌هایی که در فرایند آموزش دخیل نبوده‌اند، دقت و قابلیت تعمیم‌پذیری واقعی مدل را مورد سنجش قرار می‌دهد. نتایج این مرحله نشان می‌دهد تا چه حد پیش‌بینی‌های مدل روی مشاهدات جدید قابل اعتماد است. در جهت پیش‌بینی تلاطم و بازده از پیش‌بینی برون‌نمونه‌ای با رویکرد پنجره‌غلتان^۱، استفاده کردیم و از چهار آزمون متفاوت جهت بررسی دقت این پیش‌بینی‌ها بهره بردیم که در ادامه تمامی این روش‌ها معرفی و توضیح داده خواهد شد. هدف اصلی برازش برون‌نمونه سنجش توان تعمیم‌پذیری مدل به داده‌های جدید است. در روش پنجره‌غلتان به صورت مکرر، برازش روی زیر مجموعه‌های متوالی با تعداد ثابت از یک سری زمانی صورت می‌گیرد. به این زیر مجموعه‌های متناهی و متوالی پنجره می‌گویند. اندازه این پنجره‌ها^۲ برابر با تعداد داده‌های درون آن‌ها است که نشان‌دهنده یک دوره زمانی است. این پنجره با گام ثابت روی تمام داده حرکت داده می‌شود. به قسمت مشترک پنجره‌های متوالی، همپوشانی^۳ پنجره گفته می‌شود. هرچه گام کوچک‌تر باشد، پنجره‌ها همپوشانی بیشتری دارند و خروجی مدل‌سازی پیوسته‌تر خواهد بود. این فرایند با غلت زدن پنجره و داده‌های جدید تکرار می‌شود. در شکل زیر ساختار این روش ارائه شده است:

¹ Rolling window approach

² Window size

³ Overlap

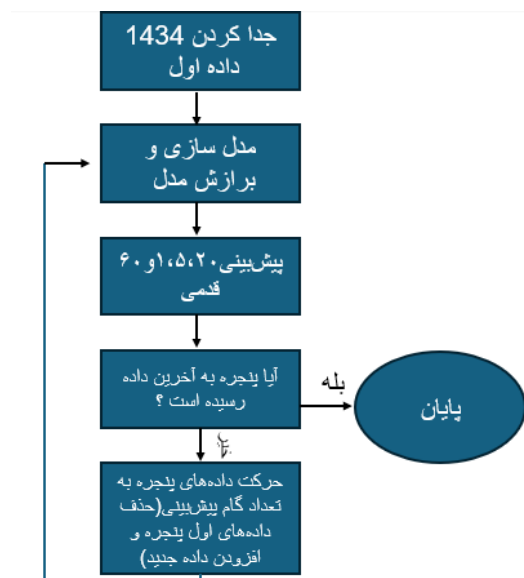


شکل ۸.۳: [۴۵] ساختار پنجره غلتان

به ازای هر یک پنجره غلتان، یک پیش‌بینی سری‌زمانی انجام می‌پذیرد، بنابراین شبیه‌سازی فرآیند پیش‌بینی سری‌زمانی در طول زمان امکان پذیر می‌شود. در جهت پیش‌بینی تلاطم و بازده از گام‌های ۱، ۵، ۲۰ و ۶۰ تایی جهت بررسی دقیق‌تر مدل‌ها بهره بردیم. دلیل انتخاب این گام‌ها، تطابق آن‌ها به ترتیب با دوره‌های زمانی یک روزه، یک هفته‌ای، یک ماهه و سه‌ماهه کاری است. در این روش، برای مثال در پیش‌بینی بیست قدمی، تعدادی داده‌ی اولیه (در این پژوهش ۱۴۳۴ داده) به مدل جهت یادگیری و به‌دست‌آوردن پارامترها داده شد تا از مدل برای پیش‌بینی بیست داده‌ی بعدی (داده‌ی ۱۴۳۵ تا ۱۴۵۴) بهره بگیریم. پس از گرفتن خروجی، داده‌های داده‌شده به مدل تغییر پیدا کرده و ۱۴۳۴ داده (از داده ۲۰ تا ۱۴۵۴) به مدل جهت پیش‌بینی بیست داده‌ی بعدی (داده‌ی ۱۴۵۵ تا ۱۴۷۴) داده می‌شود. این روند تا آخرین داده‌ی مورد نظر ادامه پیدا خواهد کرد. پس از این روش، داده‌های واقعی و داده‌های پیش‌بینی‌شده توسط مدل‌های مختلف را در دسترس داشته و می‌توان به راحتی دقت پیش‌بینی این مدل‌ها را با گام‌های متفاوت بررسی کرد. طبق تحقیقات قبلی انجام شده در این رویکرد، پنجره غلتان، استحکام بیشتری

در پارامترهای متغیر زمان نسبت به رویکردهای بازگشتی نشان می‌دهد. در روندنما^۱ زیر فرم چارچوب

کلی این پژوهش ارائه شده است [۵۶] [۵۳] [۱۶] [۴۵] [۱۸].



شکل ۹.۳: روندنما پنجره غلتان استفاده‌شده در این پژوهش

۴.۳ آزمون‌های بررسی دقت پیش‌بینی

پی‌بردن از دقت پیش‌بینی برای یک مجموعه به اندازه خود پیش‌بینی حائز اهمیت است. کارایی مدل پیش‌بینی، از مقایسه‌ی مقادیر تولید شده توسط مدل با مقادیر واقعی ارزیابی می‌شود. سنجش عملکرد مدل پیش‌بینی با مجموعه داده‌های آموزش معیاری بر برآزش^۲ مدل و ارزیابی عملکرد مدل پیش‌بینی با داده‌های آزمون، معیار تعمیم‌پذیری^۳ مدل هستند [۱۶]. در این پژوهش جهت بررسی و مقایسه نتایج پیش‌بینی‌ها بر گام‌های مختلف و همچنین مدل‌های مختلف از چهار آزمون متفاوت استفاده کردیم. اولین آزمون بر روی نتایج، آزمون دایبولد-ماریانو است و پس از آن آزمون $RMSE$ ، آزمون نرخ برتری

¹ Flowchart

² Fitness

³ Generalization

و پس از آن *CSSFED* گرفته شد.

۱.۴.۳ آزمون دایبولد-ماریانو

آزمون دایبولد-ماریانو^۱ یک روش آماری است که برای مقایسه دقت پیش‌بینی دو (یا چند) مدل مختلف استفاده می‌شود. این آزمون به‌ویژه در اقتصاد و پیش‌بینی‌های مالی و جایی که محققان می‌خواهند بدانند کدام مدل پیش‌بینی بهتری ارائه می‌دهد، کاربرد دارد. از آنجا که در مطالعات تجربی معمولاً (مانند همین پژوهش) از دو، یا بیشتر از دو، مدل سری‌زمانی استفاده می‌شود، این آزمون کاربرد گسترده‌ای در تحقیقات تجربی دارد.

بیاید فرض کنیم y_t مقادیر واقعی و \hat{y}_1 و \hat{y}_2 به ترتیب پیش‌بینی‌های مدل اول و دوم باشند به این ترتیب خطاهای پیش‌بینی‌ها از فرمول $e_{it} = \hat{y}_{it} - y_t$, $i = 1, 2$ بدست می‌آید. و اگر تابع ضرر^۲ (که به آن تابع خطا^۳ نیز گفته می‌شود [۲۷]) $g(e_{it})$ به طوری باشد که هنگامی که مقدار خطا صفر باشد، مقدار صفر بگیرد، هیچ‌گاه منفی نشود و با بزرگ شدن خطا مقدار آن نیز بزرگتر شود به طور معمول می‌توانیم تابع $g(e_{it})$ را تابع قدر مطلق خطاها یا مربع خطاها در نظر گرفت. حال ایراد این توابع ضررها، متقارن بودن است ولی این ویژگی در برخی موارد، اختلاف مثبت و منفی می‌تواند نامناسب باشد که در این موارد از تابع ضرر جداگانه‌ای استفاده می‌کنیم. حال تفاضل خطای بین دو مدل پیش‌بینی را این گونه $d_t = g(e_{1t}) - g(e_{2t})$ محاسبه می‌کنیم و فرض کنیم که دو مدل پیش‌بینی دقت یکسانی دارند اگر و تنها اگر در صورتی که امید تفاضل برای همه t ها، صفر باشد. سپس این فرضیه (فرض صفر) $H_0 = E(d_t) = 0$ و فرض مقابل آن $H_1 = E(d_t) \neq 0$ را آزمایش می‌کنیم. فرض صفر بر این مبناست که دو مدل دقت پیش‌بینی متشابه‌ای دارند و فرض متقابل بر این مبناست که دو مدل

¹ Diebold-Mariano Test

² Loss function

³ Error Function

^۲ تابعی است که یک رویداد یا مقادیر یک یا چند متغیر را بر روی یک عدد واقعی نگاشت می‌کند که به طور شهودی مقدار زیان مرتبط با رویداد را نشان می‌دهد.

دقت پیش‌بینی متفاوتی دارند [۴۲] [۴۴].

به طور کلی برای آزمون دایبولد-ماریانو، ابتدا خطاهای پیش‌بینی هر دو مدل محاسبه می‌شود. این خطاها معمولاً به صورت تفاوت بین مقادیر واقعی و مقادیر پیش‌بینی شده تعریف می‌شوند. سپس تفاوت بین خطاهای پیش‌بینی دو مدل محاسبه می‌شود. در نهایت، آزمون دایبولد-ماریانو بررسی می‌کند که آیا میانگین تفاوت خطاها به طور معناداری از صفر متفاوت است یا خیر. اگر میانگین تفاوت خطاها به طور معناداری از صفر متفاوت باشد، نشان می‌دهد که یکی از مدل‌ها به طور معناداری بهتر از دیگری است [۴۶]. آماره این آزمون به صورت زیر است:

$$DM = \frac{\bar{d}}{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (d_t - \bar{d})^2}}$$

که در آن: \bar{d} میانگین تفاوت خطاها، d_t تفاوت خطاها در زمان t و n تعداد مشاهدات است.

این آزمون برای مدل‌های تو در تو^۱ مناسب نیست، زیرا خطاهای پیش‌بینی کاملاً همبسته می‌شوند. این آزمون در پیش‌بینی‌های کوتاه‌مدت ($h = 1$)، محافظه‌کارانه عمل می‌کند. برای نتایج قابل اعتماد، از پنجره‌های غلتان به جای پنجره‌های گسترشی^۲ استفاده شود. برای تفسیر این آزمون برای مثال اگر پس از محاسبات $DM = -2/3$ (منفی) $\bar{d} = -0.5$ باشد، چون $1/96 > 2/3 > |DM|$ فرض صفر^۳ رد می‌شود. و چون \bar{d} منفی است، میانگین ضرر مدل اول کمتر از مدل دوم است. پس مدل اول به طور معناداری بهتر از مدل دوم عمل می‌کند.

۲.۴.۳ آزمون ریشه میانگین مربع خطاها

برای محاسبه $RMSE$ به طور کلی از آماره زیر استفاده شد:

¹ Nested Models

² Expanding Windows

^۳ مقدار $1/96$ از جدول توزیع نرمال استاندارد (سطح معنی‌داری ۵٪، دوطرفه) گرفته می‌شود.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (V_t - \hat{V}_t)^2} = \sqrt{mean(e_t^2)}$$

که در آن n تعداد داده پیش‌بینی‌ها، V_t تلاطم واقعی و \hat{V}_t تلاطم پیش‌بینی شده است. در واقع ریشه‌ی میانگین خطاها اختلاف بین مقادیر پیش‌بینی شده مدل آماری و مقادیر واقعی هستند. مقادیر RMSE نامنفی و واحد آن مشابه متغیر وابسته است. مقدار صفر این آماره به این معنی است که مقادیر پیش‌بینی‌شده کاملاً با مقادیر واقعی مطابقت دارند. مقادیر کوچک RMSE نشان می‌دهد که مدل به خوبی با داده‌ها مطابقت دارد و پیش‌بینی‌های دقیق‌تری دارد. همچنین، مقادیر بزرگ‌تر نشان‌دهنده خطای بیشتر و پیش‌بینی ضعیف‌تر است. ریشه میانگین مربعات خطا یک معیار ساده است که تفسیر مستقیمی از خطای کلی مدل ارائه می‌کند و می‌تواند دقت پیش‌بینی را مستقیماً ارزیابی کند. ولی این آزمون با توجه به مجذور خطاها باعث می‌شود، وزن نامتناسب بالاتری به خطاهای بزرگ‌تر بدهد. همچنین این آماره به مقیاس متغیر وابسته نیز حساس است [۵۳] [۲۳].

۳.۴.۳ نرخ برتری

در این پایان‌نامه نرخ برتری^۱ در پیش‌بینی، نسبت تعداد مواردی که خطای مطلق پیش‌بینی یک مدل کمتر از مدل‌های دیگر است، به تعداد کل پیش‌بینی‌ها (که برابر ۵۰۰ است) را نشان می‌دهد. این آزمون به عنوان یک تابع جریمه ثابت عمل می‌کند و مواردی که خطای پیش‌بینی کمتری نسبت به مدل‌های دیگر دارند، بدون توجه به فاصله بین نوسانات تخمینی و واقعی به طور مساوی در نظر گرفته می‌شوند [۵۳].

۴.۴.۳ نمودار مجموع انباشته مربع تفاوت خطای پیش‌بینی

آزمون‌هایی که معرفی شد برای بررسی دقت پیش‌بینی در کل دوره است. با این حال، یک مدل ممکن است دقت پیش‌بینی بهتری را در یک دوره معین نسبت به مدل‌های دیگر از خود نشان دهد. اما

¹ Winning Ratio

نتایج آزمون‌های RMSE، دایبولد-ماریانو و نرخ برتری از نمایش دادن این احتمال پشتیبانی نمی‌کند. بنابراین، از نمودار مجموع انباشته مربع تفاوت خطای پیش‌بینی یا CSSFED^۱ کمک می‌گیریم، تا تکامل عملکرد پیش‌بینی نسبی یک مدل خاص را با توجه به مدل دیگری به صورت گرافیکی در کل دوره نظارت کنیم [۶۶]. مجموع انباشته مربع تفاوت خطای پیش‌بینی (CSSFED) یک معیار آماری است که برای مقایسه دقت پیش‌بینی دو مدل مختلف استفاده می‌شود. این معیار به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$CSSFED_{t, t_1} = \sum_{t=t_1}^{t_1} \left((V_{m \setminus, t} - \hat{V}_t)^2 - (V_{M \setminus, t} - \hat{V}_t)^2 \right)$$

در این فرمول $V_{M \setminus, t}$ و $V_{m \setminus, t}$ به ترتیب مقدار پیش‌بینی مدل‌های اول و دوم در زمان t هستند و \hat{V}_t مقدار واقعی در زمان t است. این معیار به ما کمک می‌کند تا پی‌بیریم کدام مدل در پیش‌بینی داده‌ها در کدام بازه‌ها بهتر عمل کرده است. به طور ساده، CSSFED تفاوت بین مجذور خطاهای پیش‌بینی دو مدل را در طول یک دوره زمانی مشخص محاسبه می‌کند. اگر مقدار CSSFED مثبت باشد، به این معنی است که مدل اول (M_1) بهتر از مدل دوم (M_2) عمل کرده است. اگر مقدار منفی باشد، مدل دوم بهتر عمل کرده است. این معیار به ما کمک می‌کند تا بفهمیم کدام مدل در پیش‌بینی داده‌ها دقیق‌تر است و می‌تواند به تصمیم‌گیری‌های بهتر در تحلیل داده‌ها کمک کند [۶۲] [۵۳] [۶۶].

¹ Cumulated Sum of Squared Forecast Error Difference

فصل ۴

نتایج برازش‌ها

در این فصل، ابتدا نتایج حاصل از برازش مدل‌ها بر داده‌های درون‌نمونه‌ای مورد بررسی قرار می‌گیرد تا عملکرد مدل‌ها در بازتولید رفتار تاریخی این دارایی‌ها ارزیابی شود. سپس، دقت پیش‌بینی‌های برون‌نمونه‌ای این مدل‌ها، در فواصل زمانی و افق‌های مختلف پیش‌بینی، تحلیل می‌گردد. به‌منظور ارزیابی کیفیت پیش‌بینی‌ها، از چهار آزمون آماری معرفی شده بهره گرفته شده‌است. با اتکا به نتایج این آزمون‌ها، نقاط قوت و ضعف هر یک از مدل‌های آماری در پیش‌بینی بازده و تلاطم شناسایی شده و مورد تحلیل قرار می‌گیرند. هدف در این فصل، ارائه تصویری جامع از توانایی مدل‌ها در هر دو بُعد برازش و پیش‌بینی است.

۱۰.۰.۴ نتایج درون‌نمونه‌ای

پس از جداسازی بازده‌ها و آماده‌سازی آن‌ها برای برازش با مدل GARCH، مقادیر جدول زیر بدست آمد.

NG	BRENT	WTI	
۰/۰۲۱۶۵۸	۰/۱۴۷۵۶	۰/۱۵۸۵۵۳	μ
۰/۰۹۴۹۷۶	۰/۲۰۶۶۴	۰/۱۴۲۰۵۸	ω
۰/۰۸۹۱۱۸	۰/۱۰۱۲۷	۰/۰۹۱۷۲۶	α_1
۰/۰۹۰۹۷۹۸	۰/۸۶۳۲۵	۰/۸۸۳۴۳۰	β_1
۶/۸۳۰۱۲۱	۵/۷۸۰۴۴	۴/۷۲۹۵۱۰	<i>Shape</i>
-۵۱۰۵/۵۰۵	-۴۲۰۹/۰۸۱	-۴۰۵۳/۷۴۷	<i>LogLikelihood</i>

جدول ۱۰۴: جدول پارامترهای درون نمونه‌ای مدل GARCH

با توجه به مقادیر تابع درست‌نمایی مدل *GARCH* در بازده‌های نفت خام و گاز طبیعی، این مدل در برازش نفت خام بهتر از گاز طبیعی عمل کرده‌است. همچنین، این مدل در برآورد نفت خام غرب تگزاس بهتر از نفت برنت عمل کرده‌است. در مدل *GARCH*، جمع پارامترهای آلفا (α) و بتا (β) باید کمتر از یک باشد ($\alpha + \beta \leq 1$) تا فرآیند پایدار و میانگین ثابت (مانا) باشد. اگر مجموع این دو پارامتر بزرگتر از یک باشد، مدل ناپایدار می‌شود و این باعث می‌شود که مدل به درستی عمل نکند. به بیان دیگر، در شرایطی که ($\alpha + \beta > 1$) باشد، مدل نشان می‌دهد که شوک‌ها یا نوسانات در داده‌ها تأثیر طولانی‌مدتی دارند که هرگز کاملاً محو نمی‌شوند (به علت استفاده از مرتبه‌های (۱ و ۱)، فقط شوک گذشته و تلاطم قبلی). این حالت را به عنوان "اثر حافظه بلندمدت"^۱ در نوسانات می‌شناسند که باعث می‌شود پیش‌بینی‌ها غیرقابل اعتماد باشند [۶۴] [۵۷] [۳۰]. در این مدل با توجه جدول مقادیر بالا (جدول ۱۰۴) در دارایی‌های ما این شرط برقرار بوده‌است.

پس از جداسازی بازده‌ها و برازش با مدل *GARCH*، نوبت به مدل E-GARCH می‌رسد. مقادیر جدول زیر نتایج این برازش است که در ادامه به بررسی آن می‌پردازیم.

¹ Long Memory Effect

NG	BRENT	WTI	
۰/۰۵۴۳۲۲	۰/۰۵۴۹۲۵	۰/۱۳۶۳۸۵	μ
۰/۰۲۱۷۵۶	۰/۰۲۱۸۱۱	۰/۲۸۳۹	ω
۰/۰۲۵۲۱۰	۰/۰۲۵۱۸۴	۰/۱۵۶۷	α_1
۰/۹۵۰۹۰۵	۰/۹۱۶۰۴۴	۰/۲۵۶۴	β_1
۰/۱۷۰۱۸۱	۰/۰۱۶۹۱۵۰	۰/۱۹۵۶	γ_1
۶/۷۵۴۱۰۷	۶/۷۵۸۳۵۳	۰/۶۲۳۱	<i>Shape</i>
-۵۰۹۶/۴۴۲	-۵۰۹۴/۲۶۴	-۵۰۹۴/۱۳۶	<i>LogLikelihood</i>

جدول ۲.۴: جدول پارامترهای درون نمونه‌ای $E - GARCH$

با مقایسه مقدار تابع درست‌نمایی به سادگی می‌توان دریافت این مدل در دارایی مالی نفت خام غرب تگزاس بهترین عملکرد و در گاز طبیعی ضعیف‌ترین عملکرد را در بین دارایی‌های مورد بررسی داشته‌است. و در تمامی دارایی‌های مالی ما شرط $(\alpha + \beta \leq 1)$ برقرار است.

NG	BRENT	WTI	
۰/۰۰۳۲۶۹۷	۰/۲۳۳۴۹۴	۰/۱۷۹۱۴۱	ω
-۰/۳۷۸۶۳۰۸	۰/۰۴۹۸۸۴	-۰/۱۰۹۳۲۱	α_1
۰/۶۸۶۶۰۴۰	-۰/۴۰۰۹۷۴	۰/۶۷۸۳۷۱	ϕ
۷/۸۰۸۱۱۷۳	۲/۶۶۱۳۴۵	۲/۱۳۰۰۵۳	<i>var</i>
۳/۶۲۸۹۲۳۳	۳/۰۳۳۴۶۵	۲/۹۰۱۰۵۳	degrees of freedom
-۵۲۹۱/۲۴۳	-۴۳۵۷/۲۵۸	-۴۱۸۳/۳۳۶	<i>Log - Likelihood</i>

جدول ۳.۴: جدول پارامترهای درون نمونه‌ای مدل GAS

با مقایسه تابع درست‌نمایی در هر یک از این دارایی‌ها پی می‌بریم این مدل همانند مدل $E-GARCH$ در دارایی مالی نفت خام غرب تگزاس بهترین عملکرد و در گاز طبیعی ضعیف‌ترین عملکرد را در دارایی‌های مالی داشته است. با مقایسه جداول بالا در نفت خام غرب تگزاس، بهترین عملکرد مربوط به مدل $GARCH$ و ضعیف‌ترین عملکرد هم مربوط به مدل GAS بوده است. در نفت خام برنت و گاز طبیعی، بهترین عملکرد مربوط به مدل $E-GARCH$ و ضعیف‌ترین عملکرد مربوط به مدل GAS بوده است. از آنجایی که برتری در برازش درون‌نمونه‌ای تضمین‌کننده‌ی برتری در نتایج برون‌نمونه‌ای نیست [۵۵] به بررسی نتایج برون‌نمونه‌ای می‌پردازیم تا ببینیم در هر یک از گام‌های مورد بررسی در هر یک از دارایی‌های مورد بررسی کدام مدل برتری دارد.

۲۰۰۴ نتایج آزمون‌های پیش‌بینی برون‌نمونه‌ای یک قدم بازده

پس از محاسبه بازده‌های پیش‌بینی‌شده و مقایسه‌ی آن‌ها با داده‌های واقعی متناظر و بررسی دقت آن‌ها با سنج‌های معرفی شده، نتایج آزمون را بررسی می‌کنیم.

NG	BRENT	WTI	
۴/۸۱۵۵۸۸	۱/۹۰۷۸۷۳	۲/۰۷۱۴۸۴	$GARCH$
۴/۸۱۷۹۴۵	۱/۹۰۴۷۸۸	۲/۰۶۸۲۱۹	$EGARCH$
۴/۸۲۲۲۴۹	۱/۹۲۱۴۱	۲/۰۷۵۰۲۸	GAS

جدول ۴۰۴: نتایج آزمون ریشه میانگین مربع خطاها پیش‌بینی یک قدم بازده

با توجه به جدول بالا هر سه مدل مورد بررسی نتایج مشابه به هم و با مقدار بسیار کمی تفاوت داشته‌اند. با توجه به این مقادیر، در پیش‌بینی بازده گاز طبیعی بهترین نتیجه را مدل $GARCH$ و ضعیف‌ترین نتیجه را، مدل GAS ارائه داده است. در نفت خام برنت بهترین نتیجه را با اختلاف جزئی مدل $E-GARCH$ و ضعیف‌ترین نتیجه را مدل GAS ارائه داده است. در پیش‌بینی بازده نفت خام غرب تگزاس بهترین

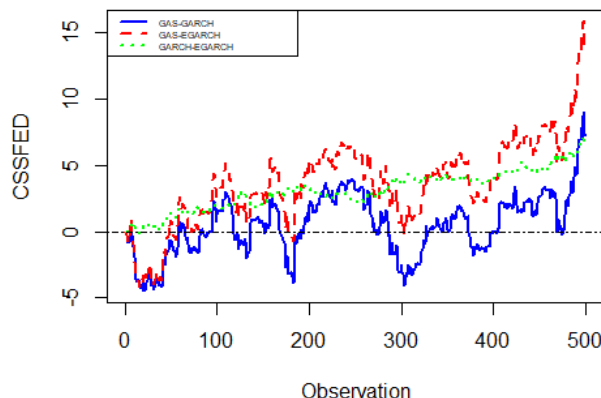
نتیجه را مدل E-GARCH و ضعیف‌ترین نتیجه را نیز مدل GARCH ارائه داده‌است.

NG	BRENT	WTI	
۰/۳	۰/۲۵۶	۰/۲۲۲	<i>GARCH</i>
۰/۲۳	۰/۳۱۴	۰/۳۳۲	<i>EGARCH</i>
۰/۴۷۲	۰/۴۳	۰/۴۴۶	<i>GAS</i>

جدول ۵.۴: نرخ برتری مدل‌ها در پیش‌بینی یک قدم بازده

در پیش‌بینی یک قدمی بازده تمام دارایی‌ها مدل *GAS*، بیشترین نرخ برتری را نسبت به دو مدل دیگر ارائه داده‌است. لازم به ذکر است این آزمون به تنهایی برای مقایسه این مدل‌ها کافی نیست بلکه با آزمون‌های دیگر باید مقایسه کرد تا نتیجه بهتر و کامل‌تر گرفت.

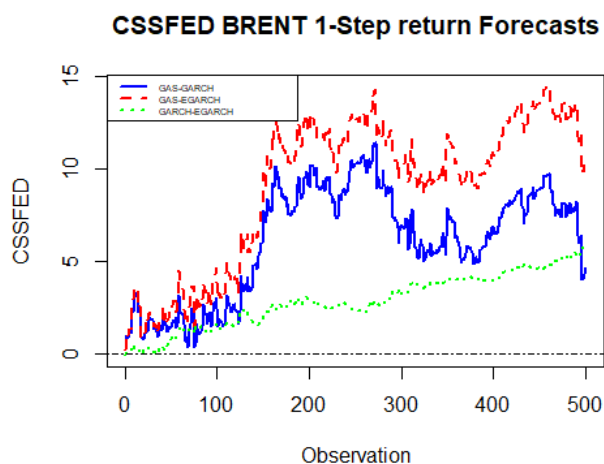
CSSFED WTI 1-Step Forecasts return



شکل ۱.۴: نمودار CSSFED بازده یک قدم نفت خام غرب تگزاس مدل‌های مورد بررسی

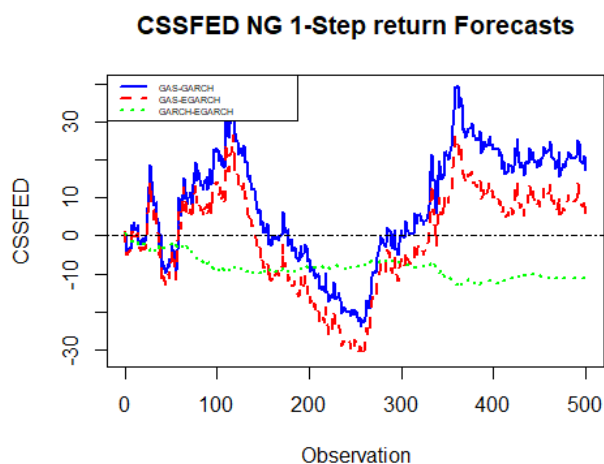
در نمودار *CSSFED* اگر نمودار مقادیر مثبت پیدا کند، یعنی مدل دوم پیش‌بینی بهتری داشته و همین‌طور اگر نمودار مقدار منفی پیدا کند، مدل اول پیش‌بینی بهتری داشته‌است. به همین ترتیب اگر نمودار در بازه‌ای شیب مثبت پیدا کند، در این بازه مدل دوم بهتر عمل کرده است و معکوس آن یعنی

شیب منفی به معنای برتری مدل اول است. پس با توجه به نمودار بالا درمی یابیم مدل E-GARCH بهتر از GARCH و GARCH بهتر از مدل دیگر عمل کرده است.



شکل ۲.۴: نمودار CSSFED پیش‌بینی یک قدم بازده نفت خام برنت مدل‌های مورد بررسی

تمامی نمودارها شیب مثبت داشته‌اند. پس ضعیف‌ترین مدل، مدل GAS و مدل E-GARCH نیز پیش‌بینی بهتری نسبت به مدل GARCH داشته است.



شکل ۳.۴: نمودار CSSFED پیش‌بینی یک قدم بازده گاز طبیعی مدل‌های مورد بررسی

در نمودار بالا هرچند پر تلاطم ولی تمام نمودارها با پایه GAS مقداری مثبت دارند. مدل GAS هرچند به طور کلی ضعیف‌تر نسبت به باقی مدل‌ها عمل کرده‌است ولی در بازه ۱۲۰ تا ۳۵۰ بهتر از مدل‌های دیگر عمل کرده‌است. بین مدل‌های GARCH و E-GARCH نمودار مقداری منفی با شیبی ملایم و تقریباً ثابت دارد که نشان‌دهنده‌ی عملکرد بهتر مدل GARCH است.

جدول ۶.۴: نتایج آزمون دایبولد-ماریانو برای پیش‌بینی یک قدم بازده

دارایی	مقایسه مدل‌ها	DM	p-value
NG	EGARCH vs. GARCH	-۱/۷۴۴۸	۰/۰۸۱۶۳
NG	GAS vs. GARCH	۰/۷۹۲۹۸	۰/۴۲۸۲
NG	GAS vs. EGARCH	۱/۰۲۴۳	۰/۳۰۶۲
BRENT	EGARCH vs. GARCH	۲/۹۹۱۸	۰/۰۰۲۹۱۱
BRENT	GAS vs. GARCH	-۲/۳۰۴۶	۰/۰۲۱۶
BRENT	GAS vs. EGARCH	-۲/۶۸۲۴	۰/۰۰۷۵۵۱
WTI	EGARCH vs. GARCH	۲/۳۶۷۷	۰/۰۱۸۲۸
WTI	GAS vs. GARCH	-۱/۱۶۳۲	۰/۲۴۵۳
WTI	GAS vs. EGARCH	-۱/۵۶۴۵	۰/۱۱۸۳

جدول ۷.۴: رتبه‌بندی مدل‌ها برای پیش‌بینی یک قدم بازده

مدل	WTI	برنت	گاز طبیعی (NG)
EGARCH	۱#	۱#	۳#
GARCH	۲#	۲#	۲#
GAS	۳#	۳#	۱#

۳.۰.۴ نتایج آزمون‌های دقت پیش‌بینی برون‌نمونه‌ای ۵ قدم بازده

پس از بررسی نتایج برون‌نمونه‌ای یک قدم به بررسی نتایج برون‌نمونه‌ای ۵ قدم می‌رسیم.

NG	BRENT	WTI	
۰/۳۶۶	۰/۲۳۴	۰/۲۰۲	<i>GARCH</i>
۰/۲۳۰	۰/۳۱۰	۰/۳۳۶	<i>EGARCH</i>
۰/۴۰۴	۰/۴۵۶	۰/۴۶۲	<i>GAS</i>

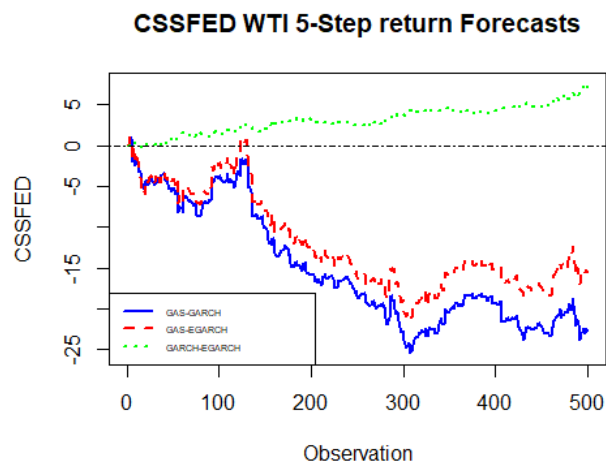
جدول ۸.۴: جدول نرخ برتری مدل‌های مورد بررسی در پیش‌بینی پنج قدمی بازده

با توجه به جدول بالا، در پیش‌بینی ۵ قدمی بازده در هر سه دارایی مالی مدل *GAS*، بالاترین نرخ برتری را نسبت به دو مدل دیگر داراست پس از آن (به جز در گاز طبیعی که مدل *GARCH* عملکرد بهتری داشته است). مدل *E-GARCH* نرخ برتری بالاتری داشته است.

NG	BRENT	WTI	
۴/۸۱۵۲۴۹	۱/۹۰۸۸۰۳	۲/۰۷۳۰۹۱	<i>GARCH</i>
۴/۸۱۷۸۷۷	۱/۹۰۵۸۶۵	۲/۰۷۰۱۴	<i>EGARCH</i>
۴/۸۳۰۱۵	۱/۹۱۳۷۰۲	۲/۰۷۵۰۱۱	<i>GAS</i>

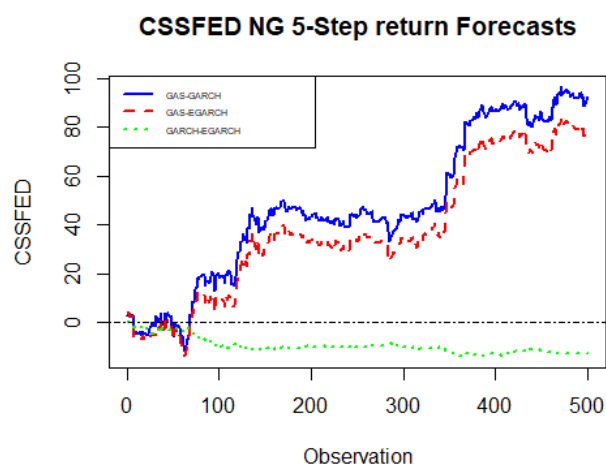
جدول ۹.۴: جدول ریشه میانگین مجذور خطاهای پیش‌بینی بازده ۵ قدم مدل‌های مورد بررسی

با توجه به جدول بالا، در پیش‌بینی بازده گاز طبیعی، مدل *GARCH* بهترین نتیجه را داشته و پس از آن، مدل *E-GARCH* عملکرد بهتری نسبت به مدل دیگر ارائه داده است. در اما در پیش‌بینی بازده دارایی‌های نفتی، مدل *E-GARCH* با اختلاف جزئی نسبت به مدل *GARCH* نسبت کمترین RMSE را ارائه داده است.



شکل ۴.۴: نمودار CSSFED پیش‌بینی ۵ قدم بازده نفت خام غرب تگزاس مدل‌های مورد بررسی

با توجه مقادیر منفی نمودارها با پایه‌ی مدل GAS، این مدل بهترین عملکرد و مدل GARCH ضعیف‌ترین عملکرد را داشته‌است.

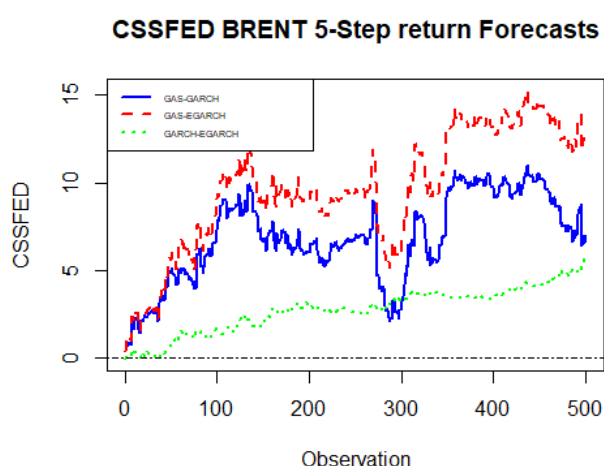


شکل ۵.۴: نمودار CSSFED پیش‌بینی ۵ قدم بازده گاز طبیعی مدل‌های مورد بررسی

با توجه به نمودار پر تلاطم بالا، نمودار GARCH و E-GARCH مقادیر منفی و شیب بسیار کمی

دارند. به طور کلی، مدل GARCH بهتر از مدل E-GARCH عمل کرده است.

اما در رابطه با نمودارهایی که یک مدل آن GAS است، این مدل ابتدا به سمت منفی‌ها حرکت کرده است، که نشان‌دهنده قدرت مدل GAS می‌باشد. سپس به سمت مثبت‌ها رفته پس در مجموع، مدل GAS ضعیف‌تر از مدل‌های GARCH و E-GARCH عمل کرده است.



شکل ۶.۴: نمودار CSSFED پیش‌بینی ۵ قدم سه مدل مورد بررسی در دارایی مالی نفت خام برنت

مقادیر نمودارهایی که در آن مدل GAS وجود دارد، هر دو مقادیر مثبت دارند که نشان‌دهنده ضعف این مدل است. نمودار مدل‌های GARCH و E-GARCH مقادیر مثبت دارند که نشان‌دهنده برتری مدل E-GARCH است.

جدول ۱۰.۴: مقادیر نتایج آزمون دایبولد-ماریانو برای پیش‌بینی ۵ قدم بازده

دارایی	مدل	DM	p-value
WTI	E-GARCH vs. GARCH	۲/۲۷۸۱	۰/۰۲۳۱۴
WTI	GAS vs. GARCH	۰/۸۸۲۳۷	۰/۳۷۸
WTI	GAS vs. E-GARCH	۰/۳۳۳۳	۰/۷۳۹
Brent	E-GARCH vs. GARCH	۲/۶۹۶	۰/۰۰۷۲۵۴
Brent	GAS vs. GARCH	-۰/۶۹۶۳۲	۰/۴۸۶۵
Brent	GAS vs. E-GARCH	-۱/۱۲۴۴	۰/۲۶۱۴
NG	E-GARCH vs. GARCH	-۱/۶۶۲۹	۰/۰۹۶۹۶
NG	GAS vs. GARCH	-۰/۹۷۴۹۴	۰/۳۳۰۱
NG	GAS vs. E-GARCH	-۰/۶۶۴۱۸	۰/۵۰۶۹

با توجه به مقادیر بالا می‌توان مدل‌ها را به مانند جدول زیر رتبه‌بندی کرد:

جدول ۱۱.۴: رتبه‌بندی مدل‌ها بر اساس نتایج آزمون دایبولد-ماریانو برای پیش‌بینی ۵ قدم بازده

مدل	WTI	برنت	گاز طبیعی
GAS	#۳	#۳	#۳
GARCH	#۲	#۲	#۲
E-GARCH	#۱	#۱	#۱

۴.۰.۴ نتایج آزمون‌های پیش‌بینی برون‌نمونه‌ای ۲۰ قدم بازده

در این قسمت به بررسی نتایج مدل‌های مورد بررسی در پیش‌بینی بیست قدم بازده می‌پردازیم.

مدل	WTI	Brent	گاز طبیعی (NG)
GARCH	۲/۰۷۳۹۴۹	۱/۹۱۱۱۴۵	۴/۸۱۵۷۲۵
EGARCH	۲/۰۷۰۶۰۶	۱/۹۰۷۹۳۸	۴/۸۱۸۱۵۳
GAS	۲/۰۷۹۲۳۱	۱/۹۲۰۷۰۴	۴/۸۲۲۲۹۸

جدول ۱۲.۴: جدول ریشه میانگین مجذور خطاهای پیش‌بینی بیست‌قدم بازده مدل‌های مورد بررسی

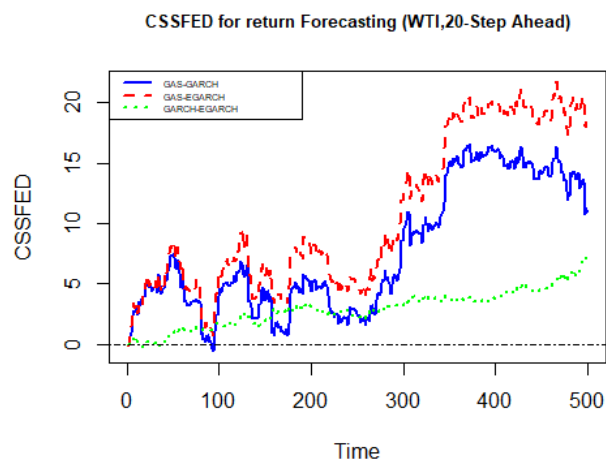
با توجه به جدول بالا، در پیش‌بینی بازده گاز طبیعی با گام‌های ۲۰ تایی، بهترین عملکرد را مدل GARCH و پس از آن مدل E-GARCH ارائه داده‌است. در پیش‌بینی بازده نفت خام برنت، بهترین عملکرد را مدل E-GARCH و پس از آن مدل GARCH ارائه داده‌است. در پیش‌بینی بازده نفت خام غرب تگزاس، بهترین عملکرد را مدل E-GARCH و پس از آن مدل GARCH ارائه داده‌است.

جدول نتایج نرخ برتری پیش‌بینی مدل‌های مورد بررسی در پیش‌بینی برون‌نمونه‌ای بیست قدمی بازده به شرح زیر است:

	WTI	BRENT	NG
<i>GARCH</i>	۰/۱۹۸	۰/۲۱۴	۰/۳۰۰
<i>EGARCH</i>	۰/۳۴۸	۰/۳۵۴	۰/۲۳۴
<i>GAS</i>	۰/۴۵۴	۰/۴۳۲	۰/۴۶۶

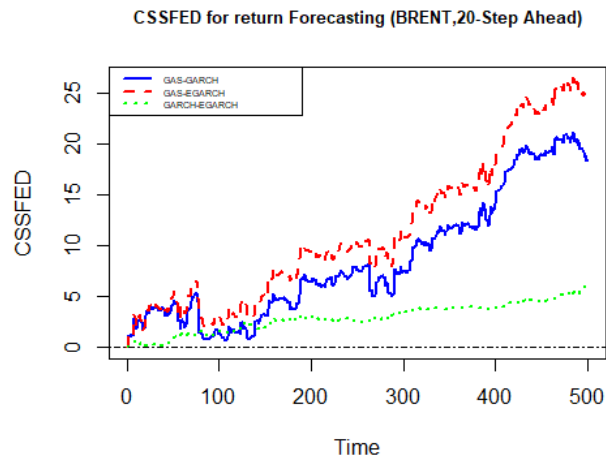
جدول ۱۳.۴: نرخ برتری مدل‌های مورد بررسی در پیش‌بینی بیست قدمی بازده

با توجه به جدول بالا، در هر سه دارایی مالی مورد بررسی مدل *GAS* برتری داشته است و به غیر از گاز طبیعی که مدل E-GARCH رتبه دوم را کسب کرده‌است. در پیش‌بینی‌های نفتی مدل GARCH در رتبه دوم قرار دارد.



شکل ۷.۴: نمودار CSSFED پیش‌بینی ۲۰ قدم بازده نفت خام غرب تگزاس مدل‌های مورد بررسی

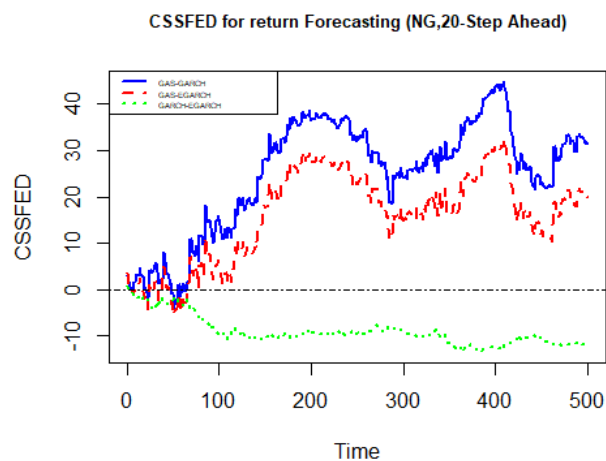
با توجه به نمودار بالا مدل E-GARCH در رتبه اول و مدل GARCH در جایگاه دوم است.



شکل ۸.۴: نمودار CSSFED پیش‌بینی ۲۰ قدم بازده نفت خام برنت مدل‌های مورد بررسی

بر اساس نمودارها، هر سه، مقادیری مثبت در این آزمون دارند و با توجه به همین موضوع، بهترین مدل برای پیش‌بینی ۲۰ قدمی بازده نفت خام غرب تگزاس، مدل E-GARCH است. پس از آن، مدل

GARCH عملکرد بهتری نسبت به مدل GAS داشته‌است.



شکل ۹.۴: نمودار CSSFED پیش‌بینی ۲۰ قدم بازده گاز طبیعی مدل‌های مورد بررسی

با توجه به نمودار بالا بهترین عملکرد مدل GARCH و پس از آن مدل E-GARCH داشته‌است.

جدول ۱۴.۴: مقادیر نتایج آزمون دایبولد-ماریانو برای پیش‌بینی ۲۰ قدم بازده

دارایی	مدل	DM	p-value
WTI	E-GARCH vs. GARCH	۳/۰۵۶۹	۰/۰۰۲۳۶
WTI	GAS vs. GARCH	-۱/۰۱۶۸	۰/۳۰۹۷
WTI	GAS vs. E-GARCH	-۱/۷۲۳۹	۰/۰۸۵۳۵
Brent	E-GARCH vs. GARCH	۳/۹۱۰۸	۰/۰۰۰۱۰۵
Brent	GAS vs. GARCH	-۲/۴۱۳۹	۰/۰۱۶۱۴
Brent	GAS vs. E-GARCH	-۳/۱۵۸۱	۰/۰۰۱۶۸۴
NG	E-GARCH vs. GARCH	-۱/۴۵۲۷	۰/۱۴۶۹
NG	GAS vs. GARCH	-۰/۹۴۲۵۸	۰/۳۴۶۴
NG	GAS vs. E-GARCH	-۰/۶۸۷۶۳	۰/۴۹۲

جدول ۱۵.۴: جدول رتبه‌بندی مدل‌ها بر اساس آزمون دایبولد-ماریانو (پیش‌بینی ۲۰ قدم بازده)

مدل	WTI	Brent	NG
GAS	#۲	#۱	#۲
GARCH	#۱	#۲	#۳
E-GARCH	#۳	#۳	#۱

۵.۰.۴ نتایج آزمون‌های پیش‌بینی برون‌نمونه‌ای ۶۰ قدم بازده

در این بخش نتایج آزمون‌ها بر پیش‌بینی ۶۰ قدم بازده ۳ مدل مورد بررسی تفسیر می‌کنیم.

جدول نرخ برتری مدل‌های مورد بررسی با پیش‌بینی ۶۰ قدم نشان داده شده‌است.

NG	BRENT	WTI	
۰/۳۱	۰/۲۱۸	۰/۲۲۸	GARCH
۰/۲۷۸	۰/۳۲۸	۰/۳۱۸	EGARCH
۰/۴۱۲	۰/۴۵۴	۰/۴۵۴	GAS

جدول ۱۶.۴: نتایج نرخ برتری پیش‌بینی شصت قدم بازده

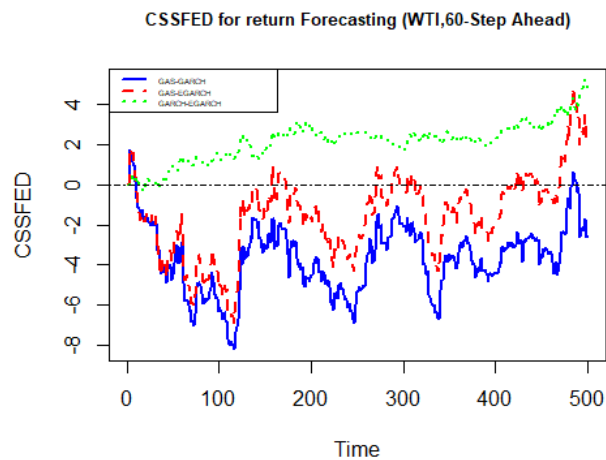
در هر سه مدل دارایی مدل GAS بهترین عملکرد و در دارایی مالی گاز طبیعی مدل GARCH بهتر از E-GARCH عمل کرده‌است.

NG	BRENT	WTI	
۴/۸۱۵۸۳۶	۱/۹۰۶۹۶۵	۲/۰۷۰۹۴۱	GARCH
۴/۸۱۸۱۲۸	۱/۹۰۴۱۶۹	۲/۰۶۸۵۷۵	EGARCH
۴/۸۱۸۹۵	۱/۹۱۱۳۶۷	۲/۰۶۹۶۹۶	GAS

جدول ۱۷.۴: نتایج RMSE های پیش‌بینی برون‌نمونه‌ای ۶۰ قدمی بازده

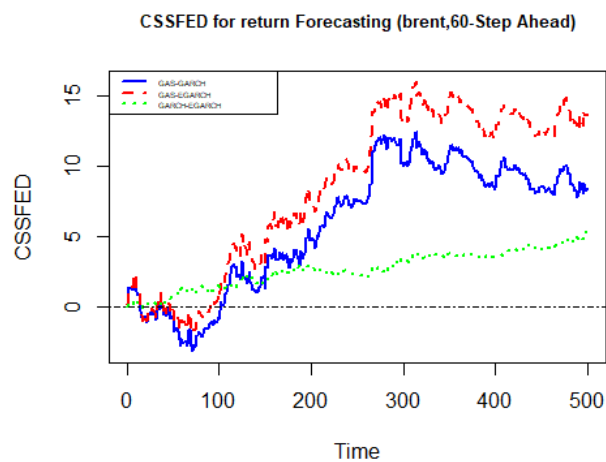
باتوجه به جدول بالا، بهترین عملکرد به طور کلی مربوط به پیش‌بینی بازده نفت خام غرب تگزاس بوده است. در همین دارایی مالی، مدل E-GARCH با اختلاف جزئی نسبت به مدل GARCH، بهترین عملکرد را داشته است. در پیش‌بینی بازده نفت خام برنت نیز، مدل E-GARCH بهترین عملکرد را نشان داده‌است.

اما در پیش‌بینی بازده گاز طبیعی، بهترین عملکرد را مدل GARCH داشته و پس از آن مدل E-GARCH عملکرد مناسبی داشته‌است.



شکل ۱۰.۴: نمودار CSSFED پیش‌بینی ۶۰ قدم بازده نفت خام غرب تگزاس مدل‌های مورد بررسی

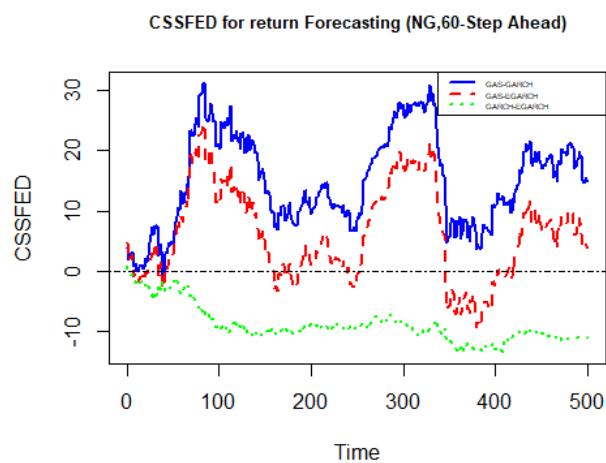
با توجه به نمودار بالا ابتدا مدل GAS بهترین عملکرد را ارائه داده‌است ولی در مجموع مدل E-GARCH عملکرد بهتری ارائه داده‌است.



شکل ۱۱.۴: نمودار CSSFED پیش‌بینی ۲۰ قدم بازده نفت خام برنت مدل‌های مورد بررسی

هر سه نمودار *CSSFED* شیبی مثبت دارند که نشان دهنده برتری مدل E-GARCH نسبت به

مدل‌های دیگر دارد و با توجه به نمودار ضعیف‌ترین مدل نیز مدل GAS است.



شکل ۱۲.۴: نمودار CSSFED پیش‌بینی ۶۰ قدم بازده گاز طبیعی مدل‌های مورد بررسی

با توجه به نمودار $CSSFED$ پر تلاطم بالا مدل مدل $GARCH$ بهترین عملکرد و GAS ضعیف‌ترین عملکرد را ارائه داده است.

جدول ۱۸.۴: نتایج آزمون دایبولد-ماریانو برای پیش‌بینی ۶۰ قدم بازده

دارایی	مقایسه مدل‌ها	DM	p-value
BRENT	EGARCH vs. GARCH	۳/۵۴۶۷	۰/۰۰۰۴۲۶۹
BRENT	GAS vs. GARCH	-۱/۰۶۳۸	۰/۲۸۸
BRENT	GAS vs. EGARCH	-۱/۷۶۳۸	۰/۰۷۸۳۸
WTI	EGARCH vs. GARCH	۲/۲۵۳۱	۰/۰۲۴۶۹
WTI	GAS vs. GARCH	۰/۲۹۷۲۱	۰/۷۶۶۴
WTI	GAS vs. EGARCH	-۰/۲۶۱۰۳	۰/۷۹۴۲
NG	EGARCH vs. GARCH	-۱/۳۷۰۱	۰/۱۷۱۳
NG	GAS vs. GARCH	-۰/۴۳۷۱۴	۰/۶۶۲۲
NG	GAS vs. EGARCH	-۰/۱۰۸۱۶	۰/۹۱۳۹

جدول ۱۹.۴: رتبه‌بندی مدل‌ها برای پیش‌بینی شصت قدمی بازده

مدل	WTI	برنت	گاز طبیعی
GARCH	۳#	۲#	۱#
EGARCH	۱#	۱#	۲#
GAS	۲#	۳#	۳#

۶.۰.۴ نتایج آزمون‌های پیش‌بینی برون نمونه‌ای یک قدم تلاطم

پس اتمام بررسی نتایج بازده‌ها به بررسی نتایج آزمون‌ها بر پیش‌بینی تلاطم می‌پردازیم.

NG	BRENT	WTI	
۴/۸۱۵۵۸۸	۱/۹۰۷۸۷۳	۲/۰۷۱۴۸۴	<i>GARCH</i>
۴/۸۱۷۹۴۵	۱/۹۰۴۷۸۸	۲/۰۶۸۲۱۹	<i>EGARCH</i>
۴/۸۲۲۲۴۹	۱/۹۲۱۴۱	۲/۰۷۵۰۲۸	<i>GAS</i>

جدول ۲۰.۴: نتایج ریشه میانگین مربع خطاهای پیش‌بینی یک قدم تلاطم

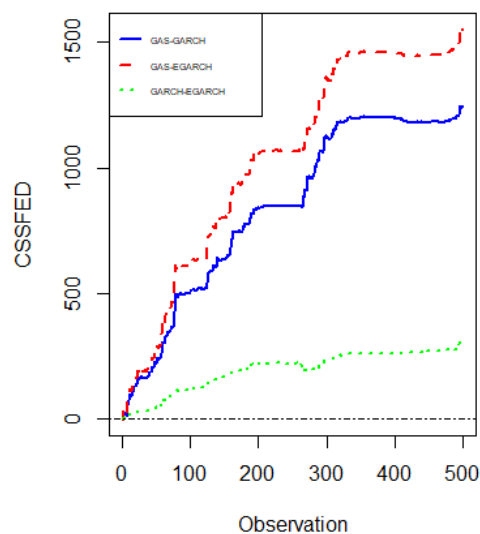
با توجه به مقادیر $RMSE$ های جدول بالا، بهترین عملکرد را در هر دارایی‌های نفتی مدل E-GARCH با توجه به پایین‌ترین مقدار خطا دارد. اما در جایگاه دوم، مدل GARCH عملکرد بهتری نسبت به مدل GAS داشته‌است و در دارایی‌گاز طبیعی، مدل GARCH عملکرد بهتری نسبت به مدل E-GARCH داشته‌است و در هر سه دارایی مدل GAS ضعیف‌ترین عملکرد را داشته‌است.

NG	BRENT	WTI	
۰/۲۰۶	۰/۱	۰/۱۰۲	<i>GARCH</i>
۰/۴۸۲	۰/۴۴	۰/۴۶۲	<i>EGARCH</i>
۰/۳۱۲	۰/۴۶	۰/۴۳۶	<i>GAS</i>

جدول ۲۱.۴: نرخ برتری مدل‌های مورد بررسی در پیش‌بینی یک قدم تلاطم

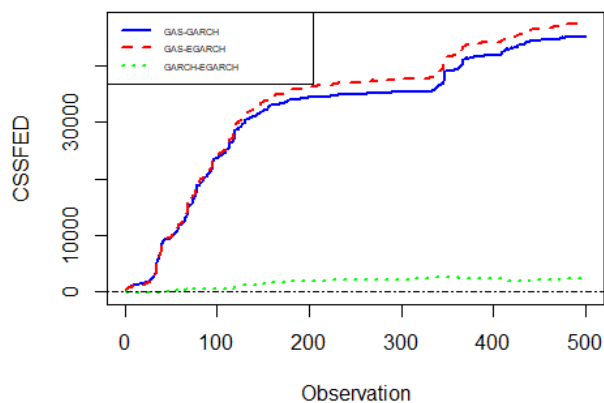
با توجه به جدول بالا در دارایی‌های نفتی مدل GAS و در دارایی گاز طبیعی مدل E-GARCH بهترین عملکرد را ارائه داده‌اند.

CSSFED brent 1-Step Forecasts



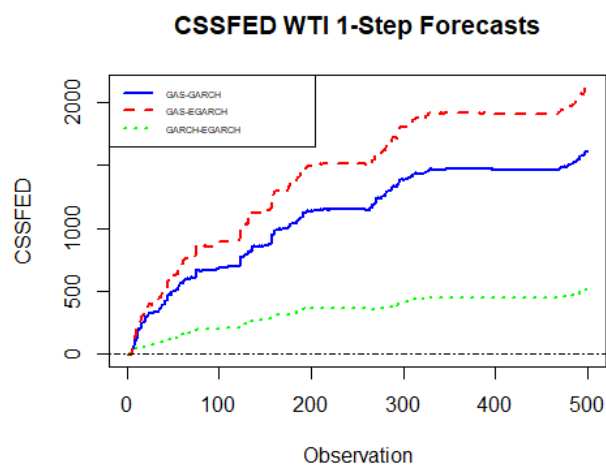
شکل ۱۳.۴: نمودار CSSFED پیش‌بینی یک قدم تلاطم نفت خام یرت مدل‌های مورد بررسی

CSSFED NG 1-Step Forecasts



شکل ۱۴.۴: نمودار CSSFED پیش‌بینی یک قدم تلاطم گاز طبیعی مدل‌های مورد بررسی

باتوجه به دو نمودار بالا مدل E-GARCH و پس از آن مدل GARCH بهترین عملکرد را ارائه داده‌اند.



شکل ۱۵.۴: نمودار CSSFED پیش‌بینی یک قدم تلاطم نفت خام غرب تگزاس مدل‌های مورد بررسی

با توجه به نمودارهای بالا مدل GARCH عملکرد ضعیف‌تری نسبت به مدل E-GARCH ارائه داده‌است و مدل GAS عملکرد ضعیفی نسبت به دو مدل دیگر داشته‌است.

جدول ۲۲.۴: نتایج آزمون دایبولد-ماریانو برای پیش‌بینی یک قدم تلاطم

دارایی	مقایسه مدل‌ها	DM	p-value
BRENT	EGARCH vs. GARCH	۵/۰۷۲۹	$۵/۵۳۶ \times ۱۰^{-۷}$
BRENT	GAS vs. GARCH	-۶/۶۱۴	$۹/۶۵۱ \times ۱۰^{-۱۱}$
BRENT	GAS vs. EGARCH	-۶/۶۵۹۲	$۷/۲۸ \times ۱۰^{-۱۱}$
WTI	EGARCH vs. GARCH	۱/۱۱۱	$۲/۶۷۱ \times ۱۰^{-۱}$
WTI	GAS vs. GARCH	-۷/۷۳	$۵/۹۷ \times ۱۰^{-۱۴}$
WTI	GAS vs. EGARCH	-۵/۱۱۹۶	$۴/۳۸ \times ۱۰^{-۷}$
NG	EGARCH vs. GARCH	۲/۶۸۲۵	$۷/۵۵ \times ۱۰^{-۳}$
NG	GAS vs. GARCH	-۹/۱۷۲۱	$< ۲/۲ \times ۱۰^{-۱۶}$
NG	GAS vs. EGARCH	-۹/۱۰۱۸	$< ۲/۲ \times ۱۰^{-۱۶}$

جدول ۲۳.۴: رتبه‌بندی مدل‌ها برای پیش‌بینی یک قدم تلاطم (بر اساس آزمون دایبولد-ماریانو)

مدل	WTI	برنت	گاز طبیعی (NG)
EGARCH	۱#	۱#	۱#
GARCH	۲#	۲#	۲#
GAS	۳#	۳#	۳#

۷.۰.۴ نتایج آزمون‌های پیش‌بینی برون‌نمونه‌ای ۵ قدم تلاطم

NG	BRENT	WTI	
۵۲/۳۸۱۷۷	۶/۰۱۳۸۱۹	۷/۷۸۲۸۴۷	<i>GARCH</i> ۷
۵۲/۳۷۴۱۴	۵/۹۴۱۷۳۲	۷/۶۷۵۹۸۳	<i>EGARCH</i>
۵۳/۳۵۸۲۱	۵/۸۳۲۷۱۵	۷/۴۹۸۳۱۶	<i>GAS</i>

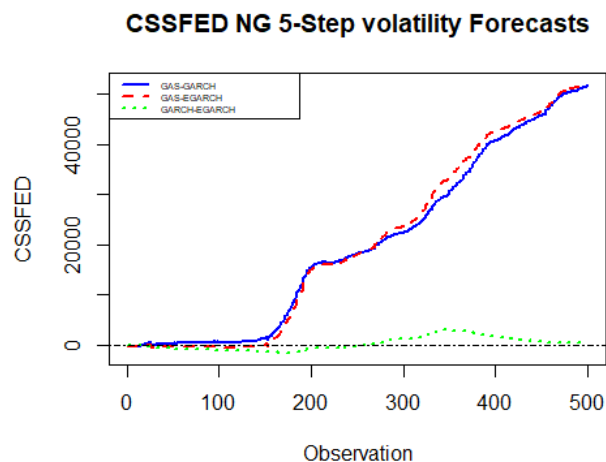
جدول ۲۴.۴: نتایج ریشه میانگین مربع خطاهای پیش‌بینی ۵ قدم تلاطم

مدل *GAS* و پس از آن مدل *E-GARCH* بهترین عملکرد را در پیش‌بینی پنج قدمی تلاطم نفت خام غرب تگزاس و نفت خام برنت و دارد. مدل *E-GARCH* و پس از آن *GARCH* در پیش‌بینی تلاطم گاز طبیعی نسبت به مدل *GAS* داشته‌اند.

NG	BRENT	WTI	
۰/۴۱۸	۰/۴۰۴	۰/۳۹۶	<i>GARCH</i>
۰/۲۸۸	۰/۱۸۶	۰/۱۸	<i>EGARCH</i>
۰/۲۹۴	۰/۴۱	۰/۴۲۴	<i>GAS</i>

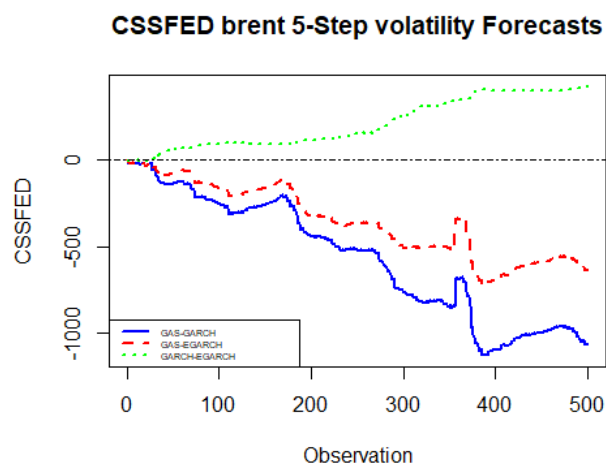
جدول ۲۵.۴: جدول نرخ برتری مدل‌های مورد بررسی در پیش‌بینی ۵ قدم تلاطم

مدل *GAS* و پس از آن مدل *GARCH* بهترین نرخ برتری را در پیش‌بینی پنج قدمی تلاطم برای دارایی‌های نفتی داشته‌است. اما مدل *GARCH* در نرخ برتری پیش‌بینی پنج قدمی تلاطم از مدل *GAS* برتری پیدا کرده‌است.



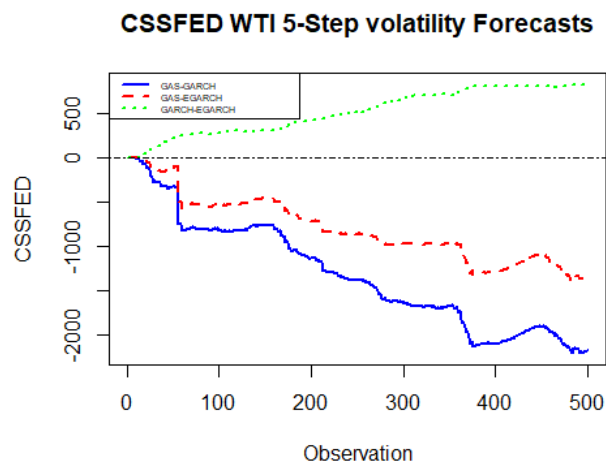
شکل ۱۶.۴: نمودار CSSFED پیش‌بینی ۵ قدم تلاطم گاز طبیعی مدل‌های مورد بررسی

با توجه به نمودار بالا بهترین عملکرد را با اختلاف جزئی با مدل GARCH، مدل E-GARCH داشته‌است. و پس از آن دو، مدل GAS در رتبه‌ی سوم قرار دارد.



شکل ۱۷.۴: نمودار CSSFED پیش‌بینی ۵ قدم تلاطم نفت خام یرنت مدل‌های مورد بررسی

با توجه به نمودار بالا بهترین مدل GAS و پس از آن مدل E-GARCH ارائه داده‌است.



شکل ۱۸.۴: نمودار CSSFED پیش‌بینی یک قدم تلاطم نفت خام غرب تگزاس مدل‌های مورد بررسی

با توجه به نمودار بالا بهترین مدل GAS و پس از آن مدل E-GARCH در رتبه‌ی دوم است.

جدول ۲۶.۴: نتایج آزمون دایبولد-ماریانو برای پیش‌بینی ۵ قدم تلاطم

دارایی	مقایسه مدل‌ها	DM	p-value
BRENT	EGARCH vs. GARCH	۴/۸۷۲۷	$۱/۴۸ \times ۱۰^{-۶}$
BRENT	GAS vs. GARCH	۲/۴۲۸۱	۰/۰۱۵۵
BRENT	GAS vs. EGARCH	۱/۶۴۶۸	۰/۱۰۰۲
WTI	EGARCH vs. GARCH	۵/۳۲۰۳	$۱/۵۷ \times ۱۰^{-۷}$
WTI	GAS vs. GARCH	۳/۲۵۰۴	۰/۰۰۱۲
WTI	GAS vs. EGARCH	۲/۳۱۰۷	۰/۰۲۱۳
NG	EGARCH vs. GARCH	۰/۲۲۴۰	۰/۸۲۲۸
NG	GAS vs. GARCH	-۷/۰۳۳۷	$۶/۶۶ \times ۱۰^{-۱۲}$
NG	GAS vs. EGARCH	-۶/۵۵۶۷	$۱/۳۸ \times ۱۰^{-۱۰}$

جدول ۲۷.۴: رتبه‌بندی مدل‌ها برای پیش‌بینی نوسانات

مدل	WTI	برنت	گاز طبیعی
GARCH	۱#	۱#	۲#
EGARCH	۲#	۳#	۳#
GAS	۳#	۲#	۱#

۸.۰.۴ نتایج آزمون‌های دقت پیش‌بینی ۲۰ قدم تلاطم

دارایی	GARCH	E-GARCH	GAS
نفت خام برنت	۴/۹۲۲۲۹۲	۴/۹۱۱۵۰۸	۴/۹۴۳۷۶۱
نفت خام WTI	۸/۲۱۴۷۴۲	۸/۱۷۳۴۵۱	۸/۰۱۷۰۹۷
گاز طبیعی (NG)	۴۱/۸۸۶۲۳	۴۲/۱۳۳۴۹	۴۲/۰۰۹۱۳

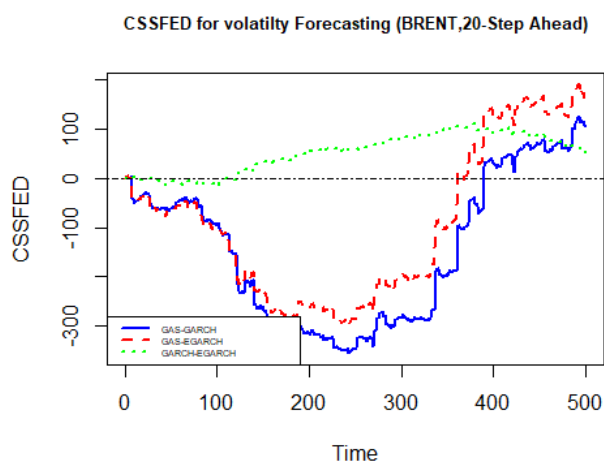
جدول ۲۸.۴: نتایج ریشه میانگین مربع خطاهای پیش‌بینی تلاطم ۲۰ قدم

با توجه به جدول بالا مدل GARCH، EGARCH و GAS به ترتیب در دارایی‌های گاز طبیعی، نفت خام برنت و نفت خام غرب تگزاس بهترین عملکرد را ارائه داده‌اند.

	WTI	BRENT	NG
GARCH	۰/۵۳	۰/۲۶۴	۰/۲۲۸
E-GARCH	۰/۱۱۴	۰/۲۶	۰/۳۵۴
GAS	۰/۳۵۶	۰/۴۷۶	۰/۴۱۸

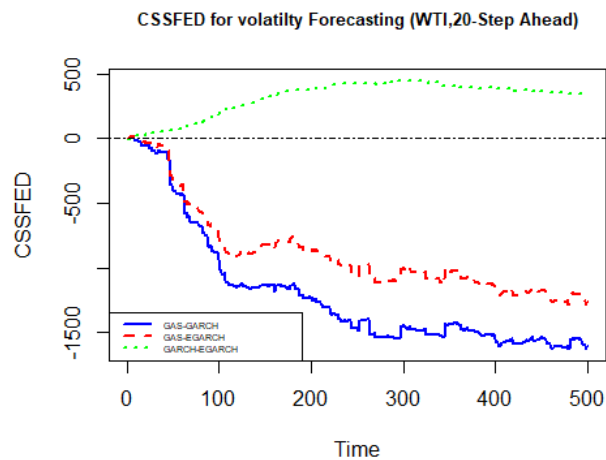
جدول ۲۹.۴: نرخ برتری برای مدل‌های مورد بررسی در پیش‌بینی ۲۰ قدم تلاطم

مدل GAS در پیش بینی بیست قدمی تلاطم نفت خام برنت و گاز طبیعی و مدل GARCH در پیش بینی بیست قدمی تلاطم نفت خام غرب تگزاس، بیشترین نرخ برتری را نسبت به دو مدل دیگر داشته‌اند.



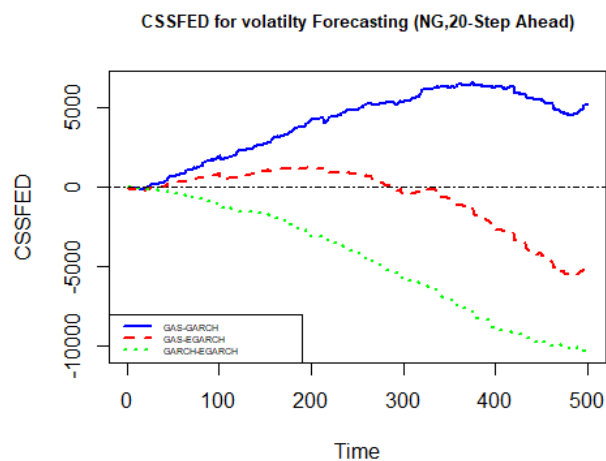
شکل ۱۹.۴: نمودار CSSFED پیش‌بینی ۲۰ قدم تلاطم نفت خام برنت مدل‌های مورد بررسی

با توجه به تصویر بالا، نمودارها با پایه مدل GAS ابتدا (از پیش‌بینی ۱ تا ۲۶۰) دارای مقدار منفی که نشان دهنده برتری مدل GAS است اما پس از آن نسبت به دو مدل دیگر ضعیف‌تر عمل کرده‌است و در مجموع پس از مدل GARCH که در رتبه‌ی دوم است ضعیف‌ترین عملکرد را ارائه داده‌است.



شکل ۲۰.۴: نمودار CSSFED پیش‌بینی ۲۰ قدم تلاطم نفت خام غرب تگزاس مدل‌های مورد بررسی

با توجه به نمودار سبز رنگ عملکرد مدل E-GARCH از مدل GARCH بهتر است. با توجه به منفی بودن نمودارهای آبی و قرمز نتیجه می‌گیریم که مدل GAS قوی‌ترین عملکرد را در کل داشته‌است.



شکل ۲۱.۴: نمودار CSSFED پیش‌بینی ۲۰ قدم تلاطم گاز طبیعی مدل‌های مورد بررسی

با توجه مقدار منفی نمودار سبز رنگ مدل GARCH بهتر از مدل E-GARCH عمل کرده است

و با توجه به مقدار منفی نمودار قرمز مدل GAS عملکرد بهتری نسبت به مدل GARCH داشته‌است و در نهایت مدل E-GARCH از هر دو مدل دیگر عملکرد بهتری ارائه داده‌است.

جدول ۳۰.۴: مقادیر نتایج آزمون دایبولد-ماریانو برای پیش‌بینی ۲۰ قدم تلاطم

دارایی	مدل	DM	p-value
WTI	E-GARCH vs. GARCH	۱/۱۳۶۸	۰/۲۵۶۲
WTI	GAS vs. GARCH	۱/۶۹۰۲	۰/۰۹۱۶۱
WTI	GAS vs. E-GARCH	۱/۷۲۷۸	۰/۰۸۴۶۵
Brent	E-GARCH vs. GARCH	۰/۵۶۹۰۲	۰/۵۶۹۶
Brent	GAS vs. GARCH	-۰/۲۱۷۹۶	۰/۸۲۷۶
Brent	GAS vs. E-GARCH	-۰/۳۴۶۱۳	۰/۷۲۹۴
NG	E-GARCH vs. GARCH	-۵/۲۷۱۲	۲/۰۲۱e-۰۷
NG	GAS vs. GARCH	-۱/۴۳۸۴	۰/۱۵۰۹
NG	GAS vs. E-GARCH	۱/۲۳۹۷	۰/۲۱۵۷

جدول ۳۱.۴: رتبه‌بندی مدل‌ها بر اساس آزمون دایبولد-ماریانو (۲۰ قدم تلاطم)

مدل	WTI	Brent	NG
GAS	#۳	#۳	#۲
GARCH	#۱	#۱	#۳
E-GARCH	#۲	#۲	#۱

۹.۰.۴ نتایج آزمون‌های پیش‌بینی برون‌نمونه‌ای ۶۰ قدم تلاطم

NG	BRENT	WTI	
۴۵/۲۹۸۳۲	۵/۸۱۱۷۷۳	۶/۲۴۲۷۸۸	GARCH
۴۵/۶۴۲۴۵	۵/۸۶۳۹۶۸	۶/۲۴۱۲۸۷	EGARCH
۴۵/۷۱۷۴۱	۵/۷۸۱۵۸۱	۶/۱۷۸۶۸۹	GAS

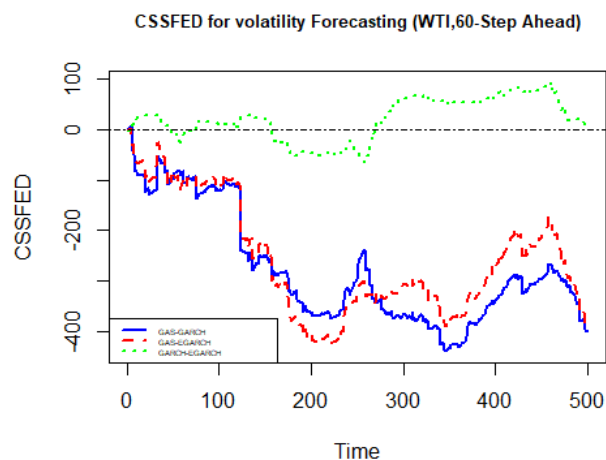
جدول ۳۲.۴: نتایج ریشه میانگین مربع خطاهای پیش‌بینی ۶۰ قدم تلاطم

با توجه به جدول بالا مدل GAS در پیش‌بینی دارایی‌های نفتی و در گاز طبیعی مدل GARCH کمترین مقدار RMSE را ارائه داده‌اند.

NG	BRENT	WTI	
۰/۴۶	۰/۱۵	۰/۱۸۶	GARCH
۰/۱۸۴	۰/۵۶۸	۰/۴۵۸	EGARCH
۰/۳۵۶	۰/۲۸۲	۰/۳۵۶	GAS

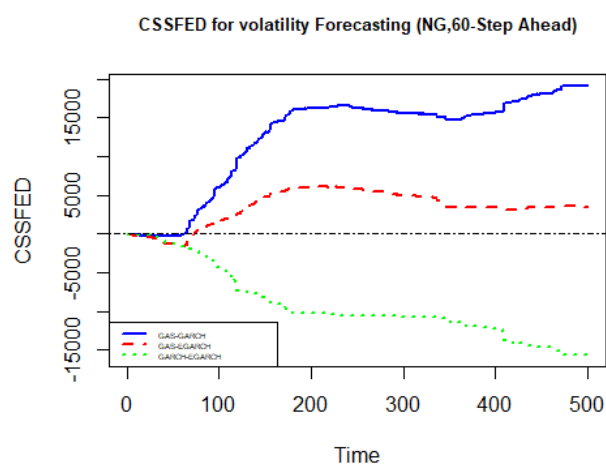
جدول ۳۳.۴: نتایج نرخ‌برتری پیش‌بینی ۶۰ قدمی نوسانات برای دارایی‌ها

با توجه به جدول بالا بیشترین نرخ‌برتری در پیش‌بینی دارایی‌های نفتی و گاز طبیعی را به‌ترتیب مدل‌های E-GARCH و GARCH ارائه داده‌اند.



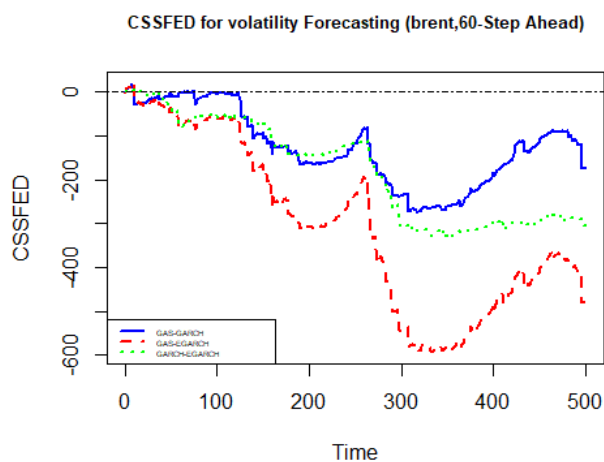
شکل ۲۲.۴: نمودار CSSFED پیش‌بینی ۶۰ قدم تلاطم نفت خام غرب تگزاس مدل‌های مورد بررسی

با توجه به نمودار بالا بهترین عملکرد را مدل GAS ارائه داده‌است و با توجه به نمودار پر تلاطم سبزی رنگ دو مدل GARCH و E-GARCH نتایجی شبیه به هم ارائه داده‌اند ولی در مجموع با اختلاف جزئی مدل E-GARCH بهتر از GARCH عمل کرده‌است.



شکل ۲۳.۴: نمودار CSSFED پیش‌بینی ۶۰ قدم تلاطم گاز طبیعی مدل‌های مورد بررسی

با توجه به نمودار بالا مدل GARCH در رتبه اول و مدل E-GARCH در رتبه‌ی دوم قرار دارد.



شکل ۲۴.۴: نمودار CSSFED پیش‌بینی ۶۰ قدم تلاطم نفت خام یرنت مدل‌های مورد بررسی

با توجه به نمودار بالا مدل GAS در رتبه اول و مدل GARCH در رتبه‌ی دوم قرار دارد.

جدول ۳۴.۴: نتایج آزمون دایبولد-ماریانو برای پیش‌بینی ۶۰ قدم تلاطم

p-value	DM	مقایسه مدل‌ها	دارایی
۰/۰۰۹۹۲۶	-۲/۵۸۸۳	EGARCH vs. GARCH	NG
۰/۱۴۱۴	-۱/۴۷۳	GAS vs. GARCH	NG
۰/۶۱۷۸	-۰/۴۹۹۲۳	GAS vs. EGARCH	NG
۰/۰۷۳۱۴	-۱/۷۹۵۸	EGARCH vs. GARCH	BRENT
۰/۴۹۹۵	۰/۶۷۵۸	GAS vs. GARCH	BRENT
۰/۲۳۵۹	۱/۱۸۶۸	GAS vs. EGARCH	BRENT
۰/۹۵۲۳	۰/۰۵۹۸۶۴	EGARCH vs. GARCH	WTI
۰/۱۴۱	۱/۴۷۴۲	GAS vs. GARCH	WTI
۰/۳۱۵	۱/۰۰۵۸	GAS vs. EGARCH	WTI

جدول ۳۵.۴: رتبه‌بندی مدل‌ها برای ۶۰ قدم پیش‌بینی نوسانات (بر اساس آزمون دایوولد-ماریانو)

مدل	WTI	برنت	گاز طبیعی
GARCH	۳#	۲#	۱#
EGARCH	۲#	۳#	۲#
GAS	۱#	۱#	۳#

۱۰.۰.۴ بررسی عملکرد مدل‌ها در افق‌های مختلف پیش‌بینی

با بررسی مقادیر ریشه میانگین مربع خطاهای پیش‌بینی تلاطم و بازده در گام‌های متفاوت دو جدول زیر بدست آمد. در این جدول هر سلول شامل دو مقدار افق زمانی پیش‌بینی و مقدار RMSE متناظر با آن و مقادیر پررنگ نشان‌دهنده‌ی بهترین ترکیب افق پیش‌بینی و مدل برای پیش‌بینی آن دارایی است.

جدول ۳۶.۴: بهترین افق پیش‌بینی بازده هر مدل برای هر دارایی بر اساس کمترین RMSE

مدل	WTI	Brent	گاز طبیعی (NG)
GARCH	۱- قدم: ۲/۰۷۱۲۸۴	۱- قدم: ۱/۰۷۸۷۳	۱- قدم: ۴/۸۱۵۵۸۸
EGARCH	۱- قدم: ۲/۰۶۸۲۱۹	۱- قدم: ۱/۹۰۳۷۸۸	۲۰- قدم: ۳/۸۱۸۵۳
GAS	۱- قدم: ۲/۰۷۵۰۲۸	۱- قدم: ۱/۱۲۰۰۳	۱- قدم: ۳/۱۲۲۴۲۹

جدول ۳۷.۴: بهترین افق پیش‌بینی تلاطم هر مدل برای هر دارایی بر اساس کمترین RMSE

مدل	WTI	Brent	گاز طبیعی (NG)
GARCH	۱- قدم: ۲/۰۷۱۴۸۴	۱- قدم: ۱/۰۷۸۷۳	۱- قدم: ۴/۸۱۵۵۸۸
EGARCH	۱- قدم: ۲/۰۶۸۲۱۹	۱- قدم: ۱/۹۰۷۷۸۸	۱- قدم: ۳/۱۷۱۹۲۵
GAS	۱- قدم: ۲/۱۷۵۰۲۸	۶۰- قدم: ۵/۷۸۱۵۸۱	۱- قدم: ۳/۱۲۲۴۲۹

دو جدول بالا نشان می‌دهند که مدل‌ها در پیش‌بینی بازده و تلاطم بیشتر در افق کوتاه مدت (یک قدم) بهینه‌تر عمل می‌کنند و تنها در موارد معدودی افق‌های بلندمدت‌تر مزیت نسبی دارد. در مجموع، این یافته‌ها نشان می‌دهند که انتخاب افق مناسب تأثیر قابل‌توجهی بر دقت پیش‌بینی دارد و باید در تحلیل‌های آینده مورد توجه قرار گیرد. در جداول بالا کمترین مقدار ریشه میانگین مربع خطاهای پیش‌بینی برای هر دارایی نیز مشخص شده است.

۱.۴ نتیجه‌گیری و پیشنهادها

۱.۱.۴ نتیجه‌گیری

”همه مدل‌ها اشتباه هستند، اما برخی مفید هستند [۶۷].“ جمله‌ای معروف در بین آماردان‌ها است که به جرج باکس^۱، آماردان بریتانیایی، نسبت داده می‌شود به این معنا که مدل‌های آماری همیشه از پیچیدگی‌های واقعیت کوتاهی می‌کنند، اما با این وجود هنوز می‌توانند مفید باشند. در این پژوهش هدف بر این بود که مدل‌های GAS، GARCH و E-GARCH در پیش‌بینی تلاطم و بازده در گام‌های یک، پنجم، بیستم و شصتم چه برتری‌هایی نسبت به هم دارند. طبق نتایج مفصل ارائه‌شده در بخش‌های قبلی مشخص شد که لزوماً پیچیدگی مدل نشان‌دهنده بهتر بودن مدل نیست. همچنین مشاهده شد که مدل‌های مورد بررسی در برخی آزمون‌ها برتری داشتند، اما در آزمون دیگر نسبت به بقیه مدل‌ها ضعف داشتند. با این وجود کاربر این مدل‌ها با توجه به نیاز خود باید به انتخاب مدل اقدام کند. کاربر باید طبق نیاز خود انتخاب کند که کدام یک از فاکتورها برای او اهمیت بیشتر دارد. برای مثال اگر کاربر کمینه بودن خطا برای او اهمیت بیشتری دارد، باید به آزمون‌های ریشه میانگین مربع خطاهای پیش‌بینی توجه بیشتری داشته باشد. اما اگر پایداری بیشتر برای او اهمیت دارد، به نتایج آزمون دایوولد-ماریانو توجه بیشتر کند. با توجه به هزینه محاسباتی و زمانی، مدل GAS نیازمند زمان و محاسبات

¹ George EP Box

بیشتری بود که کاربر باید به این موضوع نیز دقت کند. در تحقیقات پیشین اثبات شده است که نتایج اینگونه پژوهش‌ها، که دقت پیش‌بینی مدل‌ها در دارایی‌های مالی را بررسی می‌کند، در بازارهای مالی توسعه یافته و در حال توسعه بسیار متشابه است [۵۳].

هر یک از مدل‌ها ممکن است در یک گام پیش‌بینی مخصوص عملکرد خوبی داشته باشد، حتی ممکن است تحت یک تابع زیان یا آزمون یک مدل برتری داشته باشد ولی تحت یک تابع زیان و یا آزمون دیگر آن برتری نسبت به مدل‌های دیگر را نداشته باشند، این موضوع برای گام‌های مختلف و روش‌های بررسی دقت پیش‌بینی مختلف نیز صادق است. این نتایج مربوط به این پایان‌نامه بوده و بر اساس داده‌ها و تحلیل‌های صورت گرفته بر روی داده‌های قیمتی نفت خام برنت، نفت خام غرب تگزاس و گاز طبیعی بوده و شاید نمی‌توان آن‌را به کل تعمیم داد. استفاده از مدل‌های سری‌زمانی برای پیش‌بینی تلاطم و بازده نیاز به دقت زیادی دارد و سیاستمداران و اقتصاددان‌ها برای انتخاب و استفاده درست مدل مناسب با توجه به داده‌های خود، باید دقت زیادی داشته باشند تا عملکرد بهتری حاصل شود.

۲.۱.۴ پیشنهادهایی برای تحقیقات آتی

برای توسعه این تحقیق پیشنهاد می‌شود از سنجه‌ها و آزمون‌های دیگر و همچنین مدل‌های سری‌زمانی دیگر نیز استفاده شود. همچنین استفاده از شبکه‌های عصبی مانند شبکه‌های عصبی بازگشتی^۱ (RNN) و مدل‌های حافظه طولانی-کوتاه^۲ (LSTM) نیز جهت مقایسه با مدل‌های سری‌زمانی نیز توصیه می‌شود.

^۱ Recurrent Neural Networks

^۲ Long Short-Term Memory

مراجع

- [۱] شکراله، خواجهوی . حسابداری مالی، تهران: انتشارات ترمه. ۱۳۹۴
- [۲] عزت‌اله عباسیان، ”دارایی‌های مالی،“ دانشنامه اقتصاد، ۱۳ (۱۳۹۹): ۵-۱،
- [۳] فرانک جی. فبوتزی، فرانک مودیلیانی، مایکل فری. مبانی بازارها و نهادهای مالی، ترجمه حسین عبده تبریزی، شهاب الدین شمس، انتشارات آگاه، زمستان ۱۳۹۹
- [۴] سعید رضاخواه، آمار و احتمال کاربردی، انتشارات دانشگاه امیرکبیر، ۱۳۹۱
- [۵] رضا فهیمی دواّب ، احمد صباحی ، محمد حسین مهدوی عادلی و احمد سیفی، ”بررسی نحوه تعیین قیمت نفت خام میان دو سازمان OPEC و OECD با استفاده از مدل تئوری بازیها و روش جوهانسون- جوسیلیوس،“ پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران، ۱۲ ۳ (۱۳۹۳): ۶۰-۹۰،
- [۶] قهرمان عبدلی، وحید ماجد، (۱۳۹۱)، «بررسی رفتار OPEC در قالب یک بازی همکارانه»، فصلنامه تحقیقات مدل سازی اقتصادی، شماره ۷، صص ۲۷-۵۰.
- [۷] محمد رضایی، کاظم یآوری، مرتضی عزتی، منصور اعتصامی، اثر وفور درآمدهای نفتی بر رشد اقتصادی ایران از کانال اثرگذاری بر عدم تعادل در بودجه و بخش خارجی بهار ۱۳۹۵، پژوهش های رشد و توسعه اقتصادی سال ششم بهار ۱۳۹۵ شماره ۲۲

[۸] جاناناتان دی گرابر، تجزیه و تحلیل سری های زمانی، ترجمه دکتر حسینعلی نیرومند، چاپ پنجم

۱۳۹۶،

[۹] نظام الدین فقیه، الهام وزیری نسب، پیش بینی مصرف انرژی با سری های زمانی، ناشر: رخشید،

۹۷۸-۹۶۴-۹۹۹۸-۳۸-۱: شابک

[۱۰] روی اس تسای، *تحلیل سری های زمانی مالی*، ترجمه احمد نبی زاده، ویراست سوم، انتشارات

وایلی، هوپوکن، ۲۰۱۰.

[۱۱] مهدی ابراهیم نژاد، سازمان های مالی و پولی بین المللی، تهران سمت، ۱۳۹۸

[۱۲] محمدعلی شیرخانی، حمیدرضا قوام ملکی، اوپک و شوک های نفتی؛ آسیب شناسی رفتار اوپک

در بازار جهانی نفت، فصلنامه سیاست ۱۳۸۸ دوره ۳۹ شماره ۲

[۱۳] رضا تهرانی، سیدعلی سید خسروشاهی، ۱۳۹۶، انتقال نوسان و اثر متقابل بازارهای سهام، ارز

و طلا، چشم انداز مدیریت مالی ۱۸ (۷)، ۳۱-۹

[۱۴] رابرت اس. پندیک، دانیل ال رابینفلد، اقتصاد خرد، مترجم: احمد ذیحجه زاده، ۱۳۹۱

[۱۵] رضا راعی و احمد پویان فر. (۱۳۸۳)، مدیریت سرمایه گذاری پیشرفته. تهران: سازمان مطالعه و

تدوین کتب علوم انسانی دانشگاهها (سمت). مرکز تحقیق و توسعه علوم انسانی.

[۱۶] محمدرضا اصغری اسکویی، "کاربرد روش پنجره لغزان برای انتخاب ساختار شبکه عصبی با

تاخیر زمانی در پیش بینی سری های زمانی مالی"، پژوهشنامه اقتصادی، ۵۷ ۱۵ (۱۳۹۴): ۷۵-۱۰۸،

[۱۷] آرش امینی، مریم خلیلی عراقی و هاشم نیکومرام، "ارزیابی عملکرد پرتفوی حاصل از گشتاور

مراتب بالاتر با در نظر گرفتن آنتروپی و پنجره غلتان در صندوق های سرمایه گذاری قابل معامله

، (ETF) "دانش سرمایه گذاری، ۱۴ ۵۵ (۱۴۰۴)

- [۱۸] علی رئوفی و تیمور محمدی، ”وجود حافظه بلندمدت در قالب پنجره غلتان پیش‌رونده: مطالعه موردی بورس اوراق بهادار تهران،” *مدلسازی ریسک و مهندسی مالی*، ۳۲ (۱۳۹۶): ۳۹۸-۴۲۵،
- [۱۹] اله کرم صالحی و مریم حموله علی پور، ”تأثیر شوک‌های قیمت نفت خام بر بازده سهام شرکت‌های پذیرفته شده در بورس اوراق بهادار تهران،” *چشم انداز حسابداری و مدیریت*، ۳۱ (۱۳۹۷): ۶۹-۸۵،

[۲۰] [en.wikipedia](https://en.wikipedia.org)

- [۲۱] Robin de Vilder, Marcel P. Visser. *Proxies for daily volatility*. ۲۰۰۷.
- [۲۲] Shiller, Robert J. *Irrational Exuberance*. ۱st ed. Princeton, NJ: Princeton University Press, ۲۰۰۰.
- [۲۳] Hyndman, Rob J., and George Athanasopoulos. *Forecasting: Principles and Practice*. ۲nd ed. Melbourne: OTexts, ۲۰۱۸.
- [۲۴] Jouchi Nakajima. ۲۰۰۹. *Bayesian analysis of GARCH and stochastic volatility: Modeling leverage, jumps and heavy-tails for financial time series* [Technical report Mimeo]. Department of Statistical Science, Duke University.
- [۲۵] Poon, S. H. ۲۰۰۵. *A practical guide to forecasting financial market volatility*. John Wiley and Sons.
- [۲۶] Poon, Ser-Huang, and Clive W. J. Granger. “Forecasting Volatility in Financial Markets: A Review.” *Journal of Economic Literature* ۴۱, no. ۲ ۲۰۰۳: ۴۷۸-۵۳۹.

- [۲۷] Trevor Hastie, Tibshirani, Robert, Friedman, Jerome H. ۲۰۰۸. *The Elements of Statistical Learning*. Springer. p. ۱۸
- [۲۸] Mina Nilchi and Ali Farhadian. ۲۰۲۳. *Calculation of Crude Oil Price Risk Using HM-GARCH and MRS-GARCH Model*. Iranian Energy Economics, ۴۵.۱۲, ۱۴۵-۱۶۹.
- [۲۹] Amuzegar, Jahangir. *Making the Oil Wealth : OPEC's Windfalls and Pitfalls*. London: I.B. Tauris Publisher.
- [۳۰] Ruey S. Tsay ۲۰۰۲. *Analysis of Financial Time Series*. John Wiley and Sons, New York.
- [۳۱] Geert Bekaert and Marie Hoerova, "The VIX, the Variance Premium, and Stock Market Volatility", Journal of Econometrics ۱۸۳, no. ۲ ۲۰۱۴: ۱۸۱-۱۹۲.
- [۳۲] Peter J. Brockwell and Richard A. Davis, *Introduction to Time Series and Forecasting*, Second Edition, Springer, ۲۰۰۲.
- [۳۳] Jarque, C. M., and Bera, A. K. ۱۹۸۷. *test for normality of observations and regression residuals*. International Statistical Review/Revue Internationale de Statistique, ۵۶۳-۱۷۲.
- [۳۴] Weintraub, E. Roy ۲۰۰۲. "Neoclassical Economics". In David R. Henderson (ed.). *Concise Encyclopedia of Economics* (۱st ed.). Library of Economics and Libert

- [35] David M. Lane, *Introduction to Statistics*, Open Educational Resources, 2003.
- [36] MSCI. 2024. *MSCI 2024 Global Market Accessibility Review Country Comparison Report*. Retrieved November 4, 2024, from msci.com
- [37] Wasserstein, Ronald L., and Nicole A. Lazar. "The ASA's Statement on p-Values: Context, Process, and Purpose." *The American Statistician* 70, no. 2 2016: 129–133. <https://doi.org/10.1080/00031305.2016.1154108>.
- [38] Campbell, John Y., Andrew W. Lo, and A. Craig MacKinlay. *The Econometrics of Financial Markets*. Vol. 2. Princeton, NJ: Princeton University Press, 1997.
- [39] Chan, Ngai Hang, and Ching-Zong Wei. "Limiting Distributions of Least Squares Estimates of Unstable Autoregressive Processes." *The Annals of Statistics* 16, no. 1 1988: (367–401. <https://doi.org/10.1214/aos/1176350711>.
- [40] Bland, J. Martin, and Douglas G. Altman. "Statistics Notes: Measurement Error." *BMJ* 312, no. 7047 1996: (1654. <https://doi.org/10.1136/bmj.312.7047.1654>.
- [41] J. Soyemi, R. Akingunola, and J. Ogebe, Ogebe, J. 2018. "Oil Price Shocks and Macroeconomic Performance in Oil-Exporting Developing Countries". *International Journal of Energy Economics and Policy*, 8(3(1–12. URL: <https://www.econjournals.com/index.php/ijeep/article/view/6126>

- [٢٢] Francis X. Diebold and Robert S. Mariano. ١٩٩٥. *Comparing Predictive Accuracy*. Journal of Business and Economic Statistics , ١٣: ٢٥٣–٦٣.
- [٢٣] Wasserman, Larry ٢٠٠٥. *All of Statistics: a concise course in statistical inference*. Springer texts in statistics . p. ٥١. ISBN ٩٧٨-١-٤٤١٩-٢٣٢٢-٦.
- [٢٤] Raffaella Giacomini and Halbert White ٢٠٠٣. *Tests of Conditional Predictive Ability*. Working Paper No. ٥٧٢, Boston College.
- [٢٥] Uddin, Ajim and Tao, Xinyuan and Chou, Chia-Ching and Yu, Dantong. ٢٠٢٠. *Nonlinear Tensor Completion Using Domain Knowledge: An Application in Analysts’ Earnings Forecast*. ٣٧٧–٣٨٤. ١٠.١١٠٩/ICDMW٥١٣١٣.٢٠٢٠.....٥٩.
- [٢٦] David I. Harvey, Stephen J. Leybourne, and Paul Newbold. ١٩٩٧. *Testing the Equality of Prediction Mean Squared Errors* . International Journal of Forecasting, ١٣: ٢٨١–٩١
- [٢٧] Chiroma, Haruna and Abdulkareem, Sameem and Herawan, Tutut. ٢٠١٥. *Evolutionary Neural Network model for West Texas Intermediate crude oil price prediction*. Applied Energy. ١٤٢. ١٠.١٠١٦/j.apenergy.٢٠١٤.١٢.٠٤٥.
- [٢٨] Dickey, David A. and Wayne A. Fuller. “Distribution of the Estimators for Autoregressive Time Series with a Unit Root.” *Journal of the American Statistical Association* ٧٤, no. ٣٦٦ ١٩٧٩: ٤٢٧–٤٣١.
- [٢٩] Paul A. Gagniuc,. ٢٠١٧. *Markov Chains: From Theory to Implementation and Experimentation*. USA, NJ: John Wiley and Sons. pp. ١–٢٥٦. ISBN:

٩٧٨-١-١١٩-٣٨٧٥٥-٨.

- [٥٠] Robert S. Hudson and Andros Gregoriou: *Calculating and comparing security returns is harder than you think: A comparison between logarithmic and simple returns*. International Review of Financial Analysis. ٣٨. pp. ١٥١-١٦٢. ٢٠١٥.
- [٥١] Drew Creal, Siem Jan Koopman and André Lucas: *Generalized Autoregressive Score Models with Applications*. Journal of Applied Econometrics. ٢٨: ٧٧٧-٧٩٥ ٢٠١٣
- [٥٢] Adria, David, Kris Boudt, and Leopoldo Catania. "Generalized Autoregressive Score Models in R: The GAS Package." *Journal of Statistical Software* ٨٨ ٢٠١٩: ١-٤١. <https://doi.org/10.18637/jss.v088.i06>.
- [٥٣] Yingying Xu and Donald Lien, *Forecasting volatilities of oil and gas assets: A comparison of GAS, GARCH, and EGARCH models*. Journal of Forecasting. ٢٠٢٢: ٤١: ٢٥٩-٢٧٨
- [٥٤] Robert F Engle. ١٩٨٢. "Autoregressive Conditional Heteroscedasticity with Estimates of the Variance of United Kingdom Inflation" . Econometrica. ٥٠ : ٩٨٧-١٠٠٨.
- [٥٥] Hamed Ghoddusi and Seyed Kamran Emamzadehfard. ٢٠١٧ *Optimal hedging in the US natural gas market: The effect of maturity and cointegration* . Energy Economics. ٦٣. ٩٢-١٠٥.

- [56] Ana María Herrera, Ling Hu, and Daniel Pastor. 2018. *Forecasting crude oil price volatility*. International Journal of Forecasting, 34(4), 622–635.
- [57] Robert F Engle and Andrew J Patton. D. 2001. *What good is a volatility model?*. institute of physics publishing, 1, 237–245.
- [58] Fadel K. Matta, Brent A. Scott, Zhenyu A. Guo, and James G. Matusik. (2020). *Exchanging one uncertainty for another: Justice variability negates the benefits of justice*. Journal of Applied Psychology, 105(1), 97.
- [59] Drew Creal, Siem Jan Koopman, and André Lucas. (2012). *Univariate Generalized Autoregressive Score Volatility Models*. [Preliminary draft].
- [60] Elder, J.; Kennedy, P. E. 2001. *Testing for Unit Roots: What Should Students Be Taught?*. Journal of Economic Education, 32(2): 137–146..
- [61] Lin, Jessica; Keogh, Eamonn; Lonardi, Stefano; Chiu, Bill 2003. "A symbolic representation of time series, with implications for streaming algorithms." Proceedings of the 11th ACM SIGMOD workshop on Research issues in data mining and knowledge discovery. New York: ACM Press. pp. 2–11.
- [62] Boriss Siliverstovs. 2017. *Dissecting models' forecasting performance*. Economic Modelling, 67, 294–299. econmod.2017.01.008
- [63] Aghabozorgi, Saeed, Ali Seyed Shirkhorshidi, and Teh Ying Wah. "Time-series clustering—a decade review". Information systems 53(2015): 16–38.

- [٤٢] Bollerslev, Tim. “Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity.” *Journal of Econometrics* ٣١, no. ٣ ١٩٨٤: ٣٠٧–٣٢٧. [https://doi.org/10.1016/0304-4076\(84\)90063-1](https://doi.org/10.1016/0304-4076(84)90063-1).
- [٤٣] Andrew J. Patton and Yasin Simsek. (٢٠٢٣). *Generalized Autoregressive Score Trees and Forests*. Department of Economics, Duke University
- [٤٤] Ivo Welch, Amit Goyal. *A Comprehensive Look at The Empirical Performance of Equity Premium Prediction*, The Review of Financial Studies, Volume ٢١, Issue ٤, July ٢٠٠٨, Pages ١٤٥٥–١٥٠٨.
- [٤٥] Box, George E. P. “Science and Statistics.” *Journal of the American Statistical Association* ٧١, no. ٣٥٤ ١٩٧٤: ٧٩١–٧٩٩. <https://doi.org/10.2307/2286841>.

واژه‌نامه

A:

augmented Dickey-fuller دی‌جی-فولر تعمیم یافته
autocorrelation function خودهمبستگی
autoregressive model مدل اتورگرسیو
autoregressive moving average model مدل میانگین متحرک اتورگرسیو
autoregressive moving average model مدل میانگین متحرک اتورگرسیو
autoregressive conditional heteroskedastic model مدل اتورگرسیو نوسان شرطی

B:

backward operator عملگر پسرو

C:

conditional variance واریانس شرطی
conditional volatility نوسانات شرطی
conditional heteroskedastic variance واریانس نوسان شرطی
continuous time زمان پیوسته
conditional heteroskedastic models مدل‌های نوسان شرطی

D:

data داده
distribution توزیع
discrete time زمان گسسته

E:

F:

distribution fixed توزیع ثابت
forecasting پیش‌بینی
origin forecast مبدأ پیش‌بینی
horizon forecast افق پیش‌بینی

H:

heteroskedastic ناهمسانگرد
tail heavy دم سنگین

I:

independent مستقل
variable random independent متغیر تصادفی مستقل
irregular نامنظم

K:

kurtosis چولگی

M:

maximum likelihood estimate برآورد به روش بیشینه درستی
mean میانگین
mean square error خطای میانگین مربعات
mean absolute error خطای میانگین قدر مطلق
multivariate چند متغیره
model confidence set مجموعه مدل‌های اطمینان

modeling مدل سازی

moving average میانگین متحرک

N:

normal distribution توزیع نرمال

non-stationarity ناآیستایی

non-deterministic غیرقطعی

P:

performance عملکرد

prediction پیش‌بینی

R:

random variable متغیر تصادفی

rank رتبه

return بازده

realized تحقق یافته

residual باقیمانده

riskless بدون ریسک

S:

series سری ها

simulation شبیه سازی

stationarity مانایی

symmetry تقارن

skewness چولگی
 1 step-ahead forecast پیش‌بینی یک گام به جلو
 shock شوک
 stochastic process فرآیند تصادفی
 strictly stationary مانایی سخت
 stochastic difference equations معادلات تفاضلی تصادفی

T:

time series سری زمانی
 trend روند
 trend-stationary روند ایستا

U:

univariate تک متغیره
 unit-root nonstationary غیر ایستای ریشه واحد

V:

value at risk ارزش در معرض خطر
 variable متغیر
 volatility تلاطم

W:

white noise نوفه سفید
 weakly stationary ایستای ضعیف

Abstract

Given that oil and natural gas account for over one-third of global energy consumption, price volatility in these markets profoundly influences the global economy and investment decisions. Accurate forecasting of returns and volatility across different horizons is critically important. This study evaluates forecasting accuracy and return and volatility dynamics of three key energy assets—Brent crude oil, West Texas Intermediate (WTI) crude oil, and natural gas—using GARCH, EGARCH, and GAS time-series models. Forecasts cover short-term (1- and 5-day), medium-term (20-day), and long-term (60-day) horizons to capture market behavior. Model performance is assessed with a rolling-window approach and evaluated using superiority-rate tests, root mean squared error (RMSE), Diebold–Mariano tests, and the combined scoring system for forecast evaluation (CSSFED). Results indicate forecasting accuracy varies by model and horizon, underscoring the need to select the optimal model for specific analytical objectives. Comparing performance across horizons highlights the role of choosing an appropriate horizon in practical applications. These findings offer valuable guidance for market analysts, investment managers, and policymakers aiming to optimize forecast-based decision making. Overall, a structured framework for forecasting evaluation can enhance risk-management strategies in energy markets.

Keywords: *GAS model, Time series, GARCH, EGARCH, volatility, forecast, forecast volatility, natural gas, crude oil, brent, WTI*



**Institute for Advanced Studies
in Basic Sciences**
Gava Zang, Zanjan, Iran

Department of Mathematics

Financial Mathematics

Comparison of GAS, GARCH and EGARCH models in forecasting volatility of oil and natural gas assets

Master's Thesis

Amir Hossein Taherkhani

Supervisors: Dr. Hassan Dadashi Arani
 Dr. Ali Agha Mohammadi

August 2, 2025