تحلیل و پیش‌بینی اثرات غیرخطی در بازار نفت

حسین عباسی‌نژاد | habasi@ut.ac.ir
استاد دانشکده اقتصاد، دانشگاه تهران

نادیا گندلی‌علیخانی | n.alikhani@khouzestan.srbiau.ac.ir
کارشناس ارشد اقتصاد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات خوزستان

اسماعیل نادری | naderi.ec@ut.ac.ir
کارشناس‌ارشد رشته اقتصاد، دانشکده اقتصاد، دانشگاه تهران (نویسنده مسئول مکاتبات)

دریافت: ۱۳۹۲/۱/۱۶ | پذیرش: ۱۳۹۲/۱۰/۱۶

چکیده: این پژوهش تلاشی در جهت معرفی یک الگوی مطلوب جهت مدل‌سازی و پیش‌بینی نوسانات قیمت نفت خام ایران است. لذا، سعی شده است تا تحلیل جامعی از پیش‌بینی قیمت این نهاده ارایه گردد. به همین منظور، ضمن بررسی ماهیت مقوله پیش‌بینی‌پذیری به کمک آزمون‌های نسبت واریانس، BDS و نیز آزمون آشوب‌گونه بودن این سری، به تحلیل ساختار خطی و یا غیرخطی بودن آن پرداخته شد و پس از تأیید آشوب‌گونه بودن سری بازدهی قیمت نفت بر اساس آزمون توان لیاپانوف و نیز وجود ویژگی حافظه بلندمدت، مهر تأییدی بر رد فرضیه بازارهای کارا و قبول فرضیه بازارهای فرکتال بوده است. سپس با علم به ویژگی‌های ذاتی سری بازدهی قیمت نفت، به کمک ترکیب مدل‌های مبتنی بر حافظه بلندمدت و تجزیه موجک، به انتخاب بهترین مدل ممکن پرداخته شد. نتایج این مطالعه بر مبنای آزمون GPH، مبین وجود ویژگی حافظه بلندمدت در سری بازدهی و نوسانات قیمت نفت بوده و همچنین به‌کارگیری تکنیک تجزیه موجک را برای داده‌های پرتلاطم، مؤثر دانسته است، چرا که بر اساس معیارهای سنجش خطای پیش‌بینی MSE و RMSE مدل ترکیبی مبتنی بر حافظه بلندمدت و تجزیه موجک در مقایسه با مدل حافظه بلندمدت با داده‌های تجزیه نشده، از عملکرد دقیق‌تری برخوردار بوده است.

کلیدواژه‌ها: قیمت نفت خام، تئوری آشوب، حافظه بلندمدت، تجزیه موجک، پیش‌بینی.
طبقه‌بندی JEL: Q47, C58, C14.

فصلنامه علمی - پژوهشی برنامه‌ریزی و بودجه
سال هجدهم | شماره ۳ | پاییز ۱۳۹۲ | ص ص ۴۸-۲۱
شاپا (چاپی) ۹۰۹۲-۲۲۵۱ | نمایه در ISC

مقدمه

در سال‌های اخیر مطالعات زیادی در زمینه قیمت نفت خام در سراسر دنیا صورت پذیرفته است که علت آن را می‌توان از یک‌سو در حساسیت زیاد قیمت نفت به مسایل سیاسی، اقتصادی و فرهنگی در سطح جهان و در نتیجه پرتلاطم بودن آن، و از سوی دیگر در اثرگذاری قابل توجه تلاطم این بازار بر متغیرهای اقتصاد کلان، جست‌وجو نمود (Kang *et al*., 2011). در بازارهای مالی نیز نوسانات قیمت نفت، بسیار اثرگذار است و به نوعی عامل کلیدی مؤثر بر تعیین قیمت‌های اختیار معامله، مدیریت سبد دارایی و اندازه‌گیری ریسک می‌باشد (Wei *et al*., 2010). بنابراین، با توجه به نقش اساسی قیمت نفت در اقتصاد جهانی، نوسانات قیمت این کالا همواره مورد توجه مصرف‌کنندگان، تولیدکنندگان، دولت‌ها و نیز تصمیم‌گیران کلان اقتصادی بوده است (Wang *et al*., 2011). کشورهای صادرکننده نفت به علّت جایگاه ویژه این محصول در اقتصاد، بیش از سایر کشورها به رصد نمودن قیمت نفت و تحولات بازار این کالا می‌پردازند. در این راستا، برای کشور ایران که اولاً یکی از مهمترین کشورهای تولیدکننده نفت در میان کشورهای عضو اوپک به شمار می‌رود (Shirinbakhsh & Moghaddas-Bayat, 2011) و ثانیاً درصد قابل ملاحظه‌ای از GDP[1] آن را درآمدهای نفتی تشکیل داده، بنابراین شوک‌های نفتی، سهم عمده‌ای در ایجاد تغییرات در سطح تولیدات ناخالص داخلی بر عهده دارند (Mehrara & Mohaghegh, 2011) و در نهایت اینکه بودجه دولت اتکای قابل‌توجهی به درآمدهای نفتی دارد، بررسی و پیش‌بینی نوسانات و تغییرات قیمت نفت، بسیار ضروری و حیاتی است.

از سوی دیگر، مبنای تئوریک قابلیت پیش‌بینی‌پذیری قیمت انواع دارایی‌ها، به طور سنتی در گرو عدم پذیرش «فرضیه بازار کارا[2]» در مورد بازارها و نحوه قیمت‌گذاری آنها است (Ozer & Ertokatli, 2010). این در حالی است که بر اساس تئوری آشوب، نگرش جدیدی (فرضیه بازارهای فرکتال) مطرح گردید که جهت توضیح پدیده‌های بازارهای مالی در مقابل فرضیه بازارهای کارا قرار دارد. اطمینان یافتن از برقراری فرضیه بازارهای فرکتال، در گرو انجام آزمون حداکثر نمای لیاپانوف (جهت اطمینان از قابل پیش‌بینی بودن سری مورد بررسی بر اساس مدل‌های غیرخطی) و بررسی معکوس حداکثر نمای لیاپانوف به‌دست آمده (به‌منظور تعیین زمان قابل پیش‌بینی) خواهد بود. همچنین، نکته قابل توجه آن است که در صورت تأیید آشوبی بودن رفتار یک سری در دوره مورد بررسی، دیگر نمی‌توان بر اساس مدل‌های خطی به مدل‌سازی و پیش‌بینی آنها پرداخت و به بیان دیگر مدل‌های خطی از نتایج خوبی برخوردار نمی‌باشند. بر پایه این مفاهیم و با توجه به داده‌های روزانه قیمت نفت خام

1. Gross Domestic Product
2. Efficient Market Hypothesis

سنگین ایران، طی بازه زمانی ۲۰۰۰/۱/۲ الی ۲۰۱۳/۱/۲۹، این مطالعه درصدد است تا به بررسی پیش‌بینی‌پذیری نوسانات قیمت نفت خام ایران، بررسی فرضیه بازارهای فرکتال در سری مذکور با بهره‌جویی از تئوری آشوب، مدل‌سازی بر مبنای مدل‌های مبتنی بر حافظه بلندمدت[1] و در نهایت مقایسه عملکرد این مدل‌ها و مدل ترکیبی تجزیه موجک با مدل ARFIMA-FIGARCH[2] بر اساس معیارهای اطلاعات (AIC و SBC)[3] می‌باشد.

مبانی نظری پژوهش

سیر تاریخی قیمت نفت

به‌طور کلی روند قیمت نفت در طول زمان نوسان‌های زیادی داشته و شدت آن در دوره‌های مختلف متفاوت بوده است. در این بین، حوادث و وقایع متعددی موجب شکل‌گیری بحران در این بازار گردیده‌اند که مهمترین این حوادث طی سال‌های ۲۰۱۳-۲۰۰۰ از قرار زیر است:

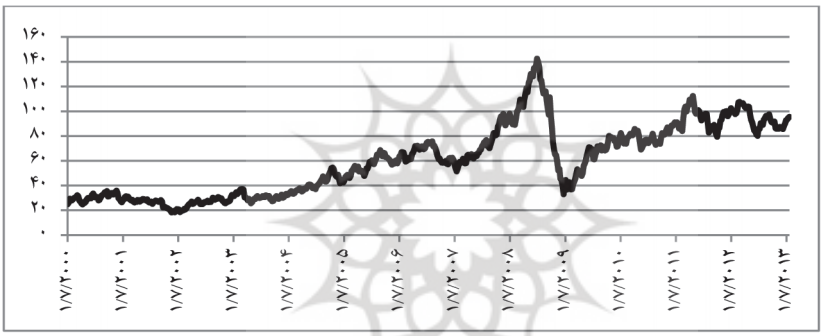
۱- حادثه یازدهم سپتامبر (۲-۲۰۰۱)؛ ۲- اشغال عراق توسط آمریکا (۴-۲۰۰۳)؛ ۳- مسایل ژئوپلتیک و سیاسی (۷-۲۰۰۶)؛ ۴- وقوع بحران مالی آمریکا (۹-۲۰۰۸)؛ و ۵- تحولات سیاسی خاورمیانه و شمال آفریقا (۱۱-۲۰۱۰).

در سال ۲۰۰۸ با وقوع بحران مالی در آمریکا و سرایت آن به اقتصاد جهانی، کاهش چشمگیری در قیمت جهانی نفت به‌وجود آمد، به طوری که قیمت آن از حدود ۱۵۰ دلار به حدود ۳۵ دلار در هر بشکه رسید. در سال ۲۰۰۹ قیمت نفت روند افزایشی به خود گرفت و متوسط قیمت نفت به ۶۰ دلار رسید. از اواخر سال ۲۰۱۰ و در طول سال ۲۰۱۱ میلادی، تحولات سیاسی خاورمیانه و شمال آفریقا (به‌ویژه با بحرانی شدن اوضاع سیاسی لیبی به‌عنوان یکی از اعضاء اوپک و سومین صادرکننده عمده نفت در قاره آفریقا) روند افزایش قیمت نفت ادامه داشت، زیرا نگرانی‌های فعالان بازار نسبت به کاهش تولید و صادرات نفت این کشور سبب شد تا قیمت جهانی نفت نزدیک به ده درصد افزایش یافته و به ۱۲۶ دلار در هر بشکه برسد. در ابتدای سال ۲۰۱۲ نیز تحریم‌های شدید علیه ایران از یک‌سو و نیز تهدیدهای ایران به قطع فوری صادرات نفت به اروپا و بستن تنگه هرمز، در صورت تشدید تحریم‌ها از سوی دیگر، منجر به افزایش قیمت نفت از حدود ۱۱۰ دلار به ۱۲۳ دلار شد.

از سوی دیگر، انتظار بر این بود که قیمت نفت، به علت خطرات ژئوپولتیک متوجه ایران، افزایش

1. Long Memory
2. Auto Regressive Fractionally Integrated Moving Average- Fractionally Integrated Generalized Auto Regressive Conditional Heteroskedasticity
3. Akaike Information Criterion (AIC), Schwarz Bayesian Criterion (SBC)

تقاضای مصرف از سوی بازارهای نوظهور، افزایش امیدواری‌ها نسبت به بهبود روند رشد اقتصادی و افزایش تقاضای جهانی سوخت، نگرانی‌ها درباره امکان اختلال عرضه نفت به‌دلیل بی‌ثباتی‌های سیاسی در شمال و غرب آفریقا، ناآرامی‌های سیاسی در منطقه خاورمیانه و نگرانی معامله‌گران از بروز اختلال در مبادی استراتژیک حمل و نقل نفت خام و غیره روند صعودی خود را در سال ۲۰۱۳ میلادی حفظ نماید. بنابراین، این پژوهش در پی پاسخگویی به این سؤال است که «آیا مدل‌های به کار گرفته شده در این پژوهش قادرند تا پیش‌بینی مناسبی از این افزایش قیمت‌ها ارایه دهند؟». نمودار ۱، تحولات قیمت نفت از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۳ میلادی را به خوبی نشان می‌دهد.



نمودار ۱: مسیر زمانی قیمت نفت خام سنگین ایران طی سال های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۳ میلادی (بر حسب دلار)

مروری بر مبانی نظری و مطالعات پیشین

با توجه به پرتلاطم بودن قیمت نفت، می‌توان آن را با انواع مختلف خانواده مدل‌های ناهمسان واریانس شرطی، مدل‌سازی و پیش‌بینی نمود (Kang *et al*., 2011). حال پرسشی که با توجه به این شرایط مطرح می‌شود این است که «آیا مدل‌سازی نوسانات قیمت نفت خام به کمک مدل‌های ناهمسان واریانس شرطی امری مجاز است؟»، بدین مفهوم که «آیا اساساً، سری مذکور پیش‌بینی‌پذیر است؟». در صورت برقراری این شرط، پرسش دیگری مطرح می‌شود که «آیا سری مورد بررسی از فرآیندی آشوبی تبعیت می‌کند؟» و در نهایت در صورت داشتن فرآیند آشوب‌گونه، «آیا از ویژگی حافظه بلندمدت نیز برخوردار است یا خیر؟». از این رو، در این بخش از پژوهش، به بررسی مبانی نظری مربوط به هر یک از بخش‌ها اشاره شده و نیز به صورت ضمنی به تبیین مطالعات انجام شده

در این حوزه‌ها پرداخته می‌شود.

ماهیت تئوری آشوب[1]

آشوب در لغت به معنای هرج و مرج، درهم ریختگی، شلوغی، آشفتگی و بی‌نظمی است. در مباحث فلسفی نیز این واژه به وضعیتی که در آن تصادف حکمفرماست، اطلاق می‌گردد. نکته قابل توجه آنکه رفتار آشوب‌گونه، رفتاری تصادف‌گونه نبوده؛ بلکه رفتاری قطعی است، اما از دیدگاه ناظری که از ساختار و عملکرد مولد سیگنال آشوب‌گونه بی‌اطلاع است (یا اطلاع عمیقی از آن ندارد)، نمی‌توان این سیگنال را از یک سیگنال واقعاً تصادفی بازشناخت و با استفاده از آزمون‌های آماری کاملاً تفکیک کرد. بنابراین، با توجه به عدم قطعیت ناشی از معین و محدود بودن دقت اندازه‌گیری مقادیر لحظه‌ای سیگنال‌ها، حتی با دانستن منابع تولید سیگنال‌های آشوبی، مقادیر آتی آنها با دقتی که دایماً به صورت نمایی در حال کاهش است، محاسبه و پیش‌بینی می‌گردد (کمی‌جانی و نادری، ۱۳۹۱). با این تفاسیر، سیستم‌های آشوب را می‌توان سیستم‌هایی دانست که اول، حساسیت زیادی به وضعیت نخست دارند؛ دوم، جذب‌کننده‌های[2] عجیب و پیچیده‌ای دارند و سوم، شکستگی‌های ناگهانی ساختاری در مسیر زمانی آنها به خوبی رویت می‌شود. با این حال برای درک عمیق‌تر شالودهٔ این گونه سیستم‌ها ذکر دو نکته اساسی است:

۱. اگرچه این سیستم‌ها ظاهری تصادفی دارند، رفتارشان معیّن و قطعی است. به این معنی که به‌رغم قوانین و معادله‌های قطعی و معیّن که منابع ایجاد آشوب و نیز کل رفتار این گونه سیستم‌ها بر پایهٔ آنها استوار است، به‌علت به‌کارگیری اندازه‌گیری برای مدل‌سازی چنین رفتاری، مطمئناً قطعیت و تقریب نداشتن- هرچند کوچک- ایجاد خواهد شد[3].

۲. اگرچه این قطعیت نداشتن بسیار ناچیز است (برای مثال 10^{-6} واحد)، قرار گرفتن این مقادیر ناچیز به‌عنوان «مقادیر نخست»[4] سیستم آشوبی- با توجه به اینکه این سیستم‌ها حساسیت بسیاری به وضعیت نخست دارند- باعث قبض و بسط این اختلالات هرچند کوچک در طی زمان می‌شود. در نتیجه، اختلاف مقادیر اندازه‌گیری شده با مقادیر محاسبه‌شده، به‌تدریج افزایش خواهد یافت. این تفاوت در زمان‌های بلندمدت، به مقادیر بزرگ‌تری منتهی می‌شود، بنابراین نتایج مدل‌سازی‌ها

1. Chaos Theory

۲. مسیرهای زمانی همهٔ سری‌های پویای پایدار اعم از معمولی یا آشوبی حدی دارند که به آن تعادل یا جذب‌کننده گویند.

۳. این قطعیت نداشتن ناشی از خطای اندازه‌گیری در انسان‌ها است که حتی با به‌کارگیری رایانه‌های بسیار پیشرفته نیز برطرف نخواهد شد.

4. Initial Value

و پیش‌بینی‌های رایانه‌ای، حتی نزدیک به مقدار واقعی نیست. بر این اساس رفتار سیستم، ظاهری تصادف‌گونه داشته و در بلندمدت پیش‌بینی‌ناپذیر خواهد شد (Williams, 2005). بنابراین، سیستم‌های آشوبی را می‌توان سیستم‌های دینامیکی غیرخطی دانست که در آنها پویایی اجزاء اخلال در یک فرآیند آشوبی سبب شده تا تشخیص آن از یک فرآیند تصادفی، بسیار دشوار گردد، اما این امر با آزمون‌های نمای لیاپانوف و معکوس حداکثر نمای لیاپانوف به‌دست آمده، به خوبی قابل شناسایی خواهد بود (عباسی‌نژاد و نادری، ۱۳۹۱).

از جمله مطالعات مهم داخلی در این زمینه‌ها عبارتند از: مطالعات Kazem *et al*. (2013)، Williams (2005)، Prokhorov (2008)، Moeini *et al.* (2010)، Olmedo (2011) و همچنین، مطالعات نوبخت و همکاران (۱۳۹۰)، بابازاده و همکاران (۱۳۸۹)، سلامی (۱۳۸۱)، مشیری و مروت (۱۳۸۴)، مشیری و فروتن (۱۳۸۳) و مشیری (۱۳۸۱).

بررسی تجزیه موجک

به طور کلی موجک را می‌توان با لنزهای یک دوربین مقایسه نمود که این امکان را ایجاد می‌کند که هم تصاویر مناظر وسیع را ثبت نموده، و هم بر جزییات بسیار ریز که در حالت عادی از چشم انسان پنهان است، متمرکز شود. به بیان ریاضی، موجک‌ها پایه‌های متعامد موضعی[1]، متشکل از موج‌هایی هستند که یک تابع را به لایه‌هایی با مقیاس‌های متفاوت تجزیه می‌کنند (مشیری و همکاران، ۱۳۸۹). از دید تاریخی، تبدیل موجک (که نخستین بار توسط آلفرد هار[2] در سال ۱۹۰۹ به‌کار گرفته شد)، روشی جدید بوده که پایه ریاضیاتی آن به کار جان باپتیست جوزف فوریه[3] (ریاضیدان و فیزیکدان مشهور فرانسوی) در قرن نوزدهم برمی‌گردد. فوریه با استفاده از تئوری‌های تحلیل فرکانس، پایه‌های این تحلیل را پی‌ریزی نمود. پس از روشن شدن این مطلب که اندازه‌گیری نوسانات متوسط در مقیاس‌های متفاوت حساسیت کمتری به «نویز» دارد، به تدریج توجه محققان از تحلیل فرکانس، به تحلیل مقیاس گشت.

Graps (1995) نشان داد که تجزیه موجک، مانند تبدیل فوریه، یک مجموعه سیگنال از توابع مبنا که تنها به صورت تابع سینوسی و کسینوسی استفاده می‌شوند، ندارد، اما تجزیه موجک شامل یک مجموعه بی‌نهایت از توابع مبنای امکان‌پذیری است که دسترسی سریع به اطلاعات برخلاف

1. Local Orthonormal Bases
2. Alfred Harr
3. Fourier

سایر روش‌ها در آن وجود دارد. بر پایه آنالیز فوریه، آنالیز موجک قادر به تجزیه سری‌های زمانی، در مقیاس‌های زمانی مختلف و متفاوت است (In *et al*., 2008). شیوه کار تکنیک موجک در سری‌های اقتصادی نیز بدین صورت است که یک‌سری زمانی نامانا را به دو بخش روند و اجزاء تقسیم نموده که این امر شرایط مدل‌سازی جداگانه هر یک از بخش‌های یک‌سری زمانی (روند و اجزاء) را در قالب یک مدل واحد فراهم می‌آورد (Lineesh & John, 2010) بنابراین، در پیش‌بینی سری‌هایی که ساختار پیچیده، آشوبی و فرکتال دارند (از شاخص‌های بازارهای مالی)، تبدیل موجک بسیار مؤثر و کارآ خواهد بود، چون تبدیل موجک، نویزهای با فرکانس بالا را از داده‌ها حذف نموده، درحالی‌که روند این نویزها را حفظ می‌نماید و این امر طبیعتاً با کاهش مقادیر انحرافات در برآورد مدل‌ها، سبب بهبود مدل‌سازی‌ها و در نتیجه پیش‌بینی‌ها خواهد شد (Homayouni & Amiri, 2011). این نتایج در بسیاری از مطالعات بین‌المللی نظیر مطالعات Kao *et al*. (2013)، Al-Wadia & Tahir (2011)، Lineesh & John (2010)، In *et al*. (2008)، Mitra & Mitra (2005)، Wong *et al*. (2003) و مطالعات داخلی همانند عباسی‌نژاد و نادری (۱۳۹۱)، شیرین‌بخش و همکاران (۱۳۹۱)، مشیری و همکاران (۱۳۸۹)، قنبری و همکاران (۱۳۸۸) و عباسی‌نژاد و محمدی (۱۳۸۶) نیز به تأیید رسیده‌اند.

مفهوم حافظه بلندمدت

حافظه بلندمدت، بیانگر وابستگی قوی میان مشاهده‌های دور در یک‌سری زمانی منتسب است. پس از این که Hurst (1951) متوجه شد که سری‌های زمانی ممکن است پدیده حافظه بلندمدت را نمایش دهند، از اواسط دهه ۱۹۸۰ متخصصان اقتصادسنجی به مفاهیمی همچون ریشه واحد و هم‌انباشتگی در سری‌های زمانی پی بردند و سپس، از وجود زیرگونه‌ها و انواع دیگری از نامانایی و پایداری تقریبی آگاه شدند که بسیاری از فرآیند موجود در اغلب سری‌های زمانی مالی و اقتصادی را توجیه می‌کردند (مشیری و مروت، ۱۳۸۵).

اصولاً مهمترین مشکلی که در اثر وجود متغیرهای نامانا ممکن است ایجاد شود، وجود رگرسیون کاذب[1] است، از سوی دیگر با توجه به اینکه بیشتر سری‌های زمانی اقتصادی و مالی نامانا از نوع DSP[2] (تفاضل‌مانا) هستند، برای رفع این مشکل نخست باید مرتبه تفاضل‌گیری هر متغیر را تعیین نمود، اما این کار موجب از دست رفتن بخشی از اطلاعات مهم موجود در گشتاور اول (معادله میانگین[3])

1. Sperious Regression
2. Differences Stationary Process
3. Mean Equation

سری زمانی شده و همچنین در صورتی که عمل تفاضل‌گیری را بیش از حد تکرار نمود، رفتار گشتاور مرتبه دوم (معادله واریانس[1]) نیز تحت تأثیر قرار خواهد گرفت. به طوری که قبل از دستیابی به مانایی سری زمانی، واریانس سری روندی کاهشی داشته و هنگامی که تفاضل‌گیری بیش از حد انجام شود، واریانس سری مجدداً افزایش خواهد یافت (Xio & Jin, 2007). از این‌رو اگر به طور همزمان، هم سری زمانی را مانا نموده و هم دچار مشکل بیش تفاضل‌گیری نشد، می‌توان از تفاضل‌گیری کسری[2] استفاده نمود.

در این راستا، به‌منظور بررسی توأم مدل‌سازی نوسانات قیمت نفت خام به کمک مدل‌های ناهمسان واریانس شرطی و نیز تجزیه و تحلیل وجود ویژگی حافظه بلندمدت در آن، به ذکر دو نکته پرداخته می‌شود: نخست اینکه قیمت در بازارهای مالی دارای پویایی و نوسانات شدید، همانند یک الگو و قالب کلی بوده که در ادبیات اقتصادسنجی این گونه بازارها را عمدتاً با مدل‌های GARCH مدل‌سازی و پیش‌بینی می‌نمایند. این مدل‌ها مشکل نوسانات خوشه‌ای[3] و پهن دنباله بودن[4] (غیرنرمال بودن) در سری‌های زمانی را برطرف نموده و نیز، عواملی که قیمت دارایی‌ها را به شدت تحت تأثیر قرار می‌دهند، نظیر شوک‌های ناگهانی، تغییرات ساختاری، پاسخ به تقاضای داخلی، شرایط جهانی اقتصاد و حوادث سیاسی را به خوبی در نظر داشته و در مدل‌سازی به آنها توجه بسیار می‌نمایند (Vo, 2011). دیگر اینکه، در پاسخ به وجود ویژگی حافظه بلندمدت در قیمت نفت خام، Henry & (2002) Zafaroni اثبات کردند که ویژگی حافظه بلندمدت تحت تأثیر عوامل برون‌زا و درون‌زای متعددی است که به‌عنوان مثال، یکی از عوامل برون‌زایی که ویژگی‌های یک متغیر سری‌زمانی را متأثر می‌سازد، شرایط ژئوفیزکی مانند آب و هوا است و یا برای نمونه تولید نفت خام و مصرف آن در شرایط آب و هوایی مختلف، متفاوت بوده و از آنجایی که شرایط آب و هوایی خود دارای ویژگی حافظه بلندمدت است، در نتیجه قیمت نفت نیز می‌تواند دارای این ویژگی باشد. مطالعات زیادی در این زمینه صورت پذیرفته است که از جمله آنها، می‌توان به مطالعات Mostafaei & Sakhabakhsh (2011)، (2011) Wang *et al*.، Prado (2011)، Mohammadi & Su (2010)، Wei *et al*. (2010)، Cheong (2009)، Choi & Hammoudeh (2009) و نیز مطالعه Ayadi *et al*. (2009) اشاره نمود.

1. Variance Equation
2. Fractional Differences
3. Volatility Clustering
4. Fat Tail

روش پژوهش

آزمون‌های تشخیص فرآیندهای آشوبی

در ادبیات مربوط به آشوب، آزمون‌های متعددی جهت تشخیص فرآیند آشوبی از فرآیندهای تصادفی مطرح شده است. برخی از این آزمون‌ها تصادفی بودن یک فرآیند را آزمون می‌کنند، درحالی‌که برخی دیگر یکی از خصوصیات فرآیندهای آشوبی را آزمون می‌نمایند. گروه اول از این آزمون‌ها را آزمون‌های غیرمستقیم و گروه دوم آنها را آزمون‌های مستقیم گویند. در آزمون‌های غیرمستقیم (مانند آزمون BDS)، معمولاً تصادفی بودن پسماندهای یک رگرسیون خطی و یا غیرخطی آزمون می‌شود. در نتیجه، رد فرضیه تصادفی بودن جملات پسماند، لزوماً به معنای آشوبی بودن یک فرآیند نبوده، چرا که این مساله به علت نوع تصریح مدل خطی و غیرخطی مورد استفاده در آزمون می‌باشد (مشیری، ۱۳۸۱).

مفهوم نمای لیاپانوف قبل از ظهور نظریه آشوب، جهت مشخص نمودن پایداری سیستم‌های خطی و غیرخطی به‌کار می‌رفت. محاسبه توان لیاپانوف از طریق اندازه‌گیری مقدار کشیدگی یا خمیدگی که در یک سیستم رخ می‌دهد، انجام می‌شود. همان‌گونه که پیش‌تر بیان شد، روش‌های متعددی جهت محاسبه نمای لیاپانوف وجود دارد که از میان آنها می‌توان به روش‌های مستقیم و روش ماتریس ژاکوبی[1] سیستمی اشاره کرد (معینی و همکاران، ۱۳۸۵). در حقیقت نمای لیاپانوف، متوسط نرخ هم‌گرایی یا واگرایی نمایی مسیرهای مجاور در فضای حالت هستند و جهت اندازه‌گیری حساسیت به تغییر شرایط اولیه یک فرآیند به‌کار گرفته می‌شوند. مقدار مثبت نمای لیاپانوف از ویژگی‌های یک سیستم آشوب‌گونه بوده و در مقابل، مقدار منفی آن بیانگر وضعیت یک سیستم دینامیک میرا می‌باشد (Wolf *et al*., 1985). در نهایت اینکه، معکوس حداکثر نمای لیاپانوفی که محاسبه گردید، می‌تواند بیانگر حد فاصل بین معین و تصادفی قرار داشتن سری مربوطه را تعیین کند، بنابراین بر اساس آن می‌توان درجه پیش‌بینی‌پذیری (و به بیان دیگر، تعداد روزهای قابل پیش‌بینی در این مطالعه) را مشخص نمود (Wolf *et al*., 1985).

آزمون‌های شناسایی حافظه بلندمدت

مهمترین گام جهت برآورد یک مدل مبتنی بر ویژگی حافظه بلندمدت، بررسی وجود این ویژگی در مجموعه داده‌هاست. شناسایی وجود چنین ویژگی از طریق تکنیک‌هایی نظیر آزمون‌های ACF[2]

1. Jacobian Matrix
2. AutoCorrelation Function

(به‌عنوان یک آزمون گرافیکی) و آزمون چگالی طیفی یا آزمون GPH[1] (به‌عنوان یکی از پرکاربردترین آزمون‌های کمی) و. . . امکان‌پذیر است. تشریح این آزمون‌ها در بخش تفسیر نتایج ارایه خواهد شد.

مدل‌های ناهمسانی واریانس شرطی

مدل خودرگرسیون واریانس ناهمسان شرطی (ARCH) که نخستین بار توسط انگل (۱۹۸۲) مطرح و بعدها توسط بلرسلو[2] (۱۹۸۶) تعمیم داده شد، از جمله مدل‌هایی هستند که جهت تبیین نوسانات یک سری به‌کار می‌روند. پس از آن، انواع مختلف مدل‌های واریانس ناهمسانی شرطی معرفی گردیدند (Arouri *et al*., 2010).

از این‌رو، با توجه به تمرکز این پژوهش بر مدل‌های واریانس ناهمسانی شرطی کسری (FIGARCH)، در ادامه به تشریح این مدل‌ها پرداخته می‌شود.

مدل ناهمسانی واریانس شرطی هم انباشته کسری (FIGARCH[3])

مدل FIGARCH نخستین بار توسط Baillie & King (1996) مطرح شد. در این مدل یک متغیر تفاضل کسری که بین صفر و یک بوده، تعریف شد که فرم تصریحی آن نیز به صورت $(1-L)^d \Phi(L)\varepsilon_t^2 = \omega + B(L)\upsilon_t$ است. در این معادله $\Phi(L)$ تابع وقفه مناسب (q)، $B(L)$ تابع وقفه مناسب (p)، L اپراتور وقفه و d پارامتر تفاضل کسری است. از سوی دیگر، درصورتی که در معادله مذکور $d = 0$ باشد، مدل FIGARCH به مدل GARCH، و اگر $d = 1$ باشد به مدل IGARCH تبدیل می‌شود (Conrad *et al*., 2011).

لازم به ذکر است که در این‌گونه مدل‌ها، آثار شوک‌های وارده نه دیرپا بوده (همانند مدل‌های IGARCH) و نه زودگذر است (همانند مدل‌های GARCH)، بلکه حد واسط بین آن دو می‌باشد، یعنی آثار شوک‌های وارده با نرخ هیپربولیکی کاهش خواهد یافت (عباسی‌نژاد و نادری، ۱۳۹۱).

تجزیه موجک

تجزیه موجک با استفاده از توابع پایه‌ای[4]، یک سری‌زمانی را به فضای فرکانس برده و سپس سری

1. Geweke & Porter-Hudak (1983)
2. Borlerslev
3. Fractionally Integrated Generalized Auto Regressive Conditional Heteroskedasticity
4. Basis Function

مذکور در زمان و مقیاس‌های مختلف را نشان می‌دهد. بر خلاف تبدیل فوریه[1] که تنها تابع پایه‌ای آن را تابع سینوسی تشکیل می‌دهد، تجزیه موجک دارای توابع پایه‌ای پیوسته و ناپیوسته متفاوتی بوده، اما همه این توابع دارای انرژی محدود می‌باشند[2]. این خاصیت موجک‌ها سبب شده است که این تجزیه، بتواند به بررسی سری‌های نامانا و زودگذر بپردازد.

به‌طور کلی، تجزیه موجک را بر اساس طول داده‌ها، می‌توان به دو دسته «تبدیل موجک پیوسته (CWT)[3]» و «تبدیل موجک گسسته (DWT)[4]» تقسیم نمود (Karim *et al*., 2011). با توجه به اینکه سری قیمت در اقتصاد از نوع سری‌های گسسته هستند و نیز به علت آنکه مهمترین توابع تبدیل موجک گسسته عبارتند از: توابع هار[5]، دابیشز[6]، سیملتس[7]، کوایفلتس[8]، میر[9] و علاوه بر این به علت شباهت سری مورد مطالعه در این پژوهش با توابع تبدیل دابیشز[10] (db3) به‌عنوان یکی از پرکاربردترین انواع توابع تبدیل موجک گسسته، در این تحقیق از این تابع تبدیل استفاده خواهد شد (Wadi & Ismail, 2011).

تخمین مدل و تفسیر نتایج

به‌منظور تحقق اهداف این پژوهش، از اطلاعات روزانه مربوط به قیمت نفت خام سنگین ایران، طی دوره ۲/۱/۲۰۰۰ الی ۲۹/۱/۲۰۱۳ استفاده شد. گفتنی است که علایم اختصاری متغیرهای به‌کار برده شده در این مطالعه شامل LOIL (لگاریتم قیمت نفت خام) و DLOIL (بازده قیمت نفت خام) است.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

تجزیه و تحلیل داده‌ها

تحلیل توصیفی

با توجه به اهمیت ماهیت داده‌های به‌کارگرفته شده در هر پژوهش، بهتر است تا پیش از انجام

1. Fourier Transform
2. Finite Energy
3. Continuous Wavelet Transform
4. Discrete Wavelet Transform
5. Haar
6. Daubechies
7. Symmelets
8. Coiflets
9. Meyer

۱۰. گفتنی است که در مطالعات تجربی (نظیر تحقیق حاضر)، عمدتاً بر اساس مقایسه شکل ظاهری یک‌سری با انواع مختلف توابع تبدیل، مناسب‌ترین تابع را جهت به‌کارگیری تکنیک موجک مورد استفاده قرار می‌دهند.

مدل‌سازی آنها، به بررسی آماره‌های توصیفی داده‌های مذکور پرداخته شود، چون هر یک از این آماره‌ها ویژگی خاصی از آنها را نمایان می‌سازد و محقق بر اساس این نتایج، می‌تواند به انتخاب مدل مناسب‌تر بپردازد. جدول ۱، آماره‌های توصیفی سری بازدهی قیمت نفت خام را ارایه می‌دهند.

جدول ۱: آماره‌های توصیفی سری بازدهی قیمت نفت خام

آماره	سری بازدهی قیمت نفت خام	آماره	سری بازدهی قیمت نفت خام
تعداد مشاهدات	۳۳۵۲	ADF	-۴۷/۸۷۴(۰/۰۰۰۱)
Mean	۰/۰۰۰۶۶۴	PP[1]	-۴۷/۷۴۳(۰/۰۰۰۱)
S. D	۰/۰۲۲۶۰۰	ERS[2]	۵/۷۵۴ (۳/۲۶۰۰)
Skewness	-۰/۳۸۵۳۸۲	Box- Ljung Q(10)	۲۶/۳۸۳(۰/۰۰۰)
Kurtosis	۷/۸۴۷۳۲۷	McLeod-Li Q^2(10)	۴۹۲/۸۲(۰/۰۰۰)
Jarque- Bra	۱۲۷۶/۵۴۳(۰/۰۰۰)	ARCH (10) =F(10,2514)	۲۷/۷۴۲(۰/۰۰۰)

با مشاهده جدول ۱می‌توان دریافت که میانگین سری بازدهی قیمت نفت خام در دوره مورد بررسی معادل ۰/۰۰۰۶۶۴ و انحراف‌معیار آن برابر ۰/۰۲۲۶ است که با مقایسه آنها می‌توان دریافت که این سری در دوره مورد بررسی دارای تلاطم بسیار زیادی می‌باشد. آزمون نرمال بودن توزیع سری مذکور نیز بیانگر غیرنرمال بودن این سری و نیز، آماره کشیدگی مبین دنباله پهن[3] بودن آن می‌باشد.

با مشاهده آماره لیانگ-باکس، می‌توان به رد فرضیه صفر این آزمون مبنی بر «عدم وجود خود همبستگی سریالی میان جملات سری» پی برد.

همچنین، آماره مکلئود-لی نیز فرضیه صفر (مبنی بر عدم وجود خود همبستگی سریالی میان مجذور بازده سری) را رد می‌کند که در واقع بیانگر وجود اثرات غیرخطی در این سری و نیز مؤید واریانس ناهمسان بودن سری بازدهی است. نتایج آزمون آرچِ انگل نیز با نتایج آزمون مکلئود-لی سازگار بوده و بر فرضیه ناهمسان بودن واریانس سری بازدهی صحه می‌گذارد. در نهایت، بررسی آماره‌های آزمون مانایی مطرح شده (دیکی-فولر تعمیم‌یافته، فیلیپس‌پرون و ERS) دال بر مانا بودن متغیر مذکور است.

1. Phillips-Perron
2. Elliott-Rothenberg-Stock
3. Fat-Tail

بررسی پیش‌بینی‌پذیری سری بازدهی قیمت نفت خام

الف- آزمون نسبت واریانس (VR[1])

این آزمون بر مبنای آزمون «لو و مکینلی[2]» بوده و جهت بررسی اینکه آیا رفتار اجزاء سری بازدهی قیمت نفت خام «مارتینگلی[3] (یا به بیان دیگر تصادفی)» است، استفاده می‌شود.

جدول ۲: نتایج آزمون نسبت واریانس در سری بازدهی قیمت نفت خام

معیار / آزمون	Probability	df.	Value
Variance Ratio Test	۰/۰۰۰	۳۳۵۱	۱۷/۴۳

نتایج آزمون فوق بیانگر آن است که با رد فرضیه صفر این آزمون (که دال بر تصادفی بودن سری قیمت نفت بوده است)، هیچ‌گونه شواهدی دال بر اینکه سری مذکور (و نیز سری وقفه‌های آن) از نوع فرآیندهای مارتینگلی باشند، وجود نداشته و در نتیجه، فرآیند تولید داده در آنها تصادفی نمی‌باشد.

به همین دلیل می‌توان به پیش‌بینی‌پذیر بودن این سری پی برد.

نکته قابل توجه اینکه از نتایج این آزمون نمی‌توان خطی و یا غیرخطی بودن فرآیند تولید داده در سری بازدهی قیمت نفت خام را نتیجه گرفت، بلکه تنها می‌توان تصادفی نبودن و برخورداری از قابلیت پیش‌بینی‌پذیری آن را استنباط نمود.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

ب- آزمون BDS

این آزمون که توسط Brock *et al.* (1996) معرفی گردید، بر مبنای انتگرال همبستگی که تصادفی بودن فرآیند ایجادکننده یک سری زمانی را در مقابل وجود همبستگی کلی در آن را ارزیابی می‌کند، عمل می‌نماید.

این آزمون به خوبی جهت ارزیابی وجود یک فرآیند غیرخطی کلی از جمله فرآیند آشوب‌گونه در سری زمانی مشاهده شده قرار می‌گیرد. نتایج این آزمون نیز در جدول ۳ ارایه شده است.

1. Variance Ratio Test
2. Lo & MacKinlay
3. Martingale

جدول ۳: نتایج آزمون BDS در سری بازدهی قیمت نفت خام

Dimension	BDS-Statistic	SD	Z-Statistic	Prob
۲	۰/۰۱۴۲۷۵	۰/۰۰۱۵۲۱	۹/۳۸۵۳	۰/۰۰۰۰
۳	۰/۰۲۹۴۶۷	۰/۰۰۲۳۷۷	۱۲/۳۹۷	۰/۰۰۰۰
۴	۰/۰۳۹۵۴۲	۰/۰۰۳۱۵۴	۱۲/۵۳۷	۰/۰۰۰۰
۵	۰/۰۴۴۷۵۵	۰/۰۰۳۲۷۹	۱۳/۶۴۹	۰/۰۰۰۰

با توجه به نتایج مندرج در جدول فوق، فرضیه صفر این آزمون که به معنای عدم تصادفی بودن سری پسماندهای مدل مذکور است، رد می‌شود. بنابراین، می‌توان به وجود یک فرآیند غیرخطی (که می‌تواند دارای یک فرآیند آشوب‌گونه نیز باشد) در سری بازدهی قیمت نفت خام پی برد.

لازم به ذکر است که هرگاه در نتایج این آزمون، تصادفی بودن یک‌سری در بعدهای بیش از دو رد شود، احتمال غیرخطی بودن آن سری زیاد خواهد بود (زیرا فرضیه مقابل در این آزمون نامشخص است)، بنابراین این آزمون نیز شاهدی دیگر بر غیرخطی بودن سری بازدهی قیمت نفت خام می‌باشد.

ج- آزمون حداکثر نمای لیاپانوف

به طور اساسی آزمون بزرگ‌ترین نمای لیاپانوف، نرخ (سرعت) واگرایی و یا هم‌گرایی دو نقطه آغازین را در یک مسیر زمانی[1] بر اثر گذشت زمان اندازه‌گیری می‌نماید. در واقع توان‌های لیاپانوف این واگرایی و یا هم‌گرایی را به وسیله یک تابع نمایی مورد سنجش قرار می‌دهد و بر اساس این تابع سرعت متوسط دور شدن و یا نزدیک شدن دو نقطه ابتدایی که نزدیک به یکدیگر بوده‌اند را اندازه‌گیری می‌نمایند که در تعیین پایداری محلی[2] سیستم‌های خطی و غیرخطی به‌کار می‌رود، بنابراین مثبت بودن نمای لیاپانوف، بیانگر واگرایی نمایی مسیرهای زمانی، حساسیت زیاد به شرایط اولیه و در نتیجه وجود آشوب در سری می‌باشد. از سوی دیگر منفی بودن آن، نشان‌دهنده هم‌گرایی نمایی مسیرهای زمانی بوده و همچنین، صفر بودن توان لیاپانوف بیانگر آن است که سری از هیچ‌گونه مسیرهای هم‌گرایی و یا واگرایی برخوردار نیست (فرآیندی ثابت است). بنابراین، معمولاً وجود حداقل یک نمای لیاپانوف کافی است تا آشوب‌گونه بودن سیستم را بتوان نتیجه گرفت.

1. Trajectory (Orbit)
2. Local Stability

به طور کلی، جهت محاسبه بزرگ‌ترین نمای لیاپانوف دو روش وجود دارد: روش مستقیم[1] و روش ژاکوبین[2]. از روش مستقیم زمانی که معادله‌های حرکت سیستم (که از حل معادلات تفاضلی و یا دیفرانسیل مربوطه حاصل می‌گردد) به طور صریح مشخص باشد، استفاده می‌شود.

اما چون (معمولاً) حرکت سیستم‌های اقتصادی مشخص نیست، از روش ژاکوبین، برای محاسبه نمای لیاپانوف در اینگونه سیستم‌ها استفاده می‌شود. روش ژاکوبین را Nychka *et al*. (1992) مطرح نمودند، آنها با استفاده از نظریه «تیکن» معادله‌های مربوط به سیستم‌های آشوبی را تشکیل داده و با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی این مدل‌ها را برآورد، و به کمک آن بزرگ‌ترین نمای لیاپانوف، تخمین زده می‌شود.

لازم به ذکر است که در این مطالعه از هر دو روش فوق (به کمک نرم‌افزار MATLAB) جهت تشخیص آشوبی بودن سری بازدهی قیمت نفت استفاده شد که نتایج آن به طور مجزا در جداول زیر ارایه گردیده است.

جدول ۴: حداکثر نمای لیاپانوف به روش مستقیم

حداکثر وقفه	۱	۲	۳	۴	۵
نمای لیاپانوف	$۲/۲۵۳ * ۱۰^{-۱۷}$	۰/۰۱۲۳	$۱/۵۷۵ * ۱۰^{-۱۵}$	۰/۰۴۳۴	۰/۰۱۳۶
حداکثر نمای لیاپانوف					۰/۰۴۳۴

جدول ۵: حداکثر نمای لیاپانوف به روش ژاکوبین (مبتنی بر شبکه عصبی)

حداکثر وقفه	۱	۲	۳	۴	۵
نمای لیاپانوف	$۲/۸۴۱ * ۱۰^{-۱۶}$	$۴/۶۵۲ * ۱۰^{-۱۵}$	۰/۰۱۴۵	۰/۰۴۶۲	۰/۰۷۴۴
حداکثر نمای لیاپانوف					۰/۰۷۴۴

نتایج جداول ۴ و ۵ مؤید آشوب‌گونه بودن سری بازدهی قیمت نفت خام بوده، چرا که مقادیر آزمون نمای لیاپانوف، در هر دو روش مستقیم و نیز روش ژاکوبین مثبت است. همچنین، با توجه به اینکه این مقادیر به علت وجود حساسیت بالا به شرایط اولیه، هر نقطه اولیه انتخابی، مسیرهای نزدیک به هم نیز به سرعت واگرا گشته و هیچ نقطه ثابت و یا چرخه متناوبی وجود نخواهد داشت،

1. Direct Method
2. Jacobian Method

بنابراین، فرآیند مورد بررسی آشوبی می‌باشد. از سوی دیگر، حداکثر نمای لیاپانوف به‌دست آمده در روش اول (روش مستقیم) برابر ۰/۰۴۳۴ بوده و بر این اساس حد پیش‌بینی‌پذیری در این مطالعه (تعداد روزهای قابل پیش‌بینی) معکوس این عدد بوده که تقریباً برابر ۲۳ روز می‌باشد و این عدد در روش دوم حد پیش‌بینی‌پذیری (تعداد روزهای قابل پیش‌بینی) تقریباً برابر ۱۳ روز است، بنابراین جهت اطمینان بیشتر به نتایج پژوهش، در این مطالعه حد پیش‌بینی‌پذیری ۱۳روز انتخاب می‌گردد.

تحلیل کمی ویژگی حافظه بلندمدت

مهمترین بخش به‌کارگیری یک مدل مبتنی بر حافظه بلندمدت، تخمین پارامتر حافظه بلندمدت (d) و در نتیجه حصول اطمینان از برخورداری سری مورد بررسی از این ویژگی می‌باشد. روش‌های ACF و GPH از جمله مهمترین روش‌های کاربردی هستند که در بخش بعد به بررسی آنها پرداخته خواهد شد.

تجزیه و تحلیل گرافیکی حافظه بلندمدت

همان‌طور که از نمودار ۲ که در واقع نمودار ACF را در بردارد، مشخص است، سری لگاریتم قیمت نفت خام، به‌صورت خیلی آهسته و به شکل هیپربولیکی کاهش می‌یابد.

همان‌طور که گفته شد، سری‌های دارای چنین نمودار خود همبستگی، علاوه بر اینکه نامانا هستند، دارای حافظه بلندمدت نیز خواهند بود.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

نمودار ۲: ACF سری لگاریتم قیمت نفت خام

بنابراین، در صورت عدم وجود ویژگی حافظه بلندمدت، انتظار بر آن است که سری مذکور با تفاضل‌گیری (یک مرتبه) مانا شود، اما نتایج حاصل از یک مرتبه تفاضل‌گیری نشان می‌دهد که سری بازدهی قیمت نفت خام با توجه به آزمون‌های مانایی ADF، فیلیپس- پرون و ERS مانا بوده، درحالی‌که نتیجه آزمون KPSS بیانگر نامانایی سری مذکور است که نتایج آن در جدول ۶ ارایه شده است.

وجود چنین شرایطی موجب بررسی ویژگی حافظه بلندمدت در سری بازدهی قیمت نفت خام شده است.

جدول ۶: نتایج مربوط به بررسی مانایی در سری بازدهی قیمت نفت خام

نام متغیر	آزمون مانایی	آماره بحرانی	آماره محاسباتی در سطح ۵ درصد	نتیجه آزمون
DLOIL	ADF	-۴۷/۸۷۴	-۱/۹۴۰۹	مانا
	Phillips-Perron	-۴۷/۷۴۳	-۱/۹۴۰۹	مانا
	ERS	۵/۷۵۴	۳/۲۶۰۰	مانا
	KPSS	۱/۹۸۳	۰/۴۶۳۰	نامانا

تخمین پارامتر حافظه بلندمدت

مدل‌های مبتنی بر حافظه بلندمدت شدیداً به مقدار پارامتر حافظه بلندمدت و نیز نحوه میرایی توابع خود همبستگی بستگی دارند. بر این اساس، در این بخش به تخمین پارامتر حافظه بلندمدت با معیار GPH [1] به کمک نرم‌افزار OX-METRICS پرداخته می‌شود. به طور کلی آزمون GPH که نخستین بار توسط «گویک و پورتر- هوداک (GPH)، در سال ۱۹۸۳» ارایه گردید، مبتنی بر تحلیل دامنه فرکانس بوده و از تکنیک رگرسیون دوره نگاشت[2] جهت برآورد آن استفاده شده است که در واقع این تکنیک، ابزاری جهت تمایز بین روندهای کوتاه‌مدت و حافظه بلندمدت فراهم می‌آورد. لازم به ذکر است که شیب خط رگرسیون حاصل از به‌کارگیری تکنیک رگرسیون دوره نگاشت[3]، همان پارامتر حافظه بلندمدت را حاصل می‌کند (محمدی و طالبلو، ۱۳۸۹). آماره‌ی آزمون GPH، به تخمین

1. Gewek, Porter-Hudak
2. Log- Period gram
۳. یک نگاشت، رابطه‌ای است ریاضی که یک یا برخی از اعضاء مجموعه دامنه را به یک یا برخی از اعضاء مجموعه برد می‌نگارد.

پارامتر حافظه بلندمدت (d) که بر مبنای رگرسیون دوره نگاشت زیر است، محاسبه می‌گردد:

$$Ln[I(w_j)]=B_0+B_1\, n[4\, sin(w_j/2)]+e_j \qquad j=1,2,3,... \qquad (۱)$$

که در آن $w_j = 2\pi j / T$ و $j = 1,2,...,n$، e_j بیانگر پسماندهای مدل بوده و همچنین، w_j به تبدیل فوریه فرکانس ($n = \sqrt{T}$) اشاره دارد. در نهایت $I(w_j)$ یک دوره نگاشت ساده بوده که به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$I(w_j) = \frac{1}{2\pi T}\left|\sum_{t=1}^{T} \varepsilon_t e^{-w_j t}\right| \qquad j = 1,2,3,... \qquad (۲)$$

بنابراین، مقدار آماره آزمون GPH برابر $-\hat{\beta}_1$ است (Arouri *et al*., 2010). مقدار پارامتر حافظه بلندمدت بر اساس این آزمون در جدول زیر ارایه گردیده است:

جدول ۷: تخمین مقدار d به کمک آماره آزمون GPH بر اساس روش NLS

معیار / سری	d-Parameter	t-statistic	Prob
لگاریتم قیمت نفت خام	۱/۰۸۵۴۱	۶۲/۱۶	۰/۰۰۰
بازدهی قیمت نفت خام	۰/۰۶۷۴۳۳	۵/۴۵۳	۰/۰۰۰

همان‌طور که از نتایج جدول فوق پیداست، مقدار پارامتر حافظه بلندمدت بین صفر و ۰/۵ بوده و در نتیجه تأییدی بر وجود ویژگی حافظه بلندمدت در سری بازدهی قیمت نفت خام می‌باشد. بنابراین، سری بازدهی قیمت نفت خام می‌بایست مجدداً تفاضل‌گیری کسری شده و بر اساس آن مدل‌سازی گردد.

مدل‌سازی بازدهی قیمت نفت خام

با تأیید وجود ویژگی حافظه بلندمدت در سطح سری بازدهی قیمت نفت خام، در این بخش به مدل‌سازی آن به کمک معروف‌ترین و انعطاف‌پذیرترین مدل حافظه بلندمدت (فرم تصریحی معادله میانگین[1])، یعنی مدل ARFIMA پرداخته می‌شود که فرم کلی آن به‌صورت زیر است:

$$\phi(L)(1-L)^d(y_t-\mu_t)=\theta(L)\varepsilon_t \qquad t=1,2,3,...,T \qquad (۳)$$

1. Mean Equation

که در آن $\phi(L)$ چندجمله‌ای خود همبستگی، $\theta(L)$ چندجمله‌ای میانگین متحرک، L عملگر وقفه و μ_t میانگین y_t می‌باشند. p و q اعداد صحیح هستند و d پارامتر تفاضل‌گیری می‌باشد. $(1-L)^d$ معرف عملگر تفاضل کسری است.

گفتنی است که در صورتی که مقدار پارامتر تفاضل‌گیری در مدل مذکور برابر واحد باشد، این مدل را مدل ARIMA می‌نامند. اگر $d < 0.5$ باشد، کوواریانس مدل ثابت بوده و اگر $d > 0$ باشد، دارای ویژگی حافظه بلندمدت خواهد بود (Hosking, 1981). زمانی که $0 < d < 0.5$ باشد، تابع خودهمبستگی به‌صورت هیپربولیکی کاهش می‌یابد و زمانی که $-0.5 < d < 0$ باشد، فرآیند حافظه میان‌مدت (کوتاه‌مدت) پیش می‌آید.

فرآیند حافظه میانمدت نشان‌دهنده این مطلب است که از متغیر مورد بررسی بیش از حد تفاضل‌گیری شده و در این مورد معکوس تابع خودهمبستگی به‌صورت هیپربولیکی کاهش یابد. روش‌های مختلفی جهت برآورد مدل ARFIMA و پارامتر d وجود دارد که در این پژوهش از روش‌های حداکثر درست‌نمایی دقیق (EML)[1]، روش درست‌نمایی تعدیل‌شده (MPL)[2] و روش حداقل مربعات غیرخطی (NLS)[3] استفاده، و با توجه به معیار آکائیک به مقایسه انواع مختلف مدل‌های ARFIMA پرداخته شده است.

جدول ۸: نتایج تخمین انواع مدل‌های ARFIMA

مدل‌ها	AIC			ARCH-TEST
	EML	NLS	MPL	
ARFIMA(1,0.06,1)	-۷/۸۴۰۲	-۷/۳۲۶۴	-۷/۲۱۹۴	F (۱و ۳۳۲۱) = ۱۲/۷۶ (۰/۰۰۰)
ARFIMA(1,0.06,2)	-۷/۳۲۶۶	-۷/۳۳۱۲	-۷/۲۱۵۳	F (۱و ۳۳۲۰) = ۱۴/۳۴ (۰/۰۰۰)
ARFIMA(2,0.06,1)	-۷/۳۲۴۹	-۷/۳۲۵۷	-۷/۲۱۴۷	F (۱و ۳۳۲۰) = ۱۵/۶۷ (۰/۰۰۰)
ARFIMA(2,0.06,2)	-۷/۳۲۵۹	-۷/۳۲۷۳	-۷/۲۱۵۲	F (۱و ۳۳۱۹) = ۷۳/۱۷ (۰۰۰/۰)

بر اساس نتایج جدول فوق، مدل ARFIMA (1,0.06,2) با توجه به آماره آکائیک، دارای بهترین عملکرد بوده و نیز بر اساس آزمون آرچ، وجود اثرات ARCH (خودرگرسیون واریانس ناهمسان شرطی) در جملات اخلال این مدل‌ها تأیید گردیده و بنابراین بر پایه این نتایج جهت رفع مشکل

1. Exact Maximum Likelihood
2. Modified Profile Likelihood
3. Non Linear Least Square

واریانس ناهمسانی، می‌توان از خانواده مدل‌های ARCH استفاده نمود. به همین منظور در بخش بعدی، به مدل‌سازی معادله واریانس سری مورد بررسی به کمک انواع مدل‌های GARCH اعم از معادلات مبتنی بر حافظه بلندمدت (کسری) و نیز مدل‌های غیرکسری پرداخته می‌شود. نتایج انواع مختلف این تصریح‌ها در جدول ۹ ارایه شده است.

جدول ۹: نتایج تخمین انواع مدل‌های ARFIMA-FIGARCH

انواع مدل‌ها	ARFIMA(1,1)		ARFIMA(1,2)		ARFIMA(2,1)		ARFIMA(2,2)	
	AIC	SBC	AIC	SBC	AIC	SBC	AIC	SBC
GARCH	-۷/۳۲۳۹	-۷/۲۵۸۰	-۷/۳۳۰۰	-۷/۲۵۵۸	-۷/۳۲۲۹	-۷/۲۴۸۷	-۷/۳۱۹۰	-۷/۲۳۶۶
EGARCH	-۷/۹۷۴۵	-۷/۸۹۲۱	-۷/۹۷۲۴	-۷/۸۸۱۸	-۷/۹۷۰۸	-۷/۸۸۰۱	-۷/۹۶۷۵	-۷/۸۶۸۶
GJR-GARCH	-۷/۳۲۷۸	-۷/۲۵۳۵	-۷/۳۴۰۶	-۷/۲۵۸۲	-۷/۳۳۰۱	-۷/۲۴۷۷	-۷/۳۲۶۶	-۷/۲۳۵۹
APGARCH	-۷/۳۳۹۸	-۷/۲۵۷۵	-۷/۳۳۶۵	-۷/۲۴۵۹	-۷/۳۳۹۰	-۷/۲۴۸۳	-۷/۳۳۲۸	-۷/۲۳۳۸
IGARCH	-۷/۳۱۸۲	-۷/۲۶۰۵	-۷/۳۱۷۹	-۷/۲۵۲۰	-۷/۳۱۷۱	-۷/۲۵۱۲	-۷/۳۱۳۲	-۷/۲۳۹۰
FIGARCH(BBM)	-۷/۳۱۸۳	-۷/۲۴۴۱	-۷/۳۴۰۰	-۷/۲۶۴۵	-۷/۳۱۴۵	-۷/۲۳۲۱	-۷/۳۱۳۰	-۷/۲۲۲۳
FIGARCH (Chang)	-۷/۳۰۴۸	-۷/۲۳۰۷	-۷/۳۰۳۸	-۷/۲۲۱۲	-۷/۳۰۳۳	-۷/۲۲۰۸	-۷/۲۹۹۴	-۷/۲۰۸۸

همان‌طور که مشاهده می‌شود، کلیه مدل‌های ارایه شده در جدول ۹، بر اساس معادلات میانگین‌های مختلفِ مبتنی بر حافظه بلندمدت بوده و ترکیبات مختلف آن از سه بخش کلی تشکیل شده است: بخش اول (قسمت بالایی جدول) شامل انواع مدل‌های واریانس ناهمسان شرطی غیرکسری بوده و بخش دوم ترکیب مدل خودرگرسیون واریانس ناهمسان شرطیِ با ریشه واحد (IGARCH) و معادلات میانگین‌های مذکور را شامل بوده و در نهایت بخش سوم (قسمت پایینی جدول)، انواع مدل‌های خودرگرسیون واریانس ناهمسان شرطی کسری (FIGARCH) را در بردارد. با مقایسه مقادیر معیارهای اطلاعات مربوط به انواع مختلف مدل‌های GARCH به سادگی می‌توان دریافت که مدل ARFIMA(1,2)-FIGARCH (BBM) دارای کمترین مقدار آماره اطلاعاتِ آکائیک و شوارتز بوده و بنابراین بهترین تصریح جهت تبیین الگوی رفتاری تلاطم موجود در سری بازدهی قیمت نفت خام می‌باشد، بنابراین ضرایب متغیرهای بهترین مدل به همراه آماره‌های مربوط به معنی‌داری این ضرایب در جدول ۱۰ ارایه شده است.

همچنین آماره‌های مربوط به بررسی وجود واریانس ناهمسانی در اجزاء اخلالِ این مدل (آماره‌های مربوط به آزمون‌های لیانگ- باکس، مکلئود- لی و آرچ) نیز در قسمت زیرین جدول مربوط به تخمین این مدل، ارایه گردیده است.

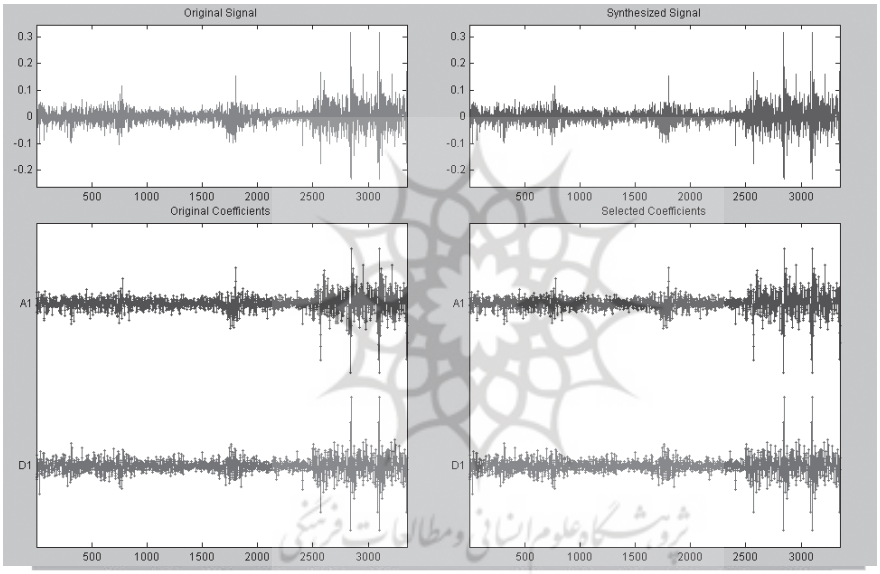
جدول ۱۰: نتایج تخمین ARFIMA(1,2)-FIGARCH(BBM)

نام متغیرها	ضریب	خطای معیار	آماره t	احتمال
معادله میانگین				
C	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰۶	۳/۳۴	۰/۰۰۰
d-ARFIMA	۰/۰۹	۰/۰۱۴	۶/۴۹	۰/۰۰۰
AR(۱)	۰/۵۶	۰/۱۲۳	۴/۵۷	۰/۰۰۰
MA(۱)	-۰/۱۷	۰/۰۱۲	-۱۴/۱۵	۰/۰۰۰
MA(۲)	-۰/۰۸	۰/۰۲۱	-۳/۸۱	۰/۰۰۰
Dum	۰/۰۷	۰/۰۰۵	۱۲/۷۱	۰/۰۰۰
معادله واریانس				
C	۱/۷۲	۰/۵۴۲	۳/۱۷	۰/۰۰۰
d-FIGARCH	۰/۲۸	۰/۰۲۲	۱۲/۳۵	۰/۰۰۰
ARCH	۰/۳۷	۰/۱۱۶	۳/۱۸	۰/۰۰۰
GARCH	۰/۵۹	۰/۱۲۸	۴/۶۱	۰/۰۰۰
۱۱/۴۷(۰/۱۲۷)	Box- Ljung Q(10)		۱۹۴۳/۳۷۲	Log likelihood
۶/۶۵(۰/۶۷۲)	(McLeod-Li Q^2(10		-۷/۳۴۰۰۲۷	Akaike
۰/۰۰۲۹(۰/۹۴۳)	ARCH(1)=F(1,3299)		-۷/۲۶۴۵۱۳	Schwarz

در مدل مذکور (به جزء عرض از مبدأها) کلیه ضرایب این مدل در سطح ۹۵ درصد معنی‌دار است. نتایج آزمون لیانگ-باکس نیز، هیچگونه اثری از خودهمبستگی سریالی در اجزاء اخلال این مدل را نشان نمی‌دهد. وجود واریانس ناهمسانی در اجزاء اخلال، نیز بر اساس آزمون مک‌لئود-لی و آرچ، منتفی اعلام شده است.

تجزیه داده‌ها به کمک تکنیک موجک

جهت انتخاب سطح تجزیه داده‌ها، آنها را ابتدا به ۵ سطح تجزیه نموده و سپس به کمک جعبه گرافیکی موجک در نرم‌افزار MATLAB، سطح بهینه را مشخص نموده و بر اساس آن سطح بهینه تجزیه داده‌ها برابر سطح یک می‌شود. شکل زیر نمودار تجزیه داده‌ها را تا یک سطح و با تابع دابیشز سه (به علت آنکه داده‌های شاخص قیمت نفت خام با نمودار دابیشز ۳ همخوانی داشتند)، نشان می‌دهد.



نمودار ۳: تجزیه داده‌ها با استفاده از تابع دابیشز و تا یک سطح

با توجه به آنکه داده‌ها را تا یک سطح واشکافی کرده و بر مبنای آن تقریب و جزییات حاصله محاسبه شده‌اند، شکل فوق نمودار تقریب[1] {(a1)} و جزئیات[2] {(d1)} سری شاخص قیمت نفت خام را که جهت تجزیه داده‌ها با استفاده از تابع تجزیه موجک گسسته دابیشز۳، به‌کار گرفته خواهد شد، نشان می‌دهد.

گفتنی است که به کمک آنها می‌توان مدل‌سازی‌های مد نظر را نیز انجام داد.

1. Approximation
2. Details

پیش‌بینی نوسانات شاخص بازدهی قیمت نفت خام

پس از مدل‌سازی سری بازدهی قیمت نفت خام و نیز تجزیه داده‌ها به دو بخش «تقریب» و «جزییات»، به مدل‌سازی نوسانات سری‌های حاصل از تجزیه داده‌ها، پرداخته شد. نتایج این مدل‌سازی‌ها حاکی از آن است که معنی‌داری ویژگی حافظه بلندمدت در سری «جزییات» به شدت افزایش یافته و این در حالی است که این امر در مورد سری «تقریب» صادق نبوده است. پس از مدل‌سازی نوسانات بازده قیمت نفت خام در این حالت، بر اساس مقادیر پیش‌بینی به‌دست آمده، کل خطای پیش‌بینی را محاسبه نموده و با نتایج حاصل از مدل‌سازی نوسانات بازده قیمت نفت خام در حالت مبتنی بر داده‌های تجزیه نشده، مقایسه می‌گردد.

جدول ۱۱: نتایج مقایسه مدل‌های پژوهش

ردیف	داده‌های تجزیه شده با موجک		
	مدل	MSE	RMSE
۱	ARFIMA-FIGARCH	۰/۰۰۰۴۸	۰/۰۲۱۹
	داده‌های تجزیه نشده		
مدل	MSE	RMSE	
۲	ARFIMA-FIGARCH	۰/۰۰۰۱۷	۰/۰۱۳۰

بنابراین، همان‌طور که نتایج جدول فوق نشان می‌دهد، به‌کارگیری داده‌های تجزیه شده، تأثیر قابل توجهی بر نتایج پیش‌بینی نوسانات شاخص مذکور داشته که این امر، با نتایج پژوهش‌های پیشین (که از این تکنیک در مورد مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی نیز استفاده نموده‌اند) نیز سازگاری دارد.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

به‌طور کلی نفت، نقش اساسی در اقتصاد جهانی به خصوص در کشورهای صادرکننده نفت (از جمله ایران) دارد. اهمیت و جایگاه ویژه این کالا، توجه بسیاری از محققان را به سوی خود جلب نموده و به همین علت در سال‌های اخیر مطالعات زیادی در زمینه آن صورت پذیرفته است. در این راستا، این مطالعه به تحلیل آشوب و ارزیابی عملکرد انواع مدل‌های واریانس ناهمسانی شرطی و همچنین مدل ترکیبی داده‌های تجزیه شده با تکنیک موجک و واریانس ناهمسانی شرطی، برای

پیش‌بینی بازدهی قیمت نفت خام پرداخته است. بر اساس نتایج این مطالعه، پیش‌بینی‌پذیر بودن (غیرمارتینگلی بودن) و نیز غیرخطی بودن این سری مورد تأیید قرار گرفته و بنابراین، فرضیه بازارهای کارا در مورد این سری رد می‌شود. همچنین سری مورد مطالعه آشوبی نیز بوده و بنابراین فرضیه بازارهای فرکتال در مورد سری بازدهی قیمت نفت خام مورد تأیید قرار می‌گیرد. بر پایه این نتیجه حد پیش‌بینی‌پذیری در این مطالعه (تعداد روزهای قابل پیش‌بینی) که برابر معکوس حداکثر نمای لیاپانوف است، برابر ۱۳ روز به‌دست آمد.

از سوی دیگر، نتایج این مطالعه، مبین آن است که بازده سری قیمت نفت خام دارای اثرات واریانس ناهمسانی شرطی بوده و بنابراین در این شرایط به‌کارگیری خانواده مدل‌های GARCH، از اثربخشی چشم‌گیری برخوردار خواهند بود. افزون بر این، بررسی موشکافانه سری مذکور نشان می‌دهد که وجود ویژگی حافظه بلندمدت در گشتاورهای مراتب اول و دوم بر اساس آزمون ACF و GPH مورد تأیید قرار گرفته که این امر مؤید آن است که ریسک و بازدهی مورد انتظار را می‌بایست بر مبنای مدل‌های کسری (ARFIMA و FIGARCH) مدل‌سازی نمود. لازم به ذکر است که عدم توجه به این خاصیت در مدل‌سازی این‌گونه سری‌ها، همواره نتایج مدل‌سازی‌ها را با سطحی از خطا همراه می‌سازد. نتایج برآورد مدل‌های مختلف تحقیق نیز به برتری مدل غیرخطی ARFIMA(1,2)-FIGARCH (BBM) در مقابل سایر مدل‌های رقیب، اعم از مدل‌های کسری و غیرکسری (بر اساس معیارهای اطلاعات آکائیک و شوارتز) دلالت داشته است. نکته دیگری که در این مطالعه مورد بررسی قرار گرفت، تحلیل میزان اثربخشی و کارآیی به‌کارگیری تجزیه موجک، در پیش‌بینی نوسانات بازده سری مذکور بوده است. نتایج برآوردهای این پژوهش، ضمن تأیید بهبود عملکرد نتایج پیش‌بینی متغیرهای مختلف بر پایه تکنیک موجک، مؤید تأثیر قابل توجه به‌کارگیری این تکنیک حتی در گشتاور مرتبه دوم (نوسانات) سری مذکور بوده است. بر پایه یافته‌های این پژوهش، می‌توان چند پیشنهاد را به شرح زیر بیان نمود:

۱) در مدل‌سازی‌های آتی، توجه به ویژگی حافظه بلندمدت، بیشتر مورد توجه قرار گیرد، چون توجه به این ویژگی بدان معنی است که تکانه‌های کنونی اگرچه بخشی از آثار خود را در همان دوره یا در نهایت با چند وقفه خواهد گذاشت، ولی بخش قابل توجهی از آثار تکانه مذکور می‌تواند رفتار سریِ با این ویژگی را در دوره‌های آتی تحت تأثیر قرار دهد، بنابراین همان‌طور که در این مطالعه و سایر مطالعات داخلی و خارجی تأیید گردید، در نظر گرفتن این ویژگی قاعدتاً منجر به بهبود عملکرد مدل‌ها شده و آن را می‌توان به‌عنوان یک پیشنهاد به سرمایه‌گذاران و تصمیم‌گیران بازارهای مالی و

اقتصاد کلان اعلام نمود.

۲) با عنایت به گسترش روش‌های محاسبات کامپیوتری در سال‌های اخیر ترویج استفاده از مدل‌های ترکیبی، توجه به این نکته که «به‌کارگیری ترکیب روش‌های پیچیده (غیرخطی) و مقوله حافظه بلندمدت می‌تواند نتایج بهتری را در بر داشته باشد»، می‌تواند در زمینه‌های مختلف (سایر بازارهای پرتلاطم) پژوهش‌های آتی مورد توجه قرار گیرد.

۳) با توجه به جدید بودن رویکردهای به‌کار گرفته شده در این مطالعه، می‌توان از نتایج آن در محاسبه ارزش در معرض خطر دارایی‌های مالی نیز استفاده نمود.

پیشنهاد آخر آنکه تأیید وجود این ویژگی، مؤید آن خواهد بود که حتی استفاده از روش‌های پیچیده دیگر - اگرچه ممکن است از نتایج بهتری برخوردار باشد - ولی این نکته که «به‌کارگیری ترکیب روش‌های مذکور و مقوله حافظه بلندمدت می‌تواند نتایج بهتری حاصل نماید»، می‌تواند در تحقیقات آتی با رویکرد ترکیبی به مدل‌های پیش‌بینی، مورد توجه محققین باشد.

منابع

الف) فارسی

بابازاده، محمد، معمارنژاد، عباس و علمی، سیامک. (۱۳۸۹). بررسی ماکسیمم نمای لیاپانوف در نرخ ارز ایران با استفاده از تئوری آشوب. *فصلنامه پول و اقتصاد*، جلد ۲، شماره ۱، صفحات ۷۶-۵۳.

سلامی، امیربهداد. (۱۳۸۱). آزمون روند آشوبی در بازده سهام بازار اوراق بهادار تهران. *فصلنامه پژوهشنامه اقتصادی*، جلد ۲، شماره ۵، صفحات ۷۴-۳۵.

شیرین‌بخش، شمس‌الله، نادری، اسماعیل و گندلی‌علیخانی، نادیا. (۱۳۹۱). بررسی حافظه بلندمدت و به‌کارگیری تجزیه موجک جهت بهبود عملکرد پیش‌بینی نوسانات بازار سهام. *فصلنامه دانش مالی تحلیل اوراق بهادار*، سال پنجم، شماره ۱۶، صفحات ۲۶-۷.

عباسی‌نژاد، حسین و محمدی، احمد. (۱۳۸۶). پیش‌بینی نرخ ارز با استفاده از شبکه‌های عصبی و تبدیل موجک. *نامه اقتصادی*، جلد ۳، شماره ۶۰، صفحات ۴۲-۱۹.

عباسی‌نژاد، حسین و نادری، اسماعیل. (۱۳۹۱). تحلیل آشوب، تجزیهٔ موجک و ارزیابی مدل‌های شبکهٔ عصبی در پیش‌بینی شاخص بورس تهران. *فصلنامه تحقیقات مدل‌سازی اقتصادی*، جلد۲، شماره ۸، صفحات ۱۴۰-۱۱۹.

قنبری، علی، خضری، محسن و ترکی‌سمایی، رقیه. (۱۳۸۸). تخمین ریسک سیستماتیک در مقیاس‌های زمانی

مختلف با استفاده از آنالیز موجک برای بورس اوراق بهادار تهران. *فصلنامه اقتصاد مقداری (بررسی‌های اقتصادی سابق)*، شماره ۴، صفحات ۵۰-۲۹.

کمیجانی، اکبر، و نادری، اسماعیلی. (۱۳۹۱). مقایسه قابلیت‌های مدل‌های مبتنی بر حافظه بلندمدت و مدل‌های شبکه عصبی پویا در پیش‌بینی بازدهی بورس اوراق بهادار تهران. *فصلنامه دانش مالی تحلیل اوراق بهادار*، جلد ۵، شماره ۱۵، صفحات ۱۳۰-۱۱۵.

محمدی، تیمور، و طالب‌لو، رضا. (۱۳۸۹). پویایی‌های تورم و رابطه تورم و عدم اطمینان اسمی با استفاده از الگوی ARFIMA-GARCH. *فصلنامه پژوهشنامه اقتصادی*، سال دهم، جلد ۱، شماره ۳۶، صفحات ۱۷۰-۱۳۷.

مشیری، سعید. (۱۳۸۱). مروری بر نظریهٔ آشوب و کاربردهای آن در اقتصاد. *فصلنامهٔ پژوهش‌های اقتصادی ایران*، جلد۴، شماره ۱۲، صفحات ۷۱-۲۹.

مشیری، سعید، پاکیزه، کامران، دبیریان، منوچهر، و جعفری، ابوالفضل. (۱۳۸۹). بررسی رابطه میان بازدهی سهام و تورم با استفاده از تجزیه و تحلیل موجک در بورس اوراق بهادار تهران. *فصلنامه پژوهش‌های اقتصادی ایران*، جلد ۱، شماره ۴۲، صفحات ۷۴-۵۵.

مشیری، سعید و فروتن، فایزه. (۱۳۸۳). آزمون آشوب و پیش‌بینی قیمت آتی نفت خام. *فصلنامه پژوهش‌های اقتصادی ایران*، جلد ۴، شماره ۲۱، صفحات ۹۰-۶۷.

مشیری، سعید و مروت، حبیب. (۱۳۸۴). بررسی وجود فرآیند آشوبی در شاخص بازدهی کل قیمت سهام بازار بورس تهران. *فصلنامه پژوهش‌های اقتصادی ایران*، جلد ۴، شماره ۲۵، صفحات ۶۴-۴۷.

مشیری، سعید و مروت، حبیب. (۱۳۸۵). پیش‌بینی شاخص کل بازدهی سهام تهران با استفاده از مدل‌های خطی و غیرخطی. *فصلنامهٔ پژوهش‌نامه بازرگانی*، جلد ۴، شماره ۴۱، صفحات ۲۷۶-۲۴۵.

معینی، علی، ابریشمی، حمید، و احراری، مهدی. (۱۳۸۵). به‌کارگیری نمای لیاپانوف برای مدل‌سازی سری زمانی قیمت نفت خام بر پایهٔ توابع پویا. *مجلهٔ تحقیقات اقتصادی*، جلد ۳، شماره ۷۶، صفحات ۱۰۰-۷۷.

نوبخت، محمدباقر، غلامی‌نتایج امیدی، سعید، و مجیدزاده، رضا. (۱۳۹۰). ارزیابی روند توسعه ایران در سده اخیر با تأکید بر نظریه آشوب و نظریه بازی. *فصلنامه راهبرد*، جلد ۲، شماره ۵۹، صفحات ۳۱۷-۲۷۱.

ب) لاتین

Al-Wadia, S., & Tahir, I. M. (2011). Selecting wavelet transforms model in forecasting financial time series data based on ARIMA model. *Applied Mathematical Sciences*, 5(7), 315–326.

Arouri, M., Lahiani, A., & Nguyen, D. K. (2010). *Forecasting the conditional volatility of oil spot and futures prices with structural breaks and long memory models*. International Conference on Economic Modeling, Istanbul, Turkey. pp. 283-293.

Ayadi, O. F., Williams, J., & Hyman, L. M. (2009). Fractional dynamic behavior in forcados oil price series: An application of detruded fluctuation analysis. E*nergy for Sustainable Development*, 13(1), 11–17.

Baillie, R. T., & King, M. L. (1996). Fractional differencing and long memory processes. *Journal of Econometrics*, 73(1), 1-3.

Brock, W. A., Dechert, W. D., Scheinkman J. A., & LeBaron, B. (1996). A test for independence based on the correlation dimension. *Econometric Reviews*, 15(3), 197-235.

Cheong, C. W. (2009). Modeling and forecasting crude oil markets using ARCH-Type models. *Energy Policy*, 37(6), 2346–2355.

Choi, K., & Hammoudeh, S. (2009). Long memory in oil and refined markets. *The Energy Journal*, 30(2), 97-116.

Conrad, C., Karanasos, M., & Zeng, N. (2011). Multivariate fractionally integrated APARCH modeling of stock market volatility: A multi-country study. *Journal of Empirical Finance*, 18(1), 147-159.

Graps, A. (1995). An introduction to wavelets. *IEEE Computational Science and Engineering,* 25(2), 251-275.

Henry, M., & Zafaroni, P. (2002). *The long range dependence paradigm for macroeconomics and finance, in Doukhan*. Working Papers, Columbia University, Department of Economics. pp. 719-725.

Homayouni, N., & Amiri, A. (2011). *Stock price prediction using a fusion model of wavelet, fuzzy logic and ANN*. International Conference on E-business, Management and Economics, IPEDR Vol. 25, IACSIT Press, Singapore. pp. 277-281.

Hosking, J. R. M. (1981). Fractional differencing. *Biometrika*, 68(1), 165–176.

Hurst, H. R. (1951). Long-term storage in reservoirs. *Transactions of the American Society of Civil Engineers*, 116(1), 770-799.

In, F., Kim, S., Marisetty, V., & Faff, R. (2008). Analyzing the performance of managed funds using the wavelet multi-scaling method. *Review of Quantitative Finance and Accounting*, 31(1), 55-70.

Kang, S. H., Cheong, C., & Yoon, S. M. (2011). Structural changes and volatility transmission in crude oil markets. *Physica A*, 390(23-24), 4317–4324.

Kao, L. J., Chiu, C. C., Lu, C. J., & Chang, C. H. (2013). A hybrid approach by integrating wavelet-based feature extraction with MARS and SVR for stock index forecasting. *Decision Support Systems*, 54(3), 1228-1244.

Karim, S. A. A., Karim, B. A., Ismaeil, M. T., Hasan, M. K., & Sulaiman, J. (2011). Application of wavelet method in stock exchange problem. *Journal of Applied Science*, 11(8), 1131-1135.

Kazem, A., Sharifi, E., Hussain, F. K., Saberi, M., & Hussain, O. K. (2013). Support vector regression with chaos-based firefly algorithm for stock market price forecasting. *Applied Soft Computing*, 13(2), 947-958.

Lineesh, M. C., & John, C. J. (2010). Analysis of non-stationary time series using wavelet decomposition. *Nature and Science*, 8(1), 53-59.

Mehrara, M., & Mohaghegh, M. (2011). Macroeconomic dynamics in the oil exporting

countries: A panel VAR study. *International Journal of Business and Social Science*, 2(21), 288-295.
Mitra, S., & Mitra, A. (2005). Modeling exchange rates using wavelet decomposed genetic neural network. *Statical Methodology*, 3(4), 32–37.
Moeini, A., Ahrari, M., & Karimi, P. (2010). Forecasting gold price via chaotic models and lyapunov exponent. *Middle Eastern Finance and Economics*, 8(1), 79-93.
Mohammadi, H., & Su, L. (2010). International evidence on crude oil price dynamics: Applications of ARIMA-GARCH models. *Energy Economics*, 32(5), 1001–1008.
Mostafaei, H., & Sakhabakhsh, L. (2011). Modeling and forecasting of OPEC oil prices with ARFIMA model. *International Journal of Academic Research*, 3(1), Part Iii.
Nychka, D. W., Ellner, S., Gallant, A. R., & McCaffery, D. (1992). Finding Chaos in noisy systems. *Journal of Royal Statistical Society*, 54(2), 399-426.
Olmedo, E. (2011). Is there chaos in the Spanish labor market. *Chaos, Solitons & Fractals Nonlinear Science, and Non-equilibriums and Complex Phenomena*, 125(12), 1-8.
Ozer, G., & Ertokatli, C. (2010). Chaotic processes of common stock index returns: An empirical examination on Istanbul Stock Exchange (ISE) market. A*frican Journal of Business Management*, 4(6), 1140-1148.
Prado, S. (2011). *Free lunch in the oil market: A note on long memory.* Economic Working Paper, University of Paris West, Nanterre La Defense. pp. 1-9.
Prokhorov, A. B. (2008). Nonlinear dynamics and chaos theory in economics: A historical perspective. *Quantile*, 4(4), 1-27.
Shirinbakhsh, Sh., & MoghaddasBayat, M. (2011). An evaluation of asymmetric and symmetric effects of oil exports shocks on non-tradable sector of Iranian economy. R*omanian Journal of Economic Forecasting*, 1(1), 106-124.
Vo, M. (2011). Oil and stock market volatility: A multivariate stochastic volatility perspective. *Energy Economics*, 33(5), 956–965.
Wadi, S., & Ismail, M. T. (2011). Selecting wavelet transforms model in forecasting financial time series data based on ARIMA model. *Applied Mathematical Sciences*, 5(7), 315–326.
Wang, Y., Wu, C., & Wei, Y. (2011). Can GARCH-Class models capture long memory in WTI crude oil markets. *Economic Modeling*, 28(3), 921–927.
Wei, Y., Wang, Y., & Huang, D. (2010). Forecasting crude oil market volatility: Further evidence using GARCH-Class models. *Energy Economics*, 32(6), 1477–1484.
Williams, B. (2005). *Trading chaos: Applying expert techniques to maximize your profits*. John Wiley & Sons. 265p. ISBN: 0-471-11929-6.
Wolf, A., Swift, J., Swinney, H., & Vastano, J. (1985). Determining Lyapanov exponents from time series. *Physica*, 16(3), 285-317.
Wong, H., Ip, W. C., Xie, Z., & Lui, X. (2003). Modeling and forecasting by wavelets, and the application to exchange rates. *Journal of Applied Statistics*, 30(5), 537-553.
Xio, J., & Jin, Y. (2007). Empirical study of ARFIMA model based on fractional differencing. *Physica A*, 377(1), 138–154.