

بررسی روند حافظه‌ی بلندمدت در بازارهای جهانی نفت

وحید محمودی^۱ شاپور محمدی^۲ هستی چیت‌سازان^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۰۷/۲۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۸۹/۱۱/۱۹

چکیده

بررسی اثرات حافظه در بازارهای نفت خام دارای جذابیت تحقیقاتی بالایی است و توجه محققان را در حوزه‌های مختلف، از فیزیک اقتصاد گرفته تا مباحث اقتصادی بسیار کلاسیک، به خود جلب کرده است. اهمیت مسأله به این دلیل است که نبود ناهمبستگی در قیمت‌ها بر وجود اثرات غیر تصادفی‌ای دلالت دارد که برای آربیتراژ در بازار استفاده می‌شود.

در این مقاله پارامتر حافظه‌ی بازارهای نفت خام به وسیله‌ی روش‌های مختلف پارامتریک، نیمه پارامتریک و ناپارامتریک برآورد شده و روند حافظه در طی زمان و تحلیل ساختار بازار نفت بررسی شده است. تحلیل حافظه‌ی بازار نفت با برآورد پارامتر تفاضل کسری با روش‌های مختلفی از جمله روش حداکثر درست‌نمایی، حداقل مربعات غیرخطی، نمای هرست^۴، جوک و پورتر-هوداک^۵، نمای هرست تعدیل شده یا لو^۶، وایتل^۷ و موجک^۸ انجام شده است. نتایج روش‌های وایتل و موجک که اعتبار بالایی در برآورد دارد، بیانگر آن است که هر چند قیمت‌های نفت خام مورد بررسی دارای حافظه بلندمدت نیست؛ اما، دارای ویژگی «برگشت به میانگین» ناماناست.

محور اصلی بحث این مقاله بررسی روند حافظه‌ی بازار است. نتایج به‌دست آمده از بررسی روند تغییرات حافظه بیانگر آن است که پارامتر حافظه‌ی بازارهای بین‌المللی نفت تغییر روند محسوسی نداشته است. به عبارت دیگر، در دوره‌ی بررسی شده، کاهش یا افزایش معنی‌داری در کارایی بازار رخ نداده است.

JEL: G190, C32, C14, C22 .

واژگان کلیدی: تفاضل کسری، حافظه‌ی بازار نفت، مدل *ARFIMA*، سری‌های زمانی

۱- دانشیار دانشکده‌ی مدیریت دانشگاه تهران. E-mail: vmahmodi@ut.ac.ir

۲- استادیار دانشکده‌ی مدیریت دانشگاه تهران. E-mail: shmohammadi@gmail.com

۳- دکتری مدیریت مالی دانشگاه تهران. E-mail: hchitsazan@gmail.com

4- Hurst Exponent
5- Geweke & Porter-Hudak
6- Lo
7- Whittle
8- Wavelet

۱. مقدمه

اقتصاد ایران به درآمدهای حاصل از صادرات نفت خام وابستگی شدیدی دارد. این امر به گونه‌ای است که در حدود بیش از ۸۰ درصد از درآمدهای صادراتی و کمابیش ۴۰ تا ۵۰ درصد از بودجه دولت از درآمدهای نفتی است. در این راستا شناخت ساختار بازار نفت برای تحلیل وضعیت آینده که سهم بالایی بر اقتصاد داخلی خواهد داشت، ضروری است.

تاکنون، دیدگاه غالب در توصیف رفتار بازارهای مالی این بوده که بسیاری از سری‌های زمانی اقتصادی، به‌خصوص سری‌های بازارهای پولی و مالی، از فرایندی تصادفی پیروی می‌کنند و در نتیجه تغییرات آن‌ها قابل پیش‌بینی نیست. اگر مشخص شود سری زمانی قیمت‌های نفت به‌وسیله‌ی یک فرایند حافظه‌ی بلندمدت به‌وجود آمده، آنگاه تغییرات آن‌ها تصادفی نبوده و قابل پیش‌بینی خواهد بود. وجود حافظه‌ی بلندمدت در بازارهای مالی، شکل ضعیف فرضیه‌ی کارایی بازار را نقض کرده، همچنین در مدل‌های خطی قیمت‌گذاری تردید ایجاد می‌کند و بیانگر آن است که در قیمت‌گذاری باید از مدل‌های غیرخطی استفاده کرد. (Barkoulas, 2000).

حافظه‌ی بلندمدت در سری‌های زمانی را می‌توان به‌صورت خودهمبستگی بین وقفه‌های طولانی، بیش از صدها دوره‌ی زمانی، تعریف کرد (Tolvi, 2003). مسأله‌ی اصلی تحقیق حاضر، آزمون وجود حافظه‌ی بلندمدت در فرایند قیمت‌های جهانی نفت و نیز بررسی رفتار و روند تغییرات پارامتر حافظه در بازار نفت است.

خودهمبستگی‌های یک سری انباشته $I(1)$ یا $I(2)$ در وقفه‌های طولانی نیز به شکل ماندگاری بسیار بالا باقی می‌ماند. در برابر، خودهمبستگی‌های یک فرایند مانا به‌طور معمول با نرخی نمایی به میرایی رفته و مقادیر بالای خودهمبستگی تنها بعد از چند وقفه از بین می‌رود. برخی فرایندها رفتاری بین این دو مورد را نشان می‌دهند. آن‌ها به وضوح نامانا هستند؛ با این وجود، زمانی که از آن‌ها تفاضل‌گیری می‌شود، این ویژگی را دارند که به‌طور یک در میان همبستگی‌های مثبت و منفی نشان دهند، حتی در وقفه‌های طولانی، که این حالت بیانگر «تفاضل بیش از حد» است. اما، داده‌هایی که از آن‌ها تفاضل‌گیری نشده است، در وقفه‌های بسیار دور هم خودهمبستگی‌های معناداری نشان می‌دهند. (Green, 2003)

این فرایندها، فرایندهای با حافظه‌ی بلندمدت نامیده می‌شود. یکی از رایج‌ترین روش‌ها برای اندازه‌گیری و سنجش حافظه‌ی بازارها، برآورد پارامتر انباشتگی کسری^۱ (که از این پس d نامیده می‌شود) برای قیمت‌ها است. ادامه‌ی مقاله به شرح زیر بخش‌بندی شده است. بخش دوم مروری مختصر بر ادبیات تحقیق خواهد داشت. بخش سوم به فرایندهای ARFIMA اختصاص دارد. در بخش چهارم داده‌ها و روش تحقیق

بیان شده است. بخش پنجم به برآورد و بررسی روند رفتار حافظه بازار اختصاص دارد. در بخش پایانی نتیجه‌گیری شده است.

۲. مروری مختصر بر ادبیات تحقیق

هرچند مدل‌های حافظه‌ی بلندمدت از حدود سال ۱۹۸۰، از سوی متخصصان اقتصادسنجی استفاده شده است؛ لیکن، دست کم از سال ۱۹۵۰، بر علوم طبیعی تأثیر داشته و صاحب‌نظران در رشته‌های آب‌شناسی و هواشناسی وجود حافظه‌ی بلندمدت را برای داده‌های حاصل از زمان و فضا بررسی کرده‌اند. اقتصاددانان با توجه به کارهای محققانی چون مندلبرت و نس^۱ (۱۹۶۸)، گرنجر و جوویوکس^۲ (۱۹۸۰) و هوسکینگ^۳ (۱۹۸۱) و دیگران، با فرایند حافظه‌ی بلندمدت و مدل‌های *ARFIMA* آشنا شدند.

وجود فرایندهای حافظه‌ی بلندمدت در ابعاد گوناگونی از بازارهای پولی و مالی بررسی شده است. از جمله می‌توان به تحقیقات انجام شده در زمینه‌ی بررسی وجود حافظه‌ی بلندمدت بر سری‌های زمانی نرخ ارز، نرخ بهره، نرخ تورم، قیمت‌ها و بازده سهام در کشورهای مختلف اشاره کرد. لیکن، در بازار بین‌المللی نفت که یکی از بازارهای مالی مهم است، تا کنون به‌طور گسترده و عمیقی بررسی نشده است. در این زمینه تنها می‌توان به مطالعات صورت گرفته به‌وسیله‌ی الوارز-رمایرز و همکاران^۴ (۲۰۰۲)، سرلتیس و آندریدیس^۵ (۲۰۰۴)، تاباک و کاجوئیرو^۶ (۲۰۰۷)، الوارز-رمایرز و همکاران^۷ (۲۰۰۸) و الدر و سرلتیس^۸ (۲۰۰۸) اشاره کرد. الوارز-رمایرز و همکاران^۹ (۲۰۰۲) قیمت‌های روزانه‌ی نفت خام برنت، نفت خام *WTI*^۸ و نفت خام دبلی را در دوره‌ها زمانی ۱۹۸۱ تا ۲۰۰۲، و با استفاده از تحلیل هرست چندفراکتالی^۹ بررسی نمودند.

سرلتیس و آندریدیس^۵ (۲۰۰۴) به بررسی ساختارهای فراکتال تصادفی در بازارهای انرژی امریکای شمالی پرداختند. آن‌ها با استفاده از تحلیل هرست دریافتند که سری زمانی قیمت‌های نفت خام بررسی شده توسط آن‌ها دارای یک ساختار فراکتالی ماندگار دارای حافظه‌ی بلندمدت است. تاباک و کاجوئیرو^۶ (۲۰۰۷) درجه‌ی تغییرپذیری در طی زمان را برای وابستگی بلندمدت در قیمت‌های نفت با استفاده از تحلیل *R/S* برای دوره‌های متحرک زمانی به طول ثابت ۱۰۰۸ داده (تقریباً ۴ سال) آزموده و دریافتند بازار نفت بازاری با حافظه‌ی بلندمدت است؛ ولی، حافظه‌ی بازار در طی زمان کاهش می‌یابد. به این معنا که بازار به

1- Mandelbrot and Ness

2- Granger and Joyeux

3- Hosking

4- Alvarez-Ramirez et al.

5- Serletis and Andreadis

6- Tabak and Cajueiro

7- Elder and Serletis

8- West Texas Intermediate

9- Multifractal Hurst Analysis

سمت کارایی حرکت می‌کند. مطالعه‌ی آن‌ها شامل بازده و نیز نوسان‌پذیری قیمت‌های نفت خام بوده است. الوارز-رمایرز و همکاران (۲۰۰۸) بر قابلیت پیش‌بینی کوتاه‌مدت بازارهای نفت خام مطالعه کردند. در این مطالعه خودهمبستگی‌های قیمت نفت خام در بازارهای بین‌المللی بر اساس برآورد پویایی‌های نمای هرست برای بازده‌ها بررسی شده است. الدر و سرلتیس (۲۰۰۸) وجود پویایی‌های انباشتگی کسری در قیمت قراردادهای آتی انرژی را آزمودند. آن‌ها پارامتر انباشتگی کسری را با استفاده از روش نیمه‌پارامتریک موجک برآورد کرده و به شواهدی از وجود حافظه‌ی بلندمدت در بازار قراردادهای آتی دست یافته‌اند.

چندین تعریف از ویژگی حافظه‌ی بلندمدت وجود دارد. فرایندهای حافظه‌ی بلندمدت در قلمرو زمان و نیز در قلمرو فرکانس قابل توضیح است. در قلمرو زمان، حافظه‌ی بلندمدت با میرایی بسیار آهسته توابع خودهمبستگی خود را نمایان می‌سازد.

با در نظر گرفتن یک فرایند سری زمانی $\{y_t\}$ با تابع خود همبستگی ρ_j در وقفه‌ی j ، مطابق نظر مک‌لئود و هیپل (۱۹۷۸)، فرایند دارای حافظه‌ی بلندمدت خواهد بود، اگر (Baillie, 1996):

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{j=-n}^n |\rho_j| = \infty \quad (1)$$

حافظه‌ی بلندمدت را می‌توان با تصریح میرایی هیپربولیک اتوکوواریانس‌ها^۲ نیز تعریف کرد (Palma, 2007):

$$\gamma(h) \approx h^{2d-1} \ell_1(h) \quad (2)$$

وقتی که $h \rightarrow \infty$ پارامتر حافظه‌ی بلندمدت و $\ell_1(\cdot)$ یک تابع با تغییر آهسته است.

یک تعریف بسیار کاربردی دیگر از وابستگی طولانی‌مدت در قلمرو فرکانس به صورت زیر است:

$$f(\lambda) \approx |\lambda|^{-2d} \ell_2(1/|\lambda|) \quad (3)$$

که λ در نزدیکی صفر بوده و $\ell_2(\cdot)$ یک تابع با تغییر آهسته است. این تعریف بیانگر آن است که چگالی طیفی^۳ در فرکانس‌های پایین کراندار نیست.

برای نشان دادن چنین ساختارهای همبستگی می‌توان از فرایندهای انباشتگی کسری استفاده کرد. در ادامه یکی از مدل‌های مهم از این طبقه بررسی می‌شود.

1- McLeod and Hipel
2- Hyperbolic Decay of Autocovariances
3- Spectral Density

۳. فرایندهای ARFIMA

نقطه‌ی آغازین ادبیات مربوط به فرایندهای انباشته‌ی کسری این حقیقت بوده است که بسیاری از سری‌های اقتصادی و مالی نه $I(0)$ هستند و نه $I(1)$. آن‌ها در وقفه‌های بسیار طولانی خودهمبستگی‌های معنی‌داری نشان می‌دهند که از آن به عنوان «میرایی هیپربولیک» نام برده می‌شود. وقتی از این سری یک بار تفاضل گرفته شود، به نظر می‌رسد یک بار تفاضلگیری برای آن زیاد باشد. (Banerjee & Urga, 2005) بنابراین، یک طبقه‌ی مفید از مدل‌ها برای یک سری زمانی که دارای رفتار حافظه‌ی بلندمدت است، فرایند $ARFIMA(p, d, q)$ است.^۱ این فرایندها بسط فرایندهای خودرگرسیو میانگین متحرک انباشته $ARIMA$ است که در آن پارامتر تفاضل‌گیری می‌تواند عددی غیرصحیح را اختیار کند. (Man & Tiao, 2006)

شکل کلی یک فرایند با حافظه‌ی بلندمدت $ARFIMA(p, d, q)$ به صورت زیر است.

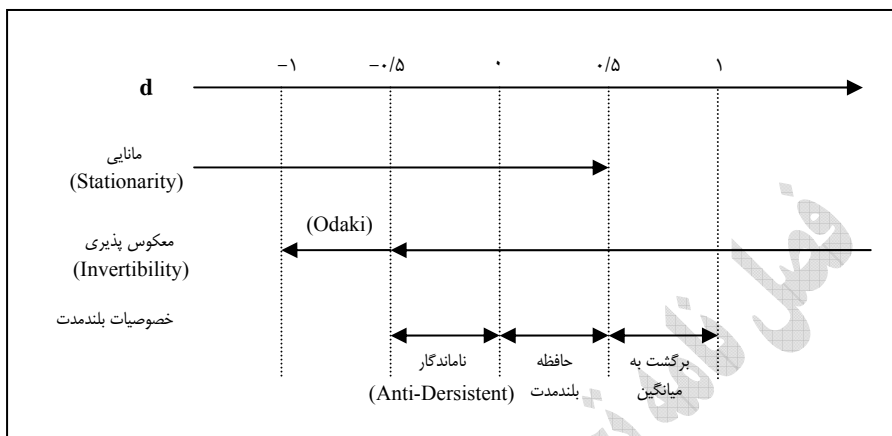
$$\Phi(L)(1-L)^d(y_t - \mu) = \Theta(L)\varepsilon_t \quad (4)$$

که در عبارت فوق چندجمله‌ای‌های با وقفه $\Phi(L) = 1 - \phi_1 L - \phi_2 L^2 - \dots - \phi_p L^p$ و $\Theta(L) = 1 + \theta_1 L + \theta_2 L^2 + \dots + \theta_q L^q$ در دامنه‌ی زمان تعریف شده‌است و معادل عبارت فوق در دامنه‌ی فرکانس به صورت

تعریف می‌شود. این مدل‌ها با استفاده از عملگر تفاضل کسری $(1-L)^d$ تعریف می‌شوند که L عملگر وقفه است: $L^k y_t = y_{t-k}$. عملگر تفاضل کسری با استفاده از یک سری دو جمله‌ای قابل تجزیه است:

$$(1-L)^d = \sum_{k=0}^{\infty} \binom{d}{k} (-L)^k = 1 - dL + \frac{d(d-1)}{2} L^2 - \dots \quad (5)$$

نگاره‌ی ۱ خصوصیات متفاوت برای مقادیر مختلف d را نشان می‌دهد.

نگاره‌ی ۱. خصوصیات متفاوت مقادیر مختلف d 

۴. داده‌ها و روش تحقیق

در این تحقیق، برآورد حافظه‌ی بازار نفت و نیز بررسی روند رفتاری آن با استفاده از داده‌های روزانه سری زمانی قیمت‌های اسپات و قراردادهای آتی سه ماهه WTI و برنت تحلیل خواهد شد.

هر مجموعه از داده‌ها تعداد متفاوتی دارد. برای قیمت‌های اسپات WTI ۵۵۵۰ داده روزانه و برای قیمت‌های اسپات برنت ۵۲۴۶ داده روزانه مورد تحلیل قرار می‌شود.

آمار مربوط به قیمت‌های اسپات از سایت اداره‌ی اطلاعات انرژی آمریکا (EIA)^۱ و قیمت‌های قراردادهای آتی از داده‌های بورس کالاهای تجارت نیویورک (نایمکس)^۲ و «آی سی ئی»^۳ لندن که از بزرگ‌ترین بورس‌های معاملات انرژی در سطح بین‌المللی هستند، اقتباس شده است.

پس از تقسیم سری‌های زمانی قیمت‌های اسپات نفت خام به زیر دوره‌های سالانه، پارامتر حافظه برای هر یک از این زیر دوره‌ها با روش‌های مختلف محاسبه می‌گردد. برآورد حافظه دوره‌های جزئی برای هر مجموعه از قیمت‌ها سری تاریخی حافظه را به ما می‌دهد که از آن برای بررسی روند حافظه استفاده خواهد شد.

قیمت‌های اسپات نفت خام WTI از ۲ ژانویه ۱۹۸۶ تا ۳۱ دسامبر ۲۰۰۷ و قیمت‌های اسپات برنت از ۲۰ می ۱۹۸۷ تا ۳۱ دسامبر ۲۰۰۷ تحلیل خواهد شد. قیمت قراردادهای آتی سه ماهه WTI از ۳۰ مارچ ۱۹۸۳ تا ۳۱ دسامبر ۲۰۰۷ و قیمت قراردادهای آتی سه ماهه برنت از ۱۶ فوریه ۱۹۸۹ تا ۳۱ دسامبر ۲۰۰۷ بررسی می‌شود.

1- Energy Information Administration
2- New York Mercantile Exchange (NYMEX)
3- ICE

بنابراین، کاهش شدید قیمت‌های نفت در اواخر دهه‌ی ۱۹۹۰ و افزایش قیمت‌های نفت در سال‌های پایانی دوره‌ی زمانی مورد بررسی در مدل منعکس شده است.

سنجش آماری اولیه از حافظه‌ی بلندمدت به واسطه‌ی کار هرست^۱ (۱۹۵۱) و استفاده شده به‌وسیله‌ی مندلبرت^۲ (۱۹۷۵ و ۱۹۷۲) آماره‌ی دامنه‌ی تجدید مقیاس شده یا R/S ^۳ است که امکان محاسبه‌ی پارامتر خودهمبستگی^۴ H را می‌دهد. این پارامتر شدت وابستگی طولانی‌مدت در یک سری زمانی را می‌سنجد. (Grua-Carles, 2000)

مندلبرت (۱۹۷۵ و ۱۹۷۲)، مندلبرت و والیس^۵ (۱۹۶۸)، دیویس و هارت^۶ (۱۹۸۷)، آیدوگان و بوث^۷ (۱۹۸۸) و لو^۸ (۱۹۹۱) همگی بر عدم قدرت آماره‌ی R/S در صورت وجود حافظه‌ی کوتاه‌مدت و ناهمسانی واریانس تأکید داشتند. در این راستا، لو (۱۹۹۱) آماره‌ی R/S تعدیل‌یافته را معرفی کرد که به‌جای انحراف استاندارد در معرج کسر، یک برآوردکننده‌ی سازگار از ریشه‌ی دوم واریانس مجموع جزئی مشاهدات را قرار می‌دهد.

برآورد حداکثر درست‌نمایی دقیق^۹ (EML) برای مدل‌های $ARFIMA$ در اقتصادسنجی از سوی سوول مطرح شده است. (Sowell, 1991, 1992)، این روش، روشی کاملاً پارامتریک برای برآورد مدل‌های $ARFIMA$ ماناست. (Diebolt & Guiraud, 2005) این روش از تمامی اطلاعات کوتاه‌مدت و بلندمدت سری زمانی استفاده کرده و امکان محاسبه تمامی پارامترهای مدل را برقرار می‌سازد. این تکنیک فرض مانایی را تحمیل کرده، در نتیجه برای فرایندهای نامانا ($d \geq 0.5$) قابل اعتماد نیست. در نتیجه، لزوماً برآورد درستی به‌دست نمی‌دهد.

برآورد حداقل مربعات غیرخطی^{۱۰} (NLS) از آنجا که هیچ‌گونه پیش‌فرضی در زمینه‌ی مانایی فرایند ندارد، دقیق‌تر از EML است.

در این تحقیق، برای برآورد پارامتر حافظه با استفاده از روش‌های EML و NLS تمامی مدل‌های ممکن برای $p = 0, 1, 2$ و $q = 0, 1, 2$ ، به استثنای $p = q = 0$ ، را برآورد کرده و سپس، بر اساس معیار

1- Hurst

2- Mandelbrot

3- range divided by standard deviation (R/S)

4- the self-similarity parameter

5- Mandelbrot and Wallis

6- Davies and Harte

7- Aydogan and Booth

8- Lo

9- Exact Maximum Likelihood

10- Non-Linear Least Squares

اطلاعاتی آکائیک^۱ (AIC) مدل را انتخاب می‌کنیم. برای این دو تکنیک از نرم افزار PcGive استفاده شده است.

برآورد پارامتر حافظه در بقیه‌ی تکنیک‌ها با استفاده از کدهایی است که در نرم افزار MATLAB اجرا می‌شوند.

تکنیک جوک و پورتر- هوداک (GPH) یک روش رگرسیون طیفی است که از برآورد نیمه پارامتریک بر مبنای پریدوگرام^۲ برای برآورد پارامتر d استفاده می‌کند. (Geweke & Porter-Hudak, 1983)

$$\log I(\lambda_j) = \beta_0 + \beta_1 \log \left[2 \sin \frac{\lambda_j}{2} \right]^2 + \varepsilon_j \quad (6)$$

برآورد d ، $-\hat{\beta}_1$ است. λ_j بیانگر $m = \sqrt{n}$ فرکانس فوریه و $I(\lambda_j)$ پریدوگرام نمونه است. این تکنیک نسخه‌های متفاوتی دارد. شکل جدیدتری از GPH از سوی گرنجر و سوانسون معرفی شده است که بر اساس پریدوگرام شوستر^۳ است. (Granjer & Ding, 1996)

فرض اصلی این برآورد کننده این است که چگالی طیفی فرایند $ARFIMA(p, d, q)$ همانند فرایند $ARFIMA(0, d, 0)$ است. (Bhardwaj & Swanson, 2006)

برای افزایش دقت و بررسی حساسیت پارامترهای حافظه از روش برآورد وایتل^۴ و Shimotsu & Phillips, 2005 نیز استفاده شده است. برآورد وایتل استفاده شده در این تحقیق، روشی نیمه پارامتریک به

$$L(d) = -\frac{1}{2\pi m} \sum_{j=1}^m \frac{I(\lambda_j)}{f(\lambda_j; d)} - \frac{1}{2\pi m} \sum_{j=1}^m f(\lambda_j; d) \quad (7)$$

که در عبارت فوق $I(\lambda_j)$ نشان دهنده‌ی پریدوگرام در j امین فرکانس فوریه،

$$I(\lambda_j) = n^{-1} \left| \sum_{t=1}^n y_t \exp(-it\lambda_j) \right|^2 \text{ و } \lambda_j = n^{-1} 2\pi j \quad (j = 1, \dots, m)$$

برای دقت بیشتر، از تکنیک موجک^۵ نیز استفاده خواهیم کرد. روش موجک به عنوان تقریبی از حداکثر درستنمایی برای برآورد قابل استفاده است. (Jensen, 2000) البته، همین اقتصاددان در مقاله‌ی دیگری (Jensen, 1999) نشان داده که با استفاده از روش حداقل مربعات با تجزیه‌ی موجک نیز می‌توان پارامتر

1- Akaike Information Criterion

2- Periodogram

3- Schuster Periodogram

4- Whittle

5- Wavelet

حافظه را برآورد کرد. تحلیل‌های سنتی سری‌های زمانی بر روش‌هایی اتکا دارند که دربرگیرنده‌ی قلمرو زمان یا فرکانس است. در برابر، تبدیلات موجک امکان ترکیب اطلاعات زمان و فرکانس را تحلیل می‌دهد.

۵. برآورد و بررسی روند رفتار حافظه‌ی بازار

با توجه به این که هدف اصلی ما بررسی رفتار حافظه است و نه مقدار آن، با این وجود تورش‌دار بودن روش GPH ، از این تکنیک نیز استفاده کرده‌ایم. افزون‌براین، روش‌های ML ، $Hurst$ و Lo نیز در صورت وجود عبارت‌های $ARMA(p, q)$ در سری زمانی نتایج تورش‌داری به‌دست خواهند داد و با توجه به این که روش ML فرض مانایی را نیز لحاظ می‌کند، مقدار عددی به‌دست آمده از این روش‌ها چندان قابل اتکا نبوده و فقط برای بررسی روند پارامتر d مورد توجه قرار گرفته‌اند.

پیش از تحلیل نتایج، لازم است تأکید گردد که نتایج روش‌های $Wavelet$ ، $Whittle$ و NLS به دلیل لحاظ نکردن محدودیت‌هایی مانند مانایی و در نظر گرفتن عبارت‌های حافظه‌ی کوتاه‌مدت در کنار حافظه‌ی بلندمدت نسبت به روش‌های دیگر (ML ، $Hurst$ ، Lo) اعتبار بالاتری دارند. از بین این سه روش نیز، روش‌های $Whittle$ و $Wavelet$ نسبت به روش‌های دیگر پارامتر حافظه را دقیق‌تر برآورد می‌کنند. زیرا، این دو روش نسبت به وجود عبارت‌های $ARMA(p, q)$ در سری زمانی نیز حساس نیستند.

نتایج برآورد پارامتر حافظه‌ی قیمت‌های اسپات و قراردادهای آتی سه‌ماهه‌ی نفت خام WTI و برنت در فواصل زمانی مختلف به همراه میانگین و انحراف استاندارد آن‌ها در جداول ۱ تا ۴ و روند تغییرات آن در دوره‌ی بررسی شده نیز در نمودارهای ۱ تا ۴ آمده است.

همان‌طور که از جداول ۱ و ۲ مشخص است، برآوردهای به‌دست آمده از روش‌های $Wavelet$ ، $Whittle$ و GPH برای قیمت‌های اسپات نفت خام به یکدیگر نزدیک است و هر سه برآورد بیانگر نبود حافظه‌ی بلندمدت در قیمت‌های اسپات نفت است. ناگفته نماند برآورد GPH برای قیمت‌های اسپات نفت خام WTI در ۲ بازه‌ی سالانه از کل ۲۲ بازه‌ی سالانه بررسی شده برآورد معناداری نداشته که با اعمال مقدار صفر برای این ۲ دوره، میانگین پارامتر حافظه $0/862$ می‌شود. برای قیمت‌های اسپات نفت خام برنت نیز این تکنیک در ۲ بازه‌ی سالانه از کل ۲۱ بازه‌ی سالانه‌ی بررسی شده، برآورد معناداری نداشته که با اعمال مقدار صفر برای این ۲ دوره، میانگین پارامتر حافظه $0/902$ می‌شود.

جدول ۱. حافظه‌ی قیمت اسپات نفت خام WTI در سال‌های ۲۰۰۷-۱۹۸۶

روش تخمین	maxlike		NLS		GPH		Whittle		Hurst	Waveket
	d	P-Value	d	P-Value	d	P-Value	d	d	d	d
WTI اسپات										
۱۹۸۶	۰/۰۲۶	۰/۶۱۶	-۰/۰۴۱	۰/۶۱۲	۰/۸۷۹	۰/۰۰۰	۱/۱۲۸	۰/۲۷۲	۰/۴۸۰	۰/۹۶۰
۱۹۸۷	۰/۰۶۴	۰/۳۵۴	۰/۰۳۵	۰/۶۰۲	۰/۸۱۲	۰/۰۰۲	۰/۹۷۹	۰/۳۲۴	۰/۴۴۱	۰/۸۶۳
۱۹۸۸	۰/۰۵۴	۰/۶۳۴	۰/۰۲۲	۰/۸۴۹	۰/۸۶۲	۰/۰۰۰	۰/۹۵۳	۰/۳۳۵	۰/۴۷۹	۰/۸۲۵
۱۹۸۹	-۰/۲۲۴	۰/۰۱۸	۰/۸۲۱	۰/۰۰۰	۰/۵۰۸	۰/۰۴۹	۰/۸۰۵	۰/۲۵۷	۰/۴۴۳	۰/۸۱۳
۱۹۹۰	-۰/۰۱۷	۰/۷۶۲	-۰/۰۱۳	۰/۸۱۲	۱/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۹۰۶	۰/۳۴۸	۰/۴۹۸	۰/۸۰۲
۱۹۹۱	-۰/۴۱۷	۰/۰۰۰	-۰/۳۸۴	۰/۰۰۰	۰/۳۵۴	۰/۱۳۷	۰/۷۵۱	۰/۲۲۹	۰/۴۳۷	۰/۸۳۴
۱۹۹۲	-۰/۰۱۳	۰/۸۲۵	۰/۸۷۴	۰/۰۰۱	۰/۹۶۶	۰/۰۰۰	۰/۹۸۰	۰/۳۵۰	۰/۴۹۶	۰/۷۲۰
۱۹۹۳	-۰/۰۰۸	۰/۸۸۲	-۰/۰۳۶	۰/۵۳۴	۰/۰۳۱	۰/۰۰۰	۰/۹۸۰	۰/۳۲۹	۰/۴۰۳	۰/۶۳۱
۱۹۹۴	-۰/۱۹۰	۰/۰۲۳	۰/۸۰۸	۰/۰۰۰	۰/۹۸۴	۰/۰۰۰	۰/۹۶۸	۰/۳۳۰	۰/۵۱۵	۰/۶۴۴
۱۹۹۵	-۰/۱۴۴	۰/۵۵۲	۰/۷۶۲	۰/۰۰۰	۰/۹۷۰	۰/۰۰۰	۰/۸۳۵	۰/۲۹۹	۰/۴۷۷	۰/۷۶۲
۱۹۹۶	۰/۰۰۳	۰/۹۷۱	۰/۷۸۳	۰/۰۰۰	۰/۹۶۶	۰/۰۰۰	۰/۷۸۴	۰/۳۱۱	۰/۴۶۰	۰/۸۰۶
۱۹۹۷	-۰/۰۰۷	۰/۹۰۳	۰/۰۸۲	۰/۶۰۹	۰/۷۳۶	۰/۰۰۰	۰/۹۵۳	۰/۲۸۲	۰/۴۷۲	۰/۵۶۹
۱۹۹۸	-۰/۲۱۲	۰/۱۲۸	۰/۷۵۷	۰/۰۰۰	۰/۷۱۴	۰/۰۰۲	۰/۷۴۱	۰/۲۹۳	۰/۳۸۷	۰/۷۳۶
۱۹۹۹	۰/۰۹۶	۰/۵۷۱	۰/۰۲۴	۰/۶۱۹	۱/۱۲۹	۰/۰۰۰	۰/۸۳۹	۰/۳۴۴	۰/۴۸۵	۰/۷۹۱
۲۰۰۰	۰/۰۲۱	۰/۷۸۰	-۰/۰۳۱	۰/۸۱۲	۰/۹۰۹	۰/۰۷۸	۰/۹۶۲	۰/۳۱۰	۰/۴۵۲	۰/۹۹۹
۲۰۰۱	۰/۲۳۹	۰/۲۰۲	۰/۸۳۱	۰/۰۰۰	۱/۲۴۳	۰/۰۰۰	۰/۸۲۵	۰/۳۳۵	۰/۴۳۵	۰/۸۳۳
۲۰۰۲	۰/۰۲۲	۰/۷۰۱	۰/۱۳۲	۰/۱۲۷	۰/۸۷۷	۰/۰۰۰	۱/۰۷۱	۰/۳۰۷	۰/۴۸۷	۰/۹۵۸
۲۰۰۳	۰/۱۱۶	۰/۵۳۲	۰/۰۴۷	۰/۶۶۶	۰/۸۹۱	۰/۰۰۰	۱/۰۰۰	۰/۳۰۲	۰/۴۵۵	۰/۵۹۵
۲۰۰۴	-۰/۰۲۵	۰/۶۴۶	۰/۰۱۲	۰/۸۹۸	۱/۰۱۰	۰/۰۰۰	۰/۹۸۸	۰/۳۳۹	۰/۵۰۹	۰/۷۸۴
۲۰۰۵	-۰/۰۶۷	۰/۲۱۵	۰/۹۰۷	۰/۰۰۰	۰/۹۸۶	۰/۰۰۱	۰/۸۹۴	۰/۳۴۲	۰/۵۱۱	۰/۸۲۴
۲۰۰۶	-۰/۰۳۰	۰/۶۲۰	-۰/۰۶۹	۰/۲۶۴	۱/۳۶۱	۰/۰۰۰	۰/۸۹۹	۰/۳۴۹	۰/۴۹۵	۰/۶۴۸
۲۰۰۷	۰/۱۷۹	۰/۰۸۹	-۰/۰۲۵	۰/۶۵۳	۱/۰۵۰	۰/۰۰۰	۱/۰۱۷	۰/۳۴۲	۰/۴۷۴	۰/۸۹۲
میانگین	-۰/۰۱۱		۰/۲۸۶		۰/۹۲۰		۰/۹۲۱	۰/۳۱۵	۰/۴۶۸	۰/۷۸۶
انحراف استاندارد	۰/۱۴۶		۰/۴۲۳		۰/۲۱۷		۰/۱۰۲	۰/۰۳۳	۰/۰۳۴	۰/۱۱۷

منبع: یافته‌های پژوهش

لازم به ذکر است هرچند، روش‌های براورد *Wavelet*، *Whittle* و *GPH* برای قیمت‌های اسپات نفت خام بیانگر نبود حافظه‌ی بلندمدت در دوره‌ی زمانی بررسی شده است؛ ولیکن، میانگین پارامتر حافظه‌ی براورد شده به وسیله‌ی آن‌ها، $0.5 \leq d < 1$ را نتیجه داده که بیانگر ویژگی «برگشت به میانگین» نامانا در هر دو سری زمانی قیمت‌های اسپات است. ویژگی برگشت به میانگین در قیمت‌های مالی، بر وجود مکانیزم‌هایی که در افق‌های زمانی طولانی‌مدت عمل می‌کند، دلالت دارد. چراکه رفتار برگشت به میانگین قیمت‌ها به این ایده برمی‌گردد که تغییر به وجود آمده در قیمت‌ها، در افق‌های طولانی‌مدت، با تغییرات با علامت مخالف دنبال خواهد شد. اگر این ویژگی در یک سری زمانی وجود نداشته باشد، آنگاه می‌توان در

آن بازار به صورت دائم خریداری و یا فروش استقراسی کرده و به بازده مثبت دست یافت و این امکان پذیر نیست. همچنین، از دیدگاه استراتژی های سرمایه گذاری، استراتژی مومنتوم^۱ نیز در چنین بازاری درست درآمده و این منطقی نیست. چرا که این استراتژی برای افق های بلندمدت جواب نمی دهد.

جدول ۲. حافظه ی قیمت اسپات نفت خام برنت در سال های ۲۰۰۷-۱۹۸۷

روش تخمین	Maxlike		NLS		GPH		Whittle	Lo	Hurst	Wavelet
	d	P_Value	d	P_Value	d	P_Value	d	d	d	d
قیمت اسپات برنت										
۱۹۸۷	۰/۱۶۴	۰/۲۲۲	۰/۱۷۰	۰/۲۲۳	۱/۱۰۰	۰/۰۰۰	۰/۹۳۰	۰/۲۸۰	۰/۴۸۵	۰/۹۵۲
۱۹۸۸	-۰/۰۱۰	۰/۸۷۰	-۰/۲۰۰	۰/۰۱۴	۱/۰۸۲	۰/۰۰۰	۰/۹۶۹	۰/۳۱۶	۰/۴۹۵	۰/۸۶۱
۱۹۸۹	۰/۰۱۴	۰/۸۷۲	۰/۹۶۰	۰/۰۰۰	۰/۶۶۶	۰/۰۰۶	۰/۹۹۵	۰/۲۳۴	۰/۴۴۶	۰/۹۰۱
۱۹۹۰	۰/۰۷۱	۰/۲۴۱	۰/۰۷۵	۰/۲۱۲	۱/۱۳۴	۰/۰۰۰	۰/۹۶۲	۰/۳۵۴	۰/۵۰۱	۰/۸۸۷
۱۹۹۱	-۰/۳۶۷	۰/۰۰۰	-۰/۴۲۰	۰/۰۰۰	۰/۳۴۷	۰/۰۵۱	۰/۷۰۲	۰/۲۶۲	۰/۴۲۲	۰/۶۸۱
۱۹۹۲	-۰/۰۲۷	۰/۶۵۵	-۰/۰۹۹	۰/۲۳۱	۱/۱۳۵	۰/۰۰۰	۰/۹۱۰	۰/۳۴۶	۰/۴۹۱	۰/۶۷۷
۱۹۹۳	-۰/۰۰۷	۰/۸۹۵	-۰/۱۳۸	۰/۲۱۳	۱/۰۲۰	۰/۰۰۰	۱/۰۰۲	۰/۳۳۱	۰/۴۱۴	۰/۸۶۱
۱۹۹۴	-۰/۱۰۳	۰/۲۲۱	۰/۸۶۰	۰/۰۰۰	۱/۰۹۲	۰/۰۰۰	۰/۹۳۰	۰/۳۲۶	۰/۵۰۵	۰/۵۶۳
۱۹۹۵	-۰/۰۰۷	۰/۹۱۰	-۰/۰۲۸	۰/۸۴۸	۰/۹۹۶	۰/۰۰۰	۰/۹۹۰	۰/۳۰۴	۰/۴۸۰	۰/۸۰۲
۱۹۹۶	۰/۲۶۸	۰/۱۵۱	۰/۸۳۳	۰/۰۰۰	۱/۱۷۱	۰/۰۰۰	۰/۸۱۱	۰/۳۳۸	۰/۴۷۳	۰/۸۸۰
۱۹۹۷	۰/۰۲۵	۰/۶۵۷	۰/۰۹۳	۰/۵۸۱	۰/۷۲۶	۰/۰۰۰	۱/۰۵۵	۰/۲۷۷	۰/۴۷۳	۰/۸۰۵
۱۹۹۸	۰/۰۱۷	۰/۸۰۵	-۰/۰۴۰	۰/۷۳۳	۰/۶۹۱	۰/۰۹۹	۰/۸۶۲	۰/۳۰۵	۰/۴۰۰	۰/۸۳۳
۱۹۹۹	۰/۰۹۰	۰/۶۰۲	-۰/۰۰۴	۰/۹۰۱	۱/۱۵۰	۰/۰۰۰	۰/۸۷۸	۰/۳۵۲	۰/۴۸۸	۰/۸۲۵
۲۰۰۰	۰/۰۹۸	۰/۱۳۶	۰/۰۸۱	۰/۴۵۵	۱/۱۵۱	۰/۰۰۱	۱/۰۹۶	۰/۳۱۰	۰/۴۵۰	۰/۵۰۷
۲۰۰۱	۰/۰۳۹	۰/۵۵۳	۰/۰۲۹	۰/۵۵۳	۱/۱۴۱	۰/۰۰۰	۰/۹۱۴	۰/۳۳۱	۰/۴۹۰	۰/۶۳۰
۲۰۰۲	۰/۱۴۸	۰/۱۷۲	۰/۱۶۰	۰/۰۸۷	۰/۸۸۸	۰/۰۰۰	۱/۱۰۶	۰/۲۹۸	۰/۴۸۱	۰/۸۴۸
۲۰۰۳	۰/۲۰۶	۰/۲۰۶	۰/۲۹۲	۰/۲۱۹	۰/۹۱۲	۰/۰۰۰	۱/۰۲۹	۰/۳۰۶	۰/۴۶۲	۰/۸۴۰
۲۰۰۴	۰/۰۳۱	۰/۵۸۶	۰/۰۱۶	۰/۸۶۱	۰/۸۹۵	۰/۱۰۵	۱/۰۸۴	۰/۳۳۰	۰/۵۰۲	۰/۸۱۱
۲۰۰۵	-۰/۰۰۵	۰/۹۲۲	۰/۰۴۵	۰/۶۳۴	۱/۰۴۰	۰/۰۰۰	۰/۹۵۸	۰/۳۳۴	۰/۴۹۵	۰/۹۸۷
۲۰۰۶	-۰/۰۵۳	۰/۳۰۵	-۰/۰۵۳	۰/۲۹۶	۱/۲۵۱	۰/۰۰۰	۰/۰۱۳	۰/۳۴۹	۰/۵۰۰	۰/۵۷۳
۲۰۰۷	۰/۰۵۸	۰/۳۰۸	۰/۰۲۶	۰/۴۰۷	۰/۹۳۸	۰/۰۰۰	۰/۹۴۵	۰/۳۲۹	۰/۴۷۴	۰/۸۵۹
میانگین	۰/۰۳۱		۰/۱۲۶		۰/۹۷۷		۰/۹۵۹	۰/۳۱۵	۰/۴۷۴	۰/۷۹۲
انحراف استاندارد	۰/۱۲۷		۰/۳۴۸		۰/۲۱۸		۰/۰۹۷	۰/۰۳۲	۰/۰۲۹	۰/۱۲۹

منبع: یافته های پژوهش

هرچند، برآوردهای به دست آمده از روش *GPH* نسبت به تکنیک های *Whittle* و *Wavelet* واریانس بالاتری دارد؛ لیکن، نزدیک بودن برآوردهای آن به برآوردهای *Whittle* و *Wavelet* بیانگر اعتبار نتایج برآوردهای آن است. برآوردهای بدست آمده با روش *ML* و نیز روش *NLS* با توجه به *p-value* های گزارش شده در جداول در بیشتر دوره ها معنادار نبوده است. از آنجا که معنادار نبودن برآورد ممکن است نتیجه ی هم خطی در مدل های *ARMA* باشد، معنادار بودن یا نبودن این برآورد برای پارامتر حافظه، با

توجه به مقدار لگاریتم درستی در حالت برآورد مقید و غیرمقید و مقایسه با آماره‌ی χ^2 بررسی شده است. نتیجه‌ی تحلیل بیانگر آن است که برآوردهای به‌دست آمده به‌وسیله‌ی این دو روش در هیچ کدام از بازه‌های سالانه معنادار نیست. در نتیجه، نمی‌توان بر اساس مقادیر بیان شده در جداول با روش‌های *NLS* و *ML* تحلیل درستی ارائه کرد. برآوردهای *Hurst* و *Lo* نشان‌دهنده وجود حافظه‌ی بلندمدت در این دو شاخص قیمت نفت خام است. این دو برآورد برخلاف مدل‌های *ARFIMA* ظرفیت مدلسازی رفتار انباشتگی کسری را هم در کوتاه‌مدت و هم در بلندمدت دارا نیست؛ و به همین دلیل، دقت برآوردهای پارامتریک و نیمه‌پارامتریک با استفاده از مدل‌های *ARFIMA* را ندارد. بنابراین، همان‌گونه که در ابتدای این بخش نیز گفته شد، به این دو تکنیک تنها برای بررسی روند تغییرات پارامتر حافظه بازار توجه می‌شود.

جدول ۳. حافظه‌ی قیمت قراردادهای آتی ۳ ماهه‌ی WTI طی سال‌های ۲۰۰۷-۱۹۸۳

روش برآورد	Maxlike		NLS		GPH		Whittle		Lo		Hurst		Wavelet	
	d	P_Value	d	P_Value	d	P_Value	d	d	d	d	d	d		
WTI قرارداد آتی ۳ ماهه‌ی WTI														
۱۹۸۳	-۰/۰۳۶	۰/۷۱۵	۰/۹۶۹	۰/۰۰۰	۱/۱۶۵	۰/۰۰۳	۱/۰۳۸	۰/۳۳۳	۰/۴۱۰	۱/۰۳۱				
۱۹۸۴	۰/۰۵۲	۰/۳۶۷	۰/۰۰۳	۰/۱۱۲	۱/۰۲۲	۰/۰۰۱	۱/۰۸۰	۰/۳۰۸	۰/۳۸۵	۰/۸۷۷				
۱۹۸۵	-۰/۰۱۱	۰/۸۴۷	۰/۲۱۲	۰/۳۵۶	۱/۰۹۱	۰/۰۰۲	۱/۱۱۸	۰/۲۸۲	۰/۴۲۵	۰/۹۰۶				
۱۹۸۶	۰/۰۴۶	۰/۳۸۹	-۰/۰۳۸	۰/۶۲۰	۱/۱۳۰	۰/۰۰۰	۱/۰۰۹	۰/۲۹۸	۰/۴۸۸	۰/۹۰۰				
۱۹۸۷	۰/۱۲۲	۰/۱۰۳	۰/۰۸۶	۰/۲۵۱	۱/۰۵۱	۰/۰۱۱	۱/۰۰۹	۰/۳۳۸	۰/۴۴۵	۰/۷۹۹				
۱۹۸۸	-۰/۱۰۴	۰/۳۲۰	۰/۰۳۵	۰/۶۰۳	۱/۰۴۱	۰/۰۰۰	۰/۹۱۱	۰/۳۳۵	۰/۵۰۰	۰/۸۶۳				
۱۹۸۹	-۰/۱۳۰	۰/۱۶۲	۰/۹۴۵	۰/۰۰۰	۰/۸۱۳	۰/۰۰۱	۰/۸۸۱	۰/۲۹۷	۰/۴۴۰	۰/۸۹۷				
۱۹۹۰	۰/۰۹۶	۰/۱۳۵	۰/۰۹۸	۰/۱۱۴	۱/۱۹۰	۰/۰۰۰	۰/۹۳۹	۰/۲۴۸	۰/۵۱۱	۰/۸۱۲				
۱۹۹۱	-۰/۳۰۵	۰/۰۱۵	۰/۶۴۴	۰/۰۴۴	۰/۴۵۸	۰/۰۰۱	۰/۹۲۶	۰/۲۶۹	۰/۴۲۸	۰/۸۰۵				
۱۹۹۲	۰/۰۴۳	۰/۴۴۳	۰/۲۱۴	۰/۰۰۲	۰/۴۷۸	۰/۰۰۰	۰/۹۹۸	۰/۳۴۹	۰/۵۰۳	۰/۸۹۸				
۱۹۹۳	-۰/۰۱۳	۰/۷۹۷	-۰/۰۴۹	۰/۳۸۱	۱/۱۷۷	۰/۰۰۸	۱/۰۲۵	۰/۳۲۹	۰/۴۰۲	۰/۳۵۹				
۱۹۹۴	-۰/۱۳۲	۰/۱۸۶	۰/۴۸۴	۰/۳۰۱	۱/۰۵۹	۰/۰۰۰	۰/۹۳۱	۰/۳۴۱	۰/۵۱۷	۰/۵۲۹				
۱۹۹۵	۰/۰۲۶	۰/۶۸۶	۰/۹۲۲	۰/۰۰۰	۱/۳۰۰	۰/۰۰۱	۰/۹۴۵	۰/۳۲۶	۰/۴۹۵	۰/۶۸۲				
۱۹۹۶	-۰/۱۵۰	۰/۰۲۸	-۰/۰۲۸	۰/۰۰۸	۱/۱۲۵	۰/۰۰۰	۰/۸۵۲	۰/۳۴۷	۰/۴۸۱	۰/۸۵۱				
۱۹۹۷	۰/۰۱۹	۰/۷۴۵	۰/۰۴۹	۰/۶۰۴	۰/۶۷۰	۰/۰۰۱	۱/۰۲۶	۰/۲۶۸	۰/۴۶۱	۰/۶۰۷				
۱۹۹۸	-۰/۰۲۳	۰/۷۲۱	۰/۸۶۰	۰/۰۰۰	۰/۷۵۸	۰/۰۰۰	۰/۸۱۹	۰/۳۱۶	۰/۴۰۲	۰/۷۹۵				
۱۹۹۹	-۰/۰۰۳	۰/۹۴۸	-۰/۰۰۹	۰/۸۴۵	۱/۱۷۱	۰/۰۰۰	۰/۸۲۵	۰/۳۴۸	۰/۴۹۵	۰/۷۸۶				
۲۰۰۰	۰/۰۰۴	۰/۹۴۵	-۰/۰۲۸	۰/۷۹۴	۰/۹۹۱	۰/۰۰۰	۱/۰۳۸	۰/۳۲۶	۰/۴۸۰	۰/۸۸۷				
۲۰۰۱	-۰/۰۹۴	۰/۴۰۳	۰/۸۸۵	۰/۰۰۰	۱/۲۲۶	۰/۰۰۰	۰/۸۶۳	۰/۳۳۵	۰/۴۴۶	۰/۷۳۱				
۲۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۹۶۶	۰/۱۱۹	۰/۱۳۹	۰/۹۶۳	۰/۰۰۰	۱/۰۵۷	۰/۳۰۰	۰/۴۹۰	۰/۹۴۰				
۲۰۰۳	-۰/۲۶۱	۰/۵۹۵	۰/۲۶۳	۰/۰۶۱	۰/۷۷۳	۰/۰۰۰	۱/۰۴۹	۰/۳۰۰	۰/۴۳۵	۰/۵۶۷				
۲۰۰۴	-۰/۰۳۲	۰/۵۳۹	۰/۰۱۷	۰/۸۴۵	۱/۰۰۷	۰/۰۰۰	۰/۹۹۵	۰/۳۴۲	۰/۵۱۱	۰/۷۴۸				
۲۰۰۵	-۰/۰۱۷	۰/۷۴۷	-۰/۰۸۱	۰/۲۷۷	۱/۰۲۹	۰/۰۰۰	۰/۹۴۲	۰/۳۳۹	۰/۵۱۲	۰/۸۳۵				
۲۰۰۶	-۰/۰۰۴	۰/۹۴۳	۰/۰۰۲	۰/۹۶۹	۱/۲۷۷	۰/۰۰۰	۰/۹۵۷	۰/۳۵۳	۰/۴۹۳	۰/۷۰۴				
۲۰۰۷	-۰/۰۲۱	۰/۸۱۵	۰/۰۶۷	۰/۵۰۶	۰/۹۹۷	۰/۰۰۰	۰/۹۶۸	۰/۳۳۳	۰/۴۷۰	۰/۹۱۳				
میانگین	-۰/۰۴۰	۰/۲۵۶	۰/۹۹۸	۰/۹۹۸	۰/۹۷۲	۰/۳۲۱	۰/۴۶۵	۰/۳۲۱	۰/۴۶۵	۰/۷۸۹				
انحراف استاندارد	۰/۰۹۹	۰/۳۸۲	۰/۲۲۵	۰/۲۲۵	۰/۰۸۵	۰/۰۲۵	۰/۰۴۰	۰/۰۴۰	۰/۰۴۰	۰/۱۴۹				

منبع: یافته‌های پژوهش

همان طور که از جدول ۳ مشخص است، بر اساس روش های *Wavelet*، *GPH*، *Whittle* سری زمانی قیمت های آتی نایمکس حافظه ی طولانی ندارد. البته، برآوردهای بدست آمده از این سه روش با این که بیانگر نبود حافظه ی بلندمدت است؛ ولیکن، نشان دهنده ی خصوصیت «برگشت به میانگین» برای قراردادهای آتی این شاخص نفت خام می باشد. به این معنا که در بلندمدت قیمت ها تغییر جهت داده و به سمت میانگین حرکت می کند. به عبارت دیگر، تغییرات مثبت قیمت ها در گذشته با تغییرات منفی و تغییرات منفی گذشته با تغییرات مثبت ادامه می یابد.

همان گونه که ملاحظه می شود، درباره ی این سری زمانی نیز بیشتر برآوردهای پارامتر حافظه به وسیله ی روش *ML* و *NLS* معنادار نبوده است. معنادار بودن یا نبودن این برآوردها برای پارامتر حافظه، با توجه به مقدار لگاریتم درستی در حالت برآورد مقید و غیرمقید و مقایسه با آماره ی χ^2 نیز بررسی می شود. نتیجه آن که برآوردهای بدست آمده به وسیله ی این دو روش در هیچ کدام از بازه های سالانه معنادار نیست.

جدول ۴. حافظه ی قیمت قراردادهای آتی ۳ ماهه ی برنت در سال های ۲۰۰۷-۱۹۸۹

روش تخمین	Maxlike		NLS		GPH		Whittle	Lo	Hurst	Wavelet
	d	P_Value	d	P_Value	d	P_Value	d	d	d	d
قرارداد آتی ۳ ماهه برنت										
۱۹۸۹	۰/۰۹۹	۰/۲۹۶	۰/۶۹۴	۰/۰۰۰	۰/۶۹۸	۰/۰۰۱	۰/۸۵۹	۰/۳۰۸	۰/۴۰۰	۰/۸۴۱
۱۹۹۰	-۰/۱۰۰	۰/۱۵۰	۰/۸۸۹	۰/۰۰۰	۰/۹۶۷	۰/۰۰۱	۰/۹۰۰	۰/۳۵۲	۰/۵۱۰	۰/۸۸۹
۱۹۹۱	-۰/۳۰۴	۰/۰۰۰	-۰/۲۳۱	۰/۰۰۴	۰/۴۴۹	۰/۰۰۰	۰/۸۸۵	۰/۲۷۱	۰/۴۳۶	۰/۹۳۸
۱۹۹۲	۰/۰۰۰	۰/۹۹۴	۰/۱۸۵	۰/۴۸۹	۱/۰۲۱	۰/۰۰۱	۰/۹۹۵	۰/۳۵۲	۰/۵۱۰	۰/۸۴۳
۱۹۹۳	۰/۰۱۶	۰/۷۴۵	-۰/۰۶۲	۰/۲۵۳	۱/۱۲۵	۰/۰۰۰	۰/۹۸۵	۰/۳۲۵	۰/۳۸۱	۰/۷۱۰
۱۹۹۴	-۰/۱۲۵	۰/۱۸۳	۰/۵۲۵	۰/۳۴۶	۱/۱۰۱	۰/۰۰۰	۰/۹۲۷	۰/۴۴۴	۰/۵۱۹	۰/۵۱۳
۱۹۹۵	-۰/۰۴۱	۰/۴۵۸	۰/۵۰۸	۰/۰۱۹	۱/۲۹۶	۰/۰۰۰	۱/۰۱۰	۰/۳۲۰	۰/۴۹۳	۰/۶۲۷
۱۹۹۶	۰/۲۵۹	۰/۱۹۶	-۰/۲۴۵	۰/۰۰۵	۱/۲۳۲	۰/۰۰۰	۰/۸۵۱	۰/۳۵۲	۰/۴۸۹	۰/۷۷۴
۱۹۹۷	۰/۰۲۷	۰/۶۳۳	۰/۱۶۳	۰/۳۱۵	۰/۵۸۵	۰/۰۰۱	۱/۱۲۶	۰/۲۵۹	۰/۴۶۵	۰/۷۴۸
۱۹۹۸	-۰/۰۷۱	۰/۱۹۰	۰/۸۹۷	۰/۰۰۰	۰/۷۸۰	۰/۰۰۰	۰/۸۴۹	۰/۳۱۴	۰/۳۸۶	۰/۵۵۲
۱۹۹۹	-۰/۰۰۴	۰/۹۲۸	۰/۰۱۵	۰/۶۱۲	۱/۲۰۰	۰/۰۰۰	۰/۸۶۲	۰/۳۵۲	۰/۴۹۸	۰/۵۷۹
۲۰۰۰	-۰/۰۱۸	۰/۷۴۲	-۰/۰۴۲	۰/۶۲۳	۱/۱۱۱	۰/۰۰۰	۱/۰۶۰	۰/۳۳۸	۰/۴۹۵	۰/۶۹۹
۲۰۰۱	-۰/۰۲۰	۰/۷۳۹	۰/۸۹۱	۰/۰۰۰	۱/۳۰۳	۰/۰۰۰	۰/۹۱۳	۰/۳۳۷	۰/۴۲۰	۰/۷۲۸
۲۰۰۲	۰/۱۱۲	۰/۲۴۸	۰/۱۳۶	۰/۱۰۱	۰/۹۸۹	۰/۰۰۰	۱/۱۲۳	۰/۳۰۴	۰/۴۹۷	۰/۸۵۵
۲۰۰۳	-۰/۱۹۷	۰/۶۹۶	۰/۲۷۹	۰/۱۳۱	۰/۹۳۷	۰/۰۰۰	۱/۰۶۸	۰/۳۰۳	۰/۴۵۱	۰/۵۶۳
۲۰۰۴	۰/۰۶۱	۰/۴۷۷	۱/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۹۸۳	۰/۰۰۰	۱/۰۱۱	۰/۳۴۵	۰/۵۱۳	۰/۶۷۲
۲۰۰۵	۰/۰۸۴	۰/۳۶۲	۰/۰۴۱	۰/۶۳۷	۰/۹۸۵	۰/۰۳۸	۰/۹۷۶	۰/۳۳۵	۰/۵۱۶	۰/۷۴۴
۲۰۰۶	-۰/۰۰۴	۰/۹۴۱	-۰/۰۷۴	۰/۳۸۸	۱/۲۳۶	۰/۰۰۰	۰/۹۷۲	۰/۳۵۷	۰/۴۹۲	۰/۴۷۲
۲۰۰۷	۰/۱۱۳	۰/۱۷۷	-۰/۰۳۴	۰/۵۸۹	۱/۰۵۶	۰/۰۰۰	۱/۰۲۱	۰/۳۲۸	۰/۵۰۴	۰/۸۴۸
میانگین	-۰/۰۰۸		۰/۲۹۱		۱/۰۰۳		۰/۹۶۸	۰/۳۲۶	۰/۴۷۲	۰/۷۱۵
انحراف استاندارد	۰/۱۲۴		۰/۴۱۳		۰/۲۳۵		۰/۰۸۹	۰/۰۲۸	۰/۰۴۶	۰/۱۳۶

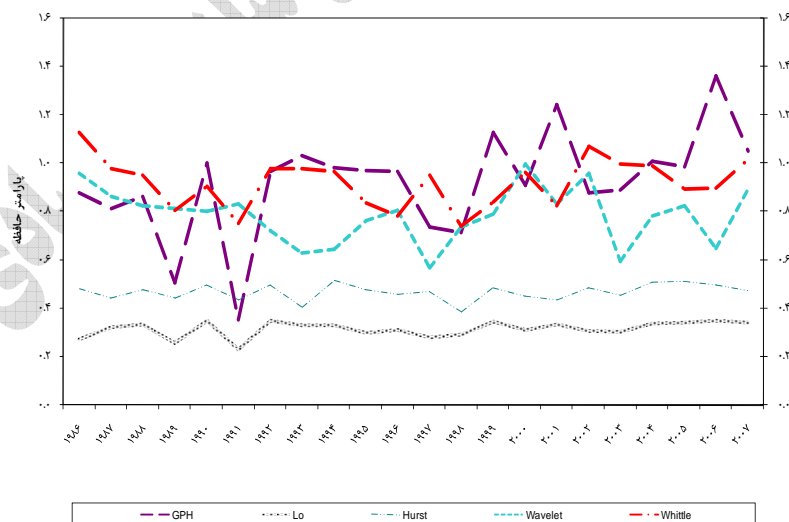
منبع: یافته های پژوهش

بر اساس سه روش *GPH*، *Wavelet*، *Whittle* سری زمانی قیمت‌های آتی برنت حافظه‌ی بلندمدت ندارد. البته، برآوردهای به دست آمده از دو روش *Whittle* و *Wavelet* با این که بیانگر نبود حافظه‌ی بلندمدت است؛ ولیکن، نشان‌دهنده‌ی خصوصیت «برگشت به میانگین» برای سری زمانی موردنظر از بازار آتی‌های نفت خام است.

درباره‌ی این سری زمانی نیز مانند سه سری زمانی مورد تحلیل شده‌ی پیشین، برآوردهای *ML* و *NLS* در هیچ کدام از دوره‌ها معنی‌دار نبوده است. افزون براین، برآوردهای به دست آمده از *NLS*، واریانس بسیار بالایی دارد و مقادیر برآورد زده شده با این روش از ۰/۲۴- تا ۱ در نوسان است.

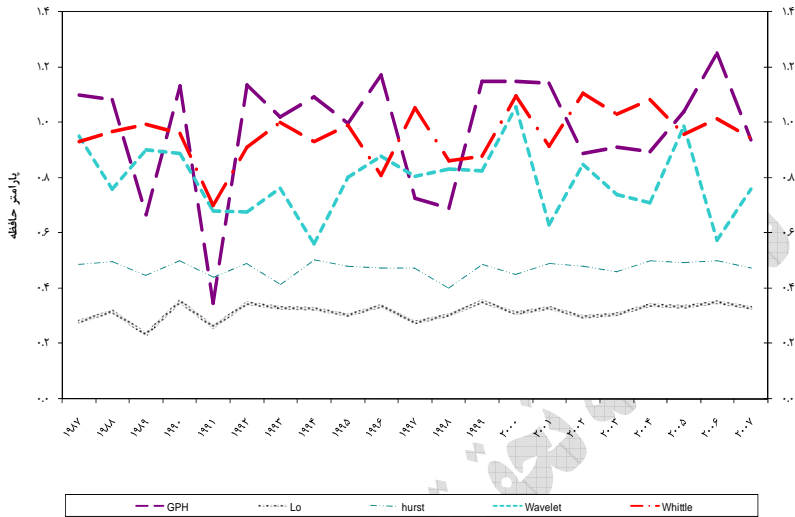
به دلیل اربب برآورد در تقریباً تمامی روش‌های برآورد *ARFIMA*، نتایج بیشتر برآوردهای حافظه نمی‌تواند اطلاعات دقیقی درباره‌ی سطح حافظه در بازار مورد بررسی نشان دهد. با این وجود، روند حافظه قابل اعتماد بوده و می‌تواند برای بررسی گرایش به کارایی در بازار مفید باشد. برای بررسی بود یا نبود یک الگو و روند معنادار برای پارامتر حافظه در بازار اسپات نفت خام *WTI* و برنت با توجه به پارامتر حافظه‌ی برآورد شده برای فواصل زمانی یکساله در دوره‌ی بررسی شده که نتایج آن در جداول ۱ تا ۴ آمده، به ترسیم نمودار روند حافظه قیمت‌های اسپات نفت خام *WTI* و برنت در نمودارهای ۱ تا ۴ پرداخته شده است. لازم به ذکر است با توجه به این که روش‌های *ML* و *NLS* برآوردهای معناداری از پارامتر حافظه نداد، برای بررسی روند حافظه‌ی بازار از برآوردهای به دست آمده از این دو روش استفاده نشده است.

نمودار ۱. نمودار روند حافظه‌ی قیمت‌های اسپات نفت خام *WTI* در سال‌های ۲۰۰۷-۱۹۸۶



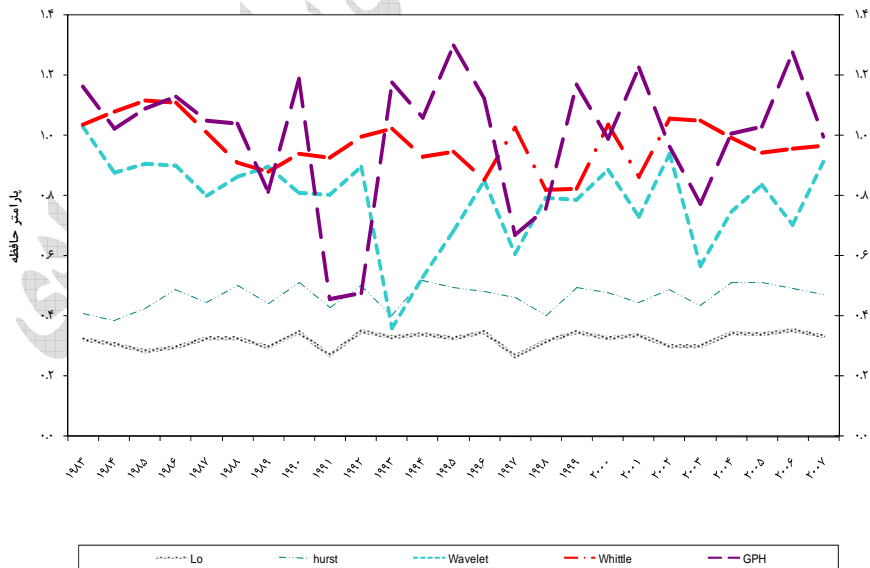
منبع: یافته‌های پژوهش

نمودار ۲. نمودار روند حافظه‌ی قیمت‌های اسپات نفت خام برنت در سال‌های ۲۰۰۷-۱۹۸۷



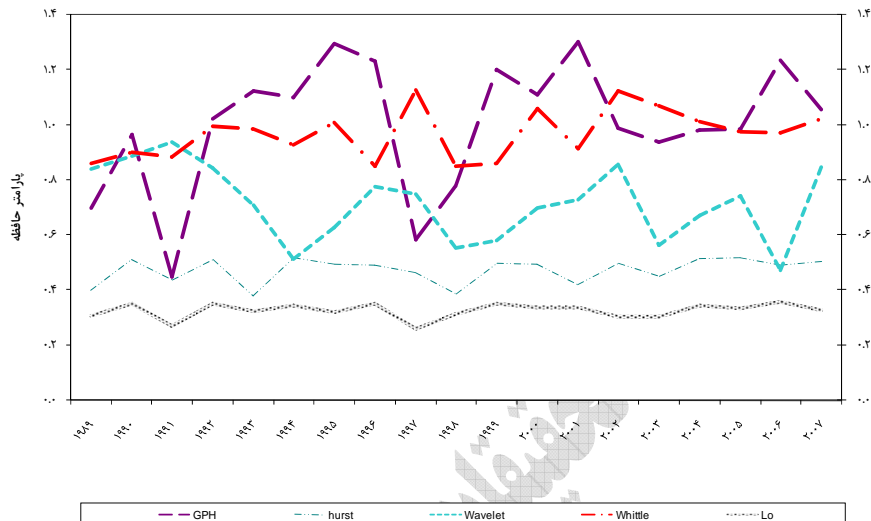
منبع: یافته‌های پژوهش

نمودار ۳. نمودار روند حافظه‌ی قیمت‌های آتی ۳ ماهه‌ی نفت خام WTI در سال‌های ۲۰۰۷-۱۹۸۳



منبع: یافته‌های پژوهش

نمودار ۴: نمودار روند حافظه‌ی قیمت‌های آتی ۳ ماهه‌ی نفت خام برنت در سال‌های ۲۰۰۷-۱۹۸۹



منبع: یافته‌های پژوهش

همان‌گونه که از دقت در نمودارها نیز مشخص می‌گردد، حافظه‌ی برآورد شده برای شاخص‌های قیمت نفت خام، به‌وسیله‌ی هیچ‌یک از تکنیک‌ها، بیانگر روندی خاص برای حافظه بازار نیست. بنابراین، روند حافظه‌ی بازارهای نفت خام *WTI* و برنت الگوی خاص معناداری نداشته و روند تغییرات آن کاملاً خنثی بوده است.

۶. نتیجه‌گیری

برخی نویسندگان نشان داده‌اند که بازار در طول زمان به سوی کارایی پیش می‌رود ولیکن، در مجموع بررسی ساختار بازارهای نفت خام بررسی‌های بیشتر و مفصل‌تری را می‌طلبد. در این مقاله سعی شده است با برآورد اثرات حافظه با استفاده از روش‌های مختلف پارامتریک، نیمه پارامتریک و ناپارامتریک به این حوزه‌ی تحقیقاتی عمقی بیشتر داده شود. این در حالی است که در تحقیق حاضر، از ۷ تکنیک پیشرفته اقتصادسنجی (شامل روش موجک) برای برآورد پارامتر حافظه استفاده شده است. به عبارت دیگر، تحقیق حاضر نسبت به مطالعات انجام شده در این حوزه، از نظر تکنیکی جامعیتی بیشتر داشته و گسترده کردن دامنه‌ی تکنیکی در حوزه‌ی بررسی شده یکی از موارد قابل توجه است.

در این تحقیق وجود حافظه‌ی بلندمدت و نیز روند رفتاری آن در بازارهای اسپات و آتی نفت خام بررسی شد.

حافظه‌ی بازارهای نفت از با برآورد پارامتر تفاضل کسری با تکنیک‌های مختلف NLS ، ML ، WTI و قیمت نفت خام دریاى شمال (برنت)، در بازارهای اسپات و آتی تحلیل گردید. نتایج به دست آمده در زمینه‌ی بررسی وجود حافظه با استفاده از تکنیک‌های برآورد مختلف تا اندازه‌ای متفاوت است. با این وجود، با دقت در پارامترهای تفاضل کسری برآورد شده و میانگین و انحراف استاندارد آن‌ها می‌توان به نتیجه‌گیری‌هایی دست یافت.

نتایج به دست آمده از روش‌های برآورد $Wavelet$ ، $Whittle$ و GPH درباره‌ی بودن یا نبودن وجود حافظه‌ی بلندمدت برای قیمت نفت در هر دو بازار مورد بررسی بیانگر آنست که قیمت‌های نفت دارای حافظه‌ی بلندمدت نیست. لازم به ذکر است هر چند، این روش‌های برآورد، هر سه بیانگر نبود حافظه‌ی بلندمدت در دوره‌ی زمانی مورد بررسی است؛ ولیکن، میانگین پارامتر حافظه‌ی برآورد شده از سوی آن‌ها، $0.5 \leq d < 1$ را نتیجه داده که بیانگر ویژگی «برگشت به میانگین» نامانا در سری زمانی قیمت‌ها است. به این معنا که در بلندمدت قیمت‌ها به سوی میانگین حرکت می‌کند.

برآورد $Hurst$ به دلیل در نظر نگرفتن حافظه‌ی کوتاه‌مدت در کنار حافظه‌ی بلندمدت نتایج چندان قابل اعتمادی را نشان نمی‌دهد. البته، روش Lo (که تعدیلی از روش $Hurst$ می‌باشد) تا اندازه‌ای مسأله‌ی حساس بودن روش $Hurst$ به حافظه‌ی کوتاه‌مدت را حل کرده است. ولی، در هر صورت این روش‌ها از جمله روش‌های ناپارامتریک بوده و برخلاف مدل‌های $ARFIMA$ ظرفیت مدلسازی رفتار انباشتگی کسری را هم در کوتاه‌مدت و هم در بلندمدت دارا نیست؛ و به همین دلیل، دقت برآوردهای پارامتریک و نیمه پارامتریک با استفاده از مدل‌های $ARFIMA$ را ندارد. در ضمن روش‌های ML ، $Hurst$ و Lo در صورت وجود عبارت‌های $ARMA(p, q)$ در سری زمانی نتایج تورش‌داری به دست خواهد داد و با توجه به این که روش ML فرض مانایی را نیز لحاظ می‌کند، مقدار عددی به دست آمده از این روش‌ها چندان قابل اتکا نبوده و فقط برای بررسی روند پارامتر d به آن توجه می‌شود.

برآوردهای به دست آمده از روش NLS نیز برای تمامی بازارهای مورد بررسی واریانس بالایی داشته که بیانگر آنست که برآورد مقدار باثباتی را نتیجه نداده و اعتبار کافی ندارد. افزون بر این‌ها، برآوردهای به دست آمده از روش‌های ML و NLS معنی‌دار نبوده‌است. بنابراین، نمی‌توان بر اساس نتایج به دست آمده از برآورد آن‌ها تحلیل درستی ارائه کرد.

نکته‌ی جالب این که هر چند، نتایج تکنیک‌های به کار گرفته شده برای برآورد پارامتر تفاضل کسری در هر بازار با یکدیگر یکسان نبوده است؛ ولیکن در بیشتر موارد، هر کدام از تکنیک‌های برآورد برای بازارهای

مختلف نتایجی یکسان نشان می‌دهد. در واقع، در بیشتر موارد با هر یک از تکنیک‌های برآورد شده، نتایج یکسان و سازگاری برای بازارهای مورد بررسی (اسپات *WTI*، آتی *WTI*، اسپات برنت و آتی برنت) به دست آمد.

بررسی دربارہ‌ی بودن یا نبودن وجود حافظه‌ی بلندمدت در دو شاخص مهم قیمت نفت در بازارهای اسپات و آتی با استفاده از تکنیک‌های پیشرفته و دقیق اقتصادسنجی بیانگر نبود حافظه‌ی بلندمدت در بازارهای بین‌المللی نفت خام است. از نظر کمی نیز مقدار پارامتر حافظه‌ی هر یک از چهار بازار نفت خام مورد تحلیل، بیان شد. با توجه به نبودن حافظه‌ی بلندمدت در بازارهای بین‌المللی نفت خام می‌توان به این نتیجه دست یافت که بر اساس رفتار تک متغیره‌ی قیمت‌ها نمی‌توان آن را با دقت بالایی پیش‌بینی کرد. شاید دلیل این مسأله مکانیزم پیچیده و ذاتاً غیرخطی حاکم بر قیمت نفت است که پیش‌بینی قیمت با دقتی مناسب امری دشوار نشان داده شده است.

سیاستی که با توجه به این یافته می‌توان سفارش کرد، این است که با در نظر گرفتن نداشتن دقت بالا در رفتار پیش‌بینی شده از قیمت نفت، برای سیاست‌گذاری باید بر اساس احتمالات توصیه‌ها را تنظیم کرد.

نتایج به دست آمده از روش *Hurst* در این تحقیق با مطالعه‌ی تاباک و کاجوئرو^۱ (۲۰۰۷) که با تکنیک *R/S* به بررسی وجود وابستگی بلندمدت در بازار نفت خام *WTI* و نیز بازار نفت خام برنت در سال‌های ۱۹۸۳ الی ۲۰۰۴، پرداختند و همچنین، با مطالعه‌ی الوارز-رمایرز و همکاران^۲ (۲۰۰۲) که قیمت‌های روزانه‌ی نفت خام را با استفاده از تحلیل هرست چندفراکتالی بررسی کردند و نیز با مطالعه‌ی سرلتیس و آندریدیس^۳ (۲۰۰۴) که به بررسی ساختارهای فراکتال تصادفی در بازار نفت خام *WTI* در دوره‌ی زمانی ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۱، پرداختند و با استفاده از تحلیل هرست دریافتند که سری زمانی قیمت‌های نفت خام مورد بررسی آن‌ها دارای یک ساختار چندفراکتالی دارای حافظه بلندمدت است، مطابقت دارد.

نکته‌ی دیگر این که، هر چند برآوردهای به دست آمده برای پارامتر حافظه با استفاده از روش‌های با دقت و اعتبار بالا، در هر چهار بازار اسپات و آتی بررسی شده نشان‌دهنده‌ی نبود حافظه‌ی بلندمدت بازار بود؛ ولیکن، بیشتر سری‌های قیمت دارای ویژگی برگشت به میانگین بود. به این معنا که در بلندمدت قیمت‌ها به سمت میانگین حرکت می‌کند. به این ترتیب، تا حدی می‌توان حرکت‌های کلی بازار را تشخیص داد.

انتظار می‌رفت بازار نفت خام به دلیل تغییر سیاست‌هایی که در تلاش برای افزایش کارایی صنعت انرژی بوده، برای افزایش کارایی حرکت کند و تغییرات حافظه‌ی بازار نفت خام دارای روندی کاهشی باشد. اما،

1 - Tabak and Cajueiro

2 - Alvarez-Ramirez et al.

3 - Serletis and Andreadis

نتایج این تحقیق چنین روندی را در بازار نشان نداده است. بررسی ما درباره‌ی رفتار دو شاخص مهم قیمت نفت در بازارهای اسپات و آتی با استفاده از آزمون‌های آماری ناپارامتریک، نیمه‌پارامتریک و کاملاً پارامتریک نشان‌دهنده‌ی نبود روندی خاص برای حافظه‌ی بلندمدت بازارهای اسپات و آتی نفت خام است. روند تغییرات حافظه یک روند خنثی بوده و روند رو به پایین یا رو به بالا ندارد. در نتیجه، بازار بین‌المللی نفت از نظر حافظه تغییر چندانی را تجربه نکرده است. به عبارت دیگر، کارایی بازار کاهش و یا افزایش معنی‌داری نداشته است.

در یک جمع‌بندی کلی می‌توان این‌گونه تحلیل کرد که با توجه به ویژگی بارز برگشت به میانگین در سری‌های زمانی قیمت‌های نفت، شوک‌های وارده به بازار نفت به گونه‌ای است که باعث می‌شود بازار با نرخ هیپربولیک به روند اصلی‌اش برگردد. بنابراین، در رابطه با روش وارد شدن به بازار آتی‌ها و نیز چگونگی خروج از آن و نیز در زمینه‌ی هجینگ بهینه باید به این ویژگی توجه کرده و آن‌را در تصمیم‌گیری‌ها لحاظ نمود.

۷. منابع

- Alvarez-Ramirez, Jose and Cisneros, Myriam , (2002), Multifractal Hurst analysis of crude oil prices, *Physica A* 313, 651-670.
- Alvarez-Ramirez, Jose, Alvarez, Jesus, and Rodriguez, Eduardo , (2008), "Short-term predictability of crude oil markets: Adetrended fluctuation analysis approach, *Energy Economics* 30, 2645-2656.
- Baillie Richard T. (1996), Long Memory Processes and Fractional Integration in Econometrics, *Journal of Econometrics* 73, 5-59.
- Banerjee, Anindya and Urga, Giovanni (2005), Modelling Structural Breaks, Long Memory and Stock Market Volatility: an Overview, *Journal of Econometrics* 129, 1-34.
- Barkoulas, J.T., Baum, C.F., and Travlos, N., (2000), Long Memory in the Greek Stock Market, *Applied Financial Economics* 10, 177-184.
- Bhardwaj, G. and Swanson, N. R. (2006), An Empirical Investigation of the Usefulness of ARFIMA Models for Predicting Macroeconomic and Financial Time Series, *Journal of Econometrics* 131, 539-578.
- Diebolt, C. and Guiraud, V. (2005), A note on long memory time series, *Quality and Quantity* 39(6), 827-836.
- Elder, J., Serletis, A., (2008), Long Memory in Energy Futures Prices, *Review of Financial Economics* 17, 146-155.
- Geweke, J. and Porter-Hudak, S. (1983), The Estimation and Application of Long Memory Time Series Models, *Journal of Time Series Analysis* 4, 221-38.
- Grau-Carles, Pilar (2000), w Empirical Evidence of Long-Range Correlations in Stock Returns, *Physica A* 287, 396-404.

- Granger, C. W. J. and Joyeux, R. (1980), An Introduction to Long –Memory time Series Models and Fractional Differencing, *Journal of Time Series Analysis* 1,15-29.
- Granger, W. J. C. and Ding, Z. (1996), Varieties of Long Memory Models, *Journal of Econometrics*. North Holland. Elsevier 73, 61-77.
- Green, William H., (2003), *Econometric Analysis*, Fifth Edition, New Jersey: Prentice Hall.
- Hosking, J. R. M. (1981), Fractional Differencing, *Biometrika* 68, 165-76.
- Jensen, M.J., (1999), Using Wavelets to Obtain a Consistent Ordinary Least Squares Estimator of the Long-memory Parameter, *Journal of Forecasting* 18, 17-32.
- Jensen, M.J., (2000), An Alternative Maximum Likelihood Estimator of Long-Memory Processes Using Compactly Supported Wavelets, *Journal of Economic Dynamics and Control* 24(3), 361-387.
- Man, K.S., & Tiao, G.C., (2006), Aggregation Effect and Forecasting Temporal Aggregates of Long Memory Processes, *International Journal of Forecasting* 22, 267-281.
- Mandelbrot, B. B. and Ness, V. (1968), Fractional Brownian Motions, Fractional Noises and Applications, *SIAM Review* 10, 422-37.
- Palma, Wilfredo, (2007), *Long-Memory Time Series, Theory and Methods*, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Serletis, Apostolos, and Andreadis, Ioannis, (2004), Random fractal structures in North American energy markets, *Energy Economics* 26, 389-399.
- Shimotsu, K. and Phillips, P. C. B. (2005), Exact Local Whittle Estimation of Fractional Integration, *The Annals of Statistics* 33(4), 1890-1933.
- Sowell, F., (1991), Modelling Long-Run Behavior With Fractionally Integrated ARIMA Model, *Journal of Monetary Economics* 29, 277-302.
- Sowell, F., (1992), Maximum Likelihood Estimation of Stationary Univariate Fractionally Integrated Time Series Models, *Journal of Econometrics* 53, 165-188.
- Tabak, Benjamin M., and Cajueiro, Daniel O., (2007), Are the crude oil markets becoming weakly efficient over time? A test for time-varying long-range dependence in prices and volatility, *Energy Economics* 29, 28-36.
- Tolvi, Jussi, (2003), Long Memory and Outliers in Stock Market Returns, *Applied Financial Economics* 13(7), 495-502.