فصلنامه پژوهش‌های اقتصادی ایران/ شماره ۱۰/ بهار ۸۱

آزمون ناخطی معین برای قیمت‌های آتی نفت

دکتر حمید ابریشمی*، دکتر علی معینی**، مهدی احراری***

تاریخ ارسال: ۸۰/۹/۱۱ تاریخ پذیرش: ۸۱/٤/۱۱

چکیده

یکی از مسایل مهم وراهبردی در مباحث اقتصادی امروز، دقت، صحت و کارایی مدل‌های پیش‌بینی سری‌های زمانی است. به‌همین دلیل در سال‌های اخیر توجه اقتصاددان‌ها به مدل‌های ناخطی معطوف شده است. زیرا، پدیده های متعددی نظیر آشوب در مدل‌های ناخطی قابل بررسی است. در این مقاله، به بررسی وجود آشوب در سری‌زمانی قیمت‌های آتی نفت (۹٦ -۱۹۹۹) می‌پردازیم. به این منظور از دو روش عمومی و کاربردی تخمین بعد هم‌بستگی (CD) و بزرگترین نمای لیاپانوف (LLE) برای اثبات وجود آشوب و ازتحلیل R/S یا نمای هرست(HE) برای تشخیص غیرتصادفی بودن سری استفاده می‌کنیم. به‌این ترتیب، فرضیه غیرتصادفی و ناخطی بودن ساختار سری‌زمانی قیمت‌های آتی نفت را آزمون (اثبات یا رد) می کنیم. به‌عبارت دیگر، می‌خواهیم به این پرسش پاسخ دهیم که آیا می‌توان یک مدل ناخطی پویا برای سری‌زمانی قیمت‌های آتی نفت پیشنهاد کرد تا به تبع آن بتوان یک پیش‌بینی تعیینی دقیق و صحیح را برآورد کرد؟ براساس آزمون‌های انجام شده نشان می‌دهیم که سری‌زمانی قیمت‌های آتی نفت (۹٦-۱۹۹۹) دارای ساختار آشوبناک ضعیف و معین است. بنابراین، می‌توان یک مدل ناخطی پویا را به‌همنظور تعیین رفتار و پیش‌بینی تعیینی و با دقت بالا در کوتاه مدت برای سری‌زمانی قیمت‌های آتی نفت ارایه کرد.

واژه‌های کلیدی: آشوب معین، مدل‌سازی ناخطی، قیمت‌های آتی.

* دانشیار دانشکده اقتصاد دانشگاه تهران

E-mail: abrishami_hamid@yahoo.com

** استادیار دانشکده فنی دانشگاه تهران

*** کارشناس ارشد اقتصاد

مقدمه

مدل‌سازی و تحلیل رفتار قیمت‌های آتی (Prices Future)، از موضوعات مهم و مورد توجه تحلیل‌گران اقتصادی است. بیشتر این تحلیل‌ها تلاش می‌کنند تا به پرسش‌های زیر پاسخ دهند:[1]

- آیا می توان یک پیش‌بینی دقیق و بدون تورش در کوتاه مدت ارایه کرد؟
- آیا ساختار قیمت‌ها، خطی یا ناخطی است؟
- نوع توزیع احتمالات سری چگونه است ؟
- چگونه می توان ریسک را در قیمت‌های آتی لحاظ کرد؟

در این مقاله، تنها به سؤال دوم می‌پردازیم و وجود آشوب در رفتار قیمت‌های آتی را مورد بررسی قرار می‌دهیم .

سری‌های آشوبناک اغلب شباهت زیادی به سری‌های تصادفی دارند ولی ماهیت آنها متفاوت است. به‌طوری‌که سری آشوبناک یک فرایند معین (غیر تصادفی) و ناخطی است. هدف اصلی این است که بتوانیم ماهیت ساختاری رفتار قیمت‌ها را تعیین کنیم. اگر این امر محقق شود، قابلیت فهم وتحلیل رفتارهای بازار و هم‌چنین توانایی پیش‌بینی در کوتاه مدت افزایش می‌یابد. در این ارتباط اولین پرسش این است که اگر رفتار یک سری‌زمانی دارای ساختار ناخطی وآشوبناک باشد، آیا این فرایند دارای یک سیستم معین است؟ این گونه فرایندهای معین که در تحلیل مدل‌های تصادفی ظهور کرد به آشوب معین (Deterministic Chaos) در مباحث مدل‌سازی ناخطی معروف شد.

از عمر پژوهش‌های مربوط به سیستم‌های ناخطی در سری‌های زمانی اقتصادی، مدت زیادی نمی‌گذرد. از بارزترین این پژوهش‌ها می‌توان به اثبات وجود ساختار ناخطی معین (غیر تصادفی) در مطالعات فرانک و استنجوس[2]، نرخ بازدهی طلا و نقره مطالعات بلانک[3]، برای قیمت‌های آتی مطالعات سویا، شینک من ولی بارون[4] و امثال آن اشاره کرد. مجموعه مطالعات انجام گرفته دلالت براین دارد که

1. Frank (1988)
2. Decoster (1991)
3. Blank (1991)
4. Scheinkman (1989)

سـری‌های زمانی اقتصادی ممکن است به‌صورت ساختاری از یک فرایند آشوبناک معین (غیر تصادفی) پیروی کنند. به‌دلیل این‌که ساختار مدل‌های خطی در متدولوژی اقتصادسنجی سری‌های زمانی براساس فرایـند تصـادفی ایجـاد می‌شود، به‌طور عمده در پیش‌بینی‌های کوتاه‌مدت دچار انحراف از مسیر واقعی مـی‌شـود. از طرف دیگر، ممکن است باقی مانده‌ها نیز تصادفی نباشند ولی بافرض تصادفی بودن باقی مانده‌ها، سیستم در تحلیل و پیش‌بینی دچارتناقض و انحراف می‌شود، بنابراین، ضرورت تغییر و اصلاح بـرای بهـبود در تحلیل و پیش‌بینی سری‌های زمانی احساس می‌شود. براین اساس، متدولوژی جدیدی بـا عـنوان سیسـتم‌های ناخطی معین در چارچوب نظریه آشوب که اولین بار در مباحث فیزیک وعلوم پایـه مطـرح شـد، مورد توجه قرار گرفت . اگر ساختار حقیقی سری قیمت‌ها غیر تصادفی باشد، درآن صـورت یـک تابع ناخطی کاملاً معین، می‌تواند رفتار سری قیمت را با کمترین خطا، تحلیل و در کوتاه مـدت پـیش‌بینـی کـند. بنابرایـن، برای دستیابی به تحلیل‌های ساختاری بهتر و پیش‌بینی‌های دقیق‌تر در کوتـاه‌مـدت، ابـتدا باید ماهیت ساختاری سری‌زمانی از لحاظ ناخطی و غیرتصادفی(معین) بودن آزمون شود.

در بخش ۲ مقاله، به‌کمک تحلیل R/S از ماهیت غیرتصادفی قیمت‌های آتی نفت اطمینان حاصل کرده و در بخش ۳، به کمک تخمین نمای لیاپانوف و تخمین بعد هم‌بستگی به بررسی آشوب در قیمت‌های آتی نفت پرداخته‌ایم. نتایج در بخش ٤ ، بیان شده است. لازم به ذکر است که مأخذ قیمت‌های آتی نفت رویتر بوده است.

۲. تحلیل R/S یا نمای هرست (Hurst Exponent)

تحلـیل R/S یا نمای هرست ابزاری مناسب برای تشخیص یک سری‌زمانی غیر تصادفی از یک سری تصـادفی، بـدون در نظـر گرفتن نوع توزیع آن است. هرست در سال ۱۹۵۱ یک مقیاس آماری مناسب بـرای انـدازه‌گـیری مـیزان انحـراف انباشـته[1] یـک سری‌زمانی از میانگین آن، به‌نام تحلیل R/S یا نمای هرسـت (HE) ارایـه کرد. هرست و فیلر (Feller) به‌طور مستقل نشان دادند که برای یک سری‌زمانی کـاملاً تصـادفی، H= ۰/۵ خواهـد بـود، به عبارت دیگر، اگر $H \neq$ ۰/۵ باشد، سری غیر تصادفی

1. Cummulative Deviation

خواهد بود . از کاربردهای نمای هرست در مباحث اقتصادی می توان به مطالعات گرین (Greene) و فیلتز (Fielitz) برروی قیمت‌های بازار سهام (۱۹۷۷)، بوت (Booth) برروی نرخ ارز وقیمت طلا (۱۹۸۲)، هلمز (Helms) برروی قیمت‌های آتی و پیترز (Peters) برروی قیمت‌های سهام اشاره کرد.

برای محاسبه R/S مندل بروت در سال ۱۹۸۲ روش زیر را ارایه کرد[1] :

ابتدا، انحراف انباشته به صورت زیر محاسبه می شود :

$$C_N = \sum (X_t - M_N)$$

که در آن:

C_N = انحراف انباشته در بعد تقبیم N،

X_t = داده‌های بعد تقسیم N،

M_N = میانگین داده‌های بعد تقسیم N.

حال، مقدار R به صورت زیر به‌دست می‌آید:

$$R = MaxC_N - MinC_N$$

و درنهایت، آماره R/S به صورت زیر تعریف می شود :

$$R/S = (a * N)^H$$

که در آن:

S = انحراف معیار سری اصلی،

N = بعد تقسیم[2]،

a = مقدار ثابت .

بابرازش مدل یادشده مقدار H را تخمین می زنیم :

$$\text{Log}(R/S) = \text{Log}(a) + H\,\text{Log}(N) + u$$

مقدار H هم‌چنین نمایان‌گر اثر حافظه بلندمدت[3] در سری‌زمانی است.

---

1. Mandel Berth (1995)
2. Cummulative Deviation
3 .Long Memory Effect

۲-۱. نتایج

نتایج حاصل از رگرسیون مدل R/S برای قیمت‌های آتی نفت (۹۶-۱۹۹۹) به ازای ۲۱۰,...,۵،٦ =N به شرح ذیل است:

Log (R/S) = ۱/٦۹۵ + ۰/٦۰۱۲ Log (N) R = ۰/۹۸

t = (۳/۲٦)   (۷۸/٤٥)

مقدار ۰/٦۰۱۲ =H ، نشان دهنده ماهیت غیر تصادفی سری‌زمانی قیمت‌های آتی نفت است.

میانگین حافظه بلند مدت در بررسی قیمت‌های آتی نفت برابر است با:

N^H = (۱۰۵۰) $^{(۰/٦۰۱۲)}$ = ٦٥

براین اساس، اطلاعات گذشته پس از ٦٥ روز بر قیمت‌های آتی نفت بی تأثیر و پیش‌بینی بر پایه قیمت‌های با افق زمانی بیش از ٦٥روز ناممکن وتنها در کوتاه‌مدت میسر است. برای اطمینان از اثر حافظه بلند مدت، از آزمون به‌هم ریختگی (Shuffle Test) استفاده می‌کنیم. اگر مقدار H به هم ریخته کمتر از H اصلی باشد سری اصلی غیرتصادفی واثر حافظه بلندمدت معتبر است. در این پژوهش، نمای هرست سری به‌هم ریخته ۰/۵۰۰۱ =H است که بنا به تعریف هرست یک سری کاملاً تصادفی است. نکته مهم این‌که تحلیل R/S فقط در تشخیص فرایندهای غیر تصادفی از تصادفی کاربرد دارد والگوی مشخصی را برای پیش‌بینی ارایه نمی کند[۱].

۳. بررسی نظری روش‌های اثبات وجود آشوب

دو روش اصلی و عمومی برای تشخیص آشوب، در یک سری‌زمانی وجود دارد.

این دو آزمون عبارتند از :

۱. تخمین بعد هم‌بستگی (Correlation Dimension - CD)

۲. تخمین بزرگترین نمای لیاپانوف (Largest Lyapunov Exponent - LLE)

یک مسأله مهم در تخمین CD این است که اگر در مدل‌های ناخطی آثار معنی‌داری از یک سیستم معین در باقی مانده‌ها پیدا شود، فرضیه وجود ساختار خطی در سری‌زمانی رد می‌شود. به این منظور،

---

۱. نگاه کنید به حمید خالوزاده (۱۳۷۸)

بـروک و سـایرز[1]، آمـاره جدیـدی بـرای آزمون فرضیه وجود ساختار ناخطی در یک سری‌زمانی به‌نام آماره W ، به‌صورت زیر تعریف کردند[2]:

$$W(e,N)=\sqrt{N}\,\frac{D_m(e,N)}{b_m(e,N)}$$

$$D_m=C_m-C_1^m$$

m، بعد محاط، N، حجم نمونه و e، فاصله دو بردار در فضای m بعدی است

C_m ، انتگرال هم‌بستگی و b_m ، تخمینی از انحراف استاندارد (ه) به صورت زیر است:

$$b_m=(1,-mC_m-1)\sum(1,-mC_m-1)$$

برای بعد بی نهایت ($m=\infty$) که معرف فرایند تصادفی است داریم:

$$D_m(e,W)=D_m(e)=0$$

بنابراین، اگر $W=o$ باشد، رفتار سری‌زمانی تصادفی است و اگر $W>o$ در سطح معنی‌دار ۵٪ (سطح اطمینان ۹۵٪) بزرگتر از ۱/۹۶ باشد، فرضیه خطی بودن مدل رد می شود و مدل دارای ساختار ناخطی خواهد بود.

۳-۱. تخمین بعد هم‌بستگی

این روش برای اولیّن بار توسط گراسبرگر و پروکاکسیا[3] ارایه شد.در این روش، ساختار آشوبناک داده‌ها با محاط کردن یک سری‌زمانی در یک فضای m بعدی (به ازای مقادیر مختلفm) کشف می‌شود. در واقع، با محاسبه بعد هم‌بستگی، میزان هم‌بستگی بین نقاط در جذب کننده ناخطی را می‌توان اندازه گرفت.

1. Brock (1988)
2. Blank (1991)
3. Grassberger (1983)

روش تخمین بعد هم‌بستگی (CD) طی هفت مرحله زیر به انجام می رسد: [1]

۱.ابتدا، باید سری‌زمانی مورد نظر را از حیث مانایی (Stationary)، بررسی کنیم (سری را باید مانا کنیم.)

۲.تابع خود هم‌بستگی داده ها را در سطح یک درصد بررسی می کنیم.

۳.انتگرال هم‌بستگی را به صورت زیر محاسبه می کنیم:

انتگرال هم‌بستگی (C (e، m، (m بعد محاط و e فاصله دو بردار از ابعاد محاط) عبارت‌است از مجموعه بردارهای دوتایی در فضای m بعدی [x(i),...,x(i+m-۱)],[x(j),...+x(j+m-۱)] که فاصله شان نباید بیشتر از e باشد.

به‌این منظور ابتدا، N-m+۱ بردار از N داده سری‌زمانی مورد نظر را که با یکدیگر هم‌پوشانی دارند، در یک فضایm بعدی ایجاد می کنیم .در حقیقت، یک ماتریس [m*(N-m+۱)] بعدی از مجموعه داده‌های اسکالر سری‌زمانی مورد نظر را برای محاسبه انتگرال هم‌بستگی تولید می‌کنیم.

حال، انتگرال هم‌بستگی را به صورت زیر تعریف می کنیم:

$$C(e) = \lim \frac{1}{(N-m+1)(N-1)} \sum (e, x_1, x_j)$$

m بعد محاط، N حجم نمونه و x_i و x_j بردارهای محاط در فضای m بعدی و e نیز فاصله هر دو نقطه شامل x_i, x_j در این فضا به شرح ذیل است:

$$(e,x_i,x_j)= \begin{cases} 1 & \text{if} \quad |x_i-x_j| < e \\ o & \text{if} \quad |x_i-x_j| > e \end{cases}$$

گراسبرگر و پروکاکسیا عنوان کردند که اگر مقدار e خیلی کوچک باشد ($e \rightarrow o$) ، انتگرال هم‌بستگی به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$C(e)= \text{Constant} .\ e^n$$

در این جا توان n همان (CD) یا بعد هم‌بستگی است.

---

۱. نگاه کنید به احراری (۱۳۸۰)

۴.LogC(e) را براساس Log(e) در یک فضای دو بعدی ترسیم می‌کنیم. نمودار([Log C(e), Log(e)] در یک دستگاه مختصات، نشان می‌دهد که اگر با افزایش m، شیب منحنی‌ها در یک حد معین اشباع شده و به سمت یک نقطه دارای همگرایی پایدار شوند، سری، دارای ساختار آشوبناک است.

۵.شیب تخمینی، Log C(e) به متغیر Log (e) که در حقیقت کشش C(e) را نسبت به e محاسبه می‌کند، مقدار معین بعد هم‌بستگی (CD)، به ازای مقدار مشخص m است:

$$D = \lim_{\substack{e \to o \\ N \to \infty}} \frac{LogC(e,N)}{Log(e)}$$

D بعد هم‌بستگی به ازای یک مقدار مشخص m

$$CD = \lim_{m \to \infty} D$$

CD، تخمین بعد هم‌بستگی

۶.برای اطمینان از وجود ساختار آشوبناک، بهتراست که این فرایند را برای باقی مانده‌های مدل AR (Regression Auto) نیز انجام دهیم. اگر باقی مانده‌ها نیز در یک حد معین اشباع شده و همگرایی پایدار ایجاد شود، بعد هم‌بستگی تخمینی از نقطه نظر جزء اخلال مورد قبول واقع شده است. البته بروک و سایرز[1] برای افزایش ضریب اطمینان خود ، چند مدل خطی از نوع AR را برای دستیابی به باقی مانده ها برازش کردند.

۷.برای اطمینان از وجود ساختار آشوب در سری‌زمانی و عدم وجود ساختار تصادفی، با توجه به فرایند محاسبه بعد هم‌بستگی، شینک من و لی بارون (۹)، آزمون به‌هم‌ریختگی (Shuffle Test) را معرفی کردند. در این آزمون ابتدا، سری اصلی را به صورت تصادفی به‌هم می‌ریزیم تایک سری کاملاً تصادفی ایجاد کنیم. اگر مقدار بعد هم‌بستگی داده‌های اصلی، از سه مقدار میانگین حداقل و حداکثر

---

۱. نگاه کنید به Brock (۱۹۸۸)

بعد هم‌بستگی سری به‌هم ریخته کمتر باشد، اطمینان حاصل می‌کنیم که ساختار سری به‌طور قطع تصادفی نیست.

روش گراسبرگر - پروکاکسیا دارای چند محدودیت عملیاتی است، اولاً، این روش یک آزمون آماری نیست، بنابراین، در مورد فاصله‌های اطمینان بعد هم‌بستگی تخمینی نمی‌توان اظهارنظر کرد.ثانیاً، با این روش نمی‌توان بعضی از فرایندهای ناخطی مانند ARCH(Auto Regressive Conditional Heteroskedasticity) را از یک فرایند آشوب تشخیص داد. ثالثاً، در نمونه‌های کوچک بعد هم‌ستگی تخمینی کمتر از مقدار واقعی خواهد بود[1].

۳-۲. تخمین بزرگترین نمای لیاپانوف

نمای لیاپانوف یکی از مفیدترین ابزارهای تشخیص فرایندهای پویای آشوبناک است. طبق تعریف، هر سیستمی با داشتن حداقل یک نمای لیاپانوف مثبت، سیستمی آشوبناک است. عکس اندازه نمای مربوط متناسب با زمانی است که بعد از آن زمان، فرایند پویا غیر قابل پیش‌بینی خواهد شد .

نمای لیاپانوف، با دو روش قابل محاسبه و ارزیابی است :

- محاسبه نمای لیاپانوف با ابعاد محاط (Dimensional)
- محاسبه نمای لیاپانوف با تابع معین (Functional)

در این قسمت، ما نمای لیاپانوف را با استفاده از روش اول[2] محاسبه می‌کنیم. برای محاسبه نمای لیاپانوف ابتدا، ماتریس [m*(N-m+۱)] بعدی از N داده اسکالر سری‌زمانی که قبلاً توضیح داده شد را ایجاد می‌کنیم. از میان این ماتریس تمام جفت بردارهایی که در رابطه زیر صدق کنند را مشخص می‌کنیم:

$$r_0(m;i,j) = \left| x_i - x_j \right| < e$$

e، یک مقدار کوچک مثبت است . با رشد طول زمانی $r_n(m;i,j), n$ را به صورت زیر محاسبه می‌کنیم:

$$r_n(m;i,j) = \left| x_{i+n} - x_{j+n} \right|$$

1. Mandel Berth (1995)
2. Wolf (1985)

سپس، میزان واگرایی نقاط نزدیک به هم را به صورت زیربه‌دست می‌آوریم:

$$d_n(m;i,j)=\frac{r_n}{r_0}=\frac{|x_{i+n}-x_{j+n}|}{|x_i-x_j|}$$

با تکرار dn به اندازه n مرحله، اگر مقدار dn از یک بزرگتر شود، به این معنی است که با افزایش فاصله زمانی n، نقاط نزدیک به هم در فضای m بعدی از یکدیگر واگرا خواهند شد. برای محاسبه نمای لیاپانوف مقدار LE را به صورت زیر به دست می‌آوریم:

$$LE(m,n)=\lim\frac{1}{N-n}\sum\log d_n(m;i,j)$$

مقدار مثبت LE نشان می‌دهد که نقاط موجود در فضای m بعدی، در جذب کننده فرایند ناخطی، با افزایش طول فاصله زمانی واگرا می شوند. به عبارت دیگر، تأثیر اطلاعات گذشته از یک زمان مشخص به بعد از بین می‌رود، بنابراین، فقط در کوتاه مدت می توان پیش‌بینی دقیق ارایه کرد. روش تحلیل نمای لیاپانوف، نشان دهنده نقاط واگرا و معرف میزان حساسیت فرایند به شرایط هر نقطه در فضای m بعدی است .

مقادیر مثبت LE نشان دهنده رفتار آشوبناک معین در سری قیمت‌ها است. اگر، LE مثبت باشد - در یک بعد محاط مشخص m - و بعد از آن با افزایش m، LE منفی شود، جزء اخلال تصادفی بر مدل‌های پیش‌بینی سری قیمت‌ها غلبه می‌کند و در حقیقت، قابلیت پیش‌بینی را از این مدل‌ها سلب می‌کند. حتی اگر سری قیمت‌ها ماهیت کاملاً معین(Completely Deterministic) داشته باشند. بنابراین، LE منفی معرف ماهیت تصادفی جزء اخلال در سری قیمت هاست. درنهایت برای اطمینان از تخمین LE ، با مقادیر مثبت همگرا و پایدار، آزمون به هم ریختگی شینک من و لی بارون را برای سری داده ها انجام می‌دهیم. اگر مقدار LE، در سری به هم ریخته بیشتر از LE سری اصلی باشد، سری‌زمانی اصلی غیر تصادفی و معین است.

۳-۳. نتایج

نتایج حاصل از تخمین بعد هم‌بستگی و نمای لیاپانوف برای قیمت‌های آتی نفت (روزانه) (۹۶-۱۹۹۹)، به شرح ذیل است.

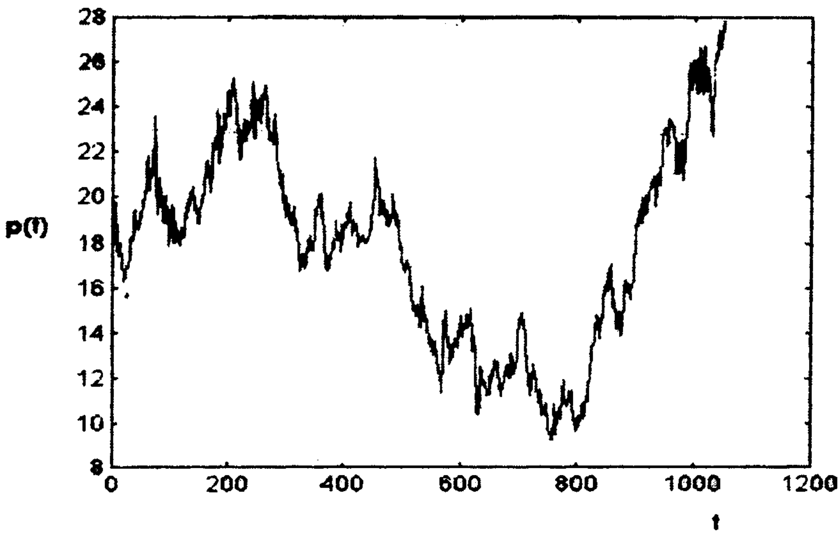
برنامه‌نویسی برای محاسبات تحت نرم‌افزارMATLAB طراحی و تدوین شده است.[۱]

در این پژوهش، لگاریتم نرخ بازگشت (RoR- Rate of Return) سری قیمت‌ها مورد استفاده قرار گرفته است.

$$ROR = {P_t}/{P_{t-1}}$$

نمودارهای (۱) و (۲) سری‌های زمانی قیمت‌های آتی و نرخ بازگشت (RoR) را در برابر زمان (t) نشان می‌دهد.

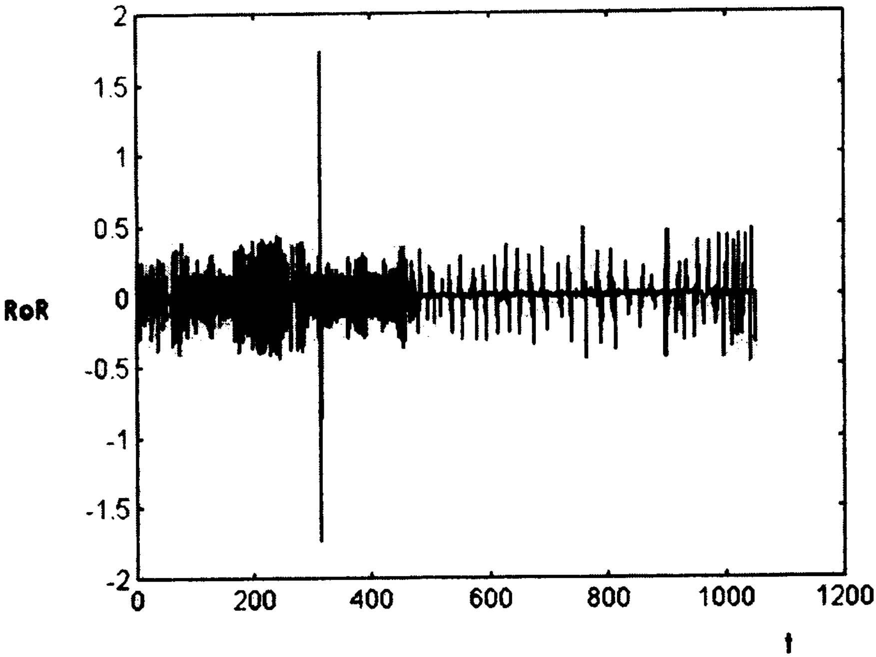
نمودار -۱. سری‌های زمانی قیمت‌های آتی نفت (دوره زمانی ۹۶-۱۹۹۹)



---

۱. نگاه کنید به احراری (۱۳۸۰)

نمودار –۲. سری‌های زمانی نرخ بازگشت قیمت‌های آتی نفت (دوره زمانی ۹۶–۱۹۹۹)



۳-۳-۱. نتایج تخمین بعد هم‌بستگی

۱. نتایج حاصل از آزمون دیکی فولر (ADF- Agumented Dicky Fuller)[1] برای قیمت‌های آتی نفت به شرح جدول (۱) حاکی از مانایی سری‌زمانی است.

جدول –۱. آزمون دیکی فولر برای سری‌زمانی قیمت‌های نفت

Intercept & Trend		
مقدار بحرانی ۱٪	-۳.۹۹۷	آماره آزمون ADF
مقدار بحرانی ۵٪	-۳ . ۴۲۸	ADF(۳)= -۸,۰۸۷

وقفه بهینه (۳) بر اساس معیار آکائیک و شوارتز انتخاب شده است .

---

۱. نگاه کنید به گجراتی (۱۳۷۵)

ملاحظه می شود که قدر مطلق ADF(۳) ازقدرمطلق مقادیر بحرانی بزرگتر بوده بنابراین، فرضیه صفر مبنی بر وجود ریشه واحد و یا به عبارت دیگر، نامانایی سری‌زمانی قیمت‌های آتی نفت رد می‌شود.

۲. توابع خود هم‌بستگی و خود هم‌بستگی جزیی به ازای ۲۵و ۱٦ تأخیر به شرح زیر است. تغییرات در تابع خود هم‌بستگی جزیی یک روند میرابه به سمت صفر است. بنابراین، داده‌ها از یک فرایند AR پیروی می کنند.

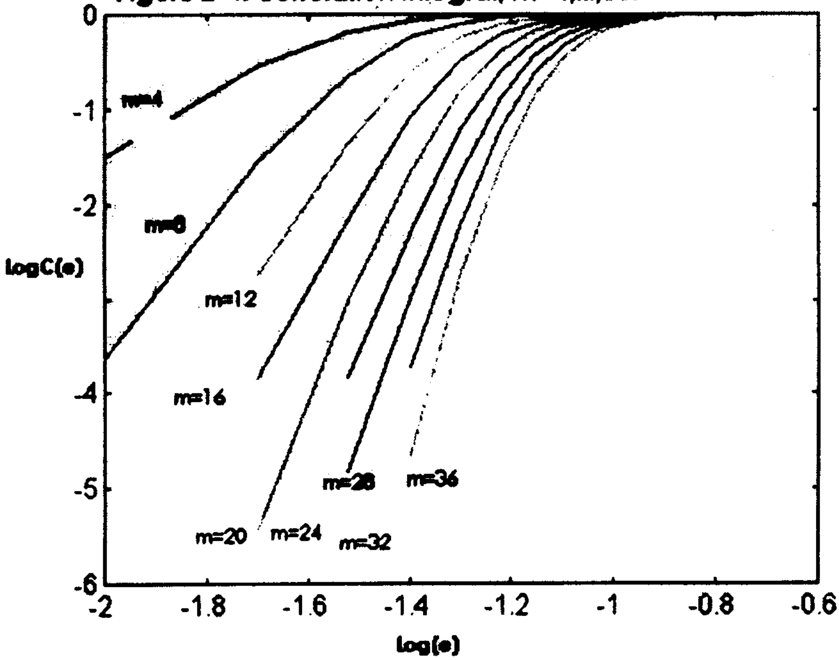
Autocorrelation	Partial Correlation		AC	PAC	Q-Stat	Prob
		1	-0.500	-0.500	65.777	0.000
		2	0.000	-0.333	65.777	0.000
		3	0.000	-0.250	65.777	0.000
		4	0.000	-0.200	65.777	0.000
		5	0.000	-0.167	65.777	0.000
		6	0.000	-0.143	65.777	0.000
		7	0.000	-0.125	65.777	0.000
		8	0.000	-0.111	65.777	0.000
		9	0.000	-0.100	65.777	0.000
		10	0.000	-0.091	65.777	0.000
		11	0.000	-0.083	65.777	0.000
		12	0.000	-0.077	65.777	0.000
		13	0.000	-0.071	65.777	0.000
		14	0.000	-0.067	65.777	0.000
		15	0.000	-0.063	65.777	0.000
		16	0.000	-0.059	65.777	0.000
		17	0.000	-0.056	65.777	0.000
		18	0.000	-0.053	65.777	0.000
		19	0.000	-0.050	65.777	0.000
		20	0.000	-0.048	65.777	0.000
		21	0.000	-0.045	65.777	0.000
		22	0.000	-0.043	65.777	0.000
		23	0.000	-0.041	65.777	0.000
		24	0.000	-0.040	65.777	0.000
		25	0.000	-0.038	65.777	0.000

Autocorrelation	Partial Correlation		AC	PAC	Q-Stat	Prob
		1	-0.500	-0.500	65.777	0.000
		2	0.000	-0.333	65.777	0.000
		3	0.000	-0.250	65.777	0.000
		4	0.000	-0.200	65.777	0.000
		5	0.000	-0.167	65.777	0.000
		6	0.000	-0.143	65.777	0.000
		7	0.000	-0.125	65.777	0.000
		8	0.000	-0.111	65.777	0.000
		9	0.000	-0.100	65.777	0.000
		10	0.000	-0.091	65.777	0.000
		11	0.000	-0.083	65.777	0.000
		12	0.000	-0.077	65.777	0.000
		13	0.000	-0.071	65.777	0.000
		14	0.000	-0.067	65.777	0.000
		15	0.000	-0.063	65.777	0.000
		16	0.000	-0.059	65.777	0.000

۳. نمودار (۳) نشان می دهد که منحنی انتگرال هم‌بستگی c (e, N) به ازای مقادیر ۳۶ ... و۸ و m=٤ با افزایش e، به سمت نقطه صفر اشباع و همگرا می‌شوند.

نمودار -۳. انتگرال هم‌بستگی

Figure 2-4: Correlation Integral; m=4,...,36.



٤. درجدول(۲) بعد هم‌بستگی تخمینی برای لگاریتم نرخ بازگشت سری قیمت‌ها به ازای۴۰ و...و m=٤ محاسبه شده است. ملاحظه می‌شود که با افزایش m، مقادیر تخمینی بعد هم‌بستگی (CD) به سمت عدد ۵ همگرا می‌شود. بنابراین، مقدار بعد هم‌بستگی تخمینی برای سری مذکور CD =۵ است.

۵. نتایج باقی مانده‌های حاصل از فرایند AR در جدول (۲) نشان می‌دهد که با افزایش m، مقادیر بعد هم‌بستگی تخمینی باقی مانده‌ها به سمت عدد ٦ همگرا می‌شود.

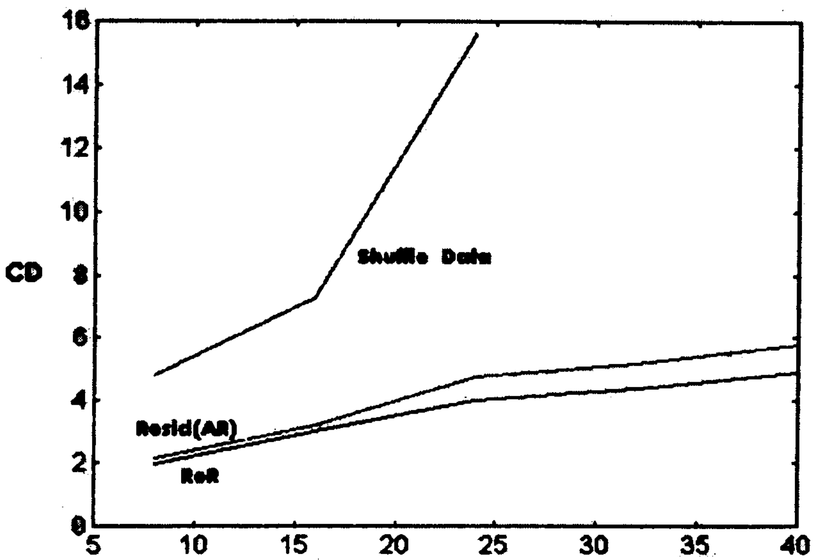
٦. نتایج آزمون به‌هم ریختگی در جدول (۲) نشان می‌دهد که مقادیر بعد هم‌بستگی با افزایشm واگرا، و به سمت بی‌نهایت میل می‌کند.

جدول -۲. نتایج تخمین بعد هم‌بستگی برای نرخ بازگشت (RoR) سری‌زمانی قیمت‌های آتی نفت (۱۹۹۶-۱۹۹۹)، باقی مانده‌های حاصل از فرایند AR و سری‌زمانی داده‌هـای به‌هم ریخـته

CD / m	٤	٨	١٢	١٦	٢٠	٢٤	٢٨	٣٢	٣٦	٤٠
ROR	١,٢٥	١,٩٨	٢,٢٥	٢,٩٨	٣,٦٨	٣,٩٨	٤,١٥	٤,٣٠	٤,٧٨	٤,٨٩
Resid	١,٦٥	٢,١٨	٢,٦٥	٣,١٨	٣,٩٨	٤,٧٦	٤,٨٥	٥,١٥	٥,٣٥	٥,٧٨
Shuffle ROR	٢,١٢	٢,٢٨	٣,٢	٣,٢٦	٤,٢٣	٤,٥٨	٧,٢٨	inf	Inf	Inf

نمودار (٤) بعد هم‌بستگی (CD) تخمینی برای نرخ بازگشت (RoR)، سری باقی مانده‌ها و سری به‌هم ریخته (Shuffle Data) را نشان می‌دهد.

نمودار -٤. بعد هم‌بستگی برای نرخ بازگشت (ROR) و سری باقیمانده‌ها و به‌هم ریخته



در مجموع، بر اساس نتایج حاصل از تخمین بعد هم‌بستگی (CD) می‌توان گفت قیمت‌های آتی نفت (روزانه) (۱۹۹۶-۱۹۹۹) دارای یک ساختار آشوبناک معین و غیر تصادفی است.

نتایج آماره W

نتایج حاصل از تخمین آماره W برای اثبات وجود ساختار ناخطی در باقی مانده‌ها (عدم وجود ساختار تصادفی) به شرح جدول (۳) است.

جدول -۳. آماره W برای اثبات وجود ساختار ناخطی در باقی مانده ها

W \ m	۳	٤	۵
ROR	٤/۲۵	٤/۹۸	۵/۲۱
Shuffle ROR	۰/۰۲۵	۰/۲۸	۰/۷۸

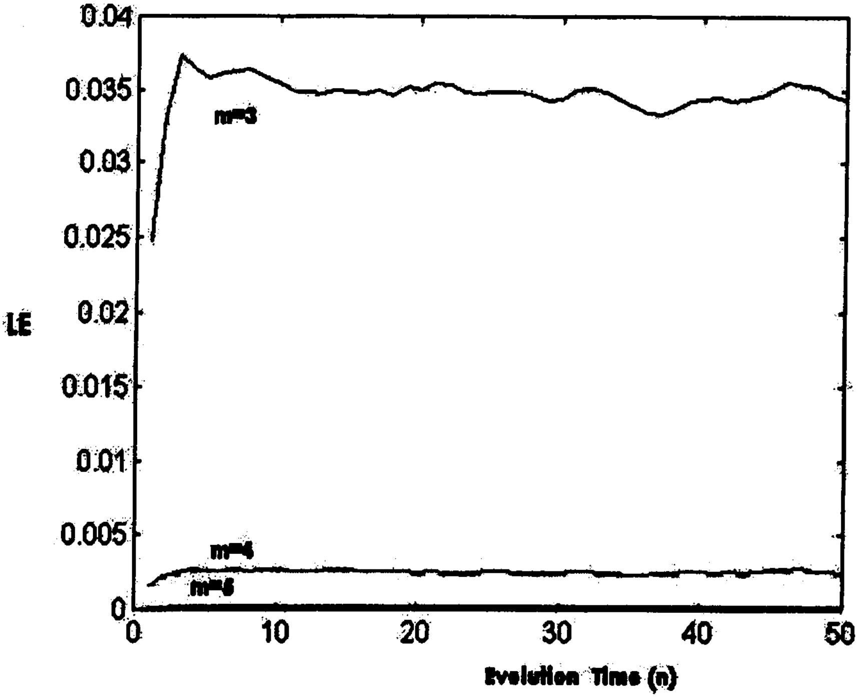
ملاحظه می‌شود مقادیر W در اطمینان ۹۵ ٪ برای ابعاد محاط ۵ و ٤ و ۳= m، بزرگتر از مقدار ۱/۹٦ و مقادیر آماره W برای سری به‌هم ریخته کمتر از ۱/۹٦ (نزدیک صفر) است. بنابراین، وجود ساختار ناخطی در باقی مانده ها محرز می‌شود.

۳-۳-۲. نتایج تخمین نمای لیاپانوف

۱.نتایج حاصل از تخمین نمای لیاپانوف (جدول ۳ و نمودار۵) برای سری‌زمانی قیمت‌های آتی نفت نشان دهنده هم‌گرایی پایدار مقادیر تخمینی نمای لیاپانوف برای ۵۰ =n است .

۲. عکس مقادیر تخمینی LE برای نرخ بازگشت سری‌زمانی معرف زمانی است که تأثیر اطلاعات گذشته از بین می‌رود. در حقیقت، نمای لیاپانوف یک نوع بعد در فضای فاز (Phase Space) است. که نشان می دهد داده های گذشته تا چه زمانی تأثیر دارد .

نمودار- ۵. نمای لیاپانوف برای نرخ بازگشت (ROR) با ۵ و ٤ و ۳ = n و ۵ = n



جدول -٤. مقادیر تخمینی نمای لیاپانوف (LE) برای نرخ بازگشت (ROR) و سری به‌هم ریخته آن برای رشد فاصله زمانی n=۵۰

m / LE	۲	۳	٤	۵
ROR	۰/٤٤	۰/۰۳۵	۰/۰۱۲	۰/۰۰۳۲
T	۲/۲۷	۲۸/۵۷	۷۸/۷٤	۳۱۲/۵
Shuffle ROR	inf	inf	۱/۰۲۵	۰/۰۱٦

T= زمانی که پس از آن تأثیر اطلاعات گذشته ازبین می‌رود .

با توجه به مقادیر T، ملاحظه می‌شود که تأثیر اطلاعات گذشته به ازای ابعاد ۵و۴و۳و۲= m به ترتیب بعد از ۲و۲۹و۷۹و۳۱۳ روز از بین می رود . بنابراین، هر قدر بتوان به LE (بزرگتر از صفر) در ابعاد محاط بالاتری دست یافت، تأثیر اطلاعات گذشته را می‌توان بیشتر لحاظ کرد و در نتیجه، حساسیت نسبت به شرایط اولیه کمتر، درجه معین بودن بالاتر وقدرت اشوب ضعیف‌تر است. با این وجود پیش‌بینی در بلندمدت امکان پذیر نیست و فقط می توان در کوتاه‌مدت پیش‌بینی کرد.

٤. نتیجه گیری

برای تعیین مدل مناسب، کارا وبا قابلیت پیش‌بینی دقیق و منطقی، ابتدا، ماهیت ساختاری سری‌زمانی مورد نظر را از سه نقطه نظر، خطی، ناخطی و تصادفی مورد مطالعه و آزمون قرارداده‌ایم. برای تعیین ماهیت ساختاری سری‌زمانی، از تحلیل R/S یا نمای هرست (HE) برای تشخیص غیر تصادفی بودن سری، تخمین بعد هم‌بستگی (CD) و بزرگترین نمای لیاپانوف (LLE) برای اثبات وجود آشوب استفاده شده است. براساس این آزمون‌های انجام گرفته مشخص شد که سری‌زمانی قیمت‌های آتی نفت (۱۹۹٦-۱۹۹۹) دارای ساختار آشوبناک ضعیف و معین است، بنابراین، می‌توان یک مدل ناخطی پویا را به منظور تعیین رفتار وپیش‌بینی تعیینی و با دقت بالا در کوتاه مدت برای سری‌زمانی قیمت‌های آتی نفت ارایه کرد.

منابع

احراری، مهدی. (۱۳۸۰). بررسی و تحلیل آشوب در سری‌زمانی قیمت‌های آتی نفت ۹۹- ۱۹۹۶، *پایان نامه کارشناسی ارشد*، دانشکده اقتصاد، دانشگاه فردوسی مشهد.

خالوزاده، حمید. (۱۳۷۸). مدل‌سازی ناخطی و پیش‌بینی رفتار قیمت‌های سهام بازار بورس تهران، *رساله دکترای کنترل و سیستم*، دانشگاه تربیت مدرس.

گجراتی، دامودار. (۱۳۷۵). *مبانی اقتصاد سنجی*، ترجمه حمید ابریشمی، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ دوم، جلد دوم.

Blank S. (1991). Chaos in Future Markets, A Nonlinear Dynamical Analysis. *Journal of Future Markets* , Vol. 11, No .6 , pp.711-728.

Brock W. Sayers C. (1988). Is the Business Cycle characteriezed by Deterministic Chaos? *Journal of Monetary Economics*, No.22, pp.71-90

Decoster G., Walter C. Labys, and Douglas W., Mitchell. (1991). Evidence of Chaos in Commodity Futures Prices. *Journal of Futures Markets*, Vol. 12, No.3, pp. 291-305.

Frank M., Stengos T. (1988). Chaotic Dynamics in Economic Time-Series. *Journal of Economic Surveys*, No. 2. pp.103-133.

Grassberger, P & Procaccia, I. (1983).Characterization of Strange Attractors.

Mandelberth. (1995). Testing for Chaos and Nonlinear Dynamics in Cattle Prices. *Canadian Jurnal of Agricultural Economics,* Vol 43, pp.475– 484 .

Phys. Review Letters, Vol. 50 , pp.3460-3490.

Scheinkman j.,Le Baron B. (1989). Nonlinear Dynamics and Stock Returns. *Journal of Business*, Vol.62, No.3 , pp.311-338.

Wolf, A. Swift, J. Swinney, H. Vastano, J. (1985). Determining Lyapunov Exponent from a time series. *Physica D*,Vol.16 ,pp.285-317.