پژوهشنامه‌ی علوم اقتصادی

علمی – پژوهشی

سال نهم، شماره‌ی ۱(پیاپی۳۷)، نیمه ی اول ۸۹

بررسی رفتار آشوب در بازار نرخ ارز ایران

محمد بابازاده*

سیامک علمی**

فرامرز اتباعی***

سهیل محمودزاده****

تاریخ دریافت : ۸۷/۱۰/۲ **تاریخ پذیرش:**۸۸/۶/۲۴

چکیده

تئوری آشوب، راهی جدید برای بررسی روند تغییرات در بازارهای پولی و مالی پیشنهاد می‌کند و می‌تواند روندها و الگوهای پنهانی در داده‌های مالی را که با مدل های مرسوم به دست نمی‌آید، آشکار کند. از مهم ترین روش های تشخیص آشوب، وجود نماهای مثبت لیاپانوف کوچک و امتحان بعد جاذب است.مقدار مثبت نمای لیاپانوف نشان دهنده ی نرخ متوسط محلی واگرایی (ناپایداری) و آشوبناک بودن فرایند است که با درجه ی آشوبناکی و مدت زمان پیش بینی رابطه ی عکس دارد و منفی بودن آن نشان دهنده ی نرخ متوسط محلی فشرده شدن(پایداری) و غیرآشوبی بودن و قابل پیش بینی بودن فرایندر بلند مدت است. در این تحقیق بعد جاذب و نماهای لیاپانوف در دینامیک های بازسازی شده یک تا ده بعدی بردارهای تعمیم یافته طبق لم محاط سازی تیکنز[1]،برای نرخ برابری ده ارز مختلف برابر ریال ایران از تاریخ۱۳۷۱/۰۱/۰۵ تا ۱۳۸۶/۳/۰۲ و هم چنین دو مدل آشوبناک مصنوعی محاسبه شده است.با مقایسه ی نتایج داده های مصنوعی و تجربی پی به وجود درجه ای از قطعیت در داده های تجربی می بریم.ثانیاً با توجه به نتایج آزمون ها نتیجه می شود که فرایند حاکم بر بازار نرخ ارز ایران غیر خطی است ونمی توان با روش های خطی آن را پیش بینی کرد.

واژه های کلیدی: آشوب، نماهای لیاپانوف، بعد جاذب، نرخ ارز

طبقه بندی JEL: F31 , C61 , C32

---

*نویسنده مسئول - استادیار اقتصاد دانشگاه آزاد اسلامی واحد فیروزکوه

**دانشجوی کارشناسی ارشد رشته اقتصاد دانشگاه آزاد اسلامی واحد فیروزکوه

***دانشجوی دکتری رشته اقتصاد دانشگاه علامه طباطبایی

****دانشجوی کارشناسی ارشد رشته اقتصاد دانشگاه علامه طباطبایی

1-Takens Embedding Theorem

Archive of SID

www.SID.ir

۱- مقدمه

نظریه‌ی سیستم‌های آشوبی قطعی راه جدیدی برای مدل‌سازی در اقتصاد به خصوص در بازارهای مالی فراهم می‌کند. فرایند آشوبی، محصول یک سیستم غیرخطی دینامیکی است. چنین سیستم هایی در طبیعت و هم چنین در رفتارهای انسانی مشاهده شده اند. به عنوان مثال ضربان قلب، حرکت پاندولی ساعت و نوسانات اقتصادی همه به نوعی یک رفتار غیر خطی پویا را به نمایش می گذارند. طبق این نظریه، رویدادها در جهان چنان پیچیده و پویا هستند که به نظر بی نظم می رسند؛ اما در حقیقت نظام آشوب گونه دارای نظم زیربنایی و مشخص است که شناسایی این نظم نهفته اگرچه غیرممکن نیست، مشکل است. زیرا عوامل متعددی در تعامل پویا و غیرقابل پیش بینی، رفتار پدیده ها را شکل می دهند و الگوی رفتـاری آینـده آن را به وجـود مـی آورند. تلاش ها و تحقیقات اقتصاددانان در مورد وجود آشوب در سری های زمانی اقتصاد به طور جدی از اوایل دهه ی ۱۹۸۰ آغاز شد. به طور مثال اشتوتزر[1] در سال ۱۹۸۰ یک مدل رشد اقتصاد کلان با پویایی‌های آشوبی را معرفی کرد. شافر[2] و دیگران در سال ۱۹۸۳ بروز آشوب را در مدل‌های IS-LM نشان دادند. سایرز[3] در سال ۱۹۸۶ وجود این روندها را در بازار کار آمریکا اثبات کرد. چن و بارنت[4] در سال ۱۹۸۸ نشان دادند که متغیّرهای پولی رفتاری آشوبی دارند. لینتون[5] و شینتانی (۲۰۰۳)، نیز به کشف وجود آشوب در شاخص‌های مختلف اقتصادی پرداخته‌اند. اسکارلات و دیگران(۲۰۰۷)[6] به بررسی وجود آشوب روی نرخ‌ارز کشور رومانی در مقابل دلار آمریکا پرداختند. با استفاده از آزمون BDS و نمای لیاپانوف و بعد همبستگی وجود آشوب در هر دو دوره تأیید شد. ماریتز[7] در مقاله‌ای تحت عنوان « کاربردهای تئوری آشوب در بازار نرخ ارز فیلیپین» به بررسی وجودآشوب روی پزو فیلیپین در مقابل دلار آمریکا

1-Stutzer
2-Shafer
3-Sayers
4-Barnett
5-Linton& Shintani
6-E.I Scarlat et al
7-Marites A. Khanser

Archive of SID

www.SID.ir

پرداخت که از آزمون‌های بعد همبستگی و بزرگ‌ترین نمای لیاپانوف بهره گرفت و این آزمون‌ها وجود آشوب را در این سری زمانی تأیید کرد.

با گسترش رو به رشد بازارهای مالی و جهانی شدن این بازارها، موضوع بررسی و پیش‌بینی متغیّرهای مالی اهمیت ویژه‌ای یافته است. شباهت سری‌های زمانی برابری نرخ ارز[1] در بازارهای مالی با سری‌های زمانی آشوبناک و ویژگی‌های غیر ایستا بودن و ظاهراً تصادفی بودن آن‌ها وجود نوعی دینامیک غیرخطی آشوبناک قابل کشف در این سری‌ها را ممکن می‌سازد. هر کشوری در نظام بین‌الملل اقتصادی از دو مجرا در تعامل با اقتصادهای دیگر قرار می‌گیرد: یکی تجارت کالا و خدمات و دیگری جریان ورود و خروج سرمایه. در نتیجه‌ی این تعامل واحد پول داخلی کشور در اقتصاد جهانی دارای یک قیمت می‌شود که در اقتصاد متعارف به آن نرخ ارز می‌گویند. در نظریه‌ی برابری قدرت خرید، نرخ ارز رسمی مبیّن نسبت قیمت کالاهای داخلی بر حسب پول داخلی به قیمت کالاهای خارجی بر حسب پول داخلی است. در این قسمت به مواردی که بحث پیش‌بینی نرخ‌ارز و چگونگی روند تغییرات آن به عنوان یک امر ضروری در تصمیم‌گیری باید مورد توجه قرار گیرد به اختصار اشاره می‌گردد:

الف- سفته‌بازی: سفته‌باز به امید کسب سود وارد معاملات توأم با ریسک ناشی از نوسانات قیمت ارز در بازار ارز می‌شود. چنان‌چه سفته‌باز تغییرات آتی نرخ‌های نقدی ارز را به خوبی پیش‌بینی کند سود خواهد برد.

ب- آربیتراژ بهره‌ای بدون پوشش نرخ‌ارز[2]: آربیتراژ بهره به جریان بین‌المللی سرمایه‌ی نقدی در کوتاه‌مدت به منظور کسب درآمد بیشتر از خارج مربوط می‌شود. بدین منظور برای اجتناب از ضرر کاهش ارزش پول خارجی، چگونگی روند تغییرات نرخ‌ارز ضروری است.

ج- سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی[3]: در ارزیابی طرح‌ها در امور مربوط به انجام سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی که توسط شاخص‌هایی همچون NPV[4] و IRR[5] محاسبه می‌شود، به منظور تبدیل جریان نقدینگی پول خارجی به پول داخلی نیازمند به

1-Forex
2-Uncovered Interest Arbitrage
3-Foreign Direct Investment
4-Net Present Value
5-Internal Rate of Return

Archive of SID

www.SID.ir

پیش‌بینی نرخ‌ارز هستیم؛ زیرا ممکن است طرحی که برحسب واحد پول خارجی قابل قبول باشد بر حسب واحد پول داخلی غیرقابل‌قبول باشد.

یک راه پیشرو برای یافتن یک سیستم غیرقطعی در اقتصاد این است که نشان داده شود که داده‌ها، رفتار غیرخطی یا آشوبناک از خود نشان می‌دهند. این ایده‌ی نهان چارچوب اقتصادِ آشوبناک است. از این رو دو گروه عمده برای تست آشوب در داده‌ها وجود دارد: اولین روش آن است که به مسیر یا خط سیر داده‌ها هنگامی که شرایط اولیه‌ی سیستم اندکی تغییر کرد توجه کنیم. این حالت می‌تواند با برآورد نمای لیاپانوف انجام شود. نماهای لیاپانوف اندازه‌گیری میزان واگرایی[1] میان مسیر داده‌های تجربی تولید شده توسط سیستم با تغییر بی‌نهایت کوچک در شرایط اولیه است. هنگامی که تغییر کوچکی در سیستم قطعی وجود داشته باشد اگر داده‌ها به صورت نمایی تغییر کنند، آنگاه نمای لیاپانوف مثبت خواهد بود و لذا آشوبناک است. اگر مسیر همگرایی به یک حالت پایدار بازگردد آنگاه نمای لیاپانوف منفی خواهد بود. نوع دوم از تست‌ها برای وجود آشوب، آزمون بعد جاذب[2] سیستم است. آشوب در ابعاد مختلف وجود دارد و متأسفانه تجزیه و تحلیل در صورت وجود بعد بزرگ‌تر پیچیده تر، و تست برای آشوب ضعیف‌تر می‌شود. این موضوع سدّ قوی برای تئوری اقتصاد آشوبناک است و یکی از دلایل عمده‌ای است که تحقیقات اقتصای به آگاهی در مورد وجود دینامیک‌های آشوبناک در داده‌ها نرسیده است.

در این مقاله برای نشان دادن امکان وجود آشوب در داده های نرخ ارز، بررسی روند آشوبناک در این داده‌ها با توجه به دو آزمون بعد جاذب و بزرگ ترین نماهای لیاپانوف مورد آزمون قرار گرفته است. داده‌های مورد استفاده دلار آمریکا مقابل ریال ایران و هم چنین پوند انگلستان، یورو، دلارهای کانادا و استرالیا، فرانک سوئیس، صد ین ژاپن، کرون سوئد، کرون نروژ و درهم امارات[3] در مقابل ریال ایران از تاریخ ۱۳۷۱/۰۱/۰۵ تا ۱۳۸۶/۳/۰۲ در مقیاس روزانه است.

1-Divergance
2-Attractor Dimension Test
3-USD, GBP, EUR, CAD, AUSD, CHF(Latin: Confederation Helvetica Frank), JPY100, SEK, NOK, AED

Archive of SID

www.SID.ir

مقاله پس از مقدمه به بررسی دینامیک‌های اقتصادی می‌پردازد. بخش سوم به بررسی مفاهیم آشوب اختصاص می‌یابد. در بخش چهارم معیارهای شناسایی آشوب مرور می‌شوند و در بخشهای بعد به داده‌های مورد استفاده و روش تحقیق اشاره کرده و در نهایت از مباحث مذکور نتیجه‌گیری می‌شود.

۲- آشوب

نگاه سنتی به پدیده‌های اقتصادی که سعی در مدلسازی خطی داده‌ها با رویکرد فرایندهای تصادفی دارد، آشفتگی‌ها و بی‌نظمی‌های مشاهده شده در آن ها را ناشی از اثر تصادفی‌وار ورودی های متعدد و شوک‌های خارجی می‌داند. در دهه ی۱۹۶۰و۱۹۷۰ مشخص شد که بسیاری از فرایندهای به ظاهر پیچیده و تصادفی طبیعی را می‌توان با معادلات غیرخطی نه چندان پیچیده و با درجات آزادی محدود مدلسازی کرد. چنین سیستم‌های معینی که رفتاری به ظاهر تصادفی و غیرقابل پیش‌بینی از خود نشان می-دهند، مبنای معرفی نظریه ی آشوب و توسعه ی مدلسازی سری های زمانی آشوبناک هستند. در بررسی آشوب دلیل نوسانات داده‌ها مانند داده‌های قیمت نفت، مکانیزم درونی سیستم مولّد آن است و به واسطه ی شوک‌های برونزا و تصادفی به ایجاد چنین رفتارهای به ظاهر بی نظم منجر نشده است. بیشتر پدیده‌های طبیعی که رفتاری کاملاً غیرخطی دارند به خوبی در تحقیقات آشوب قابل مطالعه و بررسی‌اند. با این که اغلب این پدیده‌های اقتصاد کلان از دیدگاه اقتصاددانان دارای عوامل تأثیرگذار بی‌شماری هستند،با یک سیستم آشوبی معین با بعدِ محدود مدل سازی می‌شوند.

یکی دیگر از مشخصه‌ی مهم سیستم‌های آشوبی حساسیت آن‌ها به شرایط اولیه است. از آن‌جا که خطای پیش‌بینی در هر مرحله می‌تواند به عنوان خطا در شرایط آغازین پیش بینی در لحظات بعد فرض شود، دقت پیش‌بینی چند مرحله‌ای شدیداً تحت تأثیر خطا در مراحل قبل قرار گرفته و به سرعت افت می‌کند. خواص سیستم‌های آشوبی با دو مفهوم مهم بعد جاذب و نماهای لیاپانوف بررسی می‌شوند. این دو مفهوم به عنوان خواص تغییرناپذیر سیستم‌ها، ابزاری جهت تشخیص آشوب در سری‌های زمانی نیز می‌باشند. یک دلیل مهم برای علاقه به رفتار آشوبناک این است که این نوع رفتار می‌تواند به طور بالقوه، نوسانات بازارهای مالی و اقتصاد کلان را که به نظر تصادفی می‌باشند، شرح دهد.(مشیری ، ۱۳۸۱ : ۳۱). بنابراین در این‌جا نیاز است که حضور و

Archive of SID

www.SID.ir

وقوع آشوب آزمایش شود. اما همان‌طور که بیان شد، آن‌چه مهم است وجود یک سیستم آشوبناک با ابعاد پایین است؛ چرا که یک فرایند تصادفی، دارای ابعاد پیوسته (بالا) است، اما یک فرایند آشوبی ابعاد محدودتری دارد : یعنی دارای یک مجموعه از نقاطی است که مسیر زمانی به آن محدود می‌شود. بنابراین، می‌توان از روی محاسبه‌ی ابعاد یک سری به فرایند ایجاد کننده‌ی آن پی برد. مطابق این روش، اگر دامنه‌ی سری بالا بود، حاکی از یک فرایند تصادفی است؛ در غیر این صورت، یک فرایند آشوبی خواهد بود. بنابراین اگر سیستم از یک فرآیند آشوبناک پیروی کند، توانایی پیش‌بینی‌کوتاه مدت وجود خواهد داشت. به هرحال روش‌های پیش بینی‌خطی مرسوم، عملی و کاربردی نخواهند بود، بدین دلیل که مدل‌های خطی ممکن نیست به درستی حرکت‌های ناگهانی و نوسان‌های نامحدود در قیمت‌های سهام یا موارد مالی دیگر را تحت الشعاع قرار دهند و بایستی از مدل‌های غیرخطی استفاده شوند.

۳- مدل‌های آشوبناک

نمونه‌های بسیاری از نقشه‌های آشوبناک وجود دارند. به طور خلاصه نگاشت‌های آشوبناک از طریق یک فرمول قطعی به دست می‌آیند:

$$X_t = f(X_{t-1}, X_{t-2}, ...)$$

که $x_t \in R^n$ می‌باشد. با توجه به وجود رفتار آشوبناک، $f(X_{t-1}, X_{t-2}, ...)$ یک تابع غیرخطی است. به هر حال باید توجه داشت که غیرخطی بودن به تنهایی برای تولید رفتار بی‌نظم کافی نیست، برای مثال $f(x) = x^3$ یک نقشه غیرخطی است اما آشوبناک نمی‌باشد. سری‌های آشوبی می‌توانند به عنوان زیر مجموعه‌ای از فرایندهای غیرخطی که نتایج بسیار پیچیده و نامنظم ایجاد می‌کنند در نظر گرفته شوند. به منظور معرفی مدل‌های آشوب، در ادامه به بررسی دو مدل آشوبناک خواهیم پرداخت.

۳-۱- مدل آشوبناک لجستیک

متداول‌ترین و ساده‌ترین سیستم آشوبی که به‌نگاشت لجستیک معروف است و در بر گیرنده ی یک معادله ی تفاضلی از نوع یک متغیّره، مرتبه ی اول غیرخطی است را مورد بررسی قرار می‌دهیم. این نگاشت به صورت زیر تعریف می شود :

$$X_{n+1} = rX_n(1 - X_n) \qquad (۱)$$

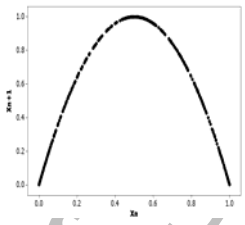
که در آن r ضریب لجستیک است. در رابطه ی فوق ضریب r باعث ایجاد اثر پروانه‌ای می شود. برای درک بهتر موضوع در شکل شماره ی یک نقشه ی لجستیک تک بعدی

Archive of SID

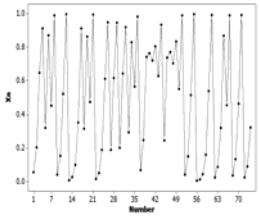
www.SID.ir

از تغییرات X_n با فرض r= 3/95 و x_0=۰/۲ نشان داده شده است که x_0 بیان کننده‌ی نقطه ی شروع است. همان طور که از شکل مشخص است تغییرات X_n کاملاً تصادفی به نظر می رسد و نمی‌توان الگویی معین برای آن در نظر گرفت. اما زمانی که ارتباط متغیّرها را در تکرارهای متوالی در یک نقشه دو بعدی مورد بررسی قرار دهیم، روند تغییرات داده‌ها دارای الگوی قطعی خواهد بود (شکل شماره ی دو). در صورتی که ارتباط متغیّرها را در تکرارهای متوالی در یک نقشه لجستیک سه بعدی در نظر بگیریم، به یک روند معیّن دیگر از تغییرات می‌رسیم (شکل شماره ی سه).(درنقشه ی دو و سه بعدی الگوی رفتاری بهتری نسبت به یک بعدی را شاهد هستیم).

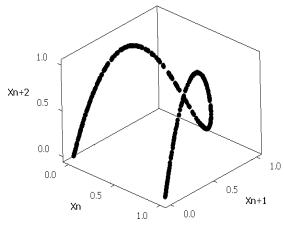
شکل شماره ی دو -نقشه لجستیک دو بعدی



شکل شماره ی یک - نقشه لجستیک تک بعدی



شکل شماره ی سه - نقشه لجستیک فضایی



منبع:یافته‌های تحقیق

همان طور که گفته شد یکی از ویژگی‌های مهم فرایندهای آشوبی، حساسیت به نقطه ی شروع یا شرایط اولیه است. در این تئوری بیان می‌شود که در تمامی پدیده‌ها، نقاطی وجود دارند که تغییری اندک در آن ها باعث تغییراتی عظیم در روند فرایند می‌شود. برای بیان روشن این موضوع بهتر است حساسیت نقشه ی لجستیک را در فضای تک بعدی برای مقادیر مختلف r مورد بررسی قرار دهیم. در نگاشت لجستیک با قرار دادن نقطه ی اولیه x_0=۰/۲ و تغییرات r، ماهیت سری زمانی به شکل‌های مختلف

Archive of SID

www.SID.ir

نمایان می‌شود. حساسیت رفتار نگاشت لجستیک بر حسب مقادیر مختلف r در جدول شماره ی یک (همان) آمده است.

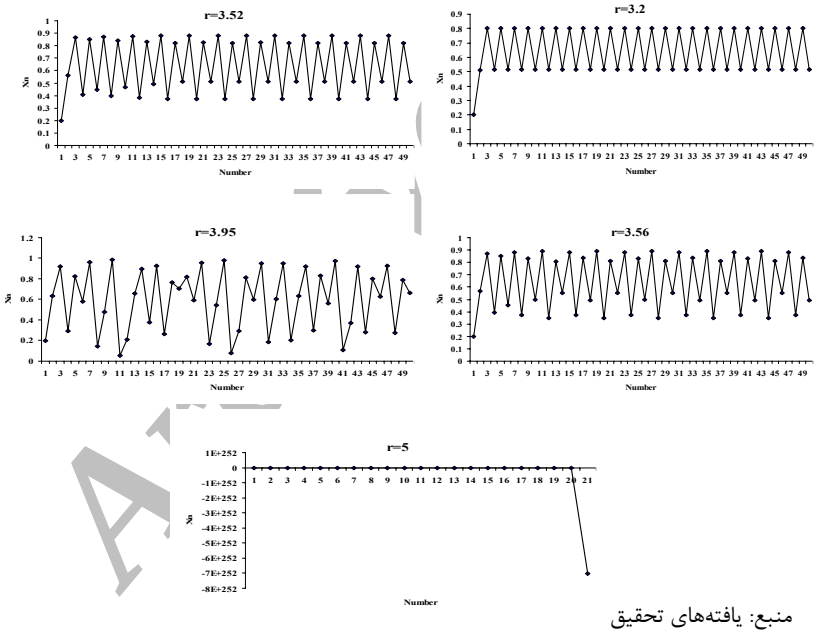
جدول شماره ی یک - ماهیت مسیرهای زمانی X به ازای مقادیر گوناگون عامل r

مقادیر r	ماهیت مسیر زمانی
$0 < r < 1$	X به سمت صفر میل می کند.
$1 < r < 3$	X به سمت $(r-1)/r$ میل می کند.
$3 \le r < 3.449$	X به یک چرخه ی دو دوره ای میل می کند.
$3.449 \le r < 3.549$	X به یک چرخه ی چهار دوره ای میل می کند.
$3.549 \le r < 3.57$	X به یک چرخه با دوره های زوج (...و۳۲و۱۶و۸) میل می کند.
$3.57 \le r \le 4$	X به نوسانات آشوبی تبدیل می شود.
$r > 4$	X به منهای بی نهایت میل می کند.

منبع: مشیری،سعید، مروری بر نظریه آشوب و کاربردهای آن در اقتصاد، ص ۳۹

برای برخی از مقادیر r از بازه های بیان شده در جدول شماره‌ی یک، نقشه لجستیک تک بعدی در شکل شماره‌ی چهار رسم شده است. همان طور که در شکل مشخص است با تغییر بسیار اندکی در مقدار r، تغییرات اساسی و شدیدی را در نتایج ایجاد می‌کند .

شکل شماره ی چهار - نقشه لجستیک تک بعدی با مقادیر مختلف r

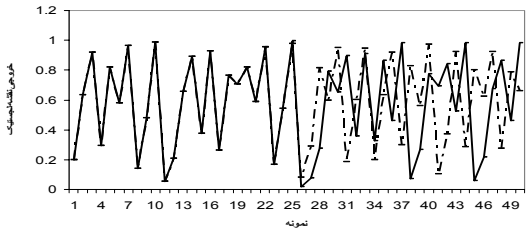


منبع: یافته‌های تحقیق

www.SID.ir

همان‌طور که به روشنی دیده می‌شود زمانی که ۴≤ r ≤۳/۵۷ نگاشت لجیستیک رفتاری به ظاهر نامنظم را نشان می‌دهد که آن را رفتار آشوبی می‌نامیم. هم چنین می‌توان در باره ی نقطه شروع اولیه این حساسیت را مورد تحلیل قرار داد. بدین جهت دو دسته ی پنجاه تایی از خروجی نقشه ی فوق در شکل شماره ی پنج تصویر شده است. دسته ی اول پنجاه نمونه ی خروجی نقشه ی لجستیک بدون هیچ تغییری است. اما در دسته ی دوم خروجی نمونه ی ۲۵ را به میزان یک درصد افزایش می‌دهیم. تغییرات حاصل شده بین روند دسته ی اول و دوم، حساسیت به شرایط اولیه را نشان می‌دهد.(با استفاده از نرم‌افزار Excel)

شکل پنج



منبع:یافته‌های تحقیق

۳-۲- مدل آشوبناک هِنون

یکی دیگر از نقشه‌های آشوبناک مدل هِنون است. این مدل دو متغیّره، غیرخطی و از مرتبه ی دوم می‌باشد. روابط این مدل به شرح زیر است:

$$X_{n+1} = 1 - a X_n^2 + Y_n \quad , \quad Y_{n+1} = b X_n$$

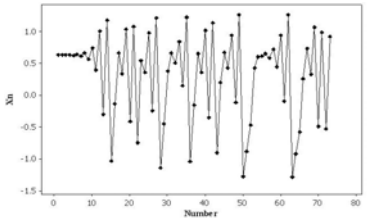
که در ناحیه $a = 1.4, b = 0.3$ ، آشوبناک است. شرایط اولیه ی سیستم $X_0 = 0.18, X_1 = 0.63$ [1] است. در شکل‌های شماره ی شش و هفت ارتباط متغیّرها در فضای یک بعدی و دو بعدی به نمایش گذاشته شده است.

1-P. Grassberger and I. Procaccia (1983)

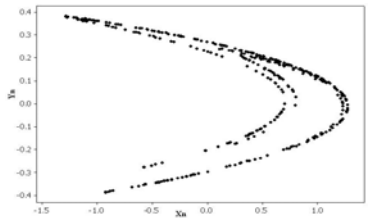
Archive of SID

www.SID.ir

شکل شماره ی شش- نقشه هِنون تک بعدی



شکل شماره ی هفت - نقشه هِنون دو بعدی



۴- آزمون های آشوب

به طور کلی، دو دیدگاه برای ارزیابی وضعیت سری‌های زمانی پیچیده مطرح شده است. در دیدگاه اول، به بررسی این مسأله پرداخته می‌شود که آیا سری زمانی مورد نظر به وسیله یک فرایند معین یا تصادفی ایجاد شده است ؟ در دیدگاه دوم، سعی بر این است که تشخیص داده شود آیا سری زمانی حاکی از یک رفتار آشوبی یا غیر آشوبی است ؟ روش‌هایی که در دیدگاه اول به کار گرفته می‌شوند، متکی بر تجزیه و تحلیل بُعد همبستگی سیستم هستند. روش‌های مربوط به دیدگاه دوم، عمدتاً شامل تحلیل بزرگ ترین نمای لیاپانوف می‌باشند که در زیر به طور مختصر به آن پرداخته می‌شود:

۴-۱-نماهای لیاپانوف[1]

مفهوم نمای لیاپانوف[1] قبل از ظهور نظریه ی آشوب برای مشخص کردن پایداری سیستم های خطی یا غیرخطی به‌کار می‌رفت. نماهای لیاپانوف به عنوان لگاریتم قدر-مطلق مقادیر ویژه ی دینامیک خطی شده سیستم روی جاذب تعریف می‌شوند و برای سیستم های پیوسته و گسسته قابل محاسبه‌اند. یک نمای لیاپانوف منفی به مفهوم آهنگ همگرایی (پایداری) و یک نمای لیاپانوف مثبت به معنی آهنگ واگرایی (ناپایداری) است. تا زمان معرفی نظریه ی آشوب، مجموعه طیف نماهای لیاپانوف به عنوان سنجشی از اثر شرایط اولیه روی یک سیستم دینامیکی آشفته به کار می‌رفت. نظریه ی آشوب بدون ایجاد تضادی در تعاریف، فقط بیان می‌کند که مقادیر مثبت و منفی نماهای لیاپانوف می‌توانند توأماً در یک سیستم طبیعی آشوبی وجود داشته باشند. بر اساس تعریف، نماهای لیاپانوف مستقل از شرایط اولیه‌اند و به عنوان خواص تغییرناپذیر مسیر جاذب بسیار مفید می‌باشند. آن ها بیان کننده‌ی مقدار پیچیدگی

1-Lyapunov Exponent Test

Archive of SID

www.SID.ir

دینامیک هستند و بزرگ ترین مقدار مثبت‌شان در یک سیستم آشوبی حدّ بالای پیش بینی را نشان می‌دهد. برای بررسی پیش بینی‌پذیری سری‌های زمانی بازارهای مالی به مشخصه ی اصلی این سری‌ها یعنی میزان آشوبناک بودن این سری‌ها توجه می‌شود که بر اساس ضرایب لیاپانوف می‌سنجند. این میزان بیان می‌کند که با تغییر شرایط اولیه یا عوامل مدل، سری تولید شده چه میزان با سری اصلی اختلاف دارد. فرض کنید یک مدل متغیّر با زمان به طور دقیق رفتار یک سیستم طبیعی را مدل کرده باشد. این مدل قطعی متغیّر با زمان ممکن است حاصل معادله ی دیفرانسیل $\overset{o}{x}(t) = X(x(t))$ باشد و یا در حالت گسسته پاسخ معادله $x(t+1) = f(x(t))$ باشد، که f در این حالت مشتق‌پذیر در نظر گرفته می‌شود. واضح است که با دانستن اطلاعات مربوط به متغیّر زمانی گسسته و شرایط اولیه، یک پیش بینی نامحدود میّسر خواهد بود. اما شرایط اولیه با یک خطای $\Delta x(0)$ غیردقیق مشخص می‌شود و مقدار خطای منتج از خطای شرایط اولیه در زمان t یعنی $Dx(t)$ دارای رفتاری به صورت تابع $e^{\lambda t}\Delta x(0)$ خواهد بود (Δ نشان دهنده ی مقدار خطای شرایط اولیه و D نشان دهنده ی خطای معادله در دوره ی t که ناشی از خطای شرایط اولیه به وجود آمده است، می‌باشد.) که در آن λ به عنوان نمای لیاپانوف شناخته می شود. حال اگر λ بزرگ تر از صفر باشد می گوییم سیستم آشوبناک است و پیش بینی پذیری آن آشکارا به زمان اندک λ^{-1} محدود می شود. و با افزایش این ضریب میزان خطا در پیش بینی مقادیر آینده به صورت نمایی افزایش می‌یابد. به بیان دیگر این ضریب نشان‌دهنده ی میزان آشوبناک بودن یک سری است. مقادیر بالای این ضریب نشان‌دهنده ی حساسیت بالای سری به مقادیر اولیه است. اگر تفاوت مقادیر اولیه مقداری معین باشد، تفاوت مقدار سری بعد از تعداد مشخصی مرحله، برابر تابعی نمایی از این تعداد است. حال روش‌های متعددی برای محاسبه نماهای لیاپانوف وجود دارد که از آن جمله می‌توان به روش ماتریس ژاکوبی سیستم اشاره کرد. در این بخش نحوه ی محاسبه نمای لیاپانوف در فضاهای چند بعدی را شرح می‌دهیم. برای محاسبه ی نمای لیاپانوف از بردارهای m جزیی معادله

$$X_i = [x(t_i),\quad x(t_i+1)\quad \cdots\quad x(t_i+m)] \qquad (۱)$$

استفاده می‌شود. از روی بردارهای با فاصله ی کمتر از r به شکل:

$$r_0(m;i,j) = \left\| X_i^m - X_j^m \right\| \le r \qquad (۲)$$

Archive of SID

www.SID.ir

عبارت زیر محاسبه می‌شود:

$$d_n(m;i,j)=\frac{\left\|X^{m}_{i+n}-X^{m}_{j+n}\right\|}{r_0(m;i,j)} \qquad (۳)$$

سپس بزرگ ترین نمای لیاپانوف محاسبه می‌شود:

$$L_e(m,n)=\sum_{i\neq j}\frac{\log\left[d_n(m;i,j)\right]}{N(N-1)} \qquad (۴)$$

علامت L_e بیان کننده‌ی ماهیت سری زمانی مورد مطالعه است. مقدار مثبت L_e نشان دهنده ی آشوبی بودن فرایند و مشکل بودن پیش‌بینی و منفی بودن آن نشان دهنده ی غیرآشوبی بودن و قابل پیش‌بینی بودن فرایند در دراز مدت است. اگر L_e مقدار مثبت نزدیک صفر اختیار کند سیستم آشوب گونه ضعیف است و پیش‌بینی میان مدت امکان‌پذیر است.

۴-۲-آزمون بعد جاذب[1]

این آزمون[2] (درک : مشیری، ۱۳۸۱ :۵۴) متکی بر یکی از خصوصیات ویژه ی فرایند تصادفی در مقایسه با فرایند آشوبی است. یک فرایند تصادفی دارای ابعاد پیوسته (بی نهایت) است. اما یک فرایند آشوبی ابعاد محدودتری دارد. یعنی دارای یک مجموعه از نقاطی است که مسیر زمانی به آن محدود می‌شود. بنابراین می‌توان از روی محاسبه ی ابعاد یک سری به فرایند ایجاد کننده ی آن پی برد. مطابق این روش اگر دامنه ی سری بالا(به طور معمول بزرگ تر از ۱۰) بود، حاکی از یک فرایند تصادفی است، در غیر این صورت این فرایند آشوبی خواهد بود.

بُعد به عنوان حد پایین تعداد متغیّرهای مستقل لازم برای توصیف مدل جاذب تعیین می‌شود. جاذب مفهوم توسعه یافته کلیه ی مسیرهای تعادلی در فضای حالت است، مانند نقاط تعادل و چرخه‌های حدی در سیستم های پایدار که بعد صحیح دارند. در مقابل، جاذب سیستم های آشوبی دارای بعد فرکتالی[2] (غیرصحیح) است و جاذب عجیب[3] نامیده می‌شود. جاذب عجیب یک ساختار هندسی فرکتالی است که با حالت های مجانبی سیستم آشوبی مشخص می‌شود. فرکتال ها اجسام ریاضی هم شکل در مقیاس‌های مختلف هستند. در جاذب عجیب، مسیر حالت جاذب غیرخطی را به

1-Attractor Dimension Test
2-Fractal Dimension
3-Strange Attractor

Archive of SID

www.SID.ir

صورت چگالی می‌پوشاند و هر نقطه را در فاصله ی ε از مسیر گذشته ملاقات می‌کند و هرگز مسیرها تکرار نمی‌شوند. این خاصیت باعث بروز رفتاری پیچیده، به ظاهر تصادفی ولی معیّن می شود. خطا درتخمین هر نقطه جاذب می‌تواند سیستم پیش‌بینی را به مسیر دیگری هدایت کند و پیش‌بینی را در مراحل بعد غیرممکن سازد. بعد جاذب با استفاده از متغیّری به نام انتگرال همبستگی که از سوی پرکاسیا و کراس برگر[1] در سال ۱۹۸۳معرفی شد، به صورت زیر محاسبه می‌شود.

فرض کنیم x_t یک سری زمانی از مشاهدات باشد ($t=1,2,...,T$) و در فضای m بعدی تعریف شود یعنی $x_t^M=\{x_t, x_{t-1},..., x_{t+M-1}\}$ اگر سیستم واقعی n بعدی باشد و $m \geq 2n+1$، آن‌گاه این نقاط m بعدی می‌توانند پویایی‌هایی را ایجاد کنند که سیستم تحت بررسی ایجاد کرده‌است. همبستگی فضایی بین این مجموعه‌های m بعدی با حساب کردن انتگرال همبستگی(گراسبرگر و پروکاشیا،۱۹۸۳) به دست می‌آید. این انتگرال به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$C^M(\varepsilon)=\lim_{T\longrightarrow\infty}\{the\ \ number\ \ of\ \ (i,j)\ \ for\ \ which\ \ \left|x_i^M-x_j^M\right|\leq\varepsilon\}/T^2$$

که $|.|$ فاصله‌ی اقلیدسی است. برای εهای کوچک $C^M(\varepsilon)=\varepsilon^D$، که D بعدسیستم است. بنابراین بعد همبستگی به صورت زیر در می‌آید:

$$D^M=\lim_{\varepsilon\longrightarrow 0}\lim_{T\longrightarrow 0}\{\ln C^M(\varepsilon)/\ln\varepsilon\}$$

$$D=\lim_{M\longrightarrow 0}\ln D^M$$

اگر D^M هم چنان که M زیاد می‌شود پایدار بماند، آنگاه D بعد همبستگی است و اگر D^M با افزایش Mزیاد شود، سیستم تصادفی می‌شود. حال اگر مقدار D^M به دست آمده مقدار کم و ثابتی داشته باشد(کمتر از ده)، این نشان می‌دهد که سیستم تصادفی نیست. به طور کلی این روش برای تعیین اندازه همبستگی توسط محققان در مسائل بسیاری به کار برده شده است. به هر حال بعد نهایی منتج، معیار خوبی برای میزان حافظه ی بازار در یادآوری دوره های زمانی داده های مالی و اقتصادی است.

1-Grassberger & Procaccia

Archive of SID

www.SID.ir

۵- روش تحقیق و داده ها

غالب آزمون‌های مربوط به کشف فرایند آشوبی در یک سری زمانی نیاز به داده‌های فراوان دارند. داده‌های مورد استفاده در این تحقیق داده‌های مربوط به بازار ارز است که این اطلاعات به صورت روزانه در دسترس می‌باشد. داده‌های مورد استفاده در این مقاله به دو بخش داده‌های مصنوعی و تجربی[۱] تقسیم می‌شود.

داده‌های مصنوعی داده‌های آشوبناک تولید شده با سیستم‌های قطعی هستند که معادلات قطعی آن‌ها در بخش‌های قبل توضیح داده شد. از معروف‌ترین نقشه‌های آشوبناک می توان به نقشه‌ی لجستیک[۲] و نقشه‌ی هنون[۳] اشاره کرد. تعداد داده‌های مورد استفاده در هر سیستم برای یافتن نماهای لیاپانوف ۴۵۳۷ مشاهده است. داده‌های تجربی داده‌های نرخ برابری دلار آمریکا (USD) مقابل ریال ایران و هم چنین پوند انگلستان (GBP)، یورو (EUR)، دلارهای کانادا (CAD) و استرالیا (AUD)، فرانک سوئیس (CHF)، صد ین ژاپن (JPY100)، کرون سوئد (SEK)، کرون نروژ (NOK) و درهم امارات (AED) در مقابل ریال ایران از تاریخ ۱۳۷۱/۰۱/۰۵ تا ۱۳۸۶/۳/۰۲ تعریف شده است. برای تست آزمون نمای لیاپانوف و بعد همبستگی از نرم‌افزار L1D2 استفاده می‌شود. برای این کار به محیط Command Prompt می رویم و در آن جا نشانی داده‌ها و هم چنین کدهای از پیش تعیین شده از سوی طراحان برنامه(M.T. Rosenstein و همکاران) در این قسمت می نویسیم و سپس برنامه را اجرا می کنیم، که خروجی برنامه از دو قسمت تشکیل شده و به صورت Excel است، قسمت اول نشان دهنده‌ی نمای لیاپانوف است که هرستون از نمای لیاپانوف نمایان کننده‌ی یک بعد است و تمام عددهای به دست آمده در آن ستون نمای لیاپانوف هستند که بزرگ‌ترین عدد به دست آمده در هر ستون نشان دهنده‌ی حداکثر نمای لیاپانوف است. قسمت دوم بعد جاذب است که آخرین عدد به دست آمده در هر ستون نشان دهنده‌ی بعد سیستم است[۳]. نتایج نهایی در جداول زیر آورده شده است.

الف: محاسبه‌ی حداکثر نماهای لیاپانوف در ده بعد

1-Artificial & Emperical
2-Logestic Map
3-Henon Map

Archive of SID

www.SID.ir

جدول شماره‌ی دو - محاسبه ماکزیمم نماهای لیاپانوف در بعد یک تا ده

نگاشت لجستیک $x_{n+1} = rx_n(1-x_n)$ $x_0=0.2$, $r=3.95$

	D=1	D=2	D=3	D=4	D=5	D=6	D=7	D=8	D=9	D=10
Max	0.6952	0.5344	0.4554	0.2084	0.1126	0.0575	0.0309	0.0211	0.0125	0.0115

نگاشت هنون $xn+1 = 1- axn2 + bxn$ $x0=0.1$, $a=1.4$, $b=0.3$

	D=1	D=2	D=3	D=4	D=5	D=6	D=7	D=8	D=9	D=10
Max	4.9327	0.3093	0.2539	0.1796	0.0931	0.0537	0.0315	0.0207	0.0143	0.0088

	D=1	D=2	D=3	D=4	D=5	D=6	D=7	D=8	D=9	D=10
USD	1.4875	9.6711	0.0708	0.1058	0.0153	0.0152	0.0146	0.0149	0.0147	0.0133
GBP	11.9021	0.8544	0.1727	0.0733	0.0372	0.0238	0.0146	0.0086	0.0052	0.0037
EUR	9.8416	0.7296	0.1380	0.0539	0.0283	0.0168	0.0103	0.0083	0.0058	0.0044
CAD	11.6694	1.62527	0.1900	0.0760	0.0390	0.0287	0.0147	0.0107	0.0092	0.0072
AUD	12.2371	1.0847	0.1656	0.0697	0.0372	0.0208	0.0125	0.0098	0.0066	0.0055
CHF	12.6306	0.8661	0.1608	0.0767	0.0385	0.0242	0.0154	0.0137	0.0112	0.0104
JPY	12.3559	0.7480	0.1738	0.0698	0.0422	0.0231	0.0178	0.0145	0.0122	0.0081
SEK	11.7691	2.98068	0.3199	0.0703	0.0389	0.0220	0.0150	0.0098	0.0082	0.0073
NOK	12.4670	2.9625	0.3802	0.0905	0.0400	0.0250	0.0160	0.0116	0.0099	0.0090
AED	6.15663	9.3964	0.3770	0.1882	0.2115	0.0972	0.1037	0.0379	0.0314	0.0240

ب: محاسبه بعد جاذب

جدول شماره‌ی سه - محاسبه بعد جاذب

AED	AUD	JPY100	NOK	GBP	EUR	CHF	CAD	SEK	USD	LOG	HENON
7.04	9.2	8.12	7.28	9.84	9.56	8.84	9.28	7.36	8.3	0.44	1.04

Archive of SID

www.SID.ir

۶- نتایج در مورد یافته ها

یافته های جدول شماره ی دو نشان می‌دهد که نتایج اعمال روش، اولاً شباهت مقادیر بزرگ ترین نما در هر بعد در سری‌های مورد مطالعه تجربی و مصنوعی را گزارش می‌دهد که حاکی از وجود درجه ای از قطعیت در داده‌های تجربی است. ثانیاً مشاهده می‌شود که جز دلار آمریکا و درهم امارات در دیگر نرخ های برابری افزایش بعد محاط سازی (D) به کوچک تر شدن بزرگ ترین نمای لیاپانوف(Max) می‌انجامد که این امر به منزله ی حساس تر بودن دینامیک نرخ ارز دلار و درهم نسبت به سایر ارزها ست .

همان طور که در جدول شماره ی سه مشاهده می‌شود بعد جاذب برای دو نگاشت لجستیک و هنون(۰,۴۴ و۱,۰۴) نزدیک به صفر است که نشان از غیر تصادفی بودن این مدل‌ها است و قطعیت مدل و پیش‌بینی پذیری بودن آن‌ها برقرار است. بعد جاذب به دست آمده برای کشورها نشان از پیچیدگی نه چندان زیاد دینامیک سیستم است و می‌توان پیش‌بینی کوتاه مدت را مورد بررسی قرار داد .

۷- نتیجه گیری

یک دلیل مهم برای بررسی رفتار آشوبناک در این جا این بود که این نوع رفتار توانست به طور بالقوه، نوسانات بازارهای مالی و اقتصاد کلان را که به نظر تصادفی می‌آمدند، شرح دهد. برآورد بعد جاذب و بزرگ‌ترین نمای لیاپانوف تنها یک شاخص برای آشوب نبود، بلکه اطلاعاتی مانند سطح پیچیدگی سیستم تحت بررسی را نتیجه می‌داد که اعتبار این اطلاعات به کمیت و کیفیت داده‌ها حساس بود. در این تحقیق نماهای لیاپانوف در ابعاد مختلف مثبت بوده و این امر بیان کننده‌ی آشوبی بودن این سری هاست. با استفاده از این بررسی شباهت سری‌های زمانی برابری نرخ ارز در بازارهای مالی با سری‌های زمانی آشوبناک و ظاهراً تصادفی بودن آن ها، وجود نوعی دینامیک غیرخطی آشوبناک قابل کشف در این سری‌ها را ممکن ساخت؛ بنابراین با مطالعه‌ی بیشتر این روندها می توان به تعداد و چگونگی عوامل تأثیر گذار بیشتر نرخ ارز پی برد. از نتایج به دست آمده در این تحقیق می‌توان چنین جمع‌بندی کرد که علیرغم توسعه ی روش های گوناگون، در تحقیقات اقتصاد سنجی و روش های

Archive of SID

www.SID.ir

محاسباتی به منظورکشف فرایند آشوبی هنوز نمی‌توان با قطعیت کامل ادعا کرد که این روش‌ها به خوبی قادر به تمایز یک فرایند خطی با اختلالات تصادفی از یک فرایند غیرخطی معیّن (آشوب) باشند؛ اما با این حال به طور کلی می‌توان گفت که با توجه به وجود فرایند آشوبی در بازار نرخ ارز، اعمال روش استاندارد و متداول در اقتصاد سنجی یعنی به کارگیری مدل‌های خطی در برآورد و پیش‌بینی این سری‌ها ناکافی است و برای پیش‌بینی باید از مدل های غیرخطی استفاده شود. نهایتاً با توجه به موارد بالا می‌توان با استفاده از بررسی آشوب، تغییرات نرخ ارز را بهتر از گذشته مورد بررسی قرار داد، و در سطح کلان تصمیم‌گیری‌های منطقی‌تری گرفت .

یادداشت ها :

۱- برای توضیحات بیشتر مراجعه شود به مقاله معینی، ابریشمی"به کارگیری نمای لیاپانوف برای مدلسازی سری زمانی قیمت نفت"، مجله تحقیقات اقتصادی، شماره۷۶،ص۷۷-۱۰۰. توضیحات کاملتر به کتاب "آشوب برای مهندسان" نوشته توماس ترجمه انصاری‌نو و اسعدی‌کردشولی،چاپ و نشر آرویج ص ۳۳ مراجعه نمایند.

۲- برای توضیحات بیشتر رجوع شود به مشیری،سعید"مروری بر نظریه ی آشوب و کاربردهای آن در اقتصاد" (۱۳۸۱)، ص۵۴

۳- شیوه‌ی به بدست آوردن کدها و نتیجه گیری از خروجی برنامه در قسمت help نرم‌افزار آورده شده است.

Archive of SID

www.SID.ir

منابع و مآخذ :

1. Baumol, J., William, and Jess Benhabib(1989)« Chaos: Significance,Mechanism,andEconomic pplications»,***Journal of Economic Perspective***. Vol 3, 1, P 77-105.
2. Barnett WA, Chen P.(1988) ***The aggregation-theoretic monetary aggregates are chaotic and have strange attractors: an econometric application of mathematical chaos***,Dynamic econometric modeling. Cambridge University Press.
3. Dechert, W.D., R. Gencay(1992)« Lyapunov Exponents as Nonparametric Diagnostic for Stability Analysis», ***Journal of Applied Econometrics***, Vol 7: S41-S7.
4. Engle, R(1982) « Autoregressive Conditional Heteroscedasticity with Estimates of The Variance of U. K. Inflations», Econometrica 50, 987-1007.
5. ***Foreign Exchange Rate form Central Bank of the Islamic Republic of Iran.*** **http://www.cbi.ir**
6. Grassberger, P. and I. Procaccia(1983) «Measuring the Strangeness of Strange Attractors», ***Physica***, 9D, 189–208.
7. Khalouzadeh, H., Khaki Sedigh, A(2002) «Evaluation of Forecasting Methods in Stock Price and Determination of Forecast ability in Tehran Stock Market»,***Journal of Quarterly Modares***, Vol 7, PP 61-87(in persian).

Archive of SID

www.SID.ir

8. Khataie, M«Increasing or Decreasing of Iranian Foreign Exchange Rate, A Problematic Issue », ***Journal of Quarterly Economic Research,*** Vol 1, No.3(in persian).
9. Lorenz, Hans-Walter(1989)«Nonlinear Dynamical Economics and Chaotic Motion» ,New York: Springer-Verlag.
10. Linton, O., Shintani, M.(2003). ***Is there chaos in the world economy? A nonparametric test using consistent standard errors***, International Economic Review 44, 331–358.
11. Moshiri, S(2001) «Study of Chaos and Its Application in Economics», ***Journal of Quarterly Iranian Economic Research***, Vol 12, PP 29-68(in persian).
12. Moshiri, S., Morrovat, H(2004)«Investigation into Existence of Chaotic Behavior in Tehran Stock Market», ***Journal of Quarterly Iranian Economic Research***, Vol 25, PP 47-64 (in persian).
13. Medio, A(1992)«Chaotic Dynamics: Theory and Application to Economics », ***Great Britian:Cambridge***.
14. Marites A. Khanser, DBA. (…). «The Application of Chaos Theory in the Philippine Foreign Exchange Market» ***Working Paper Davao University***.
15. Persaran,Hashem M.,Simon(Dec 1992)«Nonlinear Dynamics and Econometrics:An Introduction», ***Journal of Applied Econometrics***, Vol 7 Supplement.:S1-S7.

Archive of SID

www.SID.ir

16. Rostow, W.W(1993)« Nonlinear Dynamics and Economics: A Historian's Perspective Nonlinear Dynamics and Evolutionary Economics». ***Ed. Richard H. Day***, Ping Chen. Oxford: Oxford. 14-17.
17. Siklos, Pier L(2003)«Money and Banking and Financial Institutions: Canada in the Global Environment», 4th ed. Toronto: McGraw-Hill.
18. Salami, A.B(2002) «A Test for Chaotic Trend in Returns of Tehran Stock Market», ***Quarterly Iranian Economic Research***, (In Persian).
19. Stutzer, M.J.(1980) ***Chaotic dynamics and bifurcation in a macro-model. J. Econ***. Dynam. Control 2, 253_276.
20. Scarlat, E.I. Stan, Cristina et al. (2007)«Chaotic features in Romanian transition economy as reflected onto the currency exchange rate», ***Chaos***, Solitons and Fractals 33 .396-404.
21. Sayers, C. (1986) ***Workstoppages: Exploring the Nonlinear Dynamics***, mimeo. University of Wisconsin-Medison.
22. *Shafer.w* and Day, Richard H(1983) «The *ISLM* Cases in Three Econometric Models», ***Chapter 4 in ... Journal of Economic Be havior and Organization***, 4:2-3, 131-162.
23. Torkamani M.A., Askari J., Lucas C(2006)« Estimating strange attractor's dimension in very noisy data, application to FOREX time series», ***IEEE Conference on Information and Communication***.

Archive of SID

www.SID.ir