

De-noising and Prediction of Time Series Based on the Wavelet Algorithm and Chaos Theory (Case Study: SPI Drought Monitoring Index of Tabriz City)

Y. Hassanzadeh^{1*}, M.A. Lotfollahi-Yaghin¹,
S. Shahverdi², S. Farzin³ and N. Farzin⁴

Abstract

Natural phenomena usually seem irregular at the first glance, however, with changing the scale and the noise they can become regular and therefore it is possible to predict their behaviors. This idea is the main base of the Chaos Theory that deals with studying of unstable and non-periodic behavior of nonlinear and swinging dynamic systems. The time series of drought, as a major natural disaster, has a dynamic nature. and therefore the Chaos Thero can play a significant role in capturing the detailed changes. Refinement of the indicators, standardized precipitation index (SPI) is now widely used in the world. The obtained SPI data are noisy, and therefore the predictions made based on this data are not very accurate. Wavelet algorithm is able to describe a signal in time and frequency domain and also analyze a signal locally. Hence in this study, it is used in order to de-noise time series of SPI of Tabriz city for the past 40 years. The nature of the chaotic time series was evaluated using the Lyapunov exponent and correlation dimension parameters. The results indicated a very chaotic time series behavior for the studied data. The behavior of the system is non-random, and then the time series are not portion of the stochastic and the noise process. To predict the SPI values by the Chaos Theory, the algorithm of the false nearest neighbors is used. Validation of the results indicated the high accuracy of the predictions of the Chaos Theory. According to the proposed method the severity of the droughts and the SPI of the Tabriz city are predicted for the next 3 years.

Keywords: De-noising, Prediction, Chaos Theory, Wavelet, Tabriz SPI Time Series.

Received: November 28, 2011

Accepted: October 16, 2012

نویززدایی و پیش‌بینی سری زمانی بر پایه الگوریتم موجک و نظریه آشوب (مطالعه موردی: شاخص پایش خشکسالی SPI شهر تبریز)

یوسف حسن‌زاده^{۱*}، محمد علی لطف‌اللهی یقین^۱،
سجاد شاهوردی^۲، سعید فرزین^۳ و نیما فرزین^۴

چکیده

عملکرد پدیده‌های طبیعی در نگاه اول معمولاً تصادفی به نظر می‌رسد، لیکن با تغییر مقیاس و حذف نویز می‌توانند به نوعی نظم دست یابند و امکان پیش‌بینی آن‌ها در آینده فراهم گردد. این ایده پایه اصلی نظریه آشوب (Chaos¹) می‌باشد که به مطالعه رفتار ناپایدار و غیر پریودیک در سیستم‌های دینامیکی غیرخطی نوسانی می‌پردازد. خشکسالی از مهم‌ترین بلاای طبیعی است و طراحی سیستم‌های پایش آن به منظور مدیریت بهتر منابع آب از اهمیت بسزایی برخوردار می‌باشد. از میان شاخص‌های پالایش، شاخص بارندگی استاندارد (SPI²) در حال حاضر در دنیا به طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرد. از آنجا که سری زمانی این شاخص ماهیت دینامیکی دارد، نظریه آشوب می‌تواند نقش بی‌نظیری را در کسب اطلاعات از این تغییرات ایفا کند. اما داده‌های SPI دارای نویز می‌باشند که باعث می‌شود پیش‌بینی داده‌ها خیلی دقیق نباشد. از آنجا که الگوریتم موجک (wavelet³) قادر به بیان سیگنال در محدوده زمان و فرکانس و همچنین تحلیل موضعی سیگنال می‌باشد، در این تحقیق به منظور نویززدایی SPI شهر تبریز در طول ۴۰ سال دوره آماری اخیر، استفاده شده است. سپس ماهیت آشوبناکی سری زمانی حاصل با استفاده از شاخص‌های بعد همبستگی و نمای لیاپانوف مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشانگر رفتار کاملاً آشوبناک سری زمانی تحت بررسی می‌باشد. بنابراین رفتار سیستم غیرتصادفی است و به عبارتی جزو فرآیندهای استوکاستیکی و نویزدار مطرح نمی‌شود. جهت پیش‌بینی مقادیر SPI توسط نظریه آشوب، از الگوریتم نزدیک‌ترین همسایگی کاذب استفاده گردیده است. نتایج صحت سنجی حاکی از دقت بالای پیش‌بینی نظریه آشوب بوده و براین اساس میزان SPI و شدت خشکسالی شهر تبریز برای ۳ سال آینده پیش‌بینی شده است.

کلمات کلیدی: نویززدایی، پیش‌بینی، نظریه آشوب، موجک، سری زمانی SPI تبریز.

تاریخ دریافت مقاله: ۷ آذر ۱۳۹۰

تاریخ پذیرش مقاله: ۲۵ مهر ۱۳۹۱

1- Professor, Faculty of Civil Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran, E-mail: Yhassanzadeh@tabrizu.ac.ir

2- M.Sc of Marine Structure Engineering, Faculty of Civil Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran

3- PhD Student, Water Engineering, Faculty of Civil Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran

4- M.Sc student, Electronic Engineering, Faculty of Electronic and Computer Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran

*- Corresponding Author

۱- استاد دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

۲- کارشناس ارشد سازه‌های دریایی، دانشکده عمران، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

۳- دانشجوی دکتری مهندسی آب، دانشکده عمران، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

۴- دانشجوی کارشناس ارشد مهندسی برق، دانشکده برق و کامپیوتر، دانشگاه تهران،

تهران، ایران

*- نویسنده مسئول

۱- مقدمه

۱-۱- شاخص بارش استاندارد (SPI)

خشکسالی از مهمترین بلاای طبیعی است که با وقوع آرام و تدریجی‌اش هر اقلیمی را تحت تاثیر قرار می‌دهد و بر ابعاد مختلف زندگی بشر تاثیر می‌گذارد. در سال‌های اخیر با توجه به اینکه خشکسالی پدیده‌ای جهانی گردیده و منجر به خسارات عمده اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی می‌شود، مطالعات در زمینه شناخت خشکسالی به منظور مدیریت بهتر منابع آب در تمام جهان افزایش یافته است. در راستای تدوین طرح‌های مقابله با خشکسالی، از ضروری‌ترین ابزار، طراحی سیستم‌های پایش خشکسالی می‌باشد که اطلاعات استخراج شده از آن‌ها تعیین کننده نوع عملیات مقابله با خشکسالی و زمان شروع آن می‌باشد (Wilhite, 1993). چنین سیستم‌هایی با استفاده از شاخص‌های خشکسالی طراحی می‌گردند و هدف آن‌ها ارائه یک ارزیابی ساده و کمی از ویژگی‌های خشکسالی می‌باشد.

محققین علوم آب و هواشناسی به منظور تحلیل و پایش خشکسالی، شاخص‌های متعددی را ارائه کرده‌اند. از میان شاخص‌های موجود جهت پایش خشکسالی، شاخص بارندگی استاندارد شده (SPI) در حال حاضر در دنیا به طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرد. این شاخص در سال ۱۹۹۳ توسط (McKee et al., 1993) ارائه شده است. شاخص بارندگی استاندارد شده یکی از روش‌های تقریباً جدید در زمینه پایش و ارزیابی خشکسالی‌ها بوده و موارد استفاده متعدد آن در کشورهای مختلف دیده می‌شود. (Hayes et al., 1999) به بررسی خشکسالی ایالت کلرادو آمریکا پرداختند و اثبات کردند که شاخص SPI قادر به تشخیص زمان شروع خشکسالی و پیشرفت آن می‌باشد. (Guttman, 1998) نشان داد که شاخص SPI بر خلاف دیگر شاخص‌ها، از منطقه‌ای به منطقه دیگر تغییر نمی‌کند. (Dupigny-Giroux, 1999) از بین شاخص‌های تجزیه و تحلیل خشکسالی، شاخص SPI را برای مطالعه در مقیاس مکانی کوچک (در حد استان و شهر) به عنوان بهترین روش معرفی نمود.

(Hayes and Center, 2002) نشان داد که شاخص SPI خشکسالی مناطق را حداقل یک ماه زودتر از دیگر شاخص‌ها نشان می‌دهد. وی این شاخص را به عنوان یک شاخص مناسب برای هشدار سریع خشکسالی معرفی نمود. (Dupigny-Giroux, 2001) برای بررسی اثرات خشکسالی در سال ۱۹۹۸-۱۹۹۹ در منطقه vement از بین نمایه‌های تجزیه و تحلیل خشکسالی، نمایه SPI را برای مطالعه در بازه‌های زمانی کوچک تا متوسط به عنوان بهترین

روش برای اندازه‌گیری خشکسالی معرفی کرد و نشان داد که در مقیاس یک ماهه، نمایه بارش استاندارد بهتر از دیگر نمایه‌ها در ثبت شروع شرایط خشکسالی عمل می‌کند.

(Loukas et al., 2003) نشان دادند که شاخص بارندگی استاندارد قادر به محاسبه خشکسالی‌ها و ترسالی‌های حدی می‌باشد. Serrano و همکاران الگوهای خشکسالی در منطقه‌ای از اسپانیا در سال‌های ۱۹۵۱-۲۰۰۰ با استفاده از سری زمانی بارندگی ماهانه و شاخص بارندگی اصلاح شده مطالعه کردند (Vicente Serrano et al., 2004). در ایران نیز با توجه به شرایط خاص اقلیمی کشور که خشکی و پراکنش نامناسب زمانی و مکانی بارندگی واقعیت گریز ناپذیر آن است، خشکسالی به کرات اتفاق افتاده و باعث کمبود آب در بخش‌های مختلف مصرف می‌گردد. از طرف دیگر افزایش روز افزون جمعیت و در پی آن افزایش تقاضای آب و مواد غذایی، موجب افزایش صدمات ناشی از خشکسالی گردیده است (فرزین و همکاران، ۱۳۹۰).

جهانبخش اصل و همکاران، (۱۳۸۱) در مطالعه‌ای ویژگی‌های زمانی- مکانی دوره‌های مرطوب و خشک ایستگاه‌های آذربایجان شرقی را با استفاده از روش SPI در مقیاس زمانی یک ماهه و سه ماهه مورد تجزیه و تحلیل قرار داده‌اند.

فرزین و همکاران، (۱۳۸۷)، خشکسالی در دشت وسیع داراب در استان فارس را با استفاده از شاخص SPI مورد مطالعه قرار دادند. نتایج پایش خشکسالی منطقه علاوه بر تایید وقوع بحران خشکسالی، بیانگر کاهش عملکرد محصول بالاخص در فصول پاییز و بهار می‌باشد.

مطالعات نشان می‌دهد که داده‌های مشاهداتی سری زمانی شاخص (SPI) دارای خطاهای اندازه‌گیری می‌باشند که به عنوان نویز سری زمانی بارش استاندارد معرفی می‌شوند. این امر باعث می‌شود که تحلیل و پیش‌بینی داده‌ها چندان دقیق نباشد. از آنجا که الگوریتم موجک (wavelet) قادر به بیان سیگنال در محدوده زمان و فرکانس (یا مقیاس) و همچنین تحلیل موضعی سیگنال می‌باشد، از این الگوریتم به منظور نویززدایی سری زمانی بارش استاندارد که بصورت یک سیگنال ناپیوسته می‌باشد، استفاده شده است.

۱-۲- معرفی الگوریتم موجک

روش متداول برای کاهش نویز، تبدیل فوریه است که در آنالیز و پردازش سیگنالها کاربرد دارد. با استفاده از تبدیل فوریه یک سیگنال

به عوامل سینوسی یعنی فرکانسهای سازنده سیگنال تجزیه می‌شود. اما این تبدیل دارای محدودیت‌هایی می‌باشد.

متاسفانه اطلاعات زمان یا مکان، ممکن است در طول انجام تبدیل خراب شوند و بعضی خصوصیات سیگنال کاسته شود و در بعضی مواقع تشخیص زمان و مکان یک رویداد خاص غیر ممکن باشد (Han et al., 2005). برای اصلاح این نقیصه روش انتقال فوریه زمان کوتاه (STFT) به وسیله Gabor در سال ۱۹۴۶ ارایه شد (Gabor, 1946). این روش پنجره‌ای، یک قسمت کوچک از سیگنال را که بتوان فرض ایستا بودن آن را درست دانست، در یک زمان مورد تحلیل قرار می‌دهد. مشکلی که در این روش وجود دارد به اصل علمی هایزنبرگ برمی‌گردد. این اصل در مورد سیگنال‌ها به این گونه است که آگاهی از مقدار دقیق فرکانس و زمان یک سیگنال در یک نقطه مشخص از صفحه زمان-فرکانس ممکن نیست. این مشکل دلیل اصلی روی آوردن از تبدیل فوریه زمان کوتاه به الگوریتم موجک می‌باشد (شاهوردی، ۱۳۹۰). نظریه موجک در سال ۱۹۸۴ اولین بار توسط Grassman و سپس در سال ۱۹۸۷ توسط Daubechies، به عنوان یک ایده تکمیلی جهت رفع مشکل تبدیل‌های فوریه و تبدیل فوریه زمان کوتاه، مطرح شد (Lotfollahi-Yaghin and Koochdaragh, 2011). تحلیل موجک قادر می‌باشد بسیاری از منظرهای پنهان داده‌هایی که دیگر روش‌های تحلیل سیگنال در شناسایی آن‌ها ناتوان هستند، را شناسایی کند (Daubechies, 1992). همچنین موجک‌ها چون در هر دو حوزه زمانی و فرکانسی سیگنال را تجزیه می‌کنند، جهت آنالیز سیگنال‌های ناپایستا بسیار مناسب هستند. ضعف دیگر FT^4 و $STFT^5$ عدم توانایی آن‌ها در جداسازی فرکانس‌های بالا و پایین بوده که موجک جدیدترین راه حل جهت غلبه بر این ضعف است. موجک، موجی کوچک و نوسان کننده که انرژی آن در ناحیه کوچکی متمرکز شده و می‌تواند ابزاری مناسب برای بررسی پدیده‌های ناپایستا باشد (Lotfollahi-Yaghin et al., 2010). سگری، ۱۳۸۴؛ نوری، ۱۳۸۵). اولین گام موثر در زمینه حذف نویز در حوزه موجک، توسط Donoho و Johnstone با معرفی روش کاهش اندازه ضرایب موجک برداشته شد (Donoho, 1995; Donoho and Johnstone, 1995). با توجه به خواص الگوریتم موجک، هدف اصلی در حذف نویز این است که سیگنال بازسازی شده تا حد امکان به سیگنال اصلی نزدیک بوده و در عین حال خواص اصلی سیگنال چون میزان همواری آن نیز حفظ شود. با توجه به توانایی موجک در پردازش داده‌ها، امروزه به عنوان ابزار قوی در زمینه تحلیل‌های عددی و نویززدایی سیگنال‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. سعیدی و همکاران، با استفاده از الگوریتم موجک اهداف

راداری را بهبود بخشیده‌اند. آن‌ها نشان دادند که در موارد عملی و رایج که عملکرد فیلتر منطبق یا فیلترهای شبه منطبق کاهش می‌یابند پردازش مبتنی بر الگوریتم موجک کاربردی تر خواهد بود (سعیدی، ۱۳۸۴). نصری و همکاران (۱۳۸۷) به ارایه یک روش وقتی برای حذف نویز سیگنال در قلمرو موجک پرداخته‌اند (نصری و همکاران، ۱۳۸۷).

مرور جامعی بر ادبیات تحقیق حاکی از آن است که تاکنون شاخص‌های تحلیل خشکسالی از جمله شاخص بارش استاندارد، با استفاده از الگوریتم موجک مورد نویززدایی قرار نگرفته‌اند. سری زمانی مشاهداتی پدیده‌های طبیعی پس از نویزگیری، امکان پیش‌بینی‌شان در آینده فراهم می‌گردد. با توجه به اینکه نظریه آشوب (chaos) یک ابزار بسیار قدرتمند در زمینه مطالعه رفتار ناپایدار سیستم‌های دینامیکی غیرخطی می‌باشد و از آنجا که سری زمانی بارش استاندارد نیز ماهیتی دینامیکی دارد، نظریه آشوب می‌تواند نقش بی‌نظیری را در کسب اطلاعات از این شاخص ایفا کند.

۱-۳- مفاهیم نظریه آشوب

پدیده‌های طبیعی بی‌شمار و ناشناخته‌ای وجود دارند که عملکرد آن‌ها با وجود نویز کاملاً تصادفی و غیر قابل پیش‌بینی می‌باشد، لیکن با تغییر مقیاس و کاهش نویز می‌توانند به نوعی دوره تناوب و نظم دست یابند و امکان پیش‌بینی آن‌ها در آینده نیز فراهم گردد. به عبارت دیگر در هر بی‌نظمی، نظمی نهفته است؛ این ایده پایه اصلی نظریه آشوب می‌باشد که به مطالعه رفتار ناپایدار و غیر پریودیک در سیستم‌های دینامیکی غیرخطی نوسانی می‌پردازد. فرآیندهای آشوبناک ماهیتاً قطعی هستند. بعلاوه ناپایداری، رفتار غیرپریودیک و غیر خطی بودن در کنار همدیگر یک سیستم آشوبناک تعریف می‌کنند (Kocak, 2000). این نظریه برای اولین بار در سال 1965 توسط دانشمندی بنام Edvard Lorenz در هواشناسی به کار برده شد و سپس در حیطه تمام علوم و مباحث تجربی، ریاضی، رفتاری، مدیریتی و اجتماعی وارد شده و اساس تغییرات بنیادی در علوم بویژه هواشناسی، نجوم، مکانیک، فیزیک، ریاضی، زیست‌شناسی، اقتصاد و مدیریت را فراهم آورده است (فرزین و همکاران، ۱۳۹۰). نظر به توان وسیع نظریه آشوب در تجزیه و تحلیل پدیده‌ها، تاکنون پژوهشگران نقاط مختلف دنیا تحقیقات گسترده‌ای را انجام داده‌اند که به برخی از آن‌ها اشاره می‌گردد:

(Solomatine et al, 2001)، تخمین سطح آب دریای شمال را با استفاده از نظریه آشوب انجام دادند. نتایج، برتری روش‌های

زیست محیطی خشکی دریاچه ارومیه، انجام این مطالعات در راستای مدیریت خشکسالی این شهر کاملاً ضروری به نظر می‌رسد. بنابراین در این تحقیق سعی شده است با یک رویکرد جدید، در ابتدا با استفاده از الگوریتم موجک، سری زمانی داده‌های مشاهداتی SPI ماهانه شهر تبریز نوپزدایی گردد. سپس با استفاده از شاخص‌های بعد همبستگی و نمای Lyapunov، رفتار آشوبناک سری زمانی حاصل بررسی گردیده و در ادامه نسبت به تحلیل و پیش‌بینی شاخص بارش استاندارد SPI و تعیین شدت خشکسالی، اقدام شده است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- برآورد شاخص خشکسالی SPI

در این تحقیق به منظور پایش دوره‌های خشکسالی، بنا به دلایلی که پیش‌تر ذکر گردید از شاخص بارش استاندارد شده SPI استفاده شده است. با توجه به اینکه این شاخص با توزیع نرمال برابر است داریم:

$$SPI_{v,\tau} = \frac{P_{v,\tau} - \bar{P}_\tau}{\sigma_\tau} P_{v,\tau} \quad (1)$$

که v سال مورد نظر، (τ) دوره زمانی کوچک‌تر از سال، $P_{v,\tau}$ مقدار بارندگی در دوره (τ) از سال v ، (\bar{P}_τ) و (σ_τ) میانگین و انحراف معیار در دوره (τ) (Steinemann et al., 2006). در جدول ۱ شدت خشکسالی بر اساس شاخص SPI نشان داده شده است.

۲-۲- نوپزدایی با استفاده از الگوریتم موجک

$\psi(t)$ ، تابع موجک است اگر و فقط اگر تبدیل فوریه آن $\Psi(\omega)$ ، شرط زیر را ارضا کند:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \frac{|\Psi(\omega)|}{|\omega|^2} d\omega < +\infty \quad (2)$$

این شرط با عنوان شرط پذیرفتگی برای موجک $\psi(t)$ شناخته می‌شود. برای اینکه موجک شرط بالا را داشته باشد، باید معادله زیر برقرار باشد:

$$\Psi(0) = \int_{-\infty}^{+\infty} \psi(t) dt = 0 \quad (3)$$

این ویژگی تابع با میانگین صفر می‌باشد. $\Psi(x)$ تابع موجک مادر است که توابع مورد استفاده در تحلیل با دو عمل ریاضی انتقال و مقیاس در طول سیگنال مورد تحلیل، تغییر اندازه و محل می‌یابند.

$$\Psi_{s,\tau}(t) = \frac{1}{\sqrt{s}} \Psi\left(\frac{t-\tau}{s}\right) \quad (4)$$

الگوریتم موجک سیگنال $f(t)$ با تابع موجک $\psi(t)$ ربط می‌دهد. الگوریتم موجک پیوسته سیگنال طبق رابطه زیر بدست می‌آید:

غیرخطی برای سری‌های زمانی تک متغیره را نسبت به مدل‌های خطی نشان دادند. Stehlik به بررسی آشوب پذیری دبی روزانه رودخانه پرداخت. در این تحقیق با توجه به مفهوم تأخیر زمانی، دو سری از داده‌های دبی رودخانه Owlerysca در جمهوری چک، جهت بررسی امکان رفتار آشوبی داده‌ها تجزیه و تحلیل شدند (Stehlik, 2003). (Khan et al., 2005) امکان وجود سیگنال‌های آشوبی در سری‌های زمانی محدود را بررسی نموده و نشان دادند که داده‌های هیدرولوژیکی محدود هم می‌توانند رفتار آشوبناکی از خود نشان دهند. Kocak و همکاران با استفاده از مدل پیش‌بینی موضعی تئوری آشوب، پیش‌بینی جریان ماهانه سد یاملا را مورد مطالعه قرار دادند (Kocak et al., 2007). (Damle and Yalcin, 2007) به پیش‌بینی حجم سیلاب‌ها با استفاده از نظریه آشوب پرداختند و نشان دادند که مقادیر پیش‌بینی شده با نظریه آشوب نسبت به مقادیر پیش‌بینی شده با مدل سری‌های زمانی، دقت قابل ملاحظه‌ای دارد.

(Ng et al., 2007) کاربرد تکنیک‌های تحلیلی آشوبناک را بر روی سری‌های جریان نوپزدار روزانه بررسی نمودند. Wu و همکاران از مدل آشوب و مدل هندسی فرکتال برای تخمین سری زمانی کیفیت آب استفاده کردند و نتایج را با مدل خاکستری و مدل سری زمانی AR^6 مقایسه نموده و به این نتیجه رسیدند که دقت تخمین مدل آشوب بالاتر از مدل خاکستری و مدل سری زمانی AR است (Wu et al., 2009). Shang و همکاران تکنیک‌های مدل‌سازی سری زمانی غیرخطی را جهت تحلیل داده‌های رسوبات معلق بکار گرفته‌اند. نتایج نشان داد که خصوصیات آشوبناک در پدیده انتقال رسوب وجود دارد (Shang et al., 2009).

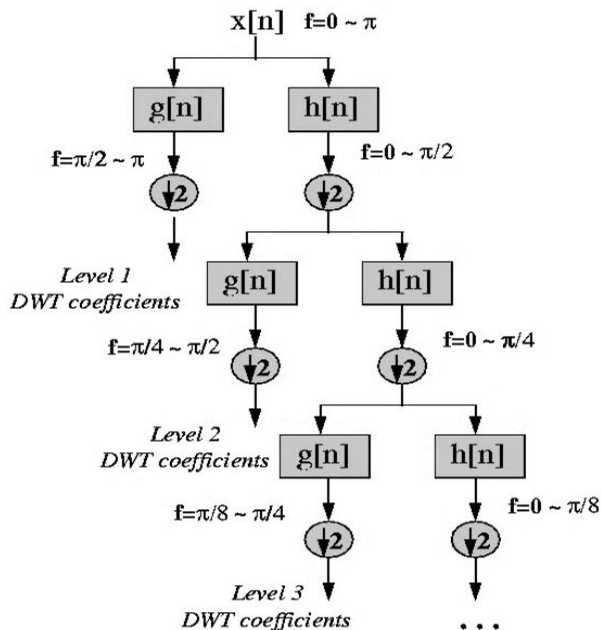
فرزین و همکاران، (۱۳۹۰) سری زمانی بارش ماهانه دریاچه ارومیه در طول دوره آماری ۴۰ ساله اخیر با استفاده از مفاهیم نظریه آشوب مورد مطالعه قرار دادند. نتایج ایشان حاکی از رفتار آشوبناک سری زمانی مورد مطالعه می‌باشد. در چنین سیستمی، نظریه آشوب قابلیت پیش‌بینی میزان بارش در گذر زمان را دارا می‌باشد.

با توجه به تحقیقات صورت گرفته، تحلیل و پیش‌بینی خشکسالی با استفاده از نظریه آشوب، موضوع بدیعی است که تا کنون بر روی آن مطالعه‌ای صورت نگرفته است. شهر تبریز از جمله شهرهای بزرگ و استراتژیک کشور ما می‌باشد که به دلیل موقعیت جغرافیایی و بارش فراوان، پژوهش‌های کاربردی در زمینه پدیده‌های اقلیمی خصوصاً خشکسالی در این شهر بسیار کم صورت گرفته است. اما در سالیان اخیر با توجه به گرمایش جهانی و کاهش شدید بارش و تاثیرات

جدول ۱- نحوه طبقه بندی خشکسالی بر اساس شاخص SPI

شدت خشکسالی						
ترسالی	خشکسالی نرمال	خشکسالی ملایم	خشکسالی متوسط	خشکسالی شدید	خشکسالی خیلی شدید	خشکسالی مصیبت بار
$SPI > 0.25$	$0.25 > SPI > -0.25$	$-0.25 > SPI > -0.5$	$-0.5 > SPI > -1$	$-1 > SPI > -1.5$	$-1.5 > SPI > -2$	$SPI < -2$

فرکانس پایین و در برگرفته مشخصات هویتی در سیگنال است، نیز کلیات نامیده می شود. شکل ۱ ساختار ساده تبدیل موجک را نشان می دهد.



شکل ۱- عملکرد موجک گسسته (The Math Works, 2007)

تاکنون روش های مختلفی برای حذف نویز مطرح و بکار گرفته شده اند.

محققان نشان داده اند که استفاده از تبدیلات غیرخطی مانند موجک دارای ویژگی های بهتری نسبت به روش های خطی است (Coifman and Donoho, 1995; Donoho and Johnstone, 1994). روش های نویززدایی مختلفی بر اساس تبدیل موجک گسسته بنا نهاده شده اند که هر یک از آنها با توجه به کاربرد مورد نظر می تواند مورد استفاده قرار گیرد. برای نویزگیری سیگنال بر اساس تبدیل موجک، قبل از هر چیز باید سیگنال مورد نظر به فضای موجک منتقل گردد.

در اکثر سری های زمانی دینامیکی، محتویات فرکانس پایین و بالا اهمیت خاصی دارد و با تحلیل آنها می توان به اطلاعات بیشتری دست یافت. پس از این مرحله دوباره باند حاوی ضرایب فرکانس بالا

$$C(s, \tau) = \frac{1}{\sqrt{s}} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \Psi\left(\frac{t-\tau}{s}\right) dt \quad (5)$$

$$= \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \Psi_{s\tau}(t) dt$$

که پارامتر انتقال (τ) و مقیاس (s) می باشند.

۳-۲- الگوریتم موجک گسسته و نویززدایی سیگنال

برای اینکه قادر باشیم الگوریتم موجک را بر روی کامپیوترهای دیجیتال انجام دهیم، لازم است پارامترهای مقیاس و انتقال، گسسته شوند. این امر ما را به الگوریتم موجک گسسته هدایت می کند. تبدیل گسسته موجک جهت پیش پردازش و آنالیز سری های زمانی مناسب تر از الگوریتم موجک پیوسته می باشد، زیرا داده های تبدیل یافته با DWT⁷ اجزای اضافی نداشته و بنابراین تبدیل معکوس را می توان برای هر دسته از داده های زمان-فرکانس به کار برد. برای محاسبه موجک گسسته کافی است در رابطه (۴) به جای مقادیر s و τ ، مقادیر گسسته آنها را به صورت $s = s_0^j$ و $\tau = k s_0^j \tau_0$ قرار داده شوند. در نتیجه داریم:

$$\psi_{k,j}(t) = \frac{1}{\sqrt{s_0^j}} \psi\left(\frac{t - k s_0^j \tau_0}{s_0^j}\right) \quad (6)$$

که j و k اعداد صحیح اند و $s_0 > 1$ یک گام تأخیری ثابت شده است. فاکتور تبدیل τ_0 بستگی به گام تأخیری دارد. پس از ساده کردن رابطه فوق داریم:

$$\psi_{k,j}(t) = s_0^{-j/2} \psi(s_0^{-j} t - k \tau_0) \quad (7)$$

با استفاده از رابطه (۷)، ضرایب گسسته موجکی مطابق رابطه (۸) بدست می آیند:

$$DWT_s^\psi(t) = \sum s(t) \psi_{k,j}^*(t) dt \quad (8)$$

این تبدیل نیز مشابه تبدیل فوریه با پنجره کوتاه است و با انتخاب پنجره ای با اندازه متغیر به ما اجازه می دهد که بازه زمانی را به دلخواه و بر حسب دقت مورد نیاز کوچک یا بزرگ نماییم. در تبدیل موجک گسسته، سیگنال از یک سری فیلترهای بالا گذر و پایین گذر عبور داده می شود. بخش حاصل از عبور سیگنال از فیلتر بالا گذر که شامل اطلاعات فرکانس بالا از جمله نویز می باشد، جزئیات نام دارد. بخش حاصل از عبور سیگنال از فیلتر پایین گذر که شامل اطلاعات

۲-۴-۱- ابعاد محاط (ED)^۸

با توجه به اینکه سیستم‌های آشوبناک، سیستم‌هایی هستند که رفتار هر لحظه از سیستم به پارامترهای متعددی بستگی دارد در رابطه (۱)، k مقدار بزرگی خواهد بود. از طرفی با افزایش پارامترهای دخیل در رفتار یک سیستم، حجم داده‌ها و عملیات محاسباتی به شدت افزایش می‌یابد از این رو برای k بزرگ‌تر از ۱۰ مناسب‌تر خواهد بود. شیوه‌های مختلفی برای تقلیل بعد سیستم و انتخاب پارامترهایی که رفتار سیستم را با خطای قابل قبولی توضیح می‌دهند، وجود دارد. یکی از کلیدی‌ترین این روش‌ها قضیه «ابعاد محدود شده تیکن» است. در این قضیه با کاهش بعد سیستم از k به d به جای بردار $x(t)$ ، بردار $y(t)$ در نظر گرفته می‌شود. این قضیه را به صورت زیر می‌توان نوشت:

$$s(t) = h(x(t)) \quad R^k \rightarrow R$$

$$y(t) = \left[s(t), s(t+T), s(t+2T), \dots, s(t+(d-1)T) \right] \quad (11)$$

که در آن $T = m\tau$ ($m=1,2,3,\dots$)، فاصله زمانی یا تأخیر (lag) نامیده می‌شود. بر طبق این قضیه اگر مقدار d به قدر کافی بزرگ باشد بردار $y(t)$ بسیاری از خاصیت‌های دینامیکی مهم $x(t)$ را باز تولید می‌کند. بنابراین برای تحلیل بسیاری از ویژگی‌های سیستم دیگر نیازی به $x(t)$ نداریم. برای بکار بردن این قضیه به صورت موثر دو گام باید طی شود: در گام اول مقدار تأخیر یا همان T تعیین می‌شود و در گام دوم مقدار d یا همان بعد محدود شده (Abarbanel, 1996). برای محاسبه تأخیر زمانی (T) می‌توان از تابعی به نام Mutual Information استفاده کرد رابطه (۱۲). طبق آنچه که در مرجع (Frazier and Kockelman, 2004) آورده شده است، T مناسب برابر است با اولین مینیمم این تابع.

$$I(\tau) = \sum_{s(n), s(n+\tau)} \left(\frac{Pr(s(t), s(t+T))^*}{\log_2 \left[\frac{Pr(s(t), s(t+T))}{Pr(s(t))Pr(s(t+T))} \right]} \right) \quad (12)$$

که در آن Pr مقدار تابع احتمال است که می‌توان از هیستوگرام مربوط به داده‌ها استخراج کرد. برای تعیین بعد محدود شده یا d نیز می‌توان روشی را که توسط کائو و همکاران (Cao, 1997) ابداع شده است، بکار برد؛ مطابق رابطه زیر:

$$E1(d) = \frac{E(d+1)}{E(d)} \quad (13)$$

در رابطه (۱۳)، $E(d)$ به صورت زیر محاسبه می‌شود:

تحت تبدیل موجک قرار گرفته و خود به دو باند فرکانسی تجزیه می‌گردد. این کار به طور متناوب صورت می‌گیرد تا رزولوشن فرکانسی مورد نظر حاصل گردد. پس از انتقال سیگنال به فضای موجک، چندین مجموعه ضرایب بدست می‌آید که هر مجموعه مربوط به یک محدوده فرکانسی خاص می‌باشند. نوپزگیری در فضای موجک با استفاده از حذف برخی از مجموعه ضرایب صورت می‌گیرد. حذف ضرایب بر اساس ویژگی‌های سیگنال مطلوب و سیگنال‌های ناخواسته یا نوپز صورت می‌گیرد. پس از حذف ضرایب نوپزی و باقی‌گذارن ضرایب مربوط به سیگنال مطلوب، بازسازی سیگنال شروع می‌گردد. به منظور بازسازی، مراحل ترکیب به صورت عکس مراحل تجزیه انجام می‌گیرد. یعنی سیگنال از پایین‌ترین سطح دوباره ترکیب شده و این کار به صورت متناوب انجام می‌گیرد تا سیگنال اصلی حاصل گردد. مراحل بیان شده برای سری زمانی مشاهداتی SPI انجام گرفته و داده‌های نوپززدایی شده به عنوان ورودی نظریه آشوب مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

۲-۴-۲- تحلیل و پیش‌بینی سری زمانی نوپزگیری شده با استفاده از نظریه آشوب

آشوب، رفتاری است غیرخطی در محدوده‌ای بین رفتار نوسانی و رفتار تصادفی. به طور مشخص می‌توان گفت سیستم‌های آشوبناک، سیستم‌هایی معین هستند یعنی در هر لحظه سیستم را می‌توان به شکل زیر بیان کرد:

$$X(t) = \left(x(t), x(t-\tau), x(t-2\tau), \dots, x(t-(k-1)\tau) \right) \quad (9)$$

که در آن t شاخصی اسکالر، نظیر زمان، برای بیان داده‌ها و فواصل بین مشاهدات است. حال فرض کنید F تابع غیرخطی حاکم بر سیستم باشد به دلیل معین بودن سیستم برای هر $t + \tau$ می‌توان نوشت:

$$F: \mathbb{R}^k \rightarrow \mathbb{R}^k$$

$$x(t+\tau) = F(X(t)) + p(t) \quad (10)$$

به دلیل وجود خطاهایی نظیر گرد کردن، سرشکنی و خطاهای موجود در اندازه‌گیری متغیر احتمال $p(t)$ ، با میانگین صفر، در نظر گرفته شده است. در سیستم‌های معین خطای موجود (اختلاف بین هر دو حالت مجاور) یا بسیار کم باقی می‌ماند (سیستم‌های پایدار و عادی) یا به صورت نمایی رشد می‌کند (سیستم‌های آشوبناک).

در حالی که در سیستم‌های تصادفی این خطا و اختلاف به صورتی کاملاً اتفاقی و تصادفی توزیع می‌شود (Frazier and Kockelman, 2004).

تعداد زیادی الگوریتم طی پنجاه سال اخیر برای محاسبه بعد فراکتالی تبیین شده است، که از این بین، بعد همبستگی کاربرد بیشتری دارد. الگوریتم بعد همبستگی در سال توسط (Grassberger and Procaccia, 1983) ابداع گردید. بعد همبستگی یکی از روش‌های مرسوم تعیین آشوبناکی سیستم و همچنین بعد آشوبی می‌باشد. این کمیت برای سامانه‌های آشوبناک عدد صحیحی نخواهد بود. الگوریتم Grassberger - Procaccia مبتنی بر تخمین زیر است: احتمال آن که دو نقطه از یک مجموعه درون یک سلول مشابه با اندازه R باشد، حدوداً برابر با احتمال آن است که دو نقطه از مجموعه با فاصله $|x(i) - x(j)|$ که مقدار آن کمتر یا مساوی R است، از هم جدا شده باشند. $C(R)$ از فرمول شماره (۱۷) محاسبه می‌شود:

$$C(R) = \frac{1}{N(N-1)} \sum_{i=0}^{(N-dT-1)} \sum_{j=0, j \neq i}^{(N-dT-1)} \Theta(R - |x(i) - x(j)|) \quad (17)$$

که در آن N معرف طول دامنه داده‌ها و $\Theta(x)$ عبارت است از تابع مشخصه هویساید:

$$\Theta(x) = \begin{cases} 0 & x < 0 \\ 1 & x \geq 0 \end{cases} \quad (18)$$

هنگامی که $N \rightarrow \infty$ میل نماید، مقادیر R به صفر نزدیک می‌شود و تخمین در معادله (۱۷) به مقدار دقیق خود خواهد رسید. در این صورت برای محاسبه نرخ تغییر $C(R)$ می‌توان نوشت:

$$C(R) = \lim_{R \rightarrow 0} kR^{D_c} \quad (19)$$

با حل رابطه بالا مقدار D_c بدست می‌آید:

$$D_c = \lim_{R \rightarrow 0} \frac{\log C(R)}{\log R} \quad (20)$$

در رابطه (۲۰)، D_c بیانگر بعد همبستگی است. Grassberger and Procaccia ارزیابی $C(R)$ را در محدوده مقادیر R پیشنهاد نمودند و سپس نتیجه گرفتند که D_c از شیب خط مستقیمی که بر ناحیه خطی از پلات $\log C(R)$ در مقابل $\log R$ متناسب شده است، بدست می‌آید. اگر D_c عدد صحیح نباشد، در این حالت یکی از خصایص مهم سامانه‌های آشوبناک بروز می‌کند.

۲-۲-۴-۲-۲ نمای Lyapunov

یک مشخصه مهم سیستم‌های آشوبناک، حساسیت آن‌ها نسبت به شرایط اولیه است. برای نشان دادن میزان حساسیت پاسخ سیستم به تحریک‌های کوچک، نمای Lyapunov را ارزیابی می‌کنند. این کمیت (λ_m) با میانگین نرخ افزایشی به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\lambda_m = \frac{1}{N \Delta t} \sum_{t=0}^{N-1} \ln \left(\left| \frac{s(t + \Delta t) - s'(t + \Delta t)}{s(t) - s'(t)} \right| \right) \quad (21)$$

$$E(d) = \frac{1}{N - dT} \sum_{t=0}^{N-dT-1} \frac{\|y_{d+1}(t) - y_{d+1}^{NN}(t)\|}{\|y_d(t) - y_d^{NN}(t)\|} \quad (14)$$

که در آن N معرف طول سری داده‌ها، d بعد محدود شده و NN نمایانگر نزدیک‌ترین بردار همسایه به بردار دیگر است که توسط معیار زیر تعریف می‌شود:

$$\|y_d(t) - y_d^{NN}(t)\| = \max_{0 \leq j \leq d-1} \left| \frac{s(t + jT) - s^{NN}(t + jT)}{s^{NN}(t + jT)} \right| \quad (15)$$

با افزایش مقدار d ، $E1(d)$ به سمت یک نزدیکتر می‌شود. مناسب‌ترین مقدار d ، مقداری است که در آن تغییرات $E1(d)$ متوقف شود و روند تقریباً ثابتی را طی کند. همچنین برای سیستم‌هایی با متغیرهای تصادفی کمیت‌های زیر تعریف می‌شود:

$$E2(d) = \frac{E^*(d+1)}{E^*(d)}, \quad (16)$$

در سیستم‌هایی که رفتار تصادفی دارند مقدار $E2(d)$ ، برای همه داده‌ها نزدیک به یک باقی می‌ماند در حالی که در سیستم‌های آشوبناک این مقدار برای d های کوچک، کم‌تر از یک است.

۲-۴-۲-۲ شاخص‌های تشخیص وجود آشوب در سری زمانی

برای آنالیز سری زمانی نوین‌گیری شده اولین گام تشخیص دادن این نکته است که آیا داده‌های موجود رفتاری آشوبناک دارند یا نه. در ادامه شاخص‌هایی معرفی خواهد شد که با اندازه گیری آن‌ها می‌توان آشوبناک یا تصادفی بودن سیستم را تعیین کرد.

۲-۴-۲-۱ الگوریتم بعد همبستگی Grassberger - Procaccia

زبان هندسی آشوب، Fractals می‌باشند. مفهومی که به طور خاص در فیزیک و ریاضی به وسیله Hausdorff در سال ۱۹۱۹ گسترش یافت. این مفاهیم در سال ۱۹۶۷ توسط Mandelbrot به صورت کلی برای توصیف پدیده‌های تصادفی و نامنظم طبیعی به تفصیل بسط داده شد. وی در سال ۱۹۸۳ با معرفی هندسه Fractal به عنوان هندسه طبیعت، توجه بسیاری را به این هندسه نوین جلب کرد.

این مفهوم می‌تواند کاربردهای وسیعی در توصیف پدیده‌های آشوبی داشته باشد (Turner et al., ۱۹۹۸). ویژگی اساسی در توصیف یک الگوی فراکتال، بعد آن (D) می‌باشد. در هندسه اقلیدسی، اشیاء Fractal نیستند، بلکه دارای بُعد صحیح هستند. اما در یک الگوی فراکتال تکرار ساختار موجب ایجاد بعد غیر صحیح می‌گردد.

۳- جمع بندی

شهرستان تبریز یکی از شهرستان‌های استان آذربایجان شرقی است که در مرکز این استان واقع شده است. آب و هوای تبریز استپی خشک با زمستان بسیار سرد است.

در این پژوهش، مقادیر بارش ماهانه شهر تبریز طی یک دوره ۴۰ ساله (۲۰۰۹ تا ۱۹۶۹) از ایستگاه هواشناسی وصول شده و با استفاده از رابطه (۱) سری زمانی SPI محاسبه شده است. در ادامه، با استفاده از الگوریتم موجک گسسته مقادیر شاخص بارش استاندارد، نویزگیری شده است و در شکل ۲ نشان داده شده‌اند.

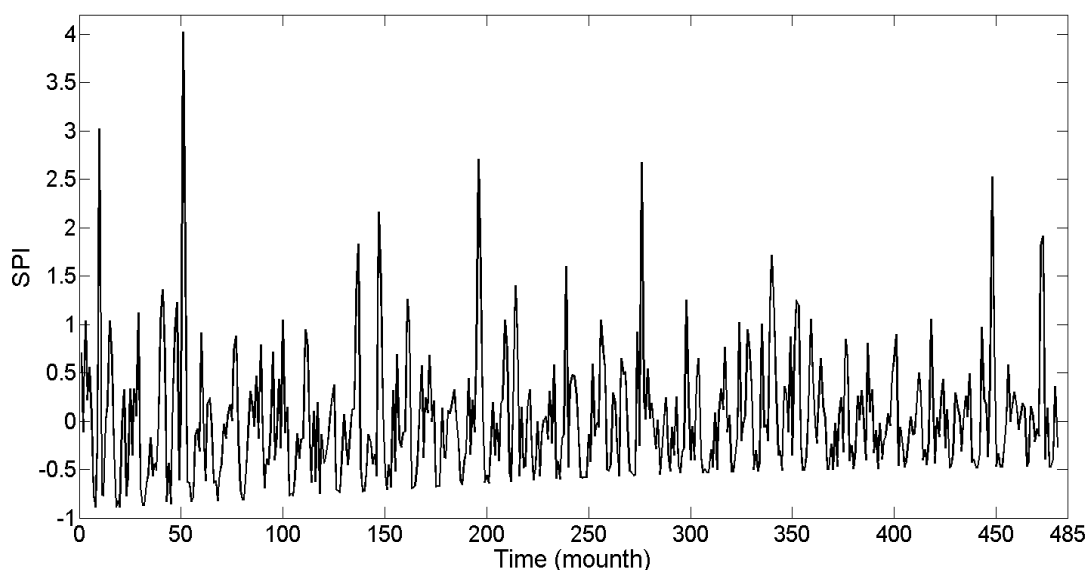
برای استفاده از قضیه ابعاد محدود شده ابتدا بایستی مقدار تأخیر زمانی (T) محاسبه گردد. بدین منظور، تابع Mutual Information در شکل ۳ رسم گردیده است. از آنجا که T مناسب برابر است با اولین مینیمم تابع، بنابراین با توجه به شکل، زمان تأخیر داده‌ها برابر با ۵ می‌باشد.

در ادامه مقادیر $E1(d)$ و $E2(d)$ در اشکال شماره ۴ و ۵ محاسبه شده است. با توجه به شکل (۴)، $E1(d)$ تا مقدار مشخصی بالا رفته و سپس در $d=5$ دچار یک پیچ خوردگی شده است، بنابراین بعد محاط برابر ۳ می‌شود. همچنین با توجه به شکل ۵ مشخص است که نمودار $E2(d)$ برای مقادیر کوچک d ، کمتر از یک باقی مانده که معرف آشوبناکی رفتار سیستم است.

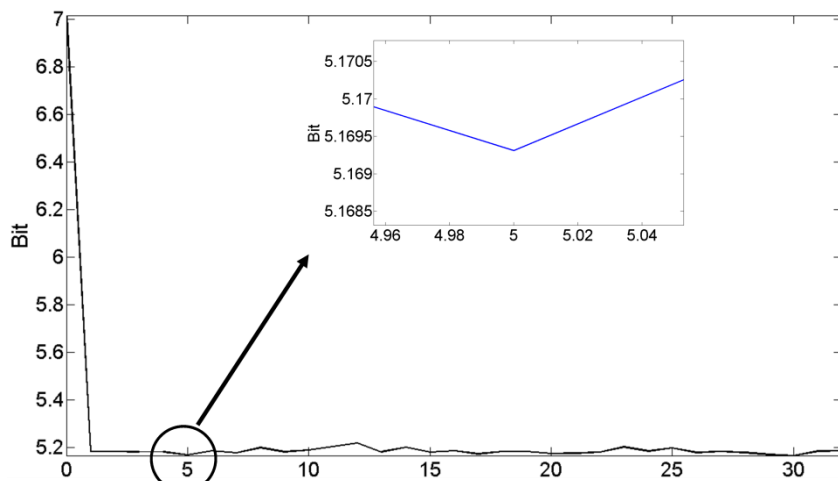
در معادله فوق، N تعداد کل داده‌ها، $S(t)$ تابع اسکالر بازسازی شده توسط بعد محاط، $S'(t)$ تابع اسکالر نزدیک به $S(t)$ و Δt بازه زمانی می‌باشد. مثبت بودن نمای Lyapunov نشان دهنده آشوب است. دو نقطه با همسایگی بینهایت کوچک در حالت اولیه، در جهت m به شدت از یکدیگر جدا می‌شوند.

۲-۵- پیش‌بینی

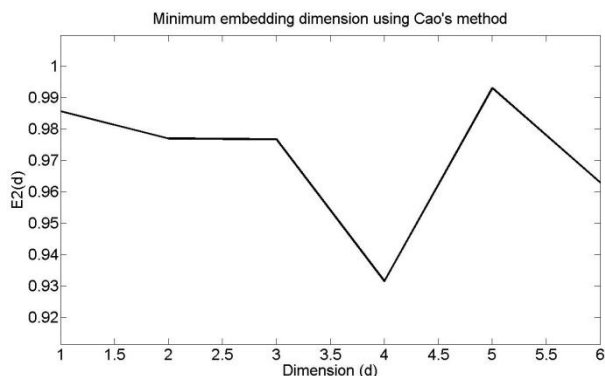
هر سیستمی که از تغییرات تاثیر پذیرد و ماهیت دینامیکی داشته باشد، هنگام تصمیم‌گیری درباره آینده ناگزیر با پیش‌بینی مواجه خواهد شد. پیش‌بینی ابزاری است برای کمک به تصمیم‌گیری، بنابراین باید بتوان به کمک پیش‌بینی پاسخ سوال‌های تصمیم‌گیرنده را به دست آورد. هر پیش‌بینی که کیفیت تصمیم را بهبود بخشد، صرف‌نظر از این که در آینده چه رخ دهد، پیش‌بینی مفیدی خواهد بود. در سیستم‌های غیرخطی که توسط نظریه آشوب مورد بحث قرار می‌گیرند، تغییرات جزئی منجر به پیامدهای عظیم می‌شود ولی تحقق این امر به مدت زمانی نیاز دارد. بر این اساس، رفتار کوتاه مدت چنین سیستمی به طور معقول قابل پیش‌بینی می‌باشد که این امر سبب طراحی آینده کوتاه مدت و موفقیت برنامه‌ریزی خواهد بود. بدون شک شاخص بارش استاندارد SPI موضوع با اهمیتی است که یک پیش‌بینی بر مبنای دقیق می‌تواند در کنترل موثر آن، برنامه‌ریزی و ارائه راهکارهای مدیریتی آتی مفید باشد. این امر با استفاده از الگوریتم نزدیک‌ترین همسایگی کاذب صورت پذیرفته است.



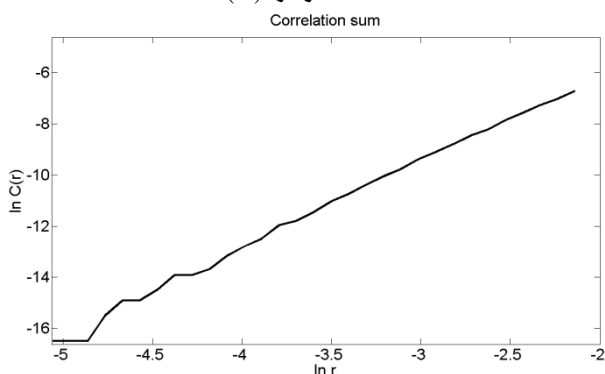
شکل ۲- سری زمانی ماهانه SPI شهر تبریز در طی دوره ۴۰ ساله (۲۰۰۹ تا ۱۹۶۹)، نویزگیری شده توسط موجک



شکل ۳- تابع اطلاعات متبادله



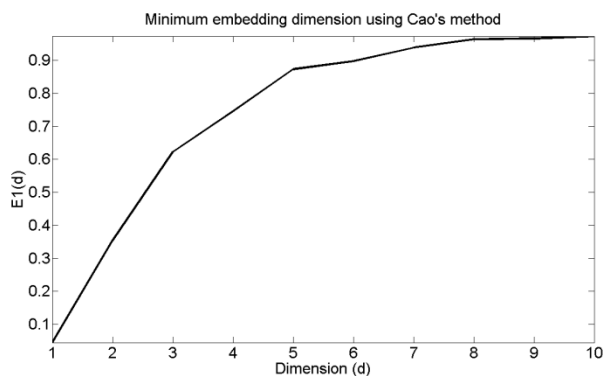
شکل ۵- نمودار $E2(d)$



شکل ۶- بعد همبستگی بر اساس الگوریتم Grassberger - Procaccia

بررسی شاخص‌های آشوب؛ مقدار غیر صحیح شیب نمودار بعد همبستگی، نمای Lyapunov مثبت و کمتر از یک بودن مقادیر نمودار $E2(d)$ ، همگی نشانگر رفتار کاملاً آشوبناک سری زمانی ماهانه SPI شهر تبریز می‌باشد. بنابراین رفتار سیستم غیرتصادفی است و به عبارتی جزو فرآیندهای استوکاستیکی و نویز دار مطرح نمی‌شود. در چنین سیستمی، نظریه آشوب قابلیت پیش‌بینی سری زمانی در گذر زمان را دارا می‌باشد.

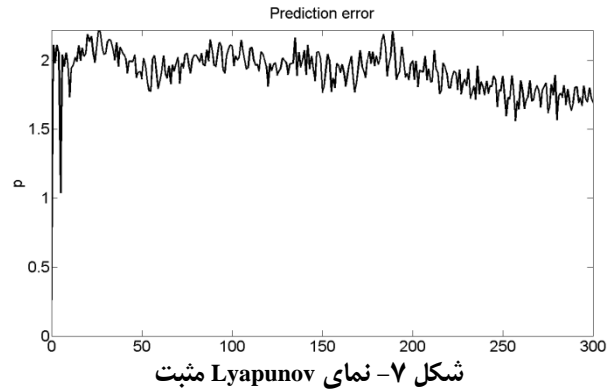
در ادامه مقادیر $E1(d)$ و $E2(d)$ در اشکال شماره ۴ و ۵ محاسبه شده است. با توجه به شکل ۴، $E1(d)$ تا مقدار مشخصی بالا رفته و سپس در $d = 5$ دچار یک پیچ خوردگی شده است، بنابراین بعد محاط برابر ۳ می‌شود. همچنین با توجه به شکل ۵ مشخص است که نمودار $E2(d)$ برای مقادیر کوچک d ، کمتر از یک باقی مانده که معرف آشوبناکی رفتار سیستم است. دیگر شاخص‌های بررسی ماهیت آشوبناکی سری زمانی SPI، بعد همبستگی و نمای Lyapunov، در اشکال ۶ و ۷ آورده شده است.



شکل ۴- نمودار $E1(d)$

در شکل ۶ به منظور تعیین بعد همبستگی، نمودار $\ln C(R)$ در مقابل تغییرات $\ln(R)$ رسم گردیده است. شیب قسمت خطی این دیاگرام با تقریب خوبی مقدار D_C را بدست می‌دهد. این مقدار تقریباً برابر با $3/17$ می‌باشد که عددی است غیر صحیح و نشانگر رفتار آشوبناک سیستم می‌باشد. با توجه به شکل ۷ نیز به وضوح مشخص است که نمای Lyapunov مثبت می‌باشد و این امر حاکی از رفتار کاملاً آشوبی سیستم و حساسیت آن نسبت به شرایط اولیه می‌باشد.

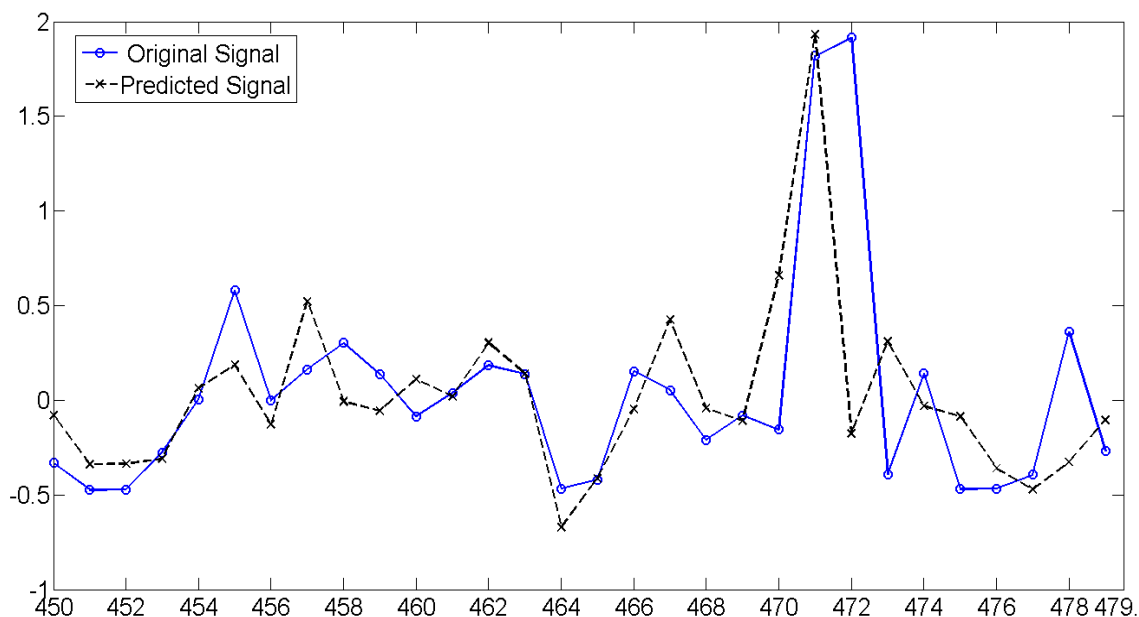
در ادامه، با استفاده از نتایج پیش‌بینی ماهانه، شدت خشکسالی سالانه محاسبه گردیده است. این مقادیر در سال‌های ۲۰۱۰، ۲۰۱۱ و ۲۰۱۲ به ترتیب برابرند با ۰/۱۰۹، ۰/۰۸۹ و ۰/۲۳۳. از مقایسه این ارقام با معیار شدت خشکسالی مطابق جدول ۱، مشخص می‌گردد که هر سه سال در معرض خشکسالی نرمال قرار دارند. البته در سال ۲۰۱۲ میزان بارندگی نسبت به سال‌های قبلی بیشتر خواهد بود. همچنین توجه دقیق به سری زمانی شاخص SPI شهر تبریز حاکی از آن است که خوشبختانه احتمال وقوع خشکسالی شدید، نسبت به دیگر خشکسالی‌ها کمتر می‌باشد.



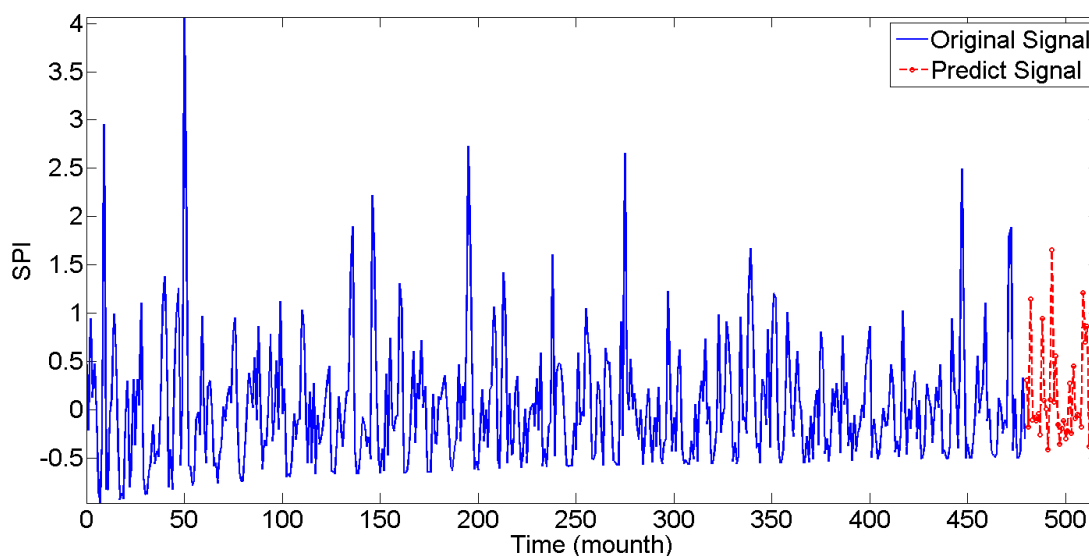
۴- نتیجه‌گیری

پدیده خشکسالی از پر آسیب‌ترین بلایای طبیعی است که به صورت تدریجی و خزنده بر زندگی بشر تاثیر می‌گذارد. از آنجا که جلوگیری کامل از این پدیده در هیچ منطقه و شرایطی امکان پذیر نیست، می‌توان با تحلیل سوابق تاریخی و با تکیه بر آمار و اطلاعات موجود، شدت آن را برای مناطق مختلف برآورد نمود و با ایجاد طرح‌های آمادگی و اطلاع رسانی درست و به موقع مشکلات ناشی از آن را کاهش داد. پایش خشکسالی با استفاده از شاخص بارندگی استاندارد شده (SPI)، به عنوان یکی از مولفه‌های موثر در سیستم پیش‌آگاهی مدیریت خشکسالی، امکان اقدامات مدیریتی در مواجهه با بحران و به حداقل رساندن اثرات مخرب خشکسالی را فراهم می‌سازد. این شاخص دارای ماهیتی دینامیکی است. پدیده‌ای با چنین ماهیت متحول را مسلماً باید با استفاده از روش‌های نوین و متناسب با آن مورد تجزیه و تحلیل قرار داد.

همچنین می‌تواند کلیه اطلاعات و پارامترهای دینامیکی مهم سیستم را بدون نیاز به یافتن قوانین یا روابط دینامیکی حاکم، کشف کند. جهت پیش‌بینی SPI ماهانه شهر تبریز توسط نظریه آشوب و الگوریتم نزدیک‌ترین همسایگی کاذب، ابتدا مقادیر SPI در ۳۰ ماه آخر پیش‌بینی گردید و نتایج حاصل با داده‌های مشاهده‌ای موجود مورد صحت سنجی و مقایسه قرار گرفت (شکل ۸). این شکل نشان می‌دهد که با حذف نویز در سری زمانی با استفاده از الگوریتم موجک، می‌توان به پیش‌بینی مقادیر SPI توسط نظریه آشوب با دقت مطلوب نائل گشت. لذا داده‌های نویزگیری شده جهت پیش‌بینی SPI برای ۳ سال آینده (۲۰۱۰-۲۰۱۲) مورد استفاده قرار گرفته‌اند و نتایج در شکل ۹ نشان داده شده است. شایان ذکر است که پیش‌بینی سری زمانی فوق بدون نویزگیری نیز با استفاده از نظریه آشوب توسط نویسندگان این مقاله صورت پذیرفته است که در مرحله صحت سنجی از نتایج نامطلوبی برخوردار بود.



شکل ۸- صحت سنجی داده‌های مشاهده‌ای پیش‌بینی شده سری زمانی SPI در ۳۰ ماه



شکل ۹- نمودار پیش‌بینی سری زمانی SPI شهر تبریز از سال ۲۰۱۰ (January) تا ۲۰۱۲ (December)

4. Fourier Transform
5. Short-Time Fourier Transform
6. Auto Regressive
7. Discrete Wavelet Transform
8. Embedding Dimensions

۵- مراجع

جهانبخش اصل، س.، قوبدل رحیمی، ی.، (۱۳۸۱). "تحلیل توزیع فضایی دوره‌های مرطوب و خشک ایستگاه‌های حوضه آبریز دریاچه ارومیه". *مجله فضای جغرافیایی*، ۵، ص. ۱۷-۲۷.

فرزین، س.، شیخ الاسلامی، س.ر.، حسن زاده، ی.، (۱۳۹۰). "تحلیل آشوب‌پذیری سری زمانی با استفاده از ترسیم فضای فاز و روش بعد همبستگی (مطالعه موردی: بارش ماهانه در دریاچه ارومیه)". *چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، اردیبهشت*.

فرزین، س.، بری، م.، ضرغامی، م.، (۱۳۸۷). "خشکسالی و راه‌های مقابله با بحران آب کشاورزی در دشت داراب" سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران- دانشگاه مهندسی عمران، دانشگاه تبریز، مهرماه.

سعیدی، ح.، (۱۳۸۴). "بهبود آشکارسازی اهداف راداری با استفاده از نوپزدایی بر پایه موجک". *مجله استقلال*، ۱، ص. ۱۷-۲۹.

شاهوردی، س.، (۱۳۹۰). "استفاده از تبدیل موجک بسته ای برای تشخیص آسیب در سازه‌های فراساحلی"، *پایان نامه کارشناسی*

بنا به نظر نویسندگان این مقاله، نظریه آشوب ابزار قدرتمندی برای آنالیز، مدل‌سازی و پیش‌بینی چنین پدیده‌ای می‌باشد. بنابراین در تحقیق حاضر با یک رویکرد جدید، از نظریه آشوب جهت تحلیل رفتار شاخص بارش استاندارد شهر تبریز در دوره آماری ۴۰ ساله اخیر استفاده گردیده است. بدین منظور در ابتدا با استفاده از الگوریتم موجک (wavelet)، سری زمانی مشاهداتی SPI نوپزدایی گردیده و سپس با استفاده از شاخص‌های بعد همبستگی و نمای Lyapunov و $E_2(d)$ ، رفتار آشوبناک سری زمانی حاصل بررسی گردیده است. نتایج حاکی از رفتار کاملاً آشوبناک سری زمانی مورد مطالعه است. بنابراین رفتار سیستم غیرتصادفی است و به عبارتی جزو فرآیندهای استوکاستیکی و نویز دار مطرح نمی‌شود. در چنین سیستمی، نظریه آشوب قابلیت پیش‌بینی میزان SPI در گذر زمان را دارا می‌باشد. در ادامه نسبت به پیش‌بینی شاخص بارش استاندارد SPI و تعیین شدت خشکسالی اقدام شده است. با توجه به نتایج حاصل در این تحقیق می‌توان بیان کرد که شاخص SPI در صورت نوپزدایی به عنوان یک ابزار مناسب جهت پایش خشکسالی قابل استفاده می‌باشد. همچنین وقوع خشکسالی نرمال در سه سال آتی در شهر تبریز محتمل می‌باشد. البته احتمال وقوع خشکسالی شدید، نسبت به دیگر خشکسالی‌ها در این شهر کمتر می‌باشد. این نتایج برای برنامه‌ریزی آینده و ارائه راهکارهای مدیریتی حائز اهمیت می‌باشد.

پی نوشت

1. Chaos
2. Standardized Precipitation Index
3. Wavelet

- Frazier, C., Kockelman, K.M., (2004). Chaos Theory and Transportation Systems: Instructive Example. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board 1897*, pp. 9-17.
- Gabor, D., (1946). Theory of communication. *IEEE Journal 21*, pp. 149-157.
- Grassberger, P., Procaccia, I., (1983). Characterization of Strange Attractors. *Physical Review Letters*, 50 (14), pp. 346-349.
- Guttman, N.B., (1998). Comparing the Palmer drought index and the standardized precipitation index. *Journal of the American Water Resources Association 34*, pp. 113-121.
- Han, J.G., Ren, W.X., Sun, Z.S., (2005). Wavelet packet based damage identification of beam structures. *International Journal of Solids and Structures 4*, pp.6610-6627.
- Hayes, M., Center, U.o.N.-L.N.D.M., (2002). *Drought indices. National Drought Mitigation Center, University of Nebraska.*
- Hayes, M.J., Svoboda, D., Wilhite, D.A., Vanyarkho, O.V., (1999). *Monitoring the 1996 drought using the standardized precipitation index. Bulletin of the American Meteorological Society 80*, pp. 429-438.
- Khan, S., Ganguly, A., Saigal, S., (2005). Detection and predictive modeling of chaos in finite hydrological time series. *Nonlinear Processes in Geophysics 12*, pp. 41-53.
- Kocak, K., (2000). Nonlinear time series prediction of O3 concentration in Istanbul. *Atmospheric environment 34*, pp.1267-1271.
- Kocak, K., Bali, A., Bektasoglu, B., (2007). Prediction of Monthly Flows by using chaotic approach, International congress on river basin management. *Maslak: Istanbul Technical University, Antalya, Turkey*, pp. 553-559.
- Lotfollahi-Yaghin, M.A., Koohdaragh, M., (2011). Examining the function of wavelet packet transform (WPT) and continues wavelet transform (CWT) in recognizing the crack specification. *KSCE Journal of Civil Engineering 15*, pp.497-506.
- Lotfollahi-Yaghin, M.A., Shahverdi, S., Tarinejad, R., (2010). Damage detection in jacket type offshore platforms using wavelet packet transform, *The 5th Civil Engineering Conference in the Asian Region and Australasian Structural Engineering Conference 2010*.
- Loukas, A., Vasiliades, L., Dalezios, N., Univ. of the Aegean, L.I.D.o.E.S., Lekkass, T., (2003). ارشد، مهندسی عمران- گروه آب گرایش سازه‌های دریایی. دانشگاه تبریز.
- عسگری، ا.، (۱۳۸۴). "تجزیه و تحلیل سیگنال سیستم لیداری بر مبنای لیزر TEA-CO با استفاده از روش دی کانولوشن"، پایان نامه کارشناسی ارشد، فیزیک، دانشگاه شهید باهنر کرمان.
- نصری، م.، نظام آبادی‌پور، ح.، سریزدی، س.، (۱۳۸۷). "ارایه یک روش وقفی برای حذف نویز سیگنال در قلمرو موجک". *مجله مهندسی برق و مهندسی کامپیوتر ایران*.
- نوری، م.، (۱۳۸۵). "شبیه سازی فرایند بارندگی-رواناب حوضه آبریز هلیل رود و غازان چای با استفاده شبکه‌های عصبی-موجکی". *پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید باهنر کرمان*
- Abarbanel, H.D.I., (1996). *Analysis of observed chaotic data. Springer Verlag.*
- Cao, L., (1997). Practical method for determining the minimum embedding dimension of a scalar time series. *Physica D: Nonlinear Phenomena 110*, pp.43-50.
- Coifman, R.R., Donoho, D.L., (1995) Translation-invariant de-noising. *Lecture Notes In Statistics- New York-Springer Verlag*, pp.125-125.
- Damle, C., Yalcin, A., (2007). Flood prediction using time series data mining. *Journal of Hydrology 333*, pp.305-316.
- Daubechies, I., (1992). *Ten lectures on wavelets. Society for Industrial Mathematics.*
- Donoho, D.L., (1995). De-noising by soft-thresholding. *Information Theory, IEEE Transactions on 41*, pp. 613-627.
- Donoho, D.L., Johnstone, I.M., (1995). Adapting to unknown smoothness via wavelet shrinkage. *Journal of the american statistical association*, pp. 1200-1224.
- Donoho, D.L., Johnstone, J.M., (1994). Ideal spatial adaptation by wavelet shrinkage. *Biometrika 81*, 425.
- Dupigny-Giroux, L.A., (1999). *Drought Follows the Deluge in Vermont. Drought Network News (1994-2001)*, 41.
- Dupigny-Giroux, L.A., (2001). Towards Characterizing and Planning for Drought in Vermont-Part I: A Climatological Perspective. *Jawra Journal of the American Water Resources Association 37*, pp.505-525.

- Steinemann, A.C., Hayes, M.J., Cavalcanti, L., (2006). Drought indicators and triggers. Drought and water crises: *Science, technology, and management issues*, pp.71–82.
- The Math Works, I., (2007). MATLAB.
- Turner, M.J., Blackledge, J.M., Andrews, P.R., (1998). *Fractal geometry in digital imaging*. Academic Pr.
- Vicente Serrano, S.M., González-Hidalgo, J.C., Luis, M., Raventós, J., (2004). *Drought patterns in the Mediterranean area: the Valencia region (eastern Spain)*.
- Wilhite, D.A., (1993). Planning for drought: A methodology. Drought Assessment, Management, and Planning: *Theory and Case Studies*, pp. 87-108.
- Wu, J., Lu, J., Wang, J., (2009). Application of chaos and fractal models to water quality time series prediction. *Environmental Modelling & Software* 24, pp. 632-636.
- Intercomparison of meteorological drought indices for drought assessment and monitoring in Greece.*
- McKee, T.B., Doesken, N.J., Kleist, J., (1993). *The relationship of drought frequency and duration to time scales.*
- Ng, W., Panu, U., Lennox, W., (2007). Chaos based Analytical techniques for daily extreme hydrological observations. *Journal of Hydrology* 342, pp.17-41.
- Shang, P., Na, X., Kamae, S., (2009). Chaotic analysis of time series in the sediment transport phenomenon. *Chaos, Solitons & Fractals* 41, pp. 368-379.
- Solomatine, D., Velickov, S., Wust, J., (2001). *Predicting water levels and currents in the North Sea using chaos theory and neural networks*, pp. 353-359.
- Stehlik J, (2003). *Deterministic Chaos In Runoff Series*. Czech Hydrometeorological institute, Dept of Experimental Hydrology, 143, 06 prague.