Online ISSN: 2717-2325

Journal of Geographical Studies of Mountainous Areas

Journal homepage: http://www.gsma.lu.ac.ir



Research Paper

The structure and dynamic nature of daily temperature time series of Khorramabad synoptic station

Hamid Mirhashemi^{a,*}

^a Assistant Professor in Climatology, Geography Department, Faculty of Literature and Human Sciences, Lorestan University, Khorramabd, Iran.

ARTICLE INFO

Article history: Received: 08 May 2023; Accepted: 19 September 2023 Available online 06 December 2023

Keywords:

Air Temperature, Non-Static, Hurst exponent, Fluctuation.

A B S T R A C T

Air temperature is considered as one of the most important criteria for detecting fluctuations or changes in the climate system, which appears as a fractal phenomenon by adopting a self-similar structure in multiple time scales; Therefore, the temperature signal has a complex and non-linear structure that shows a very complex behavior in different time. In this study, the dynamic nature of daily temperature time series (1401-1329) of Khorramabad synoptic station was identified using Hurst scale-range analysis (R/S) and detrended fluctuation analysis (DFA2). The results of (R/S) show that there are sinusoidal fluctuations with annual and seasonal scales in the time series of air temperature. Also, three points of cross in the signal of temperature fluctuations were identified, and these fluctuations have different trends and structures around these points. On the other hand, the DFA2 results revealed that the scale profile and time series correlation have been changed due to seasonal trends. In this regard, the seasonal detrending of the data revealed that the fluctuation function increases proportionally with the increase of the time scale, which indicates the fractal nature of the temperature signal. Also, the Hurst exponent was obtained as 0.77, which indicates the existence of correlation and long-term memory in the daily air temperature signal of Khorramabad.

1. Introduction

The state of climate prevails through various physical processes, each of these processes have very large fluctuations in different time-space scales, in this case, climate shows a hierarchy of structures (Lin & Fu, 2008). Air temperature, which is considered as a physical variable for measuring the warmth and coldness of the air (Jiang et al., 2015), is also considered as the most important indicator of fluctuations or changes in the climate system (da Silva et al., 2020; Folland et al., 2001; Hasselmann, 1993; Hegerl et al., 2006) which appears as a fractal phenomenon by adopting a self-similar structure in multiple time scales (Lin & Fu, 2008).

2. Methodology

In this study, the daily temperature data of Khorramabad synoptic station with time coverage of 1401-1329 were used. In order to identify the nature of dynamic behavior and the presence of long-term correlations in this time series, Hurst's range-scale approach (R/S) and detrended fluctuation analysis (DFA) were used.

3. Results

By considering the median base of 13140 days and incremental steps of 10 days, 1317 daily time series (n) of air temperature were produced. Then by calculating the mean and standard deviation (S) of these sub-series and subtracting each of the daily data of these sub-series from the average of that

Email Adresses: <u>mirhashemi.h@lu.ac.ir</u> (H. Mirhashemi) To cite this article:

Mirhashemi, H. (2023). The structure and dynamic nature of daily temperature time series of khorramabad synoptic station. Journal of Geographical Studies of Mountainous Areas, 4 (3), 21-34.

^{*}Corresponding Author.

Mirhashemi

sub-series, their cumulative signals were created. Finally, the ratio of the range of changes (R) of each of the 1317 cumulative signals to the standard deviation (S) of the initial data of these 1317-time series was calculated by fitting the natural logarithm (R/S) against the natural logarithm of the statistical period of these subseries. Hurst and the dynamic nature of temperature time series was identified. Two intersection points that indicate the change in the behavior of the fluctuation function with respect to the time scale were identified. The slope and the dynamic pattern of the distribution curve are changed before and after these intersection points. In another step, under the DFA2 approach, it was performed on the temperature signal. The distribution of the fluctuation function obtained from DFA2 against different time scales shows that the amount of fluctuation increases as the scale of the time series increases. After all, the change rate of the fluctuation function in different time scales is not the same and shows the multi-scale mode. Also, the result of DFA2 on this seasonally detrended signal determined that the fluctuation function increases with the increase of the time scale. In this regard, the Hurst exponent was obtained as 0.77.

4. Discussion

Intersection points in the Hurst diagram occurs due to changes in signal correlation characteristics in different time scales (Movahed et al., 2006). As these points of intersection indicate the scale behavior of a very complex time series whose different parts have different scale profiles? On the other hand, these intersection points can be caused by the effects of instabilities with parabolic, sinusoidal and power law trends on the scaling behavior of long-term signal correlations (Chen et al., 2007; Chen et al., 2002; Hu et al., 2001). Similar to the studies of (Eichner et al., 2008; Lin & Fu, 2008; Rybski et al., 2008; Yuan et al., 2010), seasonal trends were removed from the temperature Discussion. Fluctuation signal. function increases with the increase of the time scale implies the fractal property of the temperature time series, because the existence of an ascending power relationship between the fluctuations and the time scale is the most important identifier for determining the fractal nature. It is considered a time series (Kantelhardt et al., 2001). The Hurst exponent was obtained in result indicates the existence of correlation and long-term memory in the daily temperature time series of Khorramabad synoptic station.

5. Conclusion

The time series of air temperature of Khorramabad synoptic station was investigated and analyzed using R/S and DFA methods. The results of the application of the R/S method showed that this signal has severe instability due to the presence of annual and seasonal parabolic and sinusoidal trends, which have caused the complexity of the temperature signal; While identifying important angles of the temperature signal, this approach is unable to meaningfully calculate the long-term correlation and memory of this signal due to the complex instabilities of the temperature time series, and perhaps the correlation obtained from this method is false. On the other hand, the results of DFA2 also showed two points of intersection in the temperature signal that the correlation profile has changed around these points and in other words, the scale behavior of the temperature signal has changed in different scales. In this regard, by removing the seasonal trends, it was found that the change in the correlation and the change in the scaling behavior of the fluctuations was not due to the inherent and natural fluctuations of the temperature signal. It should be noted that the results of this study contain the important point that despite the difference in the accuracy of the results of the mentioned methods, each of these methods is able to clarify angles from the temperature signal, which contain important information about the structure are the dynamics of the time series of temperature.

Acknowledgments

The present research is the result of the scientific activity of the author.

شاياي الكترونيكي: ۲۳۲۵-۲۷۱۷ فصلنامه مطالعات جغرافيايي مناطق كوهستاني http://www.gsma.lu.ac.ir



مقاله پژوهش

ساختار و ماهیت دینامیکی سری زمانی دمای روزانه ایستگاه سینوپتیک خرمآباد

حميد ميرهاشمي*۱

• استادیار آب و هواشناسی گروه جغرافیا، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه لرستان، خرم آباد، ایران.

حكيده

اطلاعات مقاله دريافت مقاله: 14.1/.1/11 پذيرش نهايي: 14.1/.9/11 تاريخ انتشار: 14.1/.9/10

واژگان کليدي: دمای هوا، ناایستا، نمایه هرست، نوسان.

دمای هوا به عنوان یکی از مهمترین معیارهای تشخیص نو سانها یا تغییرات در د ستگاه اقلیم مح سوب می شـود که با اتخاذ سـاختاری خودمتشـابه در مقیاسهای زمانی چندگانه، به صـورت یک پدیده فرکتالی نمایان می شـود؛ بنابراین سـیگنال دما از یک سـاختار پیچیده و غیرخطی برخوردار بوده که رفتار بسـیار پیچیدهایی را در افقهای زمانی مختلف نشـان میدهد. در این مطالعه، ماهیت دینامیکی سـری زمانی دمای روزانه (۱۳۲۹–۱٤+۱) ایستگاه سینوپتیک خرمآباد با استفاده از تحلیل دامنه ـــ مقیاس هرست (R/S) و تحلیل نو سانهای روندزدایی شده (DFA2) شنا سایی شد. نتایج حا صل از (R/S) نا شان میدهد که نوسانهای سینوسی با مقیاسهای سالانه و فصلی در سری زمانی دمای هوا وجود دارند. همچنین سه نقطه تقاطع در سـیگنال نوسـانهای دما شـناسـای شـدند که این نوسـانها در پیرامون این نقاط از روند و ساختارهای متفاوتی برخوردارند. از سویی، نتایج DFA2 مشخص کرد که نمایه مقیاسی و همبستگی سری زمانی به سبب وجود روندهای فصلی د ستخوش تغییر شدهاند. در این خصوص روندزدایی فصلی دادهها مشخص کرد که تابع نو سان متنا سب با افزایش مقیاس زمانی افزایش پیدا میکند که این فرایند دلالت بر ماهیت فرکتالی سـیگنال دما دارد. همچنین نمایه هرسـت به مقدار ۷۷/ • بدسـت آمد که دلالت بر وجود همبستگی و حافظه بلندمدت در سیگنال روزانه دمای هوای خرمآباد دارد.

گردش عمومی جو است (Orun & Koçak, 2009) در مقیاس های زمانی بلندتر، انواع تداوم های دیگری اتفاق میفتد (Eichner et al., 2003) که یکی از آنها مرتبط با الگوهای گردشی همراه با سامانه های بندالی است (& Charney DeVore, 1979). در مقیاس های زمانی ماهانه تا فصلی، یکی از برجسته ترین پدیده ها، نوسان جنوبی است که در هر ۳–۵ ساله، شکل می گیرد که به طور قویی بر وضعیت هوا تاثیر می گذارد (Bunde et al., 2001). چنانکه مشخص است جو زمین و

۱. مقدمه

وضعیت اقلیم از طریق فرایندهای فیزیکی گوناگونی غالب شده که هرکدام از این فرایندها از نوسانهای بسیار بزرگی در مقياس هاي زماني _مكاني مختلف برخوردارند كه در اين صورت، اقلیم، سلسله مراتبی از ساختارها را نشان میدهد (Lin & Fu, 2008). مقياس زماني معمول براي تغيير وضعيت هوا در حدود یک هفته است. به ترتیبی که یک هفته گرم بعد از یک هفته سرد رخ میدهد. این وضعیت به سبب تداوم یک هفتهای سامانههای

* نو بسنده مسئول:

پست الكترونيك نويسنده: <u>mirhashemi.h@lu.ac.ir</u> (ح، ميرهاشمي).



نح**وه استادهی به مقاله:** میرهاشمی، حمید (۱۴۰۲). ساختار و ماهیت دینامیکی سری زمانی دمای روزانه ایستگاه سینوپتیک خرم آباد. فصلنامه مطالعات جغرافیایی مناطق کوهستانی. سال چهارم، شماره (۱۵)، صص ۳۴–۲۱.

سنجش همبستگیهای بلندمدت و ارزیابی ویژگیهای مقیاسی، حتی در صورت وجود روند و ناایستایی در سیگنالها، ارائه دادند. این رویکرد پارامتر کمی منفردی بنام نمایه مقیاسی جهت براورد خصوصیات همبستگی فراهم می کند. این روش باهدف بررسی خصوصیات مقیاس فرکتالی و همبستگیهای بلندمدت بسیاری از hasanvand et al., این روش باهدف بررسی متغیرهای هواشناختی همچون بارش (,,) and et al., 2002 متغیرهای هواشناختی همچون بارش (,,) and et al., 2006 زیادی (), 2002 hasanvade et al., 2017; Kantelhardt et al., 2006 زیادی (), 2001 hekmatzadeh et al., 2020; Livina et al., 2000 kalamaras et al., 2019; Koscielny-Bunde et al., 2010 ایکار رفته است.

با توجه به نقشی که دمای هوا در چگونگی وضعیت اقلیمی و همچنین تأثیری که این عنصر بر سایر عنصرها و پدیدههای اقلیمی مثل، توزیع زمانی ـ مکانی و نوع بارش، خشکسالی، سیل، آلودگی هوا، تبخیر پتانسیل، ابرناکی، فشار بخار اشباع و...، دارد، ضرورت شناخت رفتار آن و همچنین نوسانهایی که این عنصر در مقیاسهای زمانی متفاوت نشان میدهد برای هر مکان اجتنابناپذیر است. بنابراین هدف از انجام این مطالعه شناخت ماهیت و دینامیک نوسانهای سری زمانی دما روزانه ایستگاه سینوپتیک خرم آباد و آگاهی از وجود همبستگیهای بلندمدت در این سری زمانی با کاربرد نمایه هرست است.

۲. روش تحقيق

به منظور رهیافت به این پژوهش از دادههای دمای روزانه ایستگاه سینوپتیک خرم آباد با پوشش زمانی ۱۳۲۹–۱۴۰۱ استفاده شد. جهت شناسایی ماهیت رفتار دینامیکی و وجود همبستگی های بلندمدت در این سری زمانی از رویکرد دامنه ـ مقیاس هرست (R/S) و تحلیل نوسانهایی روندزدایی شده (DFA) استفاده شد. مراحل انجام این رویکردها به شرح زیر است:

فرایندهای که در آن اتفاق میفتند به عنوان یک سیستم پیچیده به شمار میرود. این فرایندها از راههای بسیار پیچیدهای با هم اندرکنش میکنند که نوسانهای تقریبا تصادفی پارامترهای هواشناختی در بسیاری از مقیاسهای زمانی ـ مکانی، نتیجه این اند کنش های پیچیده است (Kalamaras et al., 2019). از سویی دماي هواي كه به عنوان يك متغير فيزيكي براي سنجش گرمي و سردی هوا به شمار میرود (Jiang et al., 2015) به عنوان مهمترین شناسه نوسانها یا تغییرات در دستگاه اقلیم نیز محسوب da Silva et al., 2020; Folland et al., 2001;) مى شود (Hasselmann, 1993; Hegerl et al., 2006) که ما اتخاذ ساختاری خودمتشابه در مقیاس های زمانی چندگانه، به صورت یک پدیده فرکتالی نمایان می شود (Lin & Fu, 2008) به عبارتی ساختار دینامیکی سری زمانی دمای هوا ناشی از اثر مکانیزهای متفاوتی است که در مقیاس های زمانی مختلف فعال اند؛ بنابراین سیگنال دما از یک ساختار پیچیده و غیرخطی برخوردار بوده که رفتار بسیار پیچیدهایی را در افقهای زمانی مختلف نشان میدهد. در دهههای اخیر شناسایی همبستگیهای بلند مدت برای آگاهی از رفتار سیگنالهای پیچیده مورد توجه فراوانی قرار گرفته است. در این خصوص برای نخستین بار، هرست (Hurst, 1951) با تحلیل دامنه ـ مقیاس، جریان رودخانه نیل را تبیین و نمایه هرست را بهعنوان شاخصی برای کشف همبستگی بلند مدت معرفی کرد. نتایج هرست به عنوان اولین نمونه رفتار فرکتالی در سریهای زمانی یذیر فته شده است (Feder, 2013). البته بسیاری از مطالعه ها نشان دادهاند که کاربرد رویکرد هرست در صورت وجود روند در سریهای زمانی، منجر به نتایج کاذبی خواهد شد (Bhattacharya et al., 1983; Mesa & Poveda, 1993) عبارتی، این نمایه ممکن است یک همبستگی بلندمدت کاذب را برای سریهای زمانی ناهمبستهایی که تحت تأثیر روندهای یکنواخت قرار دارند، نشان دهد (Bhattacharya et al., 1983;) Hu et al., 2001). برحسب موارد یادشده، (Hu et al., 2001 1994) روش تحلیل نوسان های روندزدایی شده (DFA) را برای

(R/S) روش دامنه _ مقياس هرست (

با اتخاذ سری زمانی دمای روزانه هوا با $x = x_1, x_2, ..., x_n$ ابتدا مقیاس دادهها با استفاده از رابطه ۱ نرمال شد

$$z_{k} = (x_{k} - x_{m}) \quad k = 1, 2, ..., n$$
 (1)

که در این رابطه، x_k مقدار دمای روزانه، x_m میانگین سری زمانی دما و z_k مقدار دمای نرمال شده است. در مرحله بعد، سری زمانی تجمعی دما محاسبه شد (رابطه ۲).

$$Y_i = \sum_{k=1}^{i} Z_k \tag{(Y)}$$

نظر به اینکه میانگین Z صفر است، آخرین مقدار Y یعنی Y_n همواره صفر خواهد بود؛ بنابراین دامنه تعدیل شده برابر خواهد بود با:

$$R_n = \max(Y_1, ..., Y_n) - \min(Y_1, ..., Y_n)$$
 (۳)
از آنجای که میانگین Y صفر است، بیشینه آن همواره بزرگ

مساوی صفر و کمینه آن کوچک تر یا مساوی صفر خواهد بود؛ بنابراین دامنه تعدیل شده همیشه غیر منفی است. هرست با استفاده از قائده نصف در آمار رابطه ۴ را تعریف کرد:

$$\left(\frac{R}{S}\right)_n = a.n^H \tag{(f)}$$

که در این رابطه، R دامنه تغییرات، S انحراف معیار سری زمانی، a عدد ثابت، n تعداد مشاهدهها و H نمای هرست است. این رابطه را می توان بهصورت رابطه ۵ باز آرایی کرد

$$\log\left(\frac{R}{S}\right)_{n} = \log a + H \log(n) \qquad (a)$$

در این راستا با رسم سمت چپ رابطه ۵ در مقابل $\log(n)$ ، نمای هرست بر آورد شد. بر حسب یافته های هرست، اگر مقدار نمای هرست برابر با ۰/۵ شد، بر یک فرایند مستقل نرمال دلالت دارد. اگر بین ۰/۵ و ۱ قرار گرفت بر یک سری زمانی دوامدار با همبستگی بلندمدت بلندمدت دلالت دارد که این بهنوبه خود نشاندهنده ساختار غیر خطی سری زمانی نیز است. در نهایت اگر

۲-۲. تحلیل نوسانهای روندزدایی شده

به رغم اهمیت همبستگیهای بلندمدت موجود در فرایندهای هواشناختي، اما اين فرايندهاي مقياس بلند غالبا دستخوش فرایندهای مختلفی در طبعیت مثل گردشهای عمومی جو و روندهایی که توسط گرمایش جهانی موجب شدهاند، میشوند (Kurnaz, 2004; Orun & Koçak, 2009)؛ بنابراین دادههای سري زماني پديده هاي هواشناختي ذاتاً ناايستا هستند. اين سري هاي زمانی از طریق الگوهایی شبیه روندها و تغییرات ناگهانی مشخص شدهاند (Fan et al., 2013) به منظور حل این مسئله نیاز هست که اثرات ناایستایی در یک سری زمانی حذف شوند. لذا به سبب اینکه روش DFA قادر است به طور سیستماتیک روندهای سری زمانی همراه با ناایستایی را حذف کند (Kantelhardt et al., لذا در (2001; Peng et al., 1995; Telesca et al., 2005)، لذا در گام بعدی جهت محاسبه نمایه همبستگی سری زمانی دمای هوا از روش تحلیل نوسانهای روندزدایی شده به شرح زیر استفاده شد. با در نظرگیری سری زمانی دمای روزانه ایستگاه سینوپتیک خرم آباد به صورت: (k که k = 1, 2, ..., N که x(k) طول سری زمانی دما) اجرای DFA در سه گام به ترتیب زیر انجام گرفت. گام اول: تعیین انحراف تجمعی سری زمانی دما با استفاده از رابطه ، به صورت نیمرخ Y(i) که $\langle X \rangle$ میانگین سری زمانی X_k است.

$$Y(i) = \sum_{k=1}^{i} \left(x_{k} - \left\langle x \right\rangle \right), i = 1, ..., N \quad (9)$$

 $N_{s} = int(N/s)$ به تعداد Y(i) به تعداد $N_{s} = int(N/s)$ کام دوم: تقسیم نیمرخ (i) که هرکدام دارای مقیاسی به اندازه S زیرسیگنال ناهمپوشان که هرکدام دارای مقیاسی به اندازه K محاسبه شد. هستند. S: مقیاس سری زمانی که با کاربرد رابطه V محاسبه شد. بدین ترتیب سیگنال دما به ۴۱ زیرسیگنال با مقیاس های متفاوت تقسیم شد.

$$\begin{split} \mathbf{S}_{j} = & \left[\mathbf{S}_{1}^{i}, \mathbf{S}_{2}^{i_{1}+0.229}, \mathbf{S}_{3}^{i_{2}+0.229}, \dots \mathbf{S}_{n}^{i_{n-1}+0.229} \right], \\ & i = & \left(3.322 \right), \mathbf{S}_{1:n} = 2 \end{split} \tag{V}$$

تر يا

در رابطه ۷، متغیرهای S اندازه سری زمانی ناهمپوشان هستند که انديس پايين (عدد) نشاندهنده شماره مقياس زماني و انديس بالا يا رونویس معرف مقدار توان است. این سری های زمانی بدین ترتیب محاسبه شدهاند که مقدار پایه، همواره برابر با عدد ۲ است ولی مقدار توان که به صورت i اندیس دار معرفی شده به تدریج افزایش پيدا مي كند كه به عبارتي نشاندهنده افزايش تدريجي اندازه سرى هاى زمانى است؛ بنابراين اندازه اولين مقياس از سرى زمانى برابر با 10 $= S_1^i \to 2^{3.322} = 10$ و مقدار توان دومين (i¹)، سومين (i^3) $\cdot(i^2)$ چهارمين و.... صورت ىە ندست $i^1 = i$, $i^2 = i^1 + 0.229$, $i^3 = i^2 + 0.229$ آمدهاند. درنتیجه مقیاس های زمانی که به این ترتیب و با چنین فاصله توانی تولید شدهاند، آرایشی به صورت لگاریتم بر مبنای ۲ ییدا کر دہاند که مناسب روش فرکتالی است (& Mirhashemi (Yarahmadi, 202

گام سوم: محاسبه روند محلی هرکدام از زیرسیگنالهای N_s ، از طریق برازش حداقل مربعات y_v (خط برازش در بخش v است) به سریهای زمانی و آنگاه با کسر دادهها از این روندهای محلی، نیمرخ (()Y روندزدایی شد و در ادامه نوسان محلی Y(s,v) $F^2(s,v)$ هر بخش N_s با استفاده از رابطه ۸ تعیین شد.

$$F^{2}(s,v) = \frac{1}{s} \sum_{i=1}^{s} \left\{ Y\left[(v-1)s+i \right] - y_{v}(i) \right\}^{2} \quad (A)$$



در این گام: رابطه قانون توانی بین نوسان کلی (F²(s, v) و مقیاسهای زمانی s از طریق تحلیل تکفرکتالی نوسانهای روندزدایی شده تعریف شد که نمایه هرست H نامیده می شود. از سویی علاوه با ناایستایی و روندهای بلندمدت ممکن است روندهای دورهای فصلی در سیگنال دما وجود داشته باشد که ضرورت دارد این روندهای فصلی حذف شوند، لذا در گامی دیگر با کاربرد رابطه ۹ روندهای فصلی از سری زمانی دمای هوای روزانه JDFA با کاربرد رابطه ۹ روندهای فصلی از سری زمانی دمای هوای روزانه جهت محاسبه همبستگی بلندمدت دمای روزانه استفاده شد جهت محاسبه همبستگی بلندمدت دمای روزانه استفاده شد (یا1996).

$$\phi_i^{(T)} = T_i - \overline{T}_i \tag{9}$$

در رابطه ۹: T_i مقدار دمای روزانه T_i میانگین روزانه دمای هوا برای هر روز تقویمی کل دوره آماری مورد استفاده.

۲. ۱. معرفی محدوده مورد مطالعه

خرم آباد به عنوان مرکز استان لرستان محسوب می شود که این استان با وسعت ۲۸۸۵۵۹ کیلومتر مربع در غرب ایران بین ۴۶ درجه و ۵۱ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۳ دقیقه طول شرقی و ۳۲ درجه و ۳۷ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۲۲ دقیقه عرض شمالی قرار گرفته است.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه، منبع: نگارنده، ۱۴۰۲

این استان از شمال شرق با استان همدان، از شمال شرق با استان مرکزی، از شمال غرب با استان کرمانشاه، از جنوب با استان خوزستان از جنوب شرق با استان چهارمحال وب ختیاری و از شرق با استان اصفهان همجوار است (شکل ۱). شهر خرم آباد با مساحت ۴۹۸۶ کیلومترمربع در مرکز این استان قرار دارد. در همتنیدگی کوهستان و دشت به عنوان مهمترین شناسه توپوگرافیکی خرم آباد به شمار می رود (شکل ۱).

3. یافتههای پژوهش و بحث

به منظور نیل به این مطالعه، نخست با در نظر گیری پایه میانه ۱۳۱۴۰ روز و گام افزایشی ۱۰روز، ۱۳۱۷ زیرسری زمانی روزانه (n) دمای هوا تولید شد. سپس با محاسبه میانگین و انحراف معیار (S) این زیر سریها و کسر هر کدام از دادههای روزانه این زیرسریها از میانگین آن زیر سری، سیگنالهای تجمعی آنها ایجاد شد. در نهایت، نسبت دامنه

تغییرات (R) هر یک از ۱۳۱۷ سیگنال تجمعی به انحراف معیار (S) دادههای اولیه این ۱۳۱۷ سری زمانی محاسبه شد که با برازش لگاریتم طبیعی (R/S) در مقابل لگاریتم طبیعی طول دوره آماری این زیرسریها، نمایه هرست و ماهیت دینامیکی سری زمانی دما شناسایی شد.چگونگی اجرای این آزمون جهت دستیابی به R/S اولین سری زمانی دمای روزانه ایستگاه سینویتیک خرم آباد در شکل ۲ ارائه شده است. چنانکه از این شکل پیداست برای سری زمانی ۱۳۱۴۰ روز، عدد R/S به مقدار ۷۴۹/۶ محاسبه شد. لگاریتم طبیعی این عدد برابر با ۶٬۶۲ و لگاریتم عدد ۱۳۱۴۰ روز برابر با ۹/۴۸ است. این دو عدد اولین نقطه بدست آمده از اجرای این آزموناند که در شکل ۲ نیز مشخص شدهاند. چنین فرایندی برای ۱۳۱۶ زیرسری زمانی دیگر بهمنظور دستيابي به ساير نقاط نيز اجرا شد كه نتيجه آن در شكل ۲ ارائه شده است. دو نقطه تقاطع که نشاندهنده تغییر رفتار تابع نوسان نسبت به مقياس زماني هستند شناسايي شدند.



شکل ۲. طرحی از اجرای نمایه هرست برروی اولین سیگنال سری زمانی جریان رودخانه کشکان. (X (k) انحراف از میانگین. (Y مقدار تجمعی Min (Y) .X (k) ، منبع: نگارنده، ۱۴۰۲ و Range به ترتیب کمینه، بیشینه و دامنه تغییرات (X (k) ، منبع: نگارنده،

تغییر شده است. نقطه اول و دوم به ترتیب مبتنی بر ۱۷۳۳۶
روز (۴۷ ~ سال) و ۲۴۵۶۶ روز (۶۷ ~ سال) است که مبتنی

چنانکه که از شکل ۳ پیداست شیب و الگوی دینامیکی منحنی پراکنش در قبل و بعد از این نقاط تقاطع دستخوش

بر سالهای ۱۳۷۷ و ۱۳۹۷هستند. در این خصوص منحنی پراکنش قبل از نقطه تلاقی اول یعنی از روز یکم تا ۱۷۳۳۶ أمين روز سری زمانی دما از يک الگوی تغيير توانی برخوردار است به این ترتیب که با افزایش دوره زمانی، مقدار نوسان دما نیز افزایش پیدا می کند (شکل ۴). در این خصوص، تغییر شیبی در این رژیم دمایی مشاهده می شود به نحوی که شدت شیب رابطه توانی بین تابع نوسان و مقیاس زمانی دستخوش تغییر شده است. در این صورت نقطه تقاطعي نيز در داخل اين رژيم دمايي قابل تصور است که خصوصیات دینامیکی نوسان های دمایی بعد از این نقطه تقاطع متفاوت از قبل از آن است. از این گذشته، نوسانهای این رژیم دمایی از یک چرخه سینوسی منظم برخوردارند که با جداسازی و بزرگنمایی آن مشخص میشود مقیاس زمانی این الگوی سینوسی، سالانه است؛ بنابراین بهرغم روند افزایشی مقادیر نوسان های دما نسبت به مقیاس زمانی اما الگوهای سینوسی با چرخه سالانه شامل دو اکسترمم بیشینه و کمینه محلی در سیگنال نوسانهای دما وجود دارند که با افزایش مقیاس زمانی از شدت اختلاف این دو اكسترمم محلى كاسته مىشود. بيشينه ناهنجارى مثبت دما در تیر ـ مرداد و بیشینه ناهنجاری منفی دما در دیماه رخ مىدهد. بيشينه ناهنجارى تجمعي مثبت و منفى دما به ترتيب در آبان و اردیبهشت اتفاق میفتند. از سویی با بزرگنمایی پنجره این چرخههای سینوسی وجود دو نقطه عطف در یالهای چپ و راست این چرخهها قابل شناسایی است؛ بنابراین تقعر منحنی پراکنش در هر یال از الگوی سینوسی پیرامون این نقطه متحمل تغییر شده است. این نقاط عطف، شدت تغییر فصلی نوسانهای دما را بازنمود میکنند. به عبارتی شدت تغییر نوسان دما از فصلی به فصل دیگر متفاوت است.

بزرگ نمایی الگوی دوم نشان از دینامیک متفاوت تغییرات نوسان های دمای این الگو نسبت به افزایش مقیاس زمانی دارد (شکل ۵). در این خصوص یک نقطه تقاطع با دو ديناميك متفاوت در اين الگو وجود دارد كه قبل از اين نقطه تقاطع، رابطه توانی افزایشی بین تابع نوسان دما و مقیاس زمانی وجود ندارد به طوری که با افزایش مقیاس زمانی مقدار نوسان،ها، روند افقی با میل به کاهش طی مي كنند (شكل ۶). بزر گنمايي اين نوسان ها نيز نشان مي دهد که چرخه سینوسی ۶ ماهه در این رژیم دمایی وجود دارد که با افزایش مقیاس زمانی، دامنه بین نقاط اکسترمم بیشینه و كمينه محلى اين چرخه كاهش پيدا مي كند بنابراين روند کلی تابع نوسان و چرخه سینوسی کاهشی است. بعد از نقطه تقاطع این الگوی نوسان دمایی، رابطه قانون توانی افزایشی بین تابع نوسان دما و مقیاس زمانی وجود دارد. چنین رابطهای بیانگر خاصیت فرکتالی این بخش از سری زمانی دادههای دمای روزانه هست (شکل ۷). همچنین تغییرات سینوسی در این دادهها وجود دارند که از چرخه سالانه برخوردارند. چنانکه مشخص است تمامی الگوهای تابع نوسان دارای چرخههای سینوسی هستند که به منظور محاسبه نمایه هرست ضرورت دارد این چرخههای سینوسی فیلتر شوند. نظر به اینکه بزر گترین الگوی سینوسی از مقیاس سالانه برخوردار است لذا با لحاظ گام زمانی ۳۶۵ روز، چرخه سینوسی دادهها فیلتر شد و با محاسبه تابع نوسان، پراکنش لگاریتم طبیعی آن در مقابل لگاریتم طبیعی مقیاس زمانی ترسیم شد (شکل ۸). روند این نمودار پراکنش نیز حائز وجود نقاطع تقاطعي هست كه نشان از تغيير نمايه مقیاس و تابع همبستگی دارد. چنین تغییراتی ممکن است به



شکل ۳. نمودار کلی پراکنش Ln(R/S) در مقابل Ln(n) سری زمانی شکل ۴. نمودار پراکنش Ln(R/S) در مقابل Ln(n) الگوی اول سری دمای روزانه ایستگاه خرم آباد، منبع: نگارنده، ۱۴۰۲ زمانی دمای روزانه ایستگاه خرم آباد، منبع: نگارنده، ۱۴۰۲



شکل ۶. نمودار پراکنش Ln(R/S در مقابل Ln(n) بخش اول الگوی دوم سری زمانی دمای روزانه ایستگاه خرم آباد، منبع: نگارنده، ۱۴۰۲



شکل ۸ نمودار پراکنش (Ln(R/S در مقابل (Ln(n) سری زمانی دمای روزانه ایستگاه خرمآباد با گام ۳۶۰ روز، منبع: نگارنده، ۱۴۰۲

روش DFA2 که از روندزدایی سریهای زمانی ناایستا برخوردار است، فرایند محاسبه نمایه هرست به شرح زیر انجام شد.



شکل ۵. نمودار پراکنش (Ln(R/S در مقابل (Ln(n) الگوی دوم سری زمانی دمای روزانه ایستگاه خرمآباد، منبع: نگارنده، ۱۴۰۲



شکل ۷. نمودار پراکنش Ln(R/S در مقابل Ln(n) بخش دوم الکوی دوم سری زمانی دمای روزانه ایستگاه خرم آباد، منبع: نگارنده، ۱۴۰۲

سبب وجود روندهای غیرخطی و کمتر از مقیاس سالانه در سری زمانی دادهها باشند. بنابراین در گامی دیگر با کاربرد معمول در این خصوص است به طوری که در کاربرد DFA غالبا نقاط تقاطی وجود دارند. به عبارتی مفهوم این نقاط تقاطع این است که مقدار نمایه مقیاسی برای دامنه ای ivanov et al., این مقدار نمایه مقیاسی برای دامنه ای Ivanov et al., 1996; Kantelhard et al., 1999; Iyengar et al., 1996; Kantelhardt et al., 1999; Iyengar et al., 1996; Kantelhardt et al., 1995: نقطه تقاطع معمولا به نسب تغییردر خصوصیات همبستگی سیگنال در مقیاس های زمانی متفاوت پدید می آید (2006). این نقطه تقاطع معمولا به زمانی متفاوت پدید می آید (Movahed et al., 2006). نسب رونانی می معناوت پدید می آید (Movahed et al., 2006). چنانکه این نقاط تقاطع دلالت بر رفتار مقیاسی سری زمانی بسیار پیچیده ای دارد که بخش های مختلف آن از نمایه های مقیاسی گوناگونی بر خوردارند. از سویی این نقاط تقاطع مقیاسی گوناگونی بر خوردارند. از سویی این نقاط تقاطع می توانند ناشی از تاثیر ناایستای های همراه با روندهای می موانند ناشی از تاثیر ناایستای های همراه با رونده ای مهمبستگی های بلندمدت سیگنال ها باشد (, 2001; Chen et al., 2002; Hu et al., 2001) یکی از مراحل مهم انجام DFA، تشخیص مرتبه روندزدایی سیگنال است (,.Agbazo et al., 2019; Bunde et al., (DFA1) یسیگنال است (,DFA1 با مرتبه های خطی (DFA1)، مربعی (DFA2) و مکعبی (DFA3) برروی سری زمانی دما انجام شد. تحت رویکرد DFA2، سیگنال تجمعی و اولیه به ترتیب به صورت مربعی و خطی روندزدایی شدند. پراکنش تابع نوسان حاصل از DFA2 در مقابل مقیاس های زمانی مختلف نشان می دهد که مقدار نوسان به پیرو افزایش مقیاس سری های زمانی، افزایش پیدا می کند. از این گذشته، آهنگ تغییر تابع نوسان در مقیاس های زمانی مختلف، یکسان نبوده و حالت چندمقیاسی را نشان می دهد

به طوری که دو نقطه تقاطع که جداکننده سه رژیم دمایی متفاوت هستند با نمایههای مقیاسی متفاوت در تابع نوسان وجود دارند. ثابت نبودن نمایه مقیاسی یکی از چالشهای



شکل ۹. نمودار نوسان کلی در مقابل مقیاس زمانی دمای روزانه ایستگاه خرم آباد، منبع: نگارنده، ۱۴۰۲

(Rybski et al., 2008; Yuan et al., 2010) برای حذف روندهای فصلی سری زمانی دما از این رویکرد استفاده کردند. نتیجه حاصل از DFA2 برروی این سیگنال روندزدایی شده فصلی در شکل ۱۰ نمایان است. چنانکه به منظور حذف سایر روندهای باقی مانده و جداسازی این ناایستای ها از نوسان های ذاتی _ طبیعی سری زمانی دمای هوا با با کاربرد رابطه ۹، روندهای فصلی از سیگنال دما حذف Eichner et al., 200; Lin & Fu, 2008;) شدند. (

مشخص است تابع نوسان با افزایش مقیاس زمانی افزایش پیدا می کند چنین فرایندی مبین خاصیت فرکتالی سری زمانی دما است چراکه وجود رابطه توانی صعودی بین نوسانها و مقیاس زمانی به عنوان مهمترین شناسه برای تعیین ماهیت فرکتالی یک سری زمانی به شمار می رود

(Kantelhardt et al., 2001). در این خصوص، نمایه هرست به مقدار ۰/۷۷ بدست آمد که نشان از وجود همبستگی و حافظه بلندمدت در سری زمانی دمای روزانه ایستگاه سینوپتیک خرمآباد دارد.



شکل ۱۰. نمودار روندزدایی شده فصلی نوسان کلی در مقابل مقیاس زمانی دمای روزانه ایستگاه خرمآباد، منبع: نگارنده، ۱۴۰۲

۴. نتیجهگیری

دمای هوا نقش تعیین کننده ای در چگونگی وضعیت اقلیمی هر مکان دارد. همچنین این عنصر هواشناختی تأثیر مهمی بر سایر عنصرها و پدیده های اقلیمی مثل، توزیع و نوع بارش، خشکسالی، سیل، آلودگی هوا، تبخیر پتانسیل، ابرناکی، فشار بخار اشباع و...، دارد. بنابراین آگاهی از ساختار دینامیکی نوسان هایی که این عنصر در مقیاس های زمانی متفاوت نشان می دهد بسیار مهم است. در این مطالعه، سری زمانی دمای هوای ایستگاه سینوپتیک خرم آباد با کابرد روش های R/S و DFA مورد بررسی و تحلیل قرار سیگنال به سبب وجود روندهای سهمی و سینوسی سالانه و فصلی از ناایستایی شدیدی بر خوردار است که این فرایندها، پیچید گی سیگنال دما را موجب شده اند؛ بنابراین این رویکر

ضمن مشخص کردن زوایای مهمی از سیگنال دما اما به سبب وجود ناایستایهای پیچیده موجود سری زمانی دما قادر به محاسبه معنادار همبستگی بلندمدت و حافظه این سیگنال نیست و چه بسا همبستگی بدست آمده از این روش، کاذب است. از سویی نتایج حاصل از DFA2 نیز دو نقطه تقاطع در سیگنال دما را نشان داد که نمایه همبستگی در پیرامون این نقاط متحمل تغییر شده و به عبارتی رفتار مقیاسی سیگنال دما در مقیاسهای مختلف تغییر کرده است. در این خصوص، با حذف روندهای فصلی مشخص شد که تغییر در همبستگی و تغییر رفتار مقیاسی نوسانها به سبب نوسانهای ذاتی و طبیعی سیگنال دما نبوده است. لازم به ذکر است که نتایج این مطالعه حاوی این نکته مهم هست که به رغم متفاوت بودن دقت نتایج این زوشهای یادشده، ولی هرکدام از این روش ها precipitation system by PCA and SDLE. Applied Mathematical Modelling, 37(6), 4059-4066.

- Feder, J. (2013). Fractals. Springer Science & Business Media.
- Folland, C., Karl, T., Christy, J., Clarke, R., Gruza, G., Jouzel, J., Mann, M., Oerlemans, J., Salinger, M., & Wang, S. (2001). Observed climate variability and change. Climate change, 99.
- Hasanvand, z., Yarahmadi, D., lashkari, h., & Mirhashemi, H. (2022). Fractal analysis of daily rainfall in Karkheh and Dez catchment. Physical Geography Quarterly, 15(55), 115-129.
- Hasselmann, K. (1993). Optimal fingerprints for the detection of time-dependent climate change. Journal of Climate, 6(10), 1957-1971.
- Hegerl, G. C., Karl, T. R., Allen, M., Bindoff, N. L., Gillett, N., Karoly, D., Zhang, X., & Zwiers, F. (2006). Climate change detection and attribution: beyond mean temperature signals. Journal of Climate, 19(20), 5058-5077.
- Hekmatzadeh, A. A., Torabi Haghighi, A., Hosseini Guyomi, K., Amiri, S. M., & Kløve, B. (2020). The effects of extremes and temporal scale on multifractal properties of river flow time series. River Research and Applications, 36(1), 171-182.
- Hu, K., Ivanov, P. C., Chen, Z., Carpena, P., & Stanley, H. E. (2001). Effect of trends on detrended fluctuation analysis. Physical Review E, 64(1), 011114.
- Hurst, H. E. (1951). Long-term storage capacity of reservoirs. Trans. Amer. Soc. Civil Eng., 116, 770-799.
- Ivanov, P. C., Amaral, L. A. N., Goldberger, A. L., Havlin, S., Rosenblum, M. G., Struzik, Z. R., & Stanley, H. E. (1999). Multifractality in human heartbeat dynamics. Nature, 399(6735), 461-465.
- Iyengar, N., Peng, C., Morin, R., Goldberger, A. L., & Lipsitz, L. A. (1996). Age-related alterations in the fractal scaling of cardiac interbeat interval dynamics. American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology, 271(4), R1078-R1084.
- Jiang, L., Li, N., Fu, Z., & Zhang, J. (2015). Long-range correlation behaviors for the 0cm average ground surface temperature and average air temperature over China.

قادرند زوایای را از سیگنال دما را روشن کنند که این زوایا حاوی اطلاعات مهمی در مورد ساختار دینامیکی سری زمانی دما هستند.

فهرست منابع

- Agbazo, M. N., Koto N'Gobi, G., Alamou, E., Kounouhewa, B., & Afouda, A. (2019).
 Fractal analysis of the long-term memory in precipitation over bénin (West Africa).
 Advances in Meteorology,
- Bhattacharya, R. N., Gupta, V. K., & Waymire, E. (1983). The Hurst effect under trends. Journal of applied probability, 20(3), 649-662.
- Bunde, A., Bogachev, M. I., & Lennartz, S. (2012). Precipitation and river flow: Longterm memory and predictability of extreme events. Extreme Events and Natural Hazards: The Complexity Perspective, 196, 139-152.
- Bunde, A., Havlin, S., Koscielny-Bunde, E., & Schellnhuber, H.-J. (2001). Long term persistence in the atmosphere: global laws and tests of climate models. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 302(1-4), 255-267.
- Charney, J. G., & DeVore, J. G. (1979). Multiple flow equilibria in the atmosphere and blocking. Journal of Atmospheric Sciences, 36(7), 1205-1216.
- Chen, X., Lin, G., & Fu, Z. (2007). Longrange correlations in daily relative humidity fluctuations: A new index to characterize the climate regions over China. Geophysical research letters, 34(7).
- Chen, Z., Ivanov, P. C., Hu, K., & Stanley, H. E. (2002). Effect of nonstationarities on detrended fluctuation analysis. Physical Review E, 65(4), 041107.
- Da Silva, H. S., Silva, J. R. S., & Stosic, T. (2020). Multifractal analysis of air temperature in Brazil. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 549, 124333.
- Eichner, J. F., Koscielny-Bunde, E., Bunde,
 A., Havlin, S., & Schellnhuber, H.-J. (2003). Power-law persistence and trends in the atmosphere: A detailed study of long temperature records. Physical Review E, 68(4), 046133.
- Fan, Q., Wang, Y., & Zhu, L. (2013). Complexity analysis of spatial-temporal

Multifractal analysis of daily precipitation of selected stations in the west - southwest of Iran. Journal of the Earth and Space Physics, 47(3), 485-499.(In Persian)

- Movahed, M. S., Jafari, G., Ghasemi, F., Rahvar, S., & Tabar, M. R. R. (2006).
 Multifractal detrended fluctuation analysis of sunspot time series. Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment, 2006(02), P02003.
- Orun, M., & Koçak, K. (2009). Application of detrended fluctuation analysis to temperature data from Turkey. International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society, 29(14), 2130-2136.
- Peng, C.-K., Buldyrev, S. V., Havlin, S., Simons, M., Stanley, H. E., & Goldberger, A. L. (1994). Mosaic organization of DNA nucleotides. Physical Review E, 49(2), 1685.
- Peng, C. K., Havlin, S., Stanley, H. E., & Goldberger, A. L. (1995). Quantification of scaling exponents and crossover phenomena in nonstationary heartbeat time series. Chaos: an interdisciplinary journal of nonlinear science, 5(1), 82-87.
- Rybski, D., Bunde, A., & Von Storch, H. (2008). Long-term memory in 1000-year simulated temperature records. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 113(D2).
- Telesca, L., Lapenna, V., & Macchiato, M. (2005). Multifractal fluctuations in seismic interspike series. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 354, 629-640.
- Yuan, N., Fu, Z., & Mao, J. (2010). Different scaling behaviors in daily temperature records over China. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 389(19), 4087-409

Theoretical and applied climatology, 119, 25-31.

- Jiang, L., Li, N., & Zhao, X. (2017). Scaling behaviors of precipitation over China. Theoretical and applied climatology, 128, 63-70.
- Kalamaras, N., Tzanis, C. G., Deligiorgi, D., Philippopoulos, K., & Koutsogiannis, I. (2019). Distribution of air temperature multifractal characteristics over Greece. Atmosphere, 10(2), 45.
- Kantelhardt, J. W., Koscielny-Bunde, E., Rego, H. H., Havlin, S., & Bunde, A. (2001). Detecting long-range correlations with detrended fluctuation analysis. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 295(3-4), 441-454.
- Kantelhardt, J. W., Koscielny-Bunde, E., Rybski, D., Braun, P., Bunde, A., & Havlin, S. (2006). Long-term persistence and multifractality of precipitation and river runoff records. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 111(D1).
- Koscielny-Bunde, E., Bunde, A., Havlin, S., & Goldreich, Y. (1996). Analysis of daily temperature fluctuations. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 231(4), 393-396.
- Kurnaz, M. (2004). Application of detrended fluctuation analysis to monthly average of the maximum daily temperatures to resolve different climates. Fractals, 12(04), 365-373.
- Lin, G., & Fu, Z. (2008). A universal model to characterize different multi-fractal behaviors of daily temperature records over China. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 387(2-3), 573-579.
- Livina, V. N., Ashkenazy, Y., Bunde, A., & Havlin, S. (2011). Seasonality effects on nonlinear properties of hydrometeorological records. In In Extremis (pp. 266-284). Springer.
- Matsoukas, C., Islam, S., & Rodriguez-Iturbe, I. (2000). Detrended fluctuation analysis of rainfall and streamflow time series. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 105(D23), 29165-29172.
- Mesa, O. J., & Poveda, G. (1993). The Hurst effect: The scale of fluctuation approach. Water Resources Research, 29(12), 3995-4002.

Mirhashemi, H., & Yarahmadi, D. (2021).

ميرهاشمي