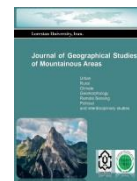




Lorestan University

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<sup>a,\*</sup><sup>a</sup> 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.

### ABSTRACT

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

\*Corresponding Author.

Email Addresses: [mirhashemi.h@lu.ac.ir](mailto:mirhashemi.h@lu.ac.ir) (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.

Doi:10.52547/gsma.4.3.21

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 signal. Discussion. Fluctuation 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.



دانشگاه لرستان

شاپای الکترونیکی: ۲۳۲۵-۲۷۱۷

فصلنامه مطالعات جغرافیایی مناطق کوهستانی

<http://www.gsma.lu.ac.ir>



مقاله پژوهشی

## ساختار و ماهیت دینامیکی سری زمانی دمای روزانه ایستگاه سینوپتیک خرم آباد

حمید میرهاشمی<sup>۱\*</sup>

<sup>۱\*</sup> استادیار آب و هواشناسی گروه جغرافیا، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه لرستان، خرم آباد، ایران.

### اطلاعات مقاله

دریافت مقاله:

۱۴۰۲/۰۲/۱۸

پذیرش نهایی:

۱۴۰۲/۰۶/۲۸

تاریخ انتشار:

۱۴۰۲/۰۹/۱۵

واژگان کلیدی:

دمای هوا، نایبستا، نمایه

هرست، نوسان.

### چکیده

دمای هوا به عنوان یکی از مهمترین معیارهای تشخیص نوسانها یا تغییرات در دما در ایستگاه اقلیم محسوب می‌شود که با اتخاذ ساختاری خودمتشابه در مقیاس‌های زمانی چندگانه، به صورت یک پدیده فرکتالی نمایان می‌شود؛ بنابراین سیگنال دما از یک ساختار پیچیده و غیرخطی برخوردار بوده که رفتار بسیار پیچیده‌ای را در افق‌های زمانی مختلف نشان می‌دهد. در این مطالعه، ماهیت دینامیکی سری زمانی دمای روزانه (۱۳۳۹-۱۴۰۱) ایستگاه سینوپتیک خرم‌آباد با استفاده از تحلیل دامنه — مقیاس هرست (R/S) و تحلیل نوسان‌های روندزایی شده (DFA2) شنا سایی شد. نتایج حاصل از (R/S) نشان می‌دهد که نوسان‌های سینوسی با مقیاس‌های سالانه و فصلی در سری زمانی دمای هوا وجود دارند. همچنین سه نقطه تقاطع در سیگنال نوسان‌های دما شناسایی شدند که این نوسان‌ها 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 دستخوش تغییر شده‌اند. در این خصوص روندزایی فصلی داده‌ها مشخص کرد که تابع نوسان متناسب با افزایش مقیاس زمانی افزایش پیدا می‌کند که این فرایند دلالت بر ماهیت فرکتالی سیگنال دما دارد. همچنین نمایه هرست به مقدار  $0.77 \pm$  بدست آمد که دلالت بر وجود همبستگی و حافظه بلندمدت در سیگنال روزانه دمای هوای خرم‌آباد دارد.

### ۱. مقدمه

وضعیت اقلیم از طریق فرایندهای فیزیکی گوناگونی غالب شده که هرکدام از این فرایندها از نوسان‌های بسیار بزرگی در مقیاس‌های زمانی - مکانی مختلف برخوردارند که در این صورت، اقلیم، سلسله مراتبی از ساختارها را نشان می‌دهد (Lin & Fu, 2008). مقیاس زمانی معمول برای تغییر وضعیت 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

گردش عمومی جو است (Orun & Koçak, 2009) در مقیاس‌های زمانی بلندتر، انواع تداوم‌های دیگری اتفاق می‌افتد (Eichner et al., 2003) که یکی از آنها مرتبط با الگوهای گردشی همراه با سامانه‌های بندالی است (Charney & DeVore, 1979). در مقیاس‌های زمانی ماهانه تا فصلی، یکی از برجسته‌ترین پدیده‌ها، نوسان جنوبی است که در هر ۳-۵ ساله، شکل می‌گیرد که به طور قوی بر وضعیت هوا تاثیر می‌گذارد (Bunde et al., 2001). چنانکه مشخص است جو زمین و

\* نویسنده مسئول:

پست الکترونیک نویسنده: [mirhashemi.h@lu.ac.ir](mailto:mirhashemi.h@lu.ac.ir) (ح، میرهاشمی).

نحوه استناد به مقاله: میرهاشمی، حمید (۱۴۰۲). ساختار و ماهیت دینامیکی سری زمانی دمای روزانه ایستگاه سینوپتیک خرم‌آباد. فصلنامه مطالعات جغرافیایی مناطق کوهستانی. سال چهارم، شماره ۳ (۱۵)،

صص ۳۴-۲۱.

سنجش همبستگی‌های بلندمدت و ارزیابی ویژگی‌های مقیاسی، حتی در صورت وجود روند و نایستایی در سیگنال‌ها، ارائه دادند. این رویکرد پارامتر کمی منفردی بنام نمایه مقیاسی جهت برآورد خصوصیات همبستگی فراهم می‌کند. این روش باهدف بررسی خصوصیات مقیاس فرکتالی و همبستگی‌های بلندمدت بسیاری از متغیرهای هواشناختی همچون بارش (hasanvand et al., 2022; Jiang et al., 2017; Kantelhardt et al., 2006; Mirhashemi & Yarahmadi, 2021 Hekmatzadeh et al., 2020; Livina et al., 2011;) (Chen et al., 2007)؛ نم نسبی (Matsoukas et al., 2000) و دمای هوا (Bunde et al., 2001; Jiang et al., 2015;) (Kalamaras et al., 2019; Koscielny-Bunde et al., 1996; Rybski et al., 2008; Yuan et al., 2010) بکار رفته است.

با توجه به نقشی که دمای هوا در چگونگی وضعیت اقلیمی و همچنین تأثیری که این عنصر بر سایر عناصرها و پدیده‌های اقلیمی مثل، توزیع زمانی- 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 خرم‌آباد و آگاهی از وجود همبستگی‌های بلندمدت در این سری زمانی با کاربرد نمایه هرست است.

## ۲. روش تحقیق

به منظور رهیافت به این پژوهش از داده‌های دمای روزانه ایستگاه سینوپتیک خرم‌آباد با پوشش زمانی ۱۳۲۹-۱۴۰۱ استفاده شد. جهت شناسایی ماهیت رفتار دینامیکی و وجود همبستگی‌های بلندمدت در این سری زمانی از رویکرد دامنه - 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 می‌افتد به عنوان یک سیستم پیچیده به شمار می‌رود. این فرایندها از راه‌های بسیار پیچیده‌ای با هم اندرکنش می‌کنند که نوسان‌های تقریباً تصادفی پارامترهای هواشناختی در بسیاری از مقیاس‌های زمانی - مکانی، نتیجه این اندکنش‌های پیچیده است (Kalamaras et al., 2019). از سویی دمای هوای که به عنوان یک متغیر فیزیکی برای سنجش گرمی و سردی هوا به شمار می‌رود (Jiang et al., 2015) به عنوان مهمترین شناسه نوسان‌ها یا تغییرات در دستگاه اقلیم نیز محسوب می‌شود (da Silva et al., 2020; Folland et al., 2001;) (Hasselmann, 1993; Hegerl et al., 2006) که با اتخاذ ساختاری خودمتشابه در مقیاس‌های زمانی چندگانه، به صورت یک پدیده فرکتالی نمایان می‌شود (Lin & Fu, 2008) به عبارتی ساختار دینامیکی سری زمانی دمای هوا ناشی از اثر مکانیزهای متفاوتی است که در مقیاس‌های زمانی مختلف فعال‌اند؛ 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 - 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 پذیرفته شده است (Feder, 2013). البته بسیاری از مطالعه‌ها 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) به 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، (Peng et al., 1994) روش تحلیل نوسان‌های روندزدایی شده (DFA) را برای

نمای هرست مثبت و کمتر از ۰/۵ شد، نشان از بی دوام بودن سری زمانی دارد.

## ۲-۲. تحلیل نوسان‌های روندزادایی شده

به رغم اهمیت همبستگی‌های بلندمدت موجود در فرایندهای هواشناختی، اما این فرایندهای مقیاس بلند غالباً دستخوش فرایندهای مختلفی در طبیعت مثل گردش‌های عمومی جو و روندهایی که توسط گرمایش جهانی موجب شده‌اند، می‌شوند (Kurnaz, 2004; Orun & Koçak, 2009)؛ بنابراین داده‌های

سری زمانی پدیده‌های هواشناختی ذاتاً ناپایستا هستند. این سری‌های زمانی از طریق الگوهایی شبیه روندها و تغییرات ناگهانی مشخص شده‌اند (Fan et al., 2013) به منظور حل این مسئله نیاز هست که اثرات ناپایستایی در یک سری زمانی حذف شوند. لذا به سبب اینکه روش DFA قادر است به طور سیستماتیک روندهای سری

زمانی همراه با ناپایستایی را حذف کند (Kantelhardt et al., 2005; Peng et al., 1995; Telesca et al., 2001)، لذا در

گام بعدی جهت محاسبه نمایه همبستگی سری زمانی دمای هوا از روش تحلیل نوسان‌های روندزادایی شده به شرح زیر استفاده شد.

با در نظرگیری سری زمانی دمای روزانه ایستگاه سینوپتیک خرم‌آباد به صورت:  $x(k)$  که  $k = 1, 2, \dots, N$  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 ۶ به صورت نیمرخ  $Y(i)$  که  $\langle X \rangle$  میانگین سری زمانی  $X_k$  است.

$$Y(i) = \sum_{k=1}^i (x_k - \langle x \rangle), i = 1, \dots, N \quad (6)$$

گام دوم: تقسیم نیمرخ  $Y(i)$  به تعداد  $N_s = \text{int}(N/s)$  زیرسیگنال ناهمپوشان که هر کدام دارای مقیاسی به اندازه  $S$  هستند.  $S$ : مقیاس سری زمانی که با کاربرد رابطه ۷ محاسبه شد. بدین ترتیب سیگنال دما به ۴۱ زیرسیگنال با مقیاس‌های متفاوت تقسیم شد.

$$S_j = [S_1^i, S_2^{i+0.229}, S_3^{i+0.229}, \dots, S_n^{i+0.229}], \quad i = (3.322), S_{1:n} = 2 \quad (7)$$

## ۲-۱. روش دامنه - مقیاس هرست (R/S)

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

$$z_k = (x_k - x_m) \quad k = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

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).

$$Y_i = \sum_{k=1}^i Z_k \quad (2)$$

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:

$$R_n = \max(Y_1, \dots, Y_n) - \min(Y_1, \dots, Y_n) \quad (3)$$

از آنجای که میانگین  $Y$  صفر است، بیشینه آن همواره بزرگ‌تر یا مساوی صفر و کمینه آن کوچک‌تر یا مساوی صفر خواهد بود؛ بنابراین دامنه تعدیل شده همیشه غیر منفی است. هرست با استفاده از قانده نصف در آمار رابطه ۴ را تعریف کرد:

$$\left( \frac{R}{S} \right)_n = a.n^H \quad (4)$$

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 می‌توان به صورت رابطه ۵ بازآرایی کرد

$$\log \left( \frac{R}{S} \right)_n = \log a + H \log(n) \quad (5)$$

در این راستا با رسم سمت چپ رابطه ۵ در مقابل  $\log(n)$ ، نمای هرست برآورد شد. برحسب یافته‌های 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 به نوبه خود نشان‌دهنده ساختار غیرخطی سری زمانی نیز است. در نهایت اگر

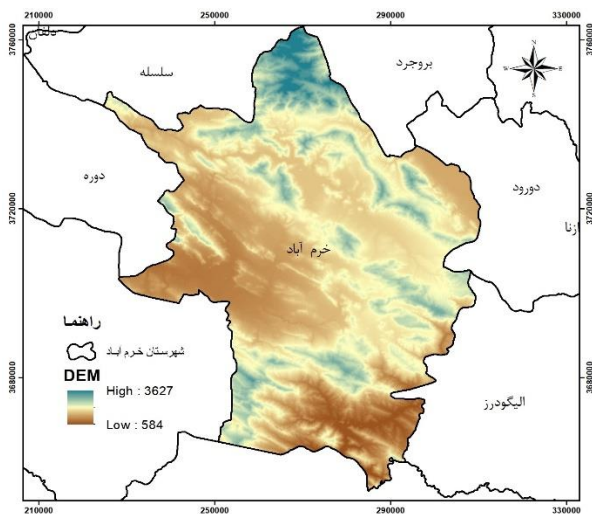
در این گام: رابطه قانون توانی بین نوسان کلی  $F^2(s, v)$  و مقیاس‌های زمانی  $s$  از طریق تحلیل تک‌فرکتالی نوسان‌های روندزدایی شده تعریف شد که نمایه هرست  $H$  نامیده می‌شود. از سویی علاوه با ناپیوستگی و روندهای بلندمدت ممکن است روندهای دوره‌ای فصلی در سیگنال دما وجود داشته باشد که ضرورت دارد این روندهای فصلی حذف شوند، لذا در گامی دیگر با کاربرد رابطه ۹ روندهای فصلی از سری زمانی دمای هوای روزانه حذف شدند و سری زمانی حاصله به عنوان ورودی روش DFA جهت محاسبه همبستگی بلندمدت دمای روزانه استفاده شد (Kantelhardt et al., 2006; Koscielny-Bunde et al., 1996).

$$\phi_i^{(T)} = T_i - \bar{T}_i \quad (9)$$

در رابطه ۹:  $T_i$  مقدار دمای روزانه  $\bar{T}_i$  میانگین روزانه دمای هوا برای هر روز تقویمی کل دوره آماری مورد استفاده.

## ۱.۲. معرفی محدوده مورد مطالعه

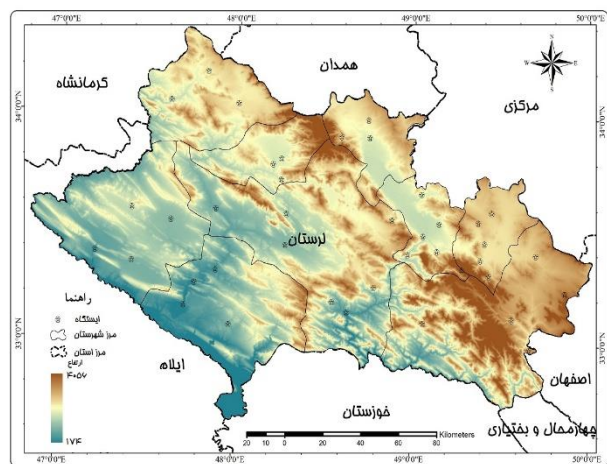
خرم آباد به عنوان مرکز استان لرستان محسوب می‌شود که این استان با وسعت ۲۸۸۵۵۹ کیلومتر مربع در غرب ایران بین ۴۶ درجه و ۵۱ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۳ دقیقه طول شرقی و ۳۲ درجه و ۳۷ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۲۲ دقیقه عرض شمالی قرار گرفته است.



در رابطه ۷، متغیرهای  $S$  اندازه سری زمانی ناهمپوشان هستند که اندیس پایین (عدد) نشان‌دهنده شماره مقیاس زمانی و اندیس بالا یا رونویس معرف مقدار توان است. این سری‌های زمانی بدین ترتیب محاسبه شده‌اند که مقدار پایه، همواره برابر با عدد ۲ است ولی مقدار توان که به صورت  $i$  اندیس‌دار معرفی شده به تدریج افزایش پیدا می‌کند که به عبارتی نشان‌دهنده افزایش تدریجی اندازه سری‌های زمانی است؛ بنابراین اندازه اولین مقیاس از سری زمانی برابر با  $2^{3.322} = 10 \rightarrow S_i^i$  و مقدار توان دومین  $(i^1)$ ، سومین  $(i^2)$ ، چهارمین  $(i^3)$  و... به صورت  $i^1 = i$ ,  $i^2 = i^1 + 0.229$ ,  $i^3 = i^2 + 0.229$  بدست آمده‌اند. در نتیجه مقیاس‌های زمانی که به این ترتیب و با چنین فاصله‌ای تولید شده‌اند، آرایشی به صورت لگاریتم بر مبنای ۲ پیدا کرده‌اند که مناسب روش فرکتالی است (Mirhashemi & Yarahmadi, 202).

گام سوم: محاسبه روند محلی هر کدام از زیرسیگنال‌های  $N_s$ ، از طریق برازش حداقل مربعات  $y_v$  (خط برازش در بخش ۷ است) به سری‌های زمانی و آنگاه با کسر داده‌ها از این روندهای محلی، نیمرخ  $Y(i)$  روندزدایی شد و در ادامه نوسان محلی  $F^2(s, v)$  هر بخش  $v = 1, \dots, N_s$  با استفاده از رابطه ۸ تعیین شد.

$$F^2(s, v) = \frac{1}{s} \sum_{i=1}^s \{Y[(v-1)s+i] - y_v(i)\}^2 \quad (8)$$



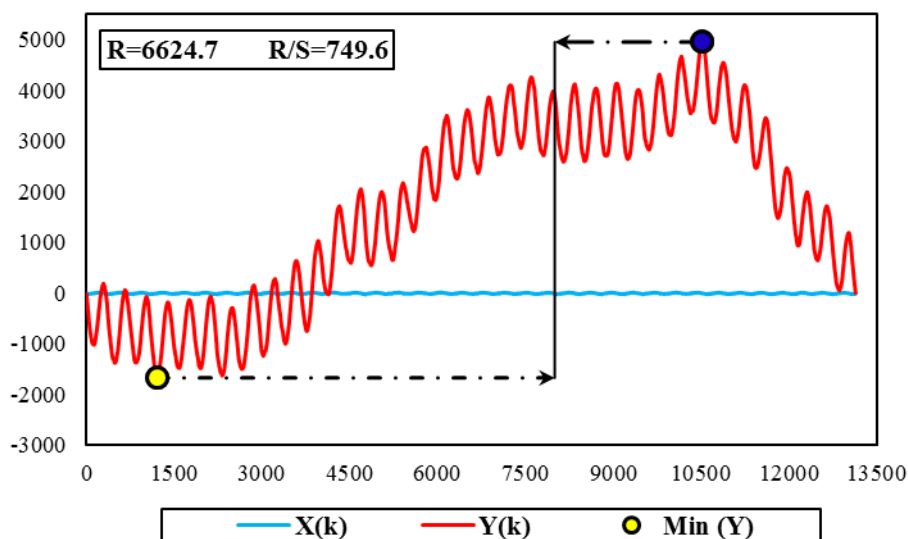
شکل ۱. موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه، منبع: نگارنده، ۱۴۰۲

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 سینوپتیک خرم‌آباد 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 به منظور دستیابی به سایر نقاط نیز اجرا شد که نتیجه آن در شکل ۲ ارائه شده است. دو نقطه تقاطع که نشان‌دهنده تغییر رفتار تابع نوسان نسبت به مقیاس زمانی هستند شناسایی شدند.

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 وبختیاری و از شرق با استان اصفهان همجوار است (شکل ۱). شهر خرم‌آباد با مساحت ۴۹۸۶ کیلومترمربع در مرکز این استان قرار دارد. در همتیدگی کوهستان و دشت به عنوان مهمترین شناسه توپوگرافیکی خرم‌آباد به شمار می‌رود (شکل ۱).

### ۳. یافته‌های پژوهش و بحث

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



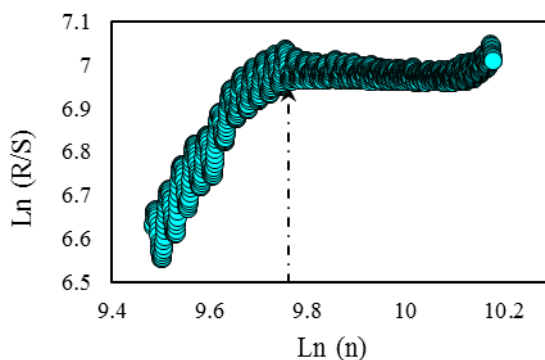
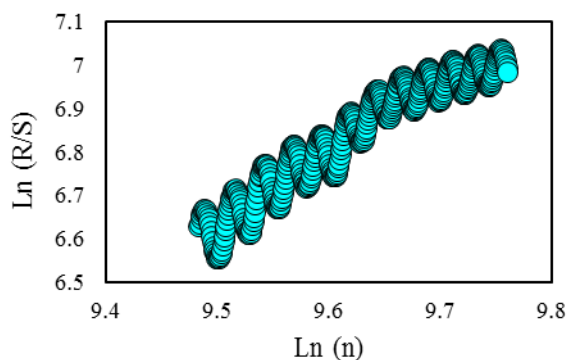
شکل ۲. طرحی از اجرای نمایه هرست بر روی اولین سیگنال سری زمانی جریان رودخانه کشکان. X (k) انحراف از میانگین. Y (k) مقدار تجمعی X (k)، Min (Y)، Max (Y) و Range به ترتیب کمینه، بیشینه و دامنه تغییرات Y (k)، منبع: نگارنده، ۱۴۰۲

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

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

بزرگ‌نمایی الگوی دوم نشان از دینامیک متفاوت تغییرات نوسان‌های دمای این الگو نسبت به افزایش مقیاس زمانی دارد (شکل ۵). در این خصوص یک نقطه تقاطع با دو دینامیک متفاوت در این الگو وجود دارد که قبل از این نقطه تقاطع، رابطه توانی افزایشی بین تابع نوسان دما و مقیاس زمانی وجود ندارد به طوری که با افزایش مقیاس زمانی مقدار نوسان‌ها، روند افقی با میل به کاهش طی می‌کند (شکل ۶). بزرگ‌نمایی این نوسان‌ها نیز نشان می‌دهد که چرخه سینوسی ۶ ماهه در این رژیم دمایی وجود دارد که با افزایش مقیاس زمانی، دامنه بین نقاط اکسترمم بیشینه و کمینه محلی این چرخه کاهش پیدا می‌کند بنابراین روند کلی تابع نوسان و چرخه سینوسی کاهش می‌یابد. 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 بزرگترین 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 نقاط تقاطعی هست که نشان از تغییر نمایه مقیاس و تابع همبستگی دارد. چنین تغییراتی ممکن است به

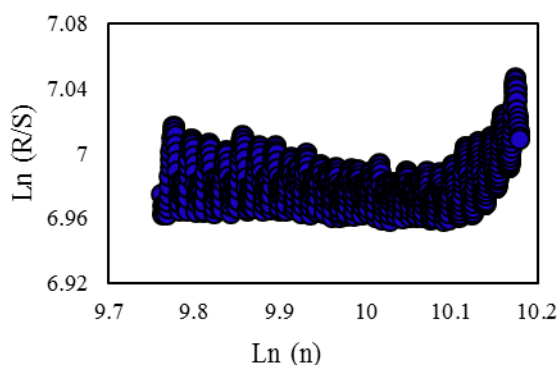
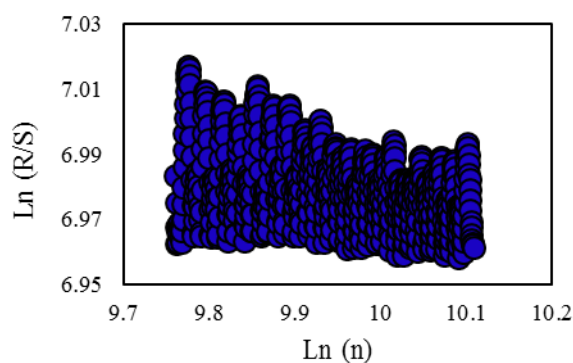
بر سال‌های ۱۳۷۷ و ۱۳۹۷ هستند. در این خصوص منحنی پراکنش قبل از نقطه تلاقی اول یعنی از روز یکم تا ۱۷۳۳۶ آمین روز سری زمانی دما از یک الگوی تغییر توانی برخوردار است به این ترتیب که با افزایش دوره زمانی، مقدار نوسان دما نیز افزایش پیدا می‌کند (شکل ۴). در این خصوص، تغییر شیئی در این رژیم دمایی مشاهده می‌شود به نحوی که شدت شیب رابطه توانی بین تابع نوسان و مقیاس زمانی دستخوش تغییر شده است. در این صورت نقطه تقاطعی نیز در داخل این رژیم دمایی قابل تصور است که خصوصیات دینامیکی نوسان‌های 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 نوسان‌های 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 اکسترمم محلی کاسته می‌شود. بیشینه ناهنجاری مثبت دما در تیر - مرداد و بیشینه ناهنجاری منفی دما در دی‌ماه رخ می‌دهد. بیشینه ناهنجاری تجمعی مثبت و منفی دما به ترتیب در آبان و اردیبهشت اتفاق می‌افتند. 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 باز نمود می‌کنند. به عبارتی شدت تغییر نوسان دما از فصلی به فصل دیگر متفاوت است.



شکل ۳. نمودار کلی پراکنش  $\ln(R/S)$  در مقابل  $\ln(n)$  سری زمانی نمودار پراکنش  $\ln(R/S)$  در مقابل  $\ln(n)$  الگوی اول سری

زمانی دمای روزانه ایستگاه خرم آباد، منبع: نگارنده، ۱۴۰۲

زمانی دمای روزانه ایستگاه خرم آباد، منبع: نگارنده، ۱۴۰۲

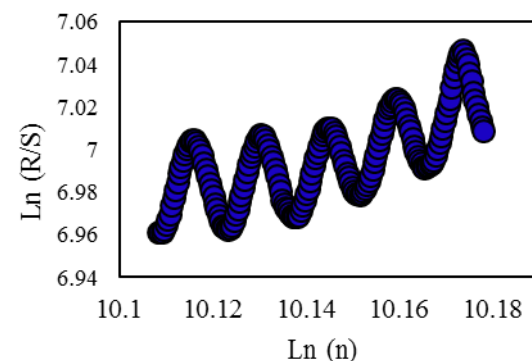
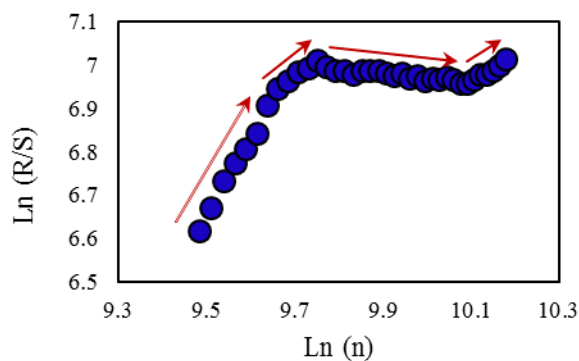


شکل ۵. نمودار پراکنش  $\ln(R/S)$  در مقابل  $\ln(n)$  الگوی دوم

سری 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 ۷. نمودار پراکنش  $\ln(R/S)$  در مقابل  $\ln(n)$  بخش دوم

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 خرم آباد با گام ۳۶۰ روز، منبع: نگارنده، ۱۴۰۲

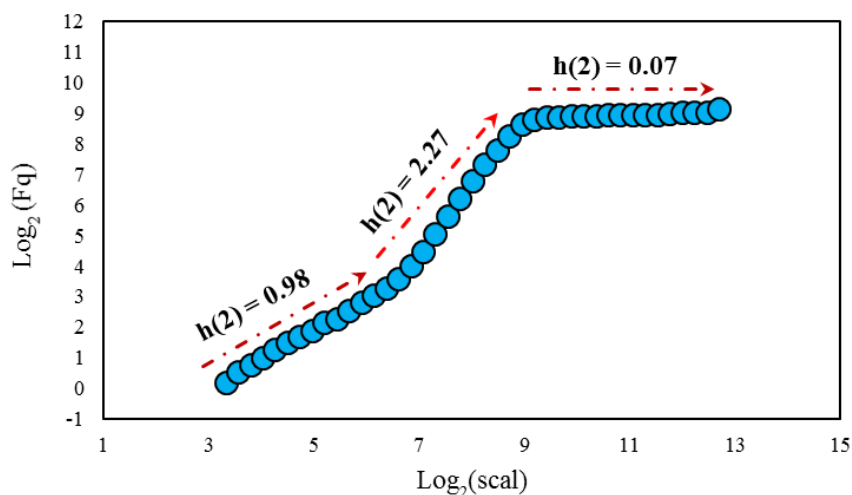
۱۴۰۲

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

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 غالباً نقاط تقاطعی وجود دارند. به عبارتی مفهوم این نقاط تقاطع این است که مقدار نمایه مقیاسی برای دامنه‌ای از مقیاس‌های مختلف، متفاوت است (Ivanov et al., 1999; Iyengar et al., 1996; Kantelhardt et al., 2001; Peng et al., 1995). این نقطه تقاطع معمولاً به سبب تغییر در خصوصیات همبستگی سیگنال در مقیاس‌های زمانی متفاوت پدید می‌آید (Movahed et al., 2006). چنانکه این نقاط تقاطع دلالت بر رفتار مقیاسی سری زمانی بسیار پیچیده‌ای دارد که بخش‌های مختلف آن از نمایه‌های مقیاسی گوناگونی برخوردارند. از سویی این نقاط تقاطع می‌توانند ناشی از تاثیر ناپایستای‌های همراه با روندهای سهمی، سینوسی و روندهای قانون توانی بر رفتار مقیاسی همبستگی‌های بلندمدت سیگنال‌ها باشد (Chen et al., 2007; 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., 2012). بنابراین، DFA با مرتبه‌های خطی (DFA1)، مربعی (DFA2) و مکعبی (DFA3) بر روی 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 مقیاس‌های زمانی مختلف نشان می‌دهد که مقدار نوسان به پیرو افزایش مقیاس سری‌های زمانی، افزایش پیدا می‌کند. از این گذشته، آهنگ تغییر تابع نوسان در مقیاس‌های زمانی مختلف، یکسان نبوده و حالت چندمقیاسی را نشان می‌دهد (شکل ۹). 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



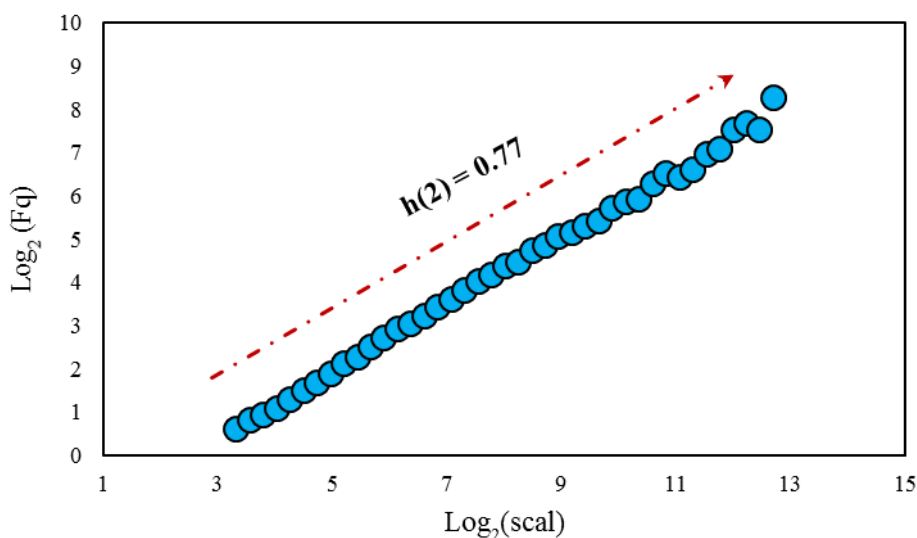
شکل ۹. نمودار نوسان کلی در مقابل مقیاس زمانی دمای روزانه ایستگاه خرم‌آباد، منبع: نگارنده، ۱۴۰۲

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

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

(Kantelhardt et al., 2001). در این خصوص، نمایه هرست به مقدار  $0/77$  بدست آمد که نشان از وجود همبستگی و حافظه بلندمدت در سری زمانی دمای روزانه ایستگاه سینوپتیک خرم آباد دارد.

مشخص است تابع نوسان با افزایش مقیاس زمانی افزایش پیدا می‌کند 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 می‌رود



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

ضمن مشخص کردن زوایای مهمی از سیگنال دما اما به سبب وجود ناپایداری‌های 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 به‌رغم متفاوت بودن دقت نتایج حاصل از روش‌های یادشده، ولی هرکدام از این روش‌ها

#### ۴. نتیجه‌گیری

دمای هوا نقش تعیین کننده‌ای در چگونگی وضعیت اقلیمی هر مکان دارد. همچنین این عنصر هواشناختی تأثیر مهمی بر سایر عناصرها و پدیده‌های اقلیمی مثل، توزیع و نوع بارش، خشکسالی، سیل، آلودگی هوا، تبخیر پتانسیل، ابرناکی، فشار بخار اشباع و... دارد. بنابراین آگاهی از ساختار دینامیکی نوسان‌هایی که این عنصر در مقیاس‌های زمانی متفاوت نشان می‌دهد بسیار مهم است. در این مطالعه، سری زمانی دمای هوای ایستگاه سینوپتیک خرم‌آباد با کاربرد روش‌های R/S و DFA مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت. نتایج حاصل از کاربرد روش R/S نشان داد که این سیگنال به سبب وجود روندهای سهمی و سینوسی سالانه و فصلی از ناپایداری شدیدی برخوردار است که این فرایندها، پیچیدگی سیگنال دما را موجب شده‌اند؛ بنابراین این رویکر

- 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 Haghghi, 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 0-cm 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 benin (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: Long-term 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). Long-range 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).