

Technical Note

Spectral Analysis of Flow- Precipitation
Fluctuations in Dinevar Basin

S.Y. Mirzaee¹, A. Azari^{2*} and G.A. Parham³

Abstract

In this research the flow-precipitation fluctuations in 9 station in Dinevar basin were analyzed by spectral density functions and Autocorrelation Functions in the frequency and time domain. First fluctuations in the correlogram of each time series were analyzed. Then Spectral density functions based on the Fourier series were used to check the time series in the frequency domain. In this regard, the Spectrum value of each flow and rainfall series was calculated and the periodogram of each series was produced. The Periodograms showed fluctuations in several frequencies. These were seasonal fluctuations with frequency 0.083 (return period of 12 months), short term fluctuations with frequency 0.25 (return period of 4 months), and midterm fluctuations with frequency 0.167 (return period of 4 months). Fluctuations were not observed for return period of 6 months in Precipitation data. Cross spectral analysis of data showed high match levels in frequencies 0.083 and 0.25. Also the estimated values of delay by cross spectral analysis for precipitation seasonal fluctuations (0.083) and its effect on the seasonal flow fluctuations was estimated as about 1.5 months. The delay was determinate as 0.4, 0.5, and 0.14 months for fluctuations with smaller return periods. According to the spectral analysis results for precipitation data in all stations, after removing the frequency and trends, a long term fluctuation (cycle) was observed in frequency 0.01 (100 months) that can be associated to the Wet and dry periods in this region.

Keywords: Flow, Precipitation, Spectral Analysis, Coherency Functions, Phase Functions.

Received: November 30, 2015

Accepted: May 11, 2016

یادداشت فنی

تحلیل طیفی نوسانات دبی- بارش در حوضه آبریز
دینه‌ور

سید یحیی میرزایی^۱، آرش آذری^{۲*} و غلامعلی پرهام^۳

چکیده

در این مطالعه نوسانات دبی و بارندگی در ۹ ایستگاه موجود در حوضه دینه‌ور با استفاده از توابع چگالی طیفی و توابع خود همبستگی در قلمرو فرکانس و زمان مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت. در ابتدا نوسانات موجود در همبستگی نگار هر سری زمانی تحلیل شد. سپس برای بررسی سری‌های زمانی در قلمرو فرکانس از توابع چگالی طیفی که مبتنی بر سری‌های فوریه می‌باشد استفاده شد. در این راستا ابتدا مقدار طیف برای هر یک از سری‌های دبی و بارش محاسبه و نمودار دوره نگار هر سری ترسیم شد. دوره نگارهای این داده‌ها در چندین فرکانس نوسان نشان داد. این نوسانات شامل نوسانات فصلی با فرکانس $0/083$ (دوره بازگشت ۱۲ ماهه)، نوسانات کوتاه مدت با فرکانس $0/25$ (دوره بازگشت ۴ ماه) و نوسانات میان مدت با فرکانس $0/167$ (دوره بازگشت ۶ ماهه) می‌باشد. نوسانات ۶ ماهه در داده‌های بارندگی نمودی نداشت. نتایج تحلیل طیف متقابل داده‌ها در فرکانس‌های $0/083$ و $0/25$ مقادیر تطابق بالایی را نشان داد. همچنین مقادیر تأخیر برآورد شده از آنالیز طیفی متقابل برای نوسانات فصلی ($0/083$) در بارش و اثر آن بر نوسانات فصلی دبی حدود $1/5$ ماه برآورد شده و این تأخیر برای نوسانات با دوره بازگشت کمتر، حدود $0/4$ ، $0/5$ و $0/14$ ماه تعیین شد. بر اساس نتایج آنالیز طیفی داده‌های بارش ایستگاه‌ها پس از حذف تناوب و روند، در تمامی داده‌ها یک نوسان طول مدت (سیکل) در فرکانس $0/01$ (۱۰۰ ماهه) مشاهده شد که می‌توان گفت این نوسانات مربوط به دوره‌های تر سالی و خشکسالی موجود در این منطقه می‌باشد.

کلمات کلیدی: دبی، بارش، تحلیل طیفی، دوره نگار، توابع تطابق، توابع فاز.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۴/۹/۹

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۵/۲/۲۲

1-Assistant Professor, Department of Geology, Shahid Chamran University of Ahwaz, Iran.

2-Assistant Professor, Department of Water Engineering, Razi University, Kermanshah, Iran. Email: arashazari.ir@gmail.com

3-Associate Professor, Department of Statistics, Shahid Chamran University of Ahwaz, Iran.

*- Corresponding Author

۱- استادیار گروه زمین شناسی دانشگاه شهید چمران اهواز.

۲- استادیار گروه مهندسی آب دانشگاه رازی، کرمانشاه.

۳- دانشیار گروه آمار دانشگاه شهید چمران اهواز.

*- نویسنده مسئول

بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان تابستان ۱۳۹۶ امکانپذیر است.

۱- مقدمه

بررسی، تحلیل و شناخت نوسانات موجود در داده‌های منابع آب همچنین عوامل ایجاد کننده این نوسانات کمک بسیار زیادی به درک شرایط اقلیمی حاکم بر منابع آب در حوضه‌های آبریز می‌کنند. تحلیل‌های طیفی در قلمرو فرکانس و آنالیزهای خود همبستگی که در این مطالعه جهت بررسی نوسانات موجود در سری‌های زمانی داده‌های دبی و بارش استفاده شده اند ابزاری مناسب برای شناخت و مجزا کردن نوسانات با فرکانس‌ها و دوره برگشت‌های مختلف در سری‌های زمانی می‌باشد. تحلیل زمانی و طیفی بر روی سری‌های زمانی توسط محققین زیادی مورد استفاده قرار گرفته است. (Chow et al. (1970), Samani(1997), Xue et al. (2011), Sedghi (2000), Raiesi (2001), Rushani et al. (2012) و Mattikalli (1996) به آنالیز داده‌های اقلیمی از جمله بارش و تبخیر همچنین داده‌های دبی و کیفیت رودخانه‌ها در قلمرو زمان و فرکانس پرداختند همچنین (Biddiscombe et al. (1985), Brigitte et al. (2003) و Mirzaee (2004) با استفاده از تحلیل‌های طیفی و زمانی به بررسی داده‌های سطح ایستابی و بارش در آبخوان‌های مختلف پرداختند. لذا در این مطالعه سعی شده با استفاده از تحلیل‌های سری زمانی در قلمرو زمان و فرکانس اثر پذیری داده‌های رودخانه از عوامل اقلیمی همچنین نوسانات موجود در داده‌های بارش منطقه مورد تحلیل قرار گیرد.

۲- موقعیت منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز دینه‌ور یکی از زیر حوضه‌های اصلی رودخانه گاماسیاب محسوب می‌شود که بین طولهای جغرافیایی $47^{\circ}7'$ الی $47^{\circ}42'$ و عرض جغرافیایی $33^{\circ}33'$ تا $34^{\circ}52'$ قرار گرفته است (شکل ۱). مساحت حوضه $1718/87$ کیلومتر مربع، حداکثر ارتفاع در منطقه 3300 متر می‌باشد.

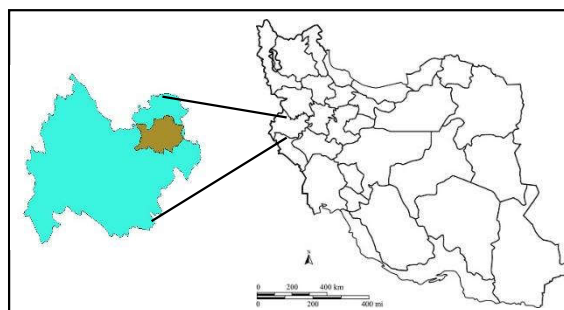


Fig1. Location of the study area
شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

۳- روش تحقیق

وقایع اقلیمی عموماً دارای مولفه‌های مختلفی چون روند، تناوب و سیکل می‌باشند. با توجه به ماهیت این نوسانات در یک سری زمانی که حاصل وابستگی ریاضی بین مولفه‌های سری زمانی می‌باشد را می‌توان با به کار گیری آنالیزهای خود همبستگی ارزیابی و ارتباطات معنی دار در یک سری زمانی را مجزا کرد. تابع خود همبستگی برای یک سری زمانی ناپیوسته، بشرح ذیل تعریف می‌شود (Yevjevich, 1982).

$$r_{(k)} = \frac{Cov(x_t, x_{t+k})}{[\text{Var}(x_t)\text{Var}(x_{t+k})]^{1/2}} = \frac{\gamma_k}{\gamma_0} \quad (1)$$

$$\text{Var}(x_t) = \text{Var}(x_{t+k}) = \gamma_0 \quad (2)$$

$$r_k = \frac{C_k}{C_0} \quad (3)$$

$$C_k = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (x_t - \bar{x})(x_{t+k} - \bar{x}) \quad (4)$$

$$C_0 = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (x_t - \bar{x})^2 \quad (5)$$

در این روابط r_k ضریب خود همبستگی، k تأخیر زمانی، $Cov(x_t, x_{t+k})$ کوواریانس، C_k ضریب اتوکواریانس در تأخیر k و C_0 ضریب اتوکواریانس می‌باشد. مقدار r_k نیز در محدوده $0 \leq r_k \leq 1$ متغیر است (Chow, 1978). برای انجام مطالعه حاضر از داده‌های یک دوره ۳۵ ساله ۳ ایستگاه آبسنجی پل چهر، حیدر آباد و پل کهنه و ۶ ایستگاه باران سنجی پل چهر، حیدر آباد، پل کهنه، بیستون، سخن و هرسین استفاده گردید. پس از تصحیح داده‌ها میزان خود همبستگی سری زمانی برای تأخیرهای مختلف محاسبه و با استفاده از نرم افزار SPSS همبستگی نگار سری‌های زمانی ترسیم گردید (شکل ۲).

به دلیل عدم توانایی همبستگی نگارها در تحلیل تناوبات با دوره برگشت‌های طولانی، از روش‌های تحلیل در فرکانس نیز استفاده شد. این روش‌ها مبتنی بر سری‌های فوریه و اساساً با تقریب زدن یک تابع با جملات سینوسی و کسینوسی بر سری زمانی انجام می‌گیرد. این تابع با توجه به معنی دار بودن تعدادی از هارمونی‌ها، برای تشخیص نمودهای فصلی، روند و نوسانات نامشخص سری زمانی استفاده می‌شود (Chatfield, 1989). لذا بر این اساس تابع چگالی طیفی $g(f)$ به شرح ذیل تعریف می‌گردد (Box & Jenkins, 1976).

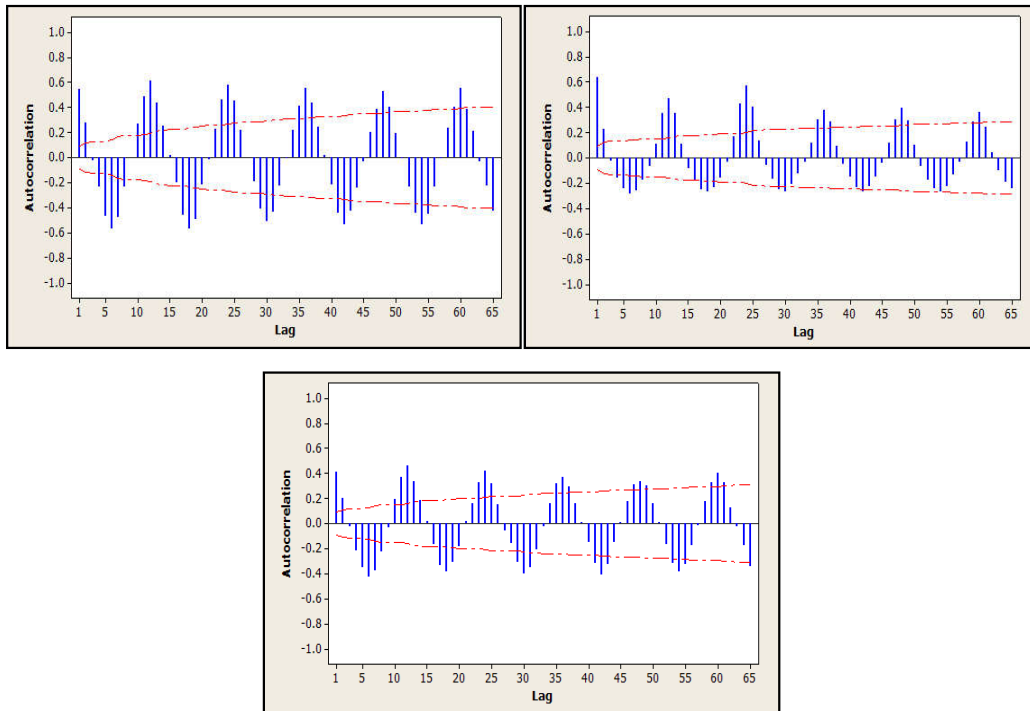


Fig2. Autocorrelation diagrams for some stations in the study area
 شکل ۲- همبستگی نگار برخی ایستگاه‌های محدوده مطالعاتی

در این رابطه $f_x(\omega)$ و $f_y(\omega)$ طیف‌های توان فرآیند X_t, Y_t و $q_{xy}(\omega), C_{xy}(\omega)$ به ترتیب بخش موهومی و حقیقی تابع طیف متقابل می‌باشند. از رسم تطابق برحسب فرکانس (f) یا فرکانس زاویه‌ای (ω) ، نمودار تطابق حاصل می‌شود که میزان همبستگی را در فرکانس‌های مختلف نشان می‌دهد (Chatfield, 1989). جهت تعیین تأخیر اثر پذیری سری‌ها از تابع فاز استفاده می‌گردد (شکل ۴). فرم تئوریک و نحوی محاسبه طیف فاز (تابع فاز) و تأخیر فاز به شرح ذیل می‌باشد.

$$\phi_{xy}(\omega) = \text{Tan}^{-1} \left[\frac{-q_{xy}(\omega)}{C_{xy}(\omega)} \right] \quad (۸)$$

$$k = \frac{TP}{2\pi} = \frac{P}{\omega} \quad (۹)$$

رابطه ۸ جهت تعیین تقدم و تأخر بکار می‌رود و جهت محاسبه میزان تأخیر از رابطه ۹ استفاده می‌گردد در این رابطه T ، پرپود متناظر با فراوانی (در جایی که تطابق نزدیک به ۱ است) و P فاز می‌باشد.

۴- نتایج و بحث

بررسی نمودارهای همبستگی نگار داده‌ها بارش و دبی نشان می‌دهد

$$g(f) = \frac{p(f)}{\sigma_z^2} = 2\left\{ \rho_0 + 2 \sum_{K=1}^{\infty} \rho_K \cos 2\pi f k \right\} \quad (۶)$$

که در آن $p(f)$ تابع طیف توان، σ واریانس فرآیند، ρ_0 خود همبستگی جمعیت در تأخیر صفر f فرکانس و ρ_K خود همبستگی جمعیت در تأخیر k ام می‌باشد. با ترسیم تابع چگالی طیفی در مقابل فرکانس، نمودار دوره نگار حاصل می‌شود. واکنش دورنگار به نوسانات سری زمانی از جمله روند و تناوب شامل نمود نقطه اوج در فرکانس صفر و در سایر فرکانس‌ها می‌باشد (شکل ۳)، (Chatfield, 1989).

جهت بررسی اثر پذیری داده‌های دبی از بارش منطقه از توابع طیفی متقابل نیز استفاده گردید. این توابع تبدیل فوریه تابع کوواریانس متقابل بوده و جهت تعیین رابطه میان دو سری زمانی می‌باشد. یکی از توابع بسیار مفید در بررسی متقابل سری‌های زمانی در دامنه فرکانس، تابع تطابق مجذور شده است، این تابع ارتباط دو سری‌زمانی را در فرکانس‌های مختلف می‌سنجد (Chatfield, 1989)، (رابطه ۷).

$$Ch_{xy}(\omega) = \left[\frac{C_{xy}^2(\omega) + q_{xy}^2(\omega)}{f_x(\omega) f_y(\omega)} \right] = \frac{\alpha_{xy}^2(\omega)}{f_x(\omega) f_y(\omega)} \quad (۷)$$

داده‌های بارندگی و دبی دو پیک در فرکانس‌های ۰/۲۵ (دوره بازگشت ۴ ماه) و ۰/۱۶۷ (دوره بازگشت ۶ ماهه) قابل رویت می‌باشد که نوسانات ۶ ماه در داده‌های بارندگی نمودی ندارد (جدول ۱). براساس آنچه گفته شد در داده‌های دبی تمامی ایستگاه‌ها سه نوسان مشاهده گردید که با توجه به اثرپذیری دبی رودخانه از بارش دو گروه این نوسانات در دوره نگار بارش نیز رهگیری شد.

نوسانات تناوبی با دوره بازگشت ۱۲ ماه به عنوان غالب ترین نوسان موجود در این داده‌ها می‌باشد همچنین تمامی نمودار دوره نگار ترسیم شده نشان می‌دهد میزان طیف در فرکانس‌های پائین، مقادیر پائینی برآورد شده است که نشان دهنده عدم وجود روند در داده‌ها می‌باشد. نوسانات با فرکانس ۰/۰۸۳ غالب ترین نوسان موجود در تمامی ایستگاه‌های باران سنجی و دبی سنجی می‌باشد همچنین در

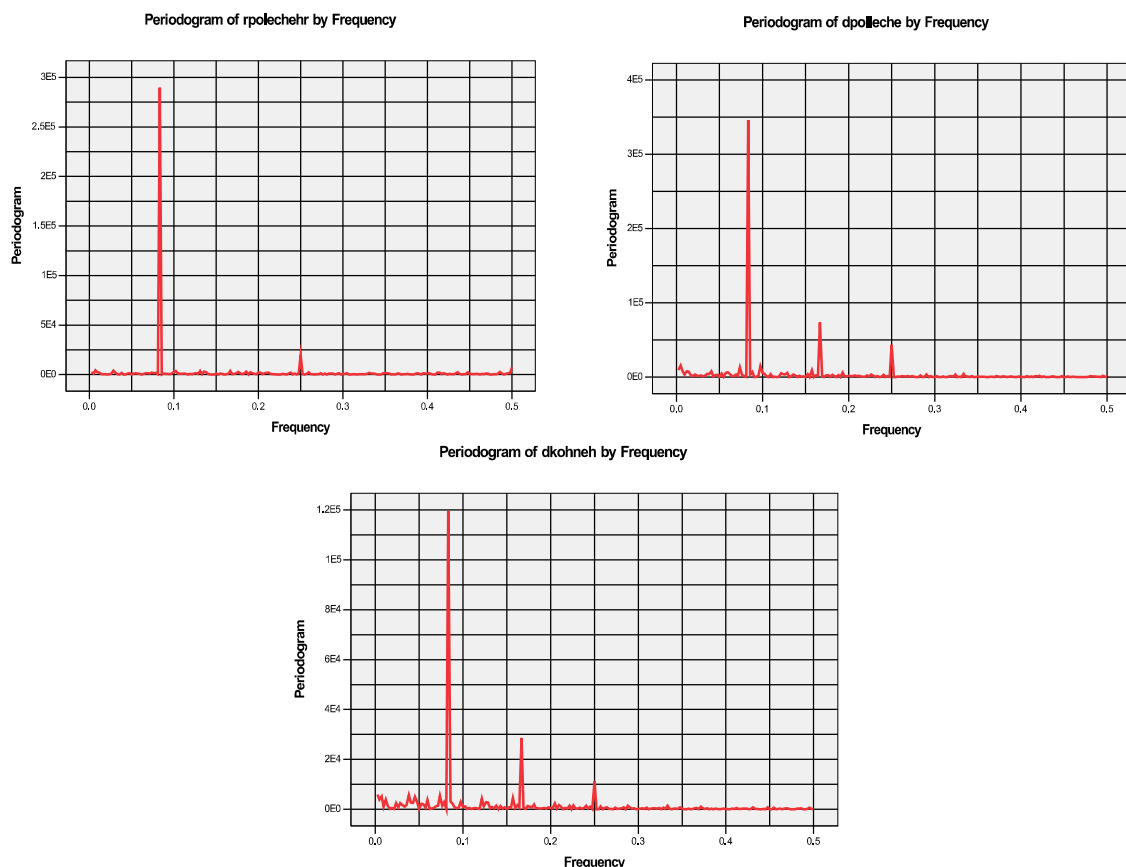


Fig3. Periodograms of precipitation and discharge data for some stations

شکل ۳- نمودار دوره نگار داده‌های بارش و دبی برخی ایستگاه‌ها

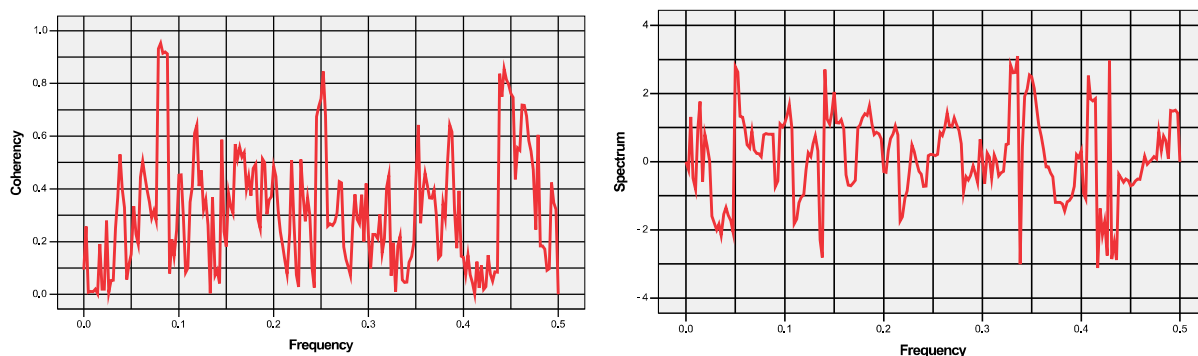


Fig4. Coherency and phase diagram of precipitation and discharge of Pul-e-kohneh station

شکل ۴- نمودار تطابق و فاز داده‌های بارش و دبی پل کهنه

Table1. The dominant fluctuations in precipitation and discharge data**جدول ۱- نوسانات غالب در داده‌های بارش و دبی**

	Frequency	Return period (Month)	Frequency	Return period (Month)	Frequency	Return period (Month)
The fluctuations of precipitation data	0.083	12	-	-	0.25	4
The fluctuations of discharge data	0.083	12	0.167	6	0.25	4

Table2. The delay amounts of precipitation and discharge data**جدول ۲- مقادیر تأخیر داده‌های بارش و دبی**

Station	delay amount	(Month)Return period	Phase	Frequency
Pul-e-Chehr	1.42	12	0.74	0.083
	0.4	4	0.63	0.25
Heydarabad	1.53	12	0.8	0.083
	0.48	4	0.76	0.25
Pul-e-Kohneh	1.55	12	0.81	0.083
	0.14	4	0.21	0.25

بازگشت بیشتر نمود پیدا نمی‌کند بنابراین برای بررسی نوسانات سیکلی ابتدا نوسانات فصلی از داده‌ها حذف و پس از آن توابع طیف برای داده‌ها ترسیم گردید. برای حذف نوسانات فصلی یک تابع میانگین متحرک ۱۲ ماهه از داده‌ها عبور داده شد پس از حذف تناوب جهت حذف روند از برازش معادلات رگرسیونی استفاده و روند از داده‌ها حذف گردید. پس از انجام این عمل طیف نگار داده‌های حاصله ترسیم شد (شکل ۵). همان‌گونه که نمودار طیف نگار داده‌ها نشان می‌دهد نوساناتی در فرکانس‌های پائین قابل رویت می‌باشد که عمده‌ترین نوسان این نمودار در فرکانس ۰/۰۱ می‌باشد که معادل تناوب سیکلی ۱۰۰ ماهه است.

برای نمود این نوسانات در داده‌های ترسیمی برخی دیگر از نوسانات موجود در داده‌ها با استفاده از یک تابع میانگین متحرک هموار گردید (شکل ۶). نتایج این هموار سازی باعث شد نوسانات سیکلی موجود در داده‌ها نمایان‌تر گردد. لذا می‌توان گفت در داده‌های اقلیمی مورد بررسی نوساناتی سیکلی با دوره بازگشت ۱۰۰ ماهه تکرار شده که می‌تواند مربوط به دوره‌های تر سالی و خشکسالی موجود در این منطقه باشد.

۵- نتیجه‌گیری

- نتایج آنالیز خودهمبستگی داده‌های دبی و بارش در منطقه نشان داد مهمترین عامل نمود کرده در داده‌های سری زمانی، مولفه تناوب فصلی با دوره بازگشت ۱۲ ماهه می‌باشد. این تحقیق نشان داد

اما در مورد نوسانات با دوره بازگشت ۶ ماه این نوسان در داده‌های بارندگی نمود پیدا نکرده است. در همین راستا جهت بررسی دقیق‌تر اثرپذیری داده‌های دبی از بارش منطقه، در مورد ۳ ایستگاه که همزمان داده‌های دبی و بارش آنها موجود می‌باشد، نتایج آنالیز طیفی متقابل بررسی و در فرکانس‌هایی که تابع تطابق بالا برآورد شده بود مقادیر فاز محاسبه و مقادیر تأخیر اثرگذاری سری مستقل بر سری وابسته در هر فرکانس تعیین گردید (جدول ۲).

بر اساس نتایج حاصله در دو فرکانس ۰/۰۸۳ و ۰/۲۵ مقادیر تطابق بالا برآورد شده که با نتایج آنالیز طیفی یگانه نیز همخوانی دارد لذا می‌توان گفت ایجاد این نوسانات ارتباط مستقیم با نوسانات بارش منطقه دارد ولی فرکانس ۰/۱۶۷ که در داده‌های دبی نمود داشته، در بررسی‌های طیفی متقابل مشاهده نشد. لذا نوسانات بارندگی به طور مستقیم در ایجاد این نوسان دخیل نبوده است. بنابراین عوامل دیگری باعث این نوسان در داده‌های دبی رودخانه‌های منطقه شده‌اند. بر اساس نتایج توابع فاز، تأخیر برآورد شده برای تأثیر نوسانات فصلی بارش (۰/۰۸۳) بر تغییرات دبی رودخانه‌های منطقه حدود ۱/۵ ماه برآورد شده است. یکی دیگر از کاربردهای مهم تحلیل‌های طیفی، بررسی نوسانات سیکلی با دوره بازگشت‌های طولانی همچنین تناوبات تر و خشک می‌باشد. لذا در این مطالعه به بررسی داده‌های اقلیمی منطقه از لحاظ نوسانات طولیل مدت نیز پرداخته شد. با توجه به ماهیت داده‌های بارش و دبی، میزان طیف برآورد شده برای نوسانات فصلی مقدار بسیار بالایی است. لذا به دلیل تأثیر شدید نوسانات فصلی بر دوره نگار، نوسانات سیکلی با دوره

دقیقا در همین فرکانس در دوره نگرهای دبی نیز به نمایش در آمده است ولی در سایر فرکانسها پیک واضحی مشاهده نشد. داده‌های دبی دو پیک در فرکانس‌های $0/25$ (دوره بازگشت ۴ ماه) و $0/167$ (دوره بازگشت ۶ ماهه) قابل رویت می‌باشد که نوسانات ۶ ماهه ($0/167$) در داده‌های بارندگی نمودی ندارد.

نتایج نمودارهای طیف متقابل نشان داد، داده‌های بارش و دبی در فرکانس‌های $0/083$ و $0/25$ دارای تطابق بالا می‌باشند که نشان دهنده اثر پذیری دبی در این فرکانس‌ها از بارش می‌باشد.

روش‌های آنالیز خود همبستگی روش‌های مناسبی برای بررسی نوسانات موجود در داده‌های هیدرولوژیکی نمی‌باشد.

دوره نگار داده‌های مورد بررسی دو نوسان غالب فصلی و کوتاه مدت را در داده‌های دبی و بارش مشخص نمود. این نوسانات شامل نوسانات فصلی با فرکانس $0/083$ و دوره بازگشت ۱۲ ماهه و نوسانات کوتاه مدت با فرکانسی کمتر از $0/083$ می‌باشند. با توجه به نمودار دوره نگار ترسیمی از داده‌های بارندگی یک پیک در دوره نگرهای بارش در فرکانس $0/25$ (دوره بازگشت ۴ ماه) قابل مشاهده می‌باشد این نوسان را در داده‌های دبی نیز می‌توان مشاهده کرد که

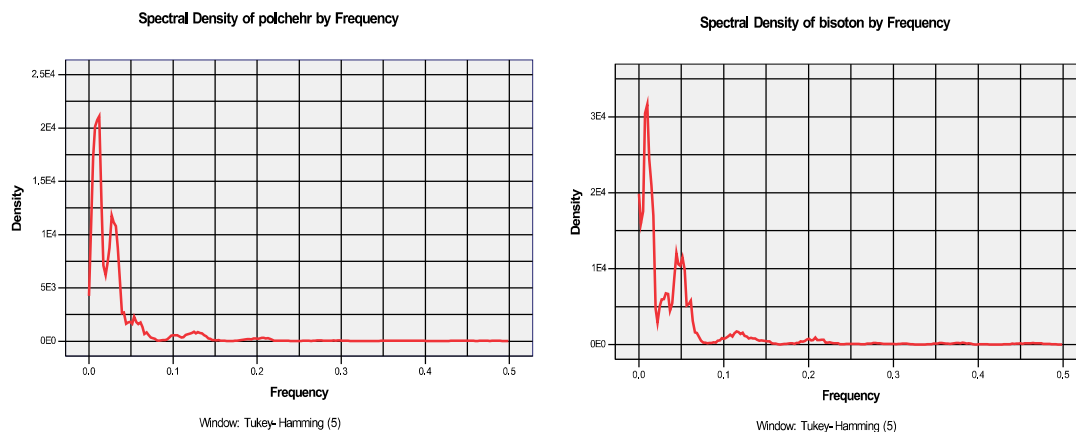


Fig5. Spectral density diagrams of some stations after removing trend and seasonal fluctuation components

شکل ۵- نمودار چگالی طیف برخی ایستگاه‌ها پس از حذف مولفه‌های نوسانات فصلی و روند

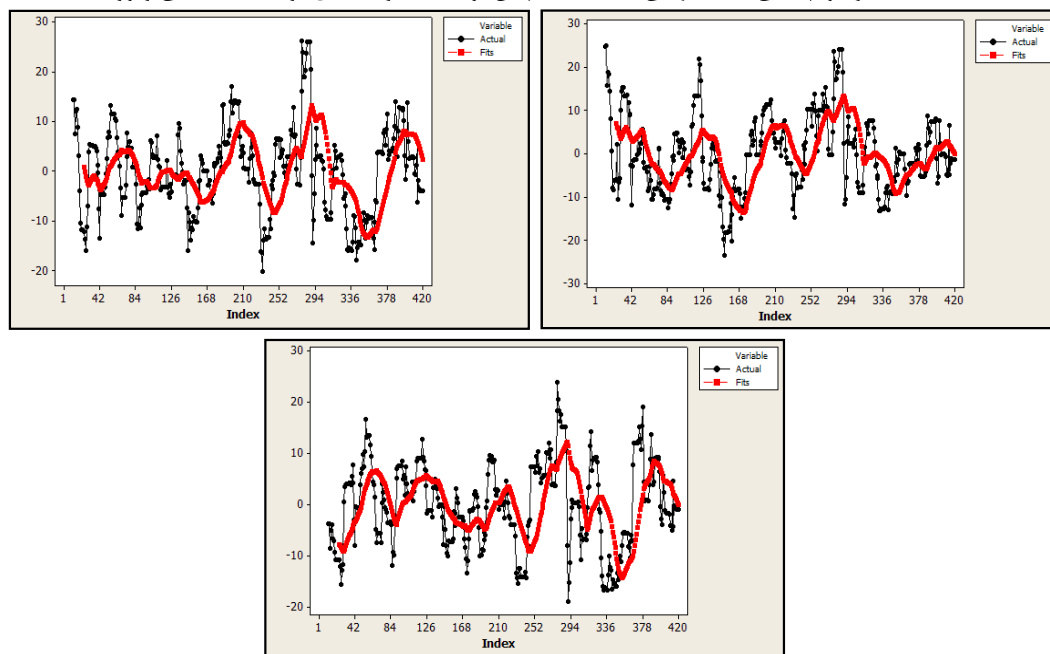


Fig6. Time series graphs of Rainfall smoothed data in some stations

شکل ۶- نمودار سری زمانی داده‌های هموار شده بارندگی در منطقه مطالعاتی

- Chow VT (1978) Stochastic modeling of watershed systems. *Advances in hydrosciences*, Vol. 11 Academic Press, New York, 432p
- Mattikalli NM (1996) Time series analysis of historical surface water quality data of the river Glen Catchment, U.K. *Journal of Environmental Management* 46:149-172
- Mirzaee SY (2004) Use of spectral density method to evaluate hydraulic interaction between Jahanbin River and Shahrekord aquifer. 23rd Seminar of Geological Survey of Iran, Tehran, Iran (In Persian)
- Quimpo RG (1968) Autocorrelation and spectral analysis in hydrology. *J. Hydraulic Division, ASCE* 94:363-373
- Raeisi A (2001). The use of stochastic methods for climate change study in southern Iran. The Second Regional Conference on Climate Change, Islamic Republic of Iran Meteorological Organization, Tehran, Iran (In Persian)
- Roshani M, Ramazanipour M, Sotoudeh F, and Ghomi Aveily J (2012) The Analysis of trend and cycle between rainfall and discharge in Ghaleroudkhan Basin. *World Applied Sciences Journal* 16 (2):244-249
- Samani N (1997) Stochastic response of karst aquifers to rainfall and evaporation, Maharlu basin, Iran International symposium: Water for 21 Century, June 17-19, Lahore-Pakistan, 313-325
- Sedghi H (2000). Prediction of long-term change in discharge of Karoon River using time series analysis. The First National Conference on Drought Mitigation and Water Shortage, Kerman, Iran (In Persian)
- Xue Z, Liu PJ, and Qian G (2011) Changes in hydrology and sediment delivery of the Mekong River in the last 50 years: connection to damming, monsoon, and ENSO. *Earth Surf. Process. Landforms* 36: 296-308
- Yevjevich V (1982) Stochastic processes in hydrology. Water Resource Publication, Fort Collins Colorado, 276p
- اما در سایر فرکانس‌ها از جمله فرکانس ۰/۱۶۷ مقادیر تابع تطابق پائین برآورد گردید که نشان دهنده عدم تاثیر مستقیم بارش در ایجاد این نوسان می‌باشد. لذا احتمالاً اثر عوامل دیگری از جمله ذوب برف و تأخیر در تاثیر آن بر دبی باعث این نوسان در داده‌های دبی رودخانه‌های منطقه شده است.
- مقادیر تأخیر فاز برآورد شده برای تاثیر نوسانات فصلی بارش بر داده‌های دبی رودخانه‌های منطقه حدود ۱/۵ ماه بر آورد شده و این تأخیر برای داده‌های با دوره بازگشت کمتر برای حوضه‌های پل چهر و حیدر آباد ۰/۴ تا ۰/۵ ماه و برای حوضه پل کهنه ۰/۱۴ ماه تعیین شده است.
- بر اساس نتایج آنالیز طیفی داده‌های حذف تناوب و روند شده در تمامی داده‌های بارش ایستگاه‌های مورد بررسی یک نوسان طولی مدت (سیکل) در فرکانس ۰/۰۱ (۱۰۰ ماهه) مشاهده گردید. نتایج هموار سازی داده‌های بارش باعث شد نوسانات سیکلی موجود در داده‌ها نمایان تر گردد. لذا می‌توان گفت در داده‌های اقلیمی مورد بررسی نوساناتی سیکلی با دوره بازگشت ۱۰۰ ماهه تکرار شده که مربوط به دوره‌های تر سالی و خشکسالی موجود در این منطقه می‌باشد.

۶- مراجع

- Biddiscombe EF (1985) Response of groundwater level to rainfall and leaf growth of farm plantain near salt seeps. *Journal of Hydrology* 78:19-34
- Box GEP, and Jenkins GM (1976) Time series analysis: Forecasting and control. Holden-Day, San Francisco, 575 p
- Brigitte EJ, Hendry MJ (2003) application of harmonic analysis of water levels to determine vertical hydraulic conductivities. *Ground Water* 41(40):514-522
- Chatfield C (1989) The analysis of time series: An introduction, Chapman and Hall, London, 241p
- Chow VT (1970) Analysis of stochastic hydrology systems. *Water Resources Res* 16:1569-1582