

## آشکارسازی و مقایسه چرخه‌های بارندگی و دبی حوضه‌های ناورود و قلعه‌رودخان

مهرداد رمضانی‌پور\*

استادیار گروه جغرافیا، واحد چالوس، دانشگاه آزاد اسلامی، چالوس، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۳/۱۰

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۰/۲۸

### چکیده

بشر با بی‌توجهی به قوانین حاکم بر طبیعت و عدم شناخت مسائل زیست‌محیطی مرتبط با آن، عامل اصلی تغییرات اقلیمی بوده است. چرخه‌های آشکار و نهان در متغیرهای اقلیمی نیز متأثر از تغییرات اقلیمی است. ظهور و حدوث این نوسان‌ها می‌تواند در ایجاد بحران‌های محیطی و شناسایی آن‌ها نیز در امر برنامه‌ریزی‌های محیطی نقش مهمی ایفا کند؛ بنابراین در پژوهش حاضر چرخه‌های نهان، آرام و تدریجی برای سری زمانی بارندگی و دبی با طول دوره آماری ۳۸ سال (1966-2005) در مقیاس فصلی در دو حوضه ناورود و قلعه‌رودخان واقع در استان گیلان از طریق تکنیک تحلیل طیفی و تحلیل دوره نگارهای هر سری زمانی در فاصله اطمینان ۹۵ درصد مورد شناسایی و مقایسه قرار گرفت. نتایج پژوهش نشان می‌دهد که در حوضه ناورود برای هر دو متغیر، چرخه‌ها معنی‌دار بوده و از چرخه‌های سینوسی متفاوت تبعیت می‌کنند؛ اما در حوضه قلعه‌رودخان، چرخه غیر سینوسی دیده نشده است. در حوضه ناورود، تغییرات دبی بیش از بارندگی است اما در حوضه قلعه‌رودخان، چرخه غیر سینوسی دبی مشهودتر از بارندگی‌های فصلی است.

واژگان کلیدی: بارندگی، تحلیل طیفی، چرخه، دبی، همساز.

### مقدمه

به دلیل اهمیت تغییرات و نوسان‌های اقلیمی بر شرایط محیطی، اقتصادی، اجتماعی و همچنین نقش آن در برنامه‌ریزی‌های خرد و کلان، پژوهش در خصوص تغییرات رفتار اقلیم در بازه‌های زمانی طولانی<sup>۱</sup> و کوتاه‌مدت<sup>۲</sup> از موضوع‌های جالب توجه محافل علمی در چند دهه اخیر بوده و پژوهش‌های گسترده‌ای را در مقیاس جهانی، ناحیه‌ای و محلی به خود اختصاص داده است. دبی و بارندگی از جمله عناصر اقلیمی هستند که روابط پیچیده‌ای با یکدیگر دارند و طی دهه‌های اخیر از نوسان‌های اقلیمی تأثیر پذیرفته‌اند. یکی از انواع نوسان‌های اقلیمی، چرخه‌های نهان، تدریجی و آرام هستند. این نوع چرخه‌ها ممکن است در بسامدهای<sup>۳</sup> مختلف آشکار و نهان رخ دهند. برخی از تغییرات و

\* نویسنده مسئول: ۰۹۱۱۳۷۰۰۶۵

۱ روند

۲ چرخه‌ها

۳ تعداد نوسان‌های (تعداد چرخه) انجام شده در هر ثانیه را بسامد (فرکانس) می‌نامند.

نوسان‌های سری‌های زمانی اقلیمی به‌راحتی قابل ردیابی بوده و بسیاری از این رفتارها به شکل نهان و نامعلوم رخ می‌دهند. وجود پیچیدگی‌های ساختاری در رفتار متغیرهای اقلیمی، شناسایی آن‌ها را در حالت معمولی مشکل می‌کند، در نتیجه به روش‌هایی نیاز است که در عین آشکارسازی چرخه‌ها و رفتارهای پنهان و آشکار داده‌ها، تفسیر آن‌ها را نیز ساده کند. در بین روش‌های مختلف، تکنیک تحلیل طیفی این قابلیت را دارد که ضمن آشکارسازی روند، چرخه‌ها و دوره‌های بسامدی سری‌های زمانی پیچیده را به‌خوبی نشان داده و حتی پیش‌بینی کند (احمدی و همکاران، ۱۳۹۷، ۳۹۵). در این خصوص به برخی پژوهش‌های داخلی و خارجی اشاره می‌شود.

با بررسی برخی مطالعات انجام شده در سایر نقاط جهان، همچون پژوهشی در خصوص تأثیر تغییر اقلیم روی بارندگی و دبی حوضه رودخانه مارشانگدی<sup>۱</sup> واقع در کشور نپال نشان داد که وقتی فراوانی شدت بارندگی افزایش می‌یابد تعداد روزهای بارانی کاهش می‌یابد. همچنین این پژوهش پیش‌بینی می‌کند که بارندگی در این حوضه تا سال 2050 افزایش خواهد داشت و در این راستا مدل هیدرولوژیکی HBV<sup>۲</sup> هم توانست دبی رودخانه مارشانگدی را به‌طور متوسط ۲۲۴/۸۲ مترمکعب در ثانیه بین سال‌های 1988-2009 شبیه‌سازی کند (Parajuli et al, 2015: 60). با بررسی تأثیر اقلیم و فعالیت‌های انسانی روی ویژگی‌های هیدرولوژیکی رودخانه یانهه<sup>۳</sup> مشخص شد که توزیع ماهانه بارندگی، رواناب و رسوبات بسیار نابرابر بوده و از طرفی دیگر بارندگی، رواناب و رسوب در طی سال‌های 1961-2008 روند نزولی قابل توجهی داشته است (Cheng et al, 2016: 1). با تحلیل طیفی چرخه اقلیمی برای پیش‌بینی بارندگی در منطقه ماجورکا<sup>۴</sup> اسپانیا مشخص شد که یک دوره بارانی بالقوه در محدوده ترامونتانا<sup>۵</sup> برای سال‌های آینده (با حداکثر بارندگی در سال 2021 میلادی) با شرایط مشابه سال‌های 2008-2010 میلادی می‌تواند دوباره رخ دهد (Luque-Espinar et al, 2017: 1). یک مقاله تحلیلی در خصوص انواع مدل رواناب-بارندگی مشخص کرد که مدل رواناب می‌تواند به درک، کنترل و پایش کمیت و کیفیت منابع آبی کمک کند و همچنین به‌کارگیری تحلیل‌های فضایی در یک مدل می‌تواند در مدل‌سازی و تفسیر ویژگی‌های یک حوضه آبریز مؤثر باشد (Sitterson et al, 2017: 3) و مقاله تحلیلی دیگر در خصوص نقش تحلیل طیفی فرایندهای زمانی غیر ایستا در رواناب-بارندگی تعیین نمود که رخداد بارندگی با مقیاس زمانی مشخص، منجر به افزایش تغییرپذیری در رواناب می‌شود در حالی که میانگین زمان تمرکز دبی هم می‌تواند در تغییرپذیری رواناب یک حوضه آبریز نقش داشته باشد (Chang & Yeh, 2018: 84). همچنین یک پژوهش تحلیلی در زمینه پیش‌بینی بارندگی روزانه از طریق تحلیل طیفی تکین و بر اساس داده‌های پیش‌پردازش‌شده، نشان می‌دهد که هنوز شانس برای بهبود دقت پیش‌بینی بارندگی با استفاده از الگوریتم پردازش داده‌ها وجود دارد. به عبارتی دیگر تحلیل طیفی تکین<sup>۶</sup> یکی از این روش‌هایی است که با الگوریتم پیش‌پردازش داده بسیار موفق عمل می‌کند (Unnikrishnan

<sup>1</sup> Marshyangdi

<sup>2</sup> Hydrolo-giska Byrans Vatten balans avdelning

<sup>3</sup> Yanhe

<sup>4</sup> Majorca

<sup>5</sup> Tramuntana

<sup>6</sup> Singular Spectrum Analysis, SSA

(Jothiprakash, 2018: 645) و تحلیل طیفی و همبستگی سری زمانی دبی و بارندگی در جنوب غرب ترکیه مشخص کرد که هر ساله در فصل مرطوب دشت‌های سیلابی منطقه ماگلا کارست<sup>۱</sup> پدیده سیلاب اتفاق می‌افتد (Sagir et al, 2020:1).

اما پژوهش‌ها در ایران همچون؛ اعمال روش تحلیل طیفی توسط عساکره و همکاران (۱۳۹۱) بر روی سری‌های زمانی دبی و بارندگی در حوضه آبریز گرکان رود تالش، حاکی از عدم وجود چرخه غیر سینوسی<sup>۲</sup> معنی‌دار است. چرخه‌های سینوسی معنی‌دار متنوعی در دو سری زمانی استخراج شد. چرخه ۲-۴ ساله و ۴-۵/۳ ساله بیشترین تکرار را در دو سری زمانی دبی و بارندگی در مقیاس ماهانه و سالانه دارد. در مقیاس سالانه، چرخه ۶/۴ ساله و در مقیاس ماهانه چرخه‌های ۲-۴، ۴-۵/۳، ۵/۳-۴، ۶/۴، ۸، ۱۰/۷ و ۱۶ ساله استخراج شد. بهره‌مند و همکاران (۱۳۹۲) روند تغییرات بلند مدت بارندگی و دبی در غرب دریاچه ارومیه را مورد بررسی قرار دادند و دریافتند دبی در بیشتر موارد دارای روند کاهشی معنی‌داری می‌باشد و این حالت با وضعیت جهانی تغییر اقلیم در نیمکره شمالی و عرض‌های ۳۰ درجه که عمدتاً خشک‌تر شده‌اند مطابقت دارد. پژوهش نظری‌پور و همکاران (۱۳۹۳) نشان داد که اقلیم منطقه جنوب و جنوب غرب ایران تحت تأثیر سه عامل بارندگی، دما و رطوبت می‌باشد. در این میان بارندگی بیشترین تأثیر را در منطقه داشته به طوری که ۴۷/۹۰ درصد از کل واریانس را به خود اختصاص داده است؛ بنابراین اهمیت اثرات شدید نوسانات متغیرهای اقلیمی بارندگی و دبی بر منابع آب و خاک هر منطقه‌ای را نمی‌توان نادیده گرفت. پژوهش سلیقه و همکاران (۱۳۹۴) مشخص کرد که با استفاده از تکنیک تحلیل طیفی، چرخه‌های ۲-۳ ساله، ۱۰-۳ ساله و گاهی چرخه‌های با دوره بازگشت ۱۰ ساله و بالاتر بر بارندگی حوضه آبریز حله و مند حاکم می‌باشد به طوری که میزان چرخه‌های ۲-۳ ساله به صورت فضایی نیز در تمامی منطقه مورد مطالعه دارای بیشترین رخداد بازگشت بارندگی سالانه می‌باشند. نتایج پژوهش غریب‌دوست (۱۳۹۴) نشان داد که ۸۱ درصد از ۳۳ ایستگاه باران سنجی ایران در دوره تناوب کمتر از یک سال دارای خاصیت مقیاس‌پذیری و ماهیت فرکتالی<sup>۳</sup> قوی هستند. همچنین علاوه بر رژیم مقیاس‌گذاری اول، ۱۷ ایستگاه دارای رژیم مقیاس‌گذاری دوم و ۳ ایستگاه دارای رژیم مقیاس‌گذاری سوم هستند. هیچ یک از ایستگاه‌ها در رژیم مقیاس‌گذاری دوم خود دارای ماهیت فرکتالی نبوده و فقط یک ایستگاه در رژیم مقیاس‌گذاری سوم خود ماهیت فرکتالی را نشان می‌دهد. داداشی رودباری و همکاران (۱۳۹۵) تغییرات بارش در حوضه آبریز هراز را با استفاده از روش‌های آماری و تکنیک تحلیل طیفی مورد پژوهش قرار دادند و دریافتند که تحلیل طیفی مشاهدات بارندگی، حاکی از وجود چرخه‌های سینوسی معنی‌دار ۲-۳، ۳-۵، ۳-۵، ۱۱ و ۱۱ سال به بالا است که وجود این چرخه‌ها را می‌توان به تأثیر عوامل کلان مقیاس جوی- اقیانوسی نسبت داد. عزیزی خالخیلی و همکاران (۱۳۹۵) معتقدند نوسانات اقلیمی در شهرستان مرودشت استان فارس به خاطر تأثیراتی که می‌تواند روی کشاورزی، محیط زیست، سلامتی عمومی و به‌طور کلی جامعه داشته باشند، حائز اهمیت

<sup>1</sup> Mugla Karst

<sup>۲</sup> روند

<sup>3</sup> Fractal

هر گاه قسمت‌هایی از یکشکی با یک مقیاس معلوم، یک نمونه از کل شیئی باشد

هستند. نتایج حاصل از تحلیل چرخه‌ها توسط علیجانی و همکاران (۱۳۹۵) نشان داد که چرخه‌های معنی‌دار ۲-۳ ساله، ۳-۵ ساله، ۶-۲ ساله و گاهی ۱۱ ساله و بالاتر بر بارش ایران حاکم است. بر این اساس، در شرق و جنوب شرق ایران بیش‌تر چرخه‌های ۳-۵ ساله و در غرب، جنوب غرب و شمال غرب کشور، چرخه‌های ۲-۳ ساله و در شمال شرق، چرخه‌های ۲-۶ ساله، غالب هستند. بیش‌ترین و متنوع‌ترین چرخه‌ها به دلیل قرارگیری در سایه ناهمواری‌های زاگرس از یک‌سو و مجاورت با خلیج فارس از سوی دیگر در بخش‌های از جنوب و جنوب غرب رخ داده است. نواحی شمال غرب کشور هم همانند نواحی جنوب غرب به دلیل وجود کوه‌های عظیم سبلان و سهند دارای چرخه‌های متنوعی بوده است. چرخه‌های غیر سینوسی که دوره بازگشتی، برابر با طول دوره آماری دارند در برخی ایستگاه‌ها از قبیل قزوین، سنندج و تهران مشاهده می‌شوند. این چرخه‌ها به وجود روند در داده‌ها نسبت داده می‌شوند. در پژوهش میرزایی و همکاران (۱۳۹۶) نوسانات دبی- بارش در حوضه آبریز دینه‌ور با استفاده از تحلیل طیفی بررسی شد و مشخص شد که طیف متقابل داده‌ها در فرکانس‌های ۰/۰۸۳ و ۰/۲۵، تطابق بالایی دارد. همچنین مقادیر تأخیر برآورد شده از تحلیل طیفی متقابل برای نوسانات فصلی بارندگی (۰/۰۸۳) و اثر آن بر نوسانات فصلی دبی، حدود ۱/۵ ماه برآورد شده و این تأخیر برای نوسانات با دوره بازگشت کمتر، حدود ۰/۴، ۰/۵ و ۰/۱۴ ماه تعیین شد. بر اساس نتایج تحلیل طیفی داده‌های بارندگی ایستگاه‌ها، پس از حذف تناوب و روند، در تمامی آن‌ها سیکل، در فرکانس ۰/۰۱ مشاهده شد که مربوط به دوره‌های ترسالی و خشکسالی موجود در این منطقه می‌باشد.

هدف پژوهش حاضر، بررسی مقایسه‌ای سری‌های زمانی بارندگی و دبی در دو حوضه ناورود و قلعه‌روخان جهت آشکارسازی چرخه‌های آشکار و نهان است. به همین جهت تلاش می‌گردد با استفاده از تکنیک تحلیل طیفی و از طریق نمودارهای دوره‌نگار هر سری زمانی، رفتارهای نوسانی یا چرخه‌های موجود در مقیاس فصلی مورد بررسی قرار گیرد.

### روش‌شناسی پژوهش

برای مطالعه حوضه‌های ناورود و قلعه‌رودخان، از داده‌های ایستگاه‌های باران‌سنجی و هیدرومتری خرجگیل در حوضه ناورود و ایستگاه‌های قلعه‌رودخان در حوضه قلعه‌رودخان به مدت ۳۸ سال (۱۹۶۶-۲۰۰۵) استفاده شده است. ایستگاه‌های مذکور در ارتفاع حدود ۳۰۰ متری از سطح دریاهای آزاد واقع می‌باشند. در پژوهش حاضر، سری‌های زمانی اقلیمی- هیدرولوژی حوضه‌های ناورود و قلعه‌رودخان از طریق تکنیک تحلیل طیفی مورد بررسی قرار گرفته است تا چرخه‌ها و بسامدهای نهان و آشکار استخراج شود. با این روش می‌توان رفتارهای نوسانی را در سری‌های زمانی و چرخه‌های سینوسی معنی‌دار را در فاصله اطمینان ۹۵ درصد برآورد کرد (رابطه ۱).

$$\lambda_k \frac{x_p^2(0.95)}{v} \leq \hat{I}(f) \leq \lambda_k \frac{x_p^2(0.05)}{v} \quad \text{رابطه (۱)}$$

با ترسیم برآورد هر طیف  $\hat{I}(f)$ ، مقدار  $\lambda_k$  متناظر (فرض صفر) و فاصله اطمینان مربوطه می توان دریافت که طیف در سطح اعتماد مورد نظر و در بسامد مربوط معنی دار است یا خیر؛ بنابراین، واریانس برای بسامد  $f_i$  مطابق با (رابطه ۲) است:

$$I(f_i) = \frac{n}{2}(a_i^2 + b_i^2) \quad i = 1, 2, \dots, q \quad \text{رابطه (۲)}$$

نموداری که مقادیر  $I(f_i)$  را در مقابل  $i$  نشان دهد، دوره نگار<sup>۱</sup> نامیده می شود. در دوره نگار، وجود قله در طیف، سهم واریانس را از مولفه های بسامد مربوط نشان می دهد. قله کوهانی نسبتاً گسترده در بسامدهای پایین گویای نیم چرخه یا ریتم نامنظم در سری زمانی با دوره بازگشت های طولانی است. همچنین کشیدگی طیف در تمامی طول موج گویای ناپایداری سری زمانی<sup>۲</sup> و تأثیرپذیری مشاهدات از مشاهدات بلافاصله قبل از خود است. ب؛ عبارت دیگر میزان طیف از طول موج های بزرگ تر تا کوچک تر کشیده شده است. این ویژگی از خصوصیات یک طیف نوفه<sup>۳</sup> قرمز<sup>۴</sup> است (عساکره، ۱۳۸۹:۲۴). فرض صفر در تحلیل طیفی بدین معناست که در یک فرکانس معین، طیف با صفر تفاوت نداشته باشد. اگر خود همبستگی مرتبه اول  $(r_1)$  سری زمانی از لحاظ آماری تفاوت معنی داری با صفر نداشته باشد، می بایست سری بدون روند در نظر گرفته شود. غالباً در سری های زمانی اقلیمی،  $(r_1)$  به طور معنی داری مخالف صفر بوده و در تاخیرهای بالاتر به صورت توانی یا تقریبی از آن نزول می کند. در این حالت فرض صفر یک نوفه قرمز به حساب آمده و شکل آن بسته به ضریب همبستگی و بر اساس شماره همساز  $i$  ( $0 \leq i \leq q$ ) با تقریب رابطه (۳) قابل بررسی است:

$$\hat{\lambda}_k = \bar{x} \left[ \frac{1-r^2}{1+r^2 - 2r \cos \frac{\pi k}{q}} \right] \quad \text{رابطه (۳)}$$

در اینجا  $\bar{x}$  میانگین تمامی برآورد خام طیف ها به شرط معنی داری  $(r_1)$  است (رمضانی پور و همکاران، ۱۳۸۹:۶۰). اما سری های زمانی در ابتدا به تابع دوره ای با دامنه<sup>۵</sup> و فراوانی چرخه مشخص تبدیل می شوند. رابطه (۴) برای تبدیل یک سری زمانی تناوبی به طول  $n$  کاربرد دارد:

$$z_t = a_i + \sum_{i=1}^q (a_i \cos 2\pi f_i t + b \sin 2\pi f_i t) \quad \text{رابطه (۴)}$$

<sup>۱</sup> Periodogram

<sup>۲</sup> روند

<sup>۳</sup> Noise

<sup>۴</sup> موجک بدون نوفه با رنگ قرمز مشخص می شود.

<sup>۵</sup> میزان پراش

که سری زمانی در زمان  $t$  و  $f_i$  فراوانی تکرار مشاهدات و با  $f_i = \frac{i}{n}$  قابل نمایش است. در اینجا  $i = 1, 2, \dots, q$  است. اگر طول دوره آماری  $n$  فرد باشد آنگاه تعداد همسازها<sup>۱</sup> از رابطه  $q = \frac{(n-1)}{2}$  و ضرایب آن از روابط (۵)، (۶) و (۷) به دست می‌آیند:

$$a_0 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n z_t - \bar{z} \quad \text{رابطه (۵)}$$

$$a_i = \frac{2}{n} \sum_{i=1}^n z_t \cos 2\pi f_i t \quad \text{رابطه (۶)}$$

$$b_i = \frac{2}{n} \sum_{i=1}^n z_t \sin 2\pi f_i t \quad \text{رابطه (۷)}$$

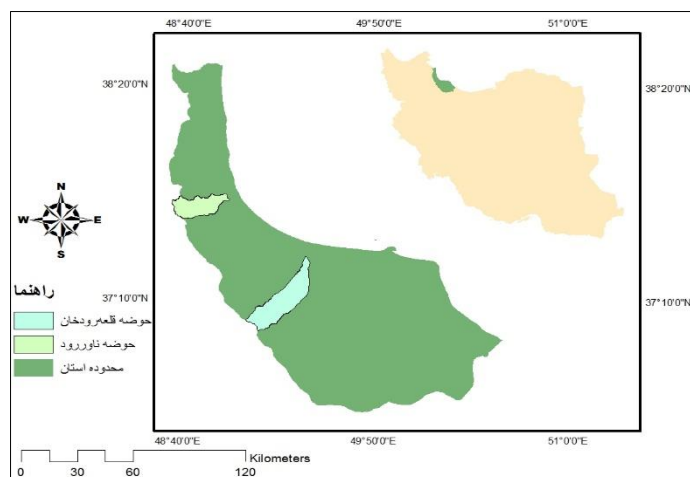
اگر طول دوره آماری  $n$  زوج باشد، آنگاه تعداد همسازهای نصف طول دوره آماری ( $q = \frac{n}{2}$ ) خواهد بود. در این حالت، دو ضریب  $a_q$  و  $b_q$  با (رابطه ۸) تعیین می‌شوند. (غیور و عساکره، ۱۳۸۴: ۸۴).

$$a_q = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (-1)^i Z \quad \text{رابطه (۸)}$$

### محدوده مورد مطالعه

حوضه قلعه‌رودخان بین طول جغرافیایی  $30^{\circ} 3' 49''$  تا  $26^{\circ} 26' 49''$  و عرض جغرافیایی  $37^{\circ} 00' 00''$  تا  $25^{\circ} 30' 30''$  در ابتدای نیمه غربی استان گیلان قرار دارد؛ اما حوضه ناورود در بخش غربی‌تر استان، بین طول جغرافیایی  $30^{\circ} 35' 48''$  تا  $28^{\circ} 58' 58''$  و عرض جغرافیایی  $37^{\circ} 15' 36''$  تا  $37^{\circ} 44' 35''$  با فاصله‌ای تقریباً  $60/8$  کیلومتری نسبت به حوضه قلعه‌رودخان واقع است (شکل ۱). مساحت حوضه ناورود  $28574/9$  هکتار و طول آن در حدود  $30$  کیلومتر و حداکثر ارتفاع آن  $2831$  متر و حداقل ارتفاع آن حدود  $33$ -متر می‌باشد. رودخانه ناورود از ترکیب شاخه‌های متعدد آغاز شده و در مسیر جاده اسالم به خلخال به سمت جلگه اسالم و در نهایت دریاچه خزر سرازیر می‌شود. مساحت حوضه قلعه‌رودخان،  $52445/7$  هکتار و طول آن  $51$  کیلومتر است. رودخانه قلعه‌رودخان دارای دو شاخه اصلی نظرات و حیدرلات می‌باشد. رودخانه نظرات که شاخه بزرگ‌تر می‌باشد از ارتفاعات  $2300$  متری و رودخانه حیدرلات از ارتفاعات  $2000$  متری سرچشمه می‌گیرند.

<sup>۱</sup> هر طول موج متوالی در سری زمانی تناوبی با یک همساز نشان داده می‌شود.



ماخذ: نگارنده ۱۳۹۸

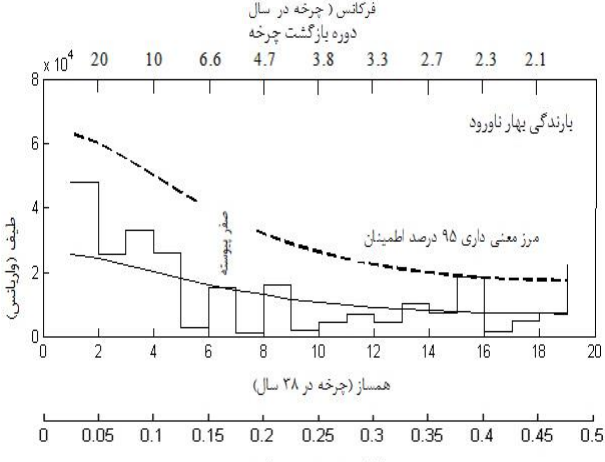
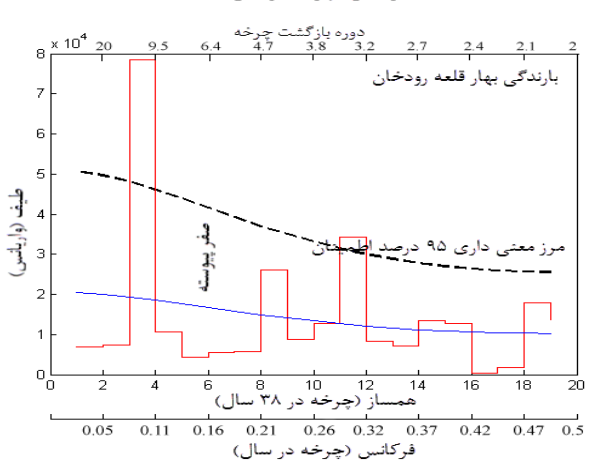
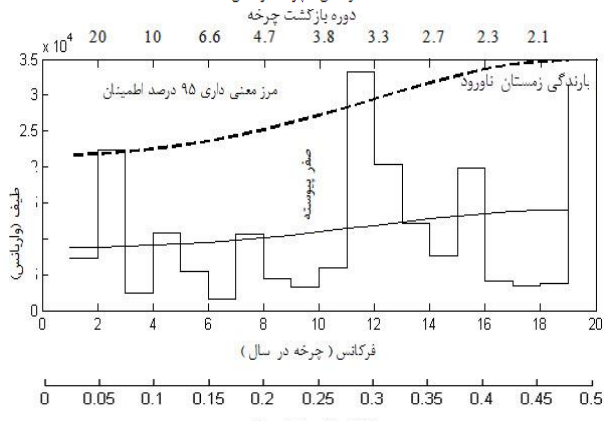
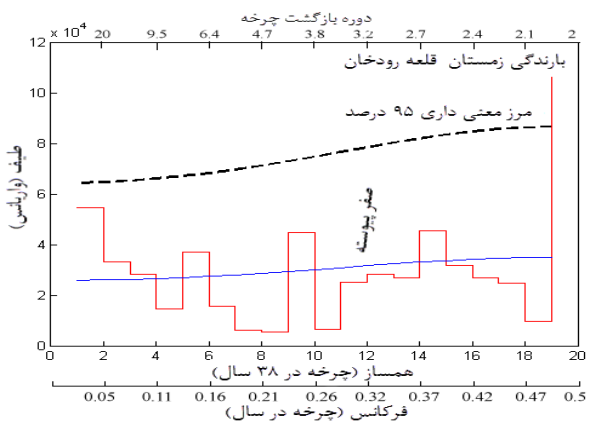
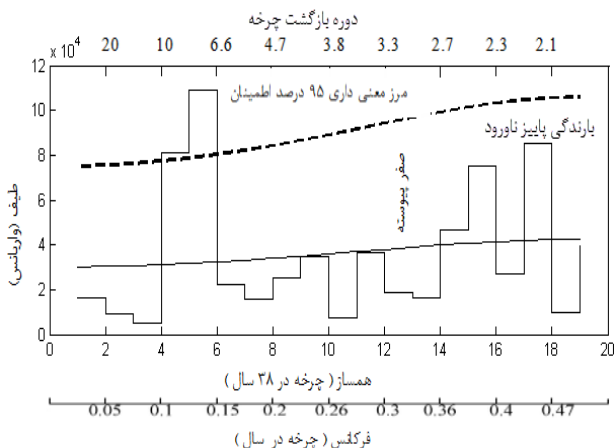
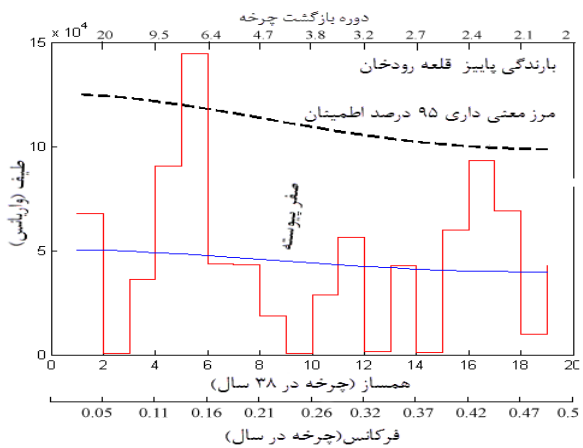
شکل ۱: موقعیت جغرافیایی حوضه‌های ناورود و قلعهرودخان

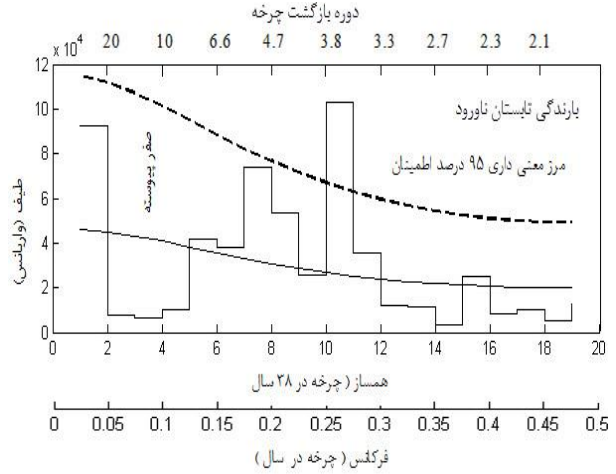
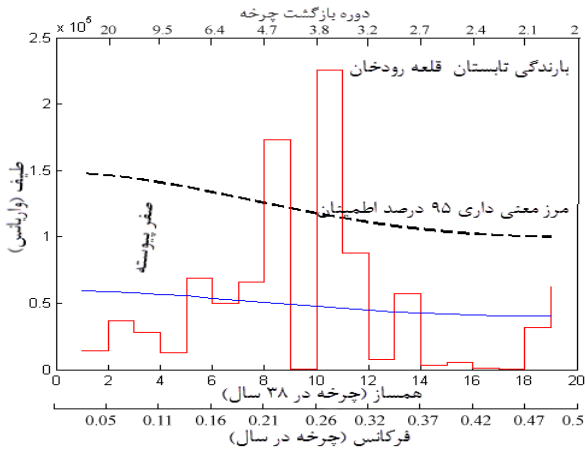
## یافته‌ها

همانطوری که پیش‌تر گفته شد هدف پژوهش حاضر، بررسی مقایسه‌ای متغیرهای بارندگی و دبی مابین دو حوضه ناورود و قلعهرودخان از طریق شناسایی رفتارهای نوسانی یا چرخه‌های آشکار و نهان موجود در مقیاس فصلی با استفاده از تکنیک تحلیل طیفی و دوره‌نگارهای مستخرج از آن است. در این راستا نمودارهایی به صورت مجزا برای هر دو متغیر دبی و بارندگی و هر دو حوضه استخراج گردید. در این نمودارها محور عمودی نشان‌دهنده واریانس برآورد شده برای طیف و محور افقی بالا بیان‌کننده دوره بازگشت هر یک از چرخه‌ها و بخش پایینی دوره‌نگار شامل دو محور می‌شود که یکی طیف فرکانس‌ها یا بسامدها و دیگری طیف همسازها را دربر می‌گیرد. خطوط شکسته موجود در دوره‌نگارها، تغییرات میزان طیف به ازای واحد فرکانس در زمان را مشخص می‌کند و ارتفاع این خطوط بیان‌کننده میزان واریانس در هر یک از چرخه‌ها می‌باشد. همچنین این خطوط از چپ به راست شماره چرخه‌ها را نیز بیان می‌کنند. اولین خط همساز اول یعنی یک چرخه برای کل دوره آماری است و سایر خطوط نیز مابین چرخه‌های بعدی است و حداکثر تعداد چرخه‌ها، به میزان نصف دوره آماری خواهد بود. در این دوره‌نگار، خط ممتد نشان‌دهنده صفر پیوسته و خط‌چین‌ها مرز معنی‌داری در سطح ۹۵ درصد اطمینان را بیان می‌کند. چرخه‌هایی که خطوط طیف آن‌ها خارج از این مرز قرار داشته باشند، معنی‌دار تلقی می‌شوند یعنی وقوع آنها تصادفی نیست و در دوره‌های بازگشت خاص، فراسنج مورد نظر حداقل یکبار با شرایط خاصی رخ خواهد داد. با شرح مذکور و مقایسه نمودارهای دوره‌نگار بارندگی فصلی حوضه‌های ناورود و قلعهرودخان (شکل ۲) مشخص شد که در بارندگی فصل پاییز ناورود، همساز ۴ و ۵ با چرخه‌های سینوسی  $7/6$  و ۱۰ ساله معنی‌دار است که بیش‌ترین سهم واریانس معنی‌دار، مربوط به چرخه  $7/6$  ساله با دامنه و واریانس زیاد نسبت به سایر همسازها است؛ اما در سری زمانی بارندگی فصل پاییز قلعهرودخان، همساز ۵ (چرخه  $7/7$  ساله با بسامد  $0/13$ ) معنی‌دار است. در سری زمانی بارندگی فصل زمستان ناورود، همساز ۱۱ و ۲ (بسامد  $0/28$  و

۰/۰۵ با چرخه‌های سینوسی ۳/۵ و ۲۰ (ساله) مشاهده می‌شود، نمودار دوره‌نگار این سری، اُفت و خیزهای زیادی در همسازها نشان می‌دهد. همساز ۱۱، بیشترین سهم واریانس همسازها را تبیین می‌نماید؛ اما در سری زمانی بارندگی فصلی قلعه‌رودخان در سطح ۵ درصد اطمینان، چرخه غیر سینوسی وجود ندارد. به عبارتی دیگر، این حالت بدین معنی است که در سری زمانی بارندگی فصلی قلعه‌رودخان روندی مشاهده نمی‌شود. در سری زمانی بارندگی فصل بهار ناورود، در سطح ۹۵ درصد اطمینان، همساز ۱۹ با چرخه سینوسی ۲ ساله با بیشترین سهم واریانس معنی‌دار است؛ بنابراین در رویدادهای بارندگی فصل بهار، تکرار ۲-۴ ساله هر رخدادی دور از انتظار نیست؛ اما در بهار، چرخه‌های همسانی برای سری بارندگی قلعه‌رودخان قابل استنباط نمی‌باشد. در مقیاس فصلی برای بارندگی بهار، چرخه‌های ۲ ساله با بیشترین واریانس استخراج گردید. در نمودار دوره‌نگار بارندگی فصل تابستان ناورود می‌توان همساز ۱۰ (با بسامد ۰/۲۶) با چرخه سینوسی معنی‌دار ۳/۸ ساله با بیشترین واریانس مربوط به همین چرخه را مشاهده نمود. در سری زمانی بارندگی فصل تابستان ناورود هر رویدادی هر ۳-۵ سال یک‌بار تکرار می‌شود؛ اما در بارندگی با مقیاس فصلی تابستان قلعه‌رودخان، چرخه‌های ۳/۸ ساله با بیشترین واریانس استخراج گردید. با مقایسه نمودارهای دوره‌نگار سری زمانی دبی فصلی حوضه‌های ناورود و قلعه‌رودخان (شکل ۳)، در سری زمانی دبی فصل پاییز ناورود، همساز ۴ با چرخه سینوسی معنی‌دار ۱۰ ساله قابل مشاهده است و بیشترین سهم واریانس همسازها نیز مربوط به همساز ۴ می‌باشد. ولی چرخه‌های دبی بارندگی فصل پاییز قلعه‌رودخان به میزان ۱۰، ۴-۵ ساله با بیشترین واریانس استخراج گردید. در نمودار دوره‌نگار دبی ناورود، همساز ۸ با واریانس و دامنه زیاد نسبت به سایر همسازها بیشترین سهم واریانس همسازها را دارد که در سطح ۹۵ درصد اطمینان، این همساز (بسامد ۰/۲۱) با چرخه سینوسی ۴/۷ ساله معنی‌دار می‌باشد؛ بنابراین تکرار هر ۴-۵ سال یک بار در رویدادهای دبی فصل زمستان را می‌توان انتظار داشت. در مقابل، در سری زمانی دبی فصل زمستان حوضه قلعه‌رودخان، چرخه غیر سینوسی و غیر همسان قابل استنباط است. همچنین دبی به میزان ۴-۵، ۲-۳/۵، ساله با بیشترین واریانس استخراج شد. در نمودار دوره‌نگار سری زمانی دبی فصل بهار، طیف متنوعی از همسازها و فرکانس‌های پایین تا بالا قابل مشاهده است. با این وجود در سطح ۹۵ درصد اطمینان، همساز ۱۹ و ۱۱ (بسامد ۰/۵ و ۰/۲۸) با چرخه‌های سینوسی ۲-۳/۵ ساله معنی‌دار است و بیشترین واریانس معنی‌دار در چرخه ۳/۵ قابل مشاهده است؛ بنابراین در رویدادهای دبی فصل بهار، تکرار چرخه‌های ۲-۴ ساله هر رخدادی دور از انتظار نیست. در حالی که در سری زمانی دبی در ماه بهار قلعه‌رودخان، چرخه غیر سینوسی قابل استنباط است؛ اما در بهار چرخه‌های همسانی برای سری دبی قابل استنباط نمی‌باشد. در مقیاس فصلی برای چرخه‌های دبی ۳/۵ ساله با بیشترین واریانس استخراج گردید. در حالی که در دبی متناظر آن، همسازهای ۱۱ و ۸ (بسامد ۰/۲۸ و ۰/۲۱) با چرخه‌های سینوسی ۳/۵ و ۴/۷ ساله معنی‌دار است. بیشترین واریانس، مربوط به چرخه ۴/۷ ساله می‌باشد. با این وصف می‌توان اذعان کرد در سری زمانی دبی فصل تابستان ناورود هر رویدادی هر ۳-۵ سال یک بار تکرار می‌شود؛ اما در دبی با مقیاس فصلی تابستان قلعه‌رودخان، چرخه‌های دبی ۴/۷ ساله با بیشترین واریانس استخراج گردید.

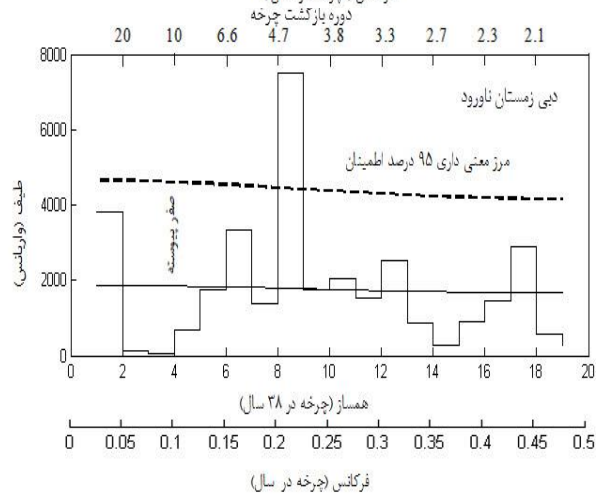
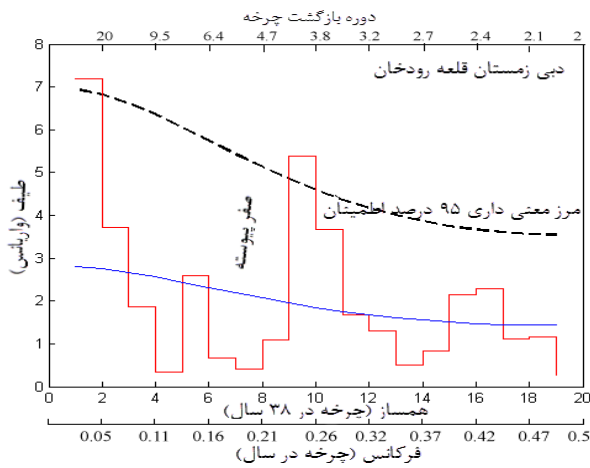
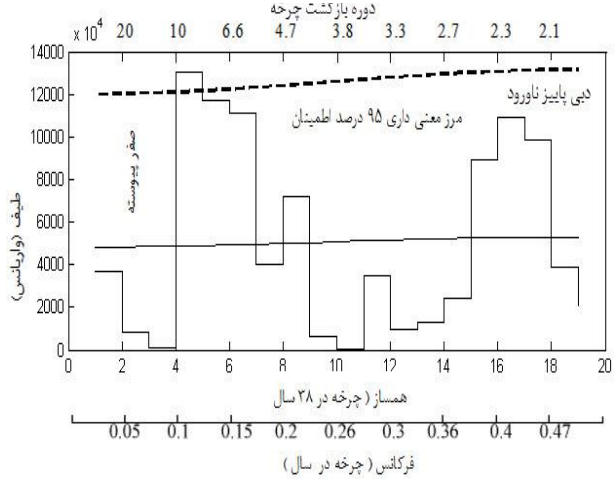
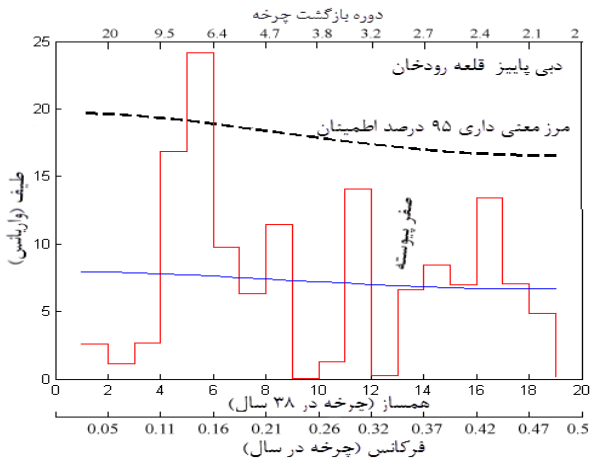


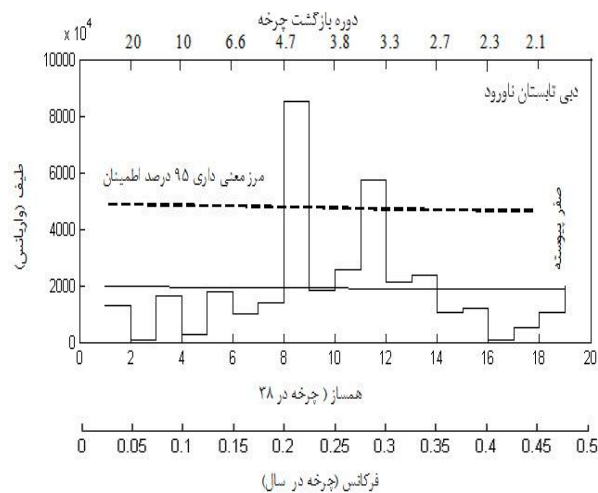
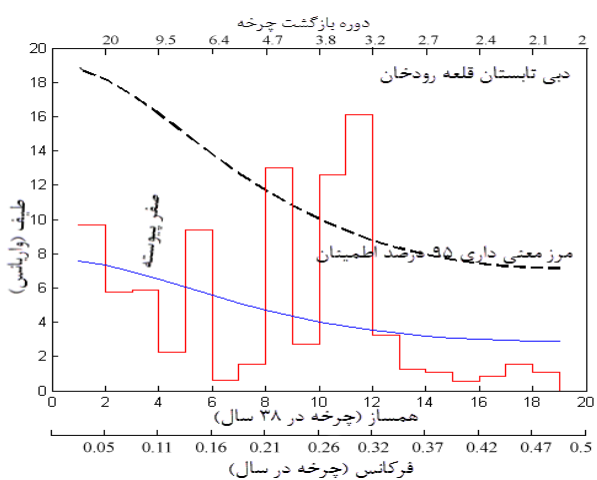
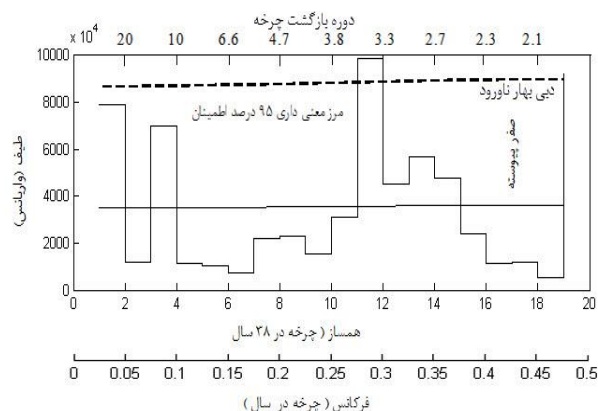
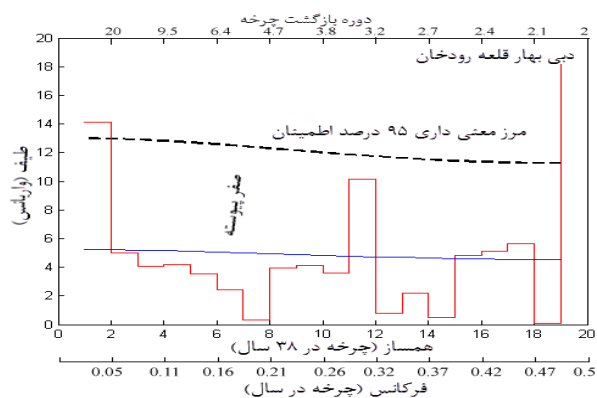




ماخذ: نگارنده ۱۳۹۸

شکل ۲: دوره‌نگار طیف و مرز معنی‌داری سری زمانی فصلی بارندگی حوضه‌های ناورود و قلعه‌رودخان





ماخذ: نگارنده ۱۳۹۸

شکل ۳: دوره‌نگار طیف و مرز معنی‌داری سری زمانی فصلی دبی حوضه‌های ناورد و قلعه‌رودخان

## نتیجه‌گیری

بررسی سری‌های زمانی فصلی بارندگی و دبی حوضه‌های ناورد و قلعه‌رودخان از طریق تکنیک تحلیل طیفی مشخص نمود که چرخه‌ها در حوضه ناورد معنی‌دار بوده و از چرخه‌های سینوسی متفاوت تبعیت می‌کنند؛ اما در حوضه قلعه‌رودخان برای هر دو متغیر، چرخه غیر سینوسی دیده نشده است. در دو فصل زمستان و بهار حوضه قلعه‌رودخان، چرخه‌های همسانی برای متغیرهای بارندگی و دبی قابل استنباط نمی‌باشد که عدم هماهنگی بین دو متغیر را نشان می‌دهد؛ اما در مقیاس فصلی حوضه ناورد به ترتیب برای بارندگی پاییز، چرخه‌های  $7/6$  و  $10$ ، زمستان  $3/5$  و  $20$ ، بهار  $2$  و تابستان  $3/8$  ساله در مقابل چرخه‌های دبی به ترتیب فصول قید شده به میزان  $10$ ،  $4-5$ ،  $2-3/5$ ،  $3/5$  و  $4/7$  ساله با بیشترین واریانس استخراج گردید. در نهایت در اکثر مقیاس‌های زمانی (فصلی) وجود چرخه‌های متوالی سینوسی با توالی نامنظم به اثبات رسید. در مجموع، تجزیه و تحلیل نقطه به نقطه متغیرها نشان می‌دهد که تغییرات دبی حوضه ناورد

بیش از بارندگی است اما نتایج حاصل از تجزیه طیفی در حوضه قلعه‌رودخان نشان داد که چرخه غیر سینوسی دبی واضح‌تر از بارندگی‌های فصلی است، به عبارتی دیگر روند در دبی فصلی وجود دارد.

## منابع

- ۱- احمدی، امید، فرومدی، مجید و شاهبایی کوتنایی، علی (۱۳۹۷): تحلیل و مقایسه چرخه‌های دمای کمینه، بیشینه و بارش استان مازندران، مطالعه موردی: ایستگاه‌های همدید رامسر و بابلسر، نشریه علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی)، سال ۲۲، شماره سوم، ص ۳۹۵.
- ۲- بهره‌مند، عبدالرضا، همدی، قاسم و صنیعی، ابراهیم (۱۳۹۲): تحلیل روند تغییرات بلندمدت بارندگی و دبی در غرب دریایچه ارومیه، پژوهش‌نامه مدیریت حوزه آبخیز، جلد ۴، شماره ۸، ص ۴۳.
- ۳- داداشی رودباری عباسعلی، فلاح قاله‌ری غلام عباس، کرمی، مختار و با عقیده، محمد (۱۳۹۵): تحلیل تغییرات بارش حوضه آبریز هراز با استفاده از روش‌های آماری و تکنیک تحلیل طیفی، نشریه هیدروژئومورفولوژی، جلد ۲، شماره ۷، صص ۸۶-۵۹.
- ۴- رضانی‌پور، مهرداد، روشنی، محمود و ستوده، فاطمه (۱۳۸۹): تحلیلی بر تغییر، روند و چرخه‌های بارش و دبی در غرب استان گیلان (مطالعه موردی: حوضه ناورود)، مجله مطالعات و برنامه‌ریزی سکونتگاه‌های انسانی (چشم‌انداز جغرافیایی)، جلد ۵، شماره ۱۳، صص ۷۹-۶۰.
- ۵- سلیقه، محمد، عساکره، حسین، ناصرزاده، محمدحسین و بلیانی، یدالله (۱۳۹۴): تحلیل روند و چرخه‌های سری زمانی بارش سالانه حوضه‌های آبریز حله و مند، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، جلد ۳۷، صص ۲۷۲-۲۴۵.
- ۶- عزیزی خالخیلی، طاهر، زمانی، غلام‌محسین و کرمی، عزت‌اله (۱۳۹۵): سازگاری کشاورزان با نوسانات اقلیمی: مشکلات و موانع موجود و راهکارهای پیشنهادی، نشریه اقتصاد و توسعه کشاورزی، جلد ۳۰، شماره ۳، صص ۱۵۹-۱۴۸.
- ۷- عساکره، حسین (۱۳۸۹): تحلیل چرخه‌های میانگین دمای سالانه شهر زنجان، نشریه جغرافیا و توسعه، شماره ۱۹، صص ۲۴-۱۱.
- ۸- عساکره، حسین، خوش‌رفتار، رضا و ستوده، فاطمه (۱۳۹۱): تحلیل چرخه‌های سری زمانی دبی و بارش ایستگاه آب‌سنجی ماشین‌خانه، حوضه آبریز گرکان رود تالش، نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۶، شماره ۵، صص ۱۱۳۹-۱۱۲۸.
- ۹- علیجانی، بهلول، بیات، علی، دوستکامیان، مهدی و بلیانی یدالله (۱۳۹۵): تحلیل طیفی سری‌های زمانی بارش سالانه ایران، نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی، جلد ۲۰، شماره ۵۷، صص ۲۳۷-۲۱۷.
- ۱۰- غریب‌دوست، مسعود، قربانی، محمدعلی، فاضلی فرد، محمدحسن و اسدی، اسماعیل (۱۳۹۴): تحلیل طیف توانی (اسپکترومی) برای بررسی مقیاس‌پذیری بارش ماهانه ۳۳ ایستگاه باران سنجی ایران، مجله پژوهش آب ایران، جلد ۹، شماره ۱، صص ۵۸-۴۹.
- ۱۱- غیور، حسن‌علی و عساکره، حسین (۱۳۸۴): کاربرد مدل فوریه در برآورد دمای ماهانه و آینده‌نگری آن (مطالعه موردی: دمای مشهد)، فصل‌نامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۷۷، صص ۹۹-۸۴.
- ۱۲- میرزایی، سیدیحیی، آذری، آرش و پرهام، غلامعلی (۱۳۹۶): تحلیل طیفی نوسانات دبی- بارش در حوضه آبریز دینه ور، نشریه تحقیقات منابع آب ایران، جلد ۱۳، شماره ۱، صص ۲۱۰-۲۰۴.
- ۱۳- نظری‌پور، حمید. دوستکامیان، مهدی، اسدی، آرزو و بیات، علی (۱۳۹۳): ناحیه‌بندی اقلیمی جنوب و جنوب غرب ایران با رویکرد برنامه‌ریزی منطقه‌ای، فصل‌نامه برنامه‌ریزی منطقه‌ای، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت، سال ۴، شماره ۱۵، صص ۱۱۹-۱۳۲.

- 14- Chang. C. M, and Yeh, H. D, (2018): Spectral Analysis of Temporal Non-Stationary Rainfall-Runoff Processes, *Journal of Hydrology*, Elsevier, Vol 559, Pp 84–88.
- 15- Cheng. Y, He. H, Cheng. N, and He. W, (2016): The Effects of Climate and Anthropogenic Activity on Hydrologic Features in Yanhe River, Hindawi Publishing Corporation *Advances in Meteorology*, Article ID 5297158, 11 pages, p 1. <http://dx.doi.org/10.1155/2016/5297158>.
- 16- Luque - Espinar. J. A, Mateos. R. M, Garcia-Moreno. I, Pardo-Iguzquiza, E, and Herrera. G, (2017): Spectral Analysis of Climate Cycles to Predict Rainfall Induced Landslides in the Western Mediterranean (Majorca, Spain), *Journal of Natural Hazards*, Springer, DOI: 10.1007/s11069-017-3003-3.
- 17- Parajuli. A, Devkota. L. P, Adhikari. T. R, Dhakal. S, and Kayastha. R. B, (2015) Impact of Climate Change on River Discharge and Rainfall Pattern: A Case Study from Marshyangdi River basin, Nepal, *Journal of Hydrology and Meteorology*, Vol 9, No 1, p 60.
- 18- Sagır. C, Kurtulus. B, and Razack. Moutaz, (2020): Hydrodynamic Characterization of Mugla Karst Aquifer Using Correlation and Spectral Analyses on the Rainfall and Springs Water-Level Time Series, *Journal of Water*, Vol 12, No 85, P 1.
- 19- Sitterson. J, Knightes. C, Parmar. Rajbir, Wolfe. K, Muche. M, and Avant. B, (2017): An Overview of Rainfall-Runoff Model Types, Project Officer Office of Research and Development National Exposure Research Laboratory Athens, Georgia, EPA/600/R-14/152, P 3.
- 20- Unnikrishnan. P, and Jothiprakash. V, (2018): Data-Driven Multi-Time-Step Ahead Daily Rainfall Forecasting Using Singular Spectrum Analysis-Based Data Pre-Processing, *Journal of Hydro Informatics*, Vol 20, No 3, P 645.