

کاربرد تبدیل فوریه در شناسایی دوره‌های تناوب خشکسالی‌های جنوب شرق ایران

حجت اله دانشمند [۱]، پیمان محمودی [۲]

[۱] استادیار اقلیم‌شناسی، گروه فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران
daneshmand@hamoon.usb.ac.ir

[۲] استادیار اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران
p_mahmoudi@gep.usb.ac.ir

چکیده

شناسایی رفتار دوره‌ای خشکسالی‌ها می‌تواند یک ابزار علمی مناسب جهت پیش بینی وقوع این مخاطره محیطی را فراهم آورد. جهت دستیابی به این هدف از آمار بارش ماهانه چهار ایستگاه سینوپتیک برای یک دوره آماری ۳۱ ساله (۲۰۱۳-۱۹۸۳) استفاده گردید. ابتدا شاخص خشکسالی مؤثر برای چهار ایستگاه زابل، زاهدان، ایرانشهر و چابهار محاسبه شد. سپس تحلیل طیفی سری زمانی شاخص خشکسالی مؤثر با استفاده از تبدیل فوریه سریع تقسیمات بسامدی با مبنای دو انجام و ده مولفه با بالاترین مقادیر توان در هر ایستگاه شناسایی شد. نتایج تحلیل سه مولفه با بالاترین توان نشان داد که دوره ۱۸۰ ماه در ایستگاه ایرانشهر بالاترین مقدار توان در این ناحیه را دارد. همچنین بیشینه توان در سه ایستگاه دیگر این ناحیه مربوط به دوره‌های بلند مدت است. دوره ۲۲ ماهه مربوط به ایستگاه زابل کمترین دوره در این ناحیه است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که مولفه غالب در این ناحیه یک دوره بلند مدت بوده و دوره سالیانه وجود ندارد.

کلیمات کلیدی: خشکسالی، شاخص خشکسالی مؤثر، تحلیل طیفی، چرخه، ایران



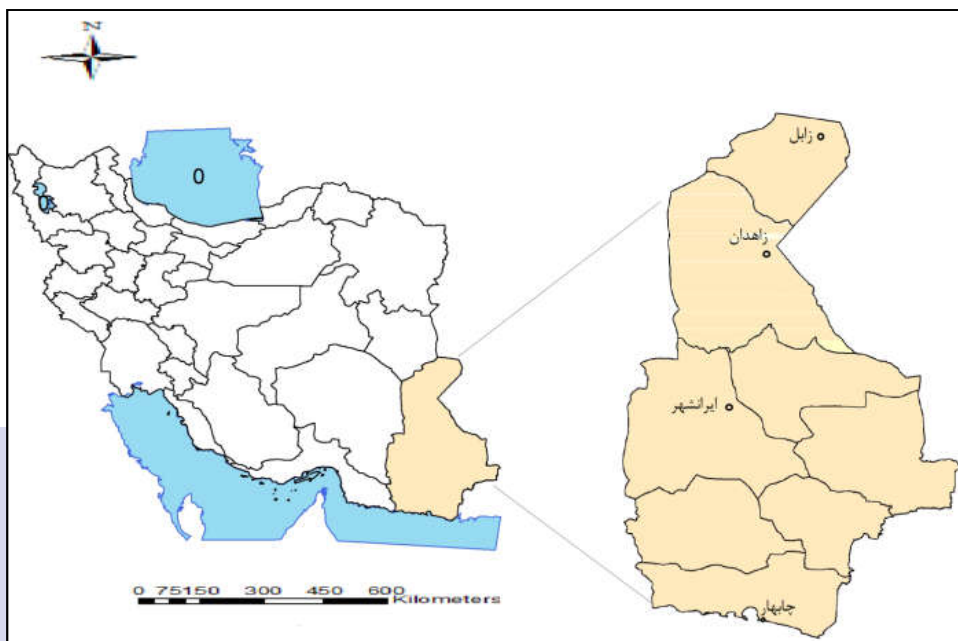
۱. مقدمه

مهمترین هدف تحلیل طیفی شناسایی دوره‌های تناوب یا بسامدها و برآورد احتمال دوره بازگشت است. طیف یک سری زمانی، نشان‌دهنده بسامدهای موجود در آن سری زمانی است. مطالعه و بررسی رخدادهای اقلیمی با استفاده از روش تحلیل طیفی منجر به شناسایی بسامدهای غالب در یک سری زمانی می‌گردد. روش تحلیل طیفی با استفاده از تبدیلات فوریه ابزار مفیدی برای بررسی الگوهای اقلیمی است. این روش رفتار کلی سری زمانی را نشان می‌دهد (تقوی و همکاران، ۱۳۹۰).

در ادبیات اقلیم‌شناسی و هواشناسی ایران، در چند سال اخیر، به فراوانی از روش تحلیل طیفی جهت شناسایی رفتار دوره‌ای متغیرهای مختلف اقلیمی استفاده شده است. تقوی و همکاران (۱۳۹۰) حداکثر بارش ۲۴ ساعته ماهانه، میانگین حداکثر دمای ماهانه و میانگین حداقل دمای ماهانه ۶۵ ایستگاه همدید ایران را در بازه زمانی ۱۹۸۶ تا ۲۰۰۵ مورد تحلیل طیفی قرار دادند. محمدی و همکاران (۱۳۹۰) برای بررسی تغییرپذیری درون سالانه فراوانی بارش‌های بیشینه ماهانه مناطق جنوبی دریای خزر از روش تحلیل هارمونیک بهره جستند. نتایج تحقیق آنها نشان داد که بیشترین درصد توضیح واریانس به وسیله هارمونیک اول به میزان بیش از ۷۰ درصد در بخش‌های ساحلی مناطق مرکزی و غربی این منطقه مشاهده می‌شود. عساکره (۱۳۹۱) با استفاده از توزیع فرین تعمیم یافته و بعد از استخراج چهار نمایه فرین بارش یعنی بیشینه بارش، پنج بارش بزرگ، صدک پنجم و صدک نود و پنجم، تغییرات بارش‌های فرین ایستگاه زنجان را مورد بررسی قرار داد. همچنین تحلیل طیفی بر روی چهار نمایه مورد مطالعه نشان داد یک چرخه حدوداً ۳ ساله برای مجموع بارش‌های حاصل از پنج بارش بزرگ در این ایستگاه وجود دارد. از دیگر پژوهش‌های انجام شده می‌توان به مطالعات عساکره (۱۳۸۹)، موحدی و همکاران (۱۳۹۰)، مقبل و همکاران (۱۳۹۰)، عساکره و رزمی (۱۳۹۱)، رورده و همکاران (۱۳۹۳) برای متغیر بارش، عساکره (۱۳۸۸)، عساکره (۱۳۸۹)، جلالی و کارگر (۱۳۹۰)، بلیانی و همکاران (۱۳۹۱) و دانشمند (۱۳۹۲) برای متغیر دما، رمضانپور و همکاران (۱۳۹۰) و عساکره و همکاران (۱۳۹۱) اشاره کرد.

۲. داده‌ها و روش تحقیق

به علت اینکه رخداد خشکسالی جزء پدیده‌های نادر طبیعی به شمار می‌آید همانند مطالعات آب و هوایی دیگر، مستلزم وجود آمار دراز مدت جهت تحلیل است و هر قدر آمارهای مورد استفاده سال‌های بیشتری را در برگیرند، تحلیل‌های صورت گرفته بیشتر با واقعیت منطبق خواهند بود. در این پژوهش از آمار بارش ماهانه چهار ایستگاه سینوپتیک جنوب شرق ایران یعنی چهار ایستگاه زابل، زاهدان، ایرانشهر و چابهار برای یک دوره آماری ۳۱ ساله (۲۰۱۳-۱۹۸۳) که از قسمت خدمات ماشینی سازمان هواشناسی کشور دریافت شده است استفاده گردید. توزیع و پراکنش ایستگاه‌های مورد مطالعه در شکل ۱ آورده شده است.



شکل ۱. نقشه موقعیت و پراکنش ایستگاه های مورد مطالعه

بعد از تشکیل بانک اطلاعاتی مورد نیاز، برای شناسایی فراوانی درجات مختلف خشکسالی ها از شاخص خشکسالی موثر (EDI) استفاده شد. این شاخص توسط **بیون و ویلهیت** در سال **۱۹۹۹** جهت آشکارسازی خشکسالی و تعیین زمان آغاز و خاتمه آن توسعه داده شده است. شاخص خشکسالی مؤثر در شکل اصلی خود، بر خلاف دیگر شاخص های خشکسالی، بر اساس داده های روزانه محاسبه می شود؛ هرچند که اصول آن می تواند به داده های بارش ماهانه نیز تعمیم داده شود. طبقه بندی شاخص خشکسالی مؤثر شبیه طبقه بندی شاخص استاندارد شده بارش (SPI) است که در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱. طبقه بندی شاخص خشکسالی موثر

وضعیت	نمایه بارش موثر
فوق العاده مرطوب	بزرگتر یا مساوی از ۲/۵
خیلی مرطوب	بزرگتر یا مساوی از ۱/۵
کمی مرطوب	بزرگتر یا مساوی از ۰/۷

کوچکتر از ۰/۷ و بزرگتر از -۰/۷	نرمال
کوچکتر یا مساوی -۰/۷	خشکسالی ملایم
کوچکتر یا مساوی -۱/۵	خشکسالی شدید
کوچکتر یا مساوی -۲/۵	خشکسالی بسیار شدید

جهت اطلاع از روش محاسبه شاخص خشکسالی مؤثر می توان به منابع (مرید و همکاران، ۲۰۰۶، کیم و بیون، ۲۰۰۹) مراجعه نمود.

۱-۲- تحلیل طیفی

هدف اصلی تجزیه و تحلیل سری‌های زمانی در حوزه بسامد، استخراج اطلاعات اضافی از سری زمانی است. روش‌های تجزیه و تحلیل در حوزه بسامد بسیار گسترده هستند. از تبدیل کلاسیک فوریه تا انواع متفاوتی از تبدیل‌های زمان-بسامد خطی و غیرخطی و رویکردهای مبتنی بر مدل در این گستره قرار دارند (مرتینز، ۱۳۸۰). تبدیل کلاسیک فوریه به عنوان پایه و اساس این تبدیل‌ها شناخته می‌شود. نظریه اساسی سری فوریه، بسط تابع دلخواه به صورت سری‌هایی از توابع سینوس و کسینوس است (براون و چرچیل، ۱۳۷۶، زیمیر و همکاران، ۱۳۷۶). نمایش‌های فوریه سری‌های زمانی، علاوه بر یک ابزار برای تحلیل در حوزه بسامد، در فراهم آوردن اطلاعات طیفی در باره یک سری زمانی نیز سودمند هستند (زیمیر و همکاران، ۱۳۷۶). از روش فوریه برای سری‌های زمانی غیر دوره‌ای نیز می‌توان استفاده کرد. در حالتی که تابع دوره‌ای نیست، فرض می‌شود که نمودار سری زمانی از $-\infty$ تا $+\infty$ گسترده است و این فاصله یک دوره را می‌پوشاند. اختلاف اساسی بین سری فوریه در توابع زمانی دوره‌ای و غیر دوره‌ای آن است که در توابع دوره‌ای با بسامدهای ناپیوسته روبرو هستیم (آلونسو و فین، ۱۳۶۹) یعنی دقیقاً بسامدهای هر دوره مشخص هستند، اما در توابع غیر دوره‌ای با طیف بسامدی روبرو هستیم. تبدیل کلاسیک فوریه صرفاً یک تبدیل از حوزه‌ی زمان به حوزه‌ی بسامد است. با استفاده از تبدیل کلاسیک فوریه می‌توانیم دقیقاً بسامدها و دوره‌ها را شناسایی کنیم. این اطلاعات دقیق در حوزه‌ی بسامد باعث می‌شود که اطلاعات زمانی را از دست بدهیم. اطلاعات بالا در حوزه زمان منجر به اطلاعات پایین در حوزه بسامد و برعکس خواهد شد (مرتینز، ۱۳۸۰). رویکردهای مختلفی از تبدیل فوریه وجود دارد. در این پژوهش از تبدیل فوریه سریع (FFT) تقسیمات بسامدی با مبنای دو استفاده شده است. تبدیل فوریه سریع از ایده تبدیل فوریه گسسته (DFT) استفاده می‌کند. در واقع تبدیل فوریه سریع تحقق سریع تبدیل فوریه گسسته است که از حاصل ضرب ماتریس‌ها جهت کاهش مراحل محاسباتی استفاده می‌کند (مرتینز، ۱۳۸۰). رابطه مربوط به تبدیل فوریه گسسته به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$X(f) = \sum_{n=0}^{N-1} x(t) e^{-j 2\pi nft} \quad (1)$$

در این عبارت $x(t)$ سری زمانی مورد نظر است. $X(f)$ تبدیل فوریه سری زمانی را نشان می‌دهد. در رابطه بالا جمله نمایی نقش اساسی دارد. این جمله را به صورت زیر نشان می‌دهیم:

$$W_N = e^{-j 2\pi nft} \quad (2)$$

ایده اساسی در تبدیل فوریه سریع، فاکتورگیری نمایش ماتریسی به صورت حاصل ضرب ماتریس‌ها است. بنابراین تبدیل فوریه سریع، تحقق سریع تبدیل فوریه گسسته است. برای یک سری زمانی، اولین قدم تجزیه سری زمانی به مولفه‌های عددی زوج و فرد است. داریم (مرتینز، ۱۳۸۰):

$$u(n) = x(n), v(n) = x\left(n + \frac{N}{2}\right), n = 0, 1, 2, \dots, \frac{N}{2} - 1 \quad (4)$$

یعنی سری زمانی ورودی به دو نیمه تقسیم شده و سپس تبدیل فوریه گسسته را به صورت زیر می‌نویسیم (مرتینز، ۱۳۸۰):

$$X(f) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) W_N^{nf} = \sum_{n=0}^{\frac{N}{2}-1} u(n) W_N^{nf} + \sum_{n=0}^{\frac{N}{2}-1} v(n) W_N^{(n+\frac{N}{2})f} \quad (5)$$

برای نقاط تبدیل فوریه گسسته با شمارش زوج و فرد داریم:

$$X(2f) = \sum_{n=0}^{N-1} [u(n) + v(n)] W_N^{2nf} \quad (6)$$

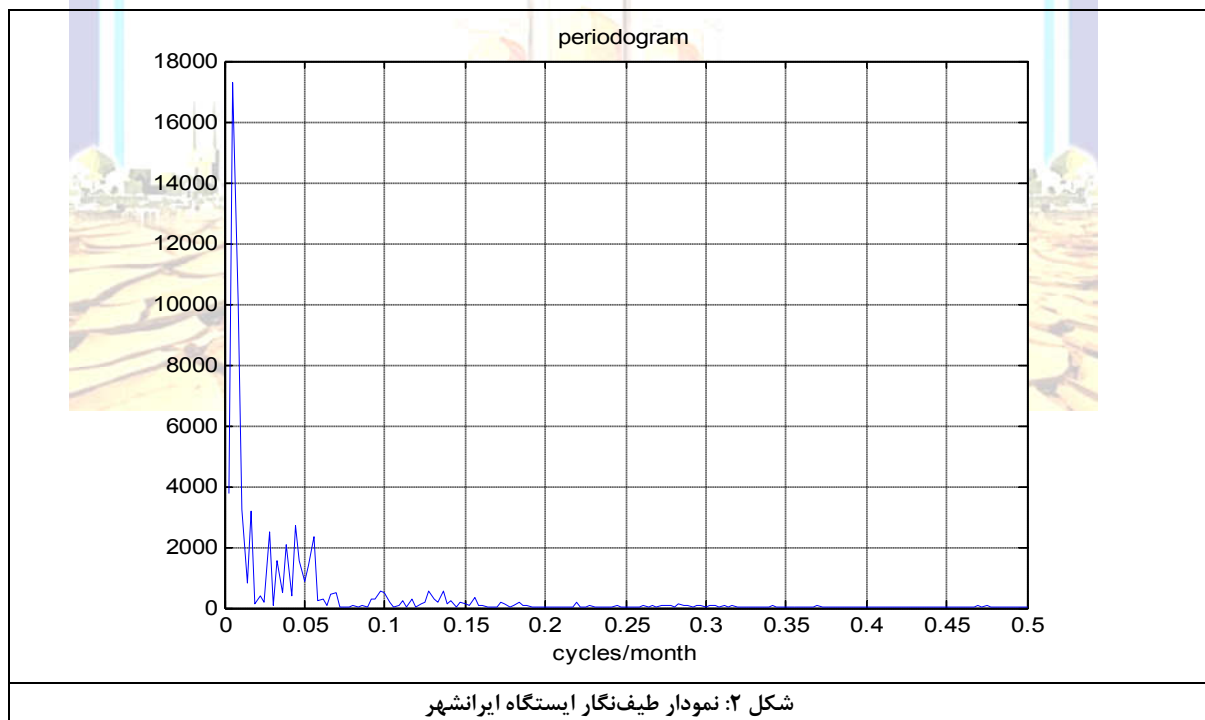
و

$$X(2f + 1) = \sum_{n=0}^{N-1} [u(n) - v(n)] W_N^n W_N^{2nf} \quad (7)$$

در واقع یک تبدیل فوریه گسسته N نقطه‌ای، به دو تبدیل $\frac{N}{2}$ نقطه‌ای تجزیه و این عمل تجزیه، منجر به کاهش تعداد ضرب‌ها می‌شود. این عمل می‌تواند تکرار شود و پیچیدگی محاسبات باز هم بیشتر کاهش یابد (مرتینز، ۱۳۸۰). همین اصول تجزیه به تبدیل فوریه گسسته‌های کوچکتر اعمال شده و پیچیدگی محاسبات باز هم کاهش خواهد یافت (مرتینز، ۱۳۸۰). باید توجه داشت که در تبدیل فوریه سریع، N طول سری زمانی توانی از دو است. در صورتی که این شرط برقرار نباشد، بقیه اعضا صفر منظور می‌شود تا طول سری کامل شود (مرتینز، ۱۳۸۰).

۳. تجزیه و تحلیل نتایج

در این مطالعه شاخص خشکسالی مؤثر برای ایستگاه‌های مورد مطالعه و در مقیاس زمانی ماهانه محاسبه گردید. شاخص خشکسالی مؤثر یک ابزار بسیار قوی در آنالیز داده‌های بارش به خصوص در دو مقیاس زمانی روزانه و ماهانه می‌باشد. هدف اصلی این شاخص اختصاص یک ارزش عددی به هر حادثه بارندگی در دو مقیاس زمانی روزانه و ماهانه می‌باشد، تا بتوان بر اساس آن نواحی با آب و هواهای کاملاً متفاوت را با یکدیگر مقایسه نمود. سپس جهت شناسایی دوره‌های غالب موجود در سری‌های زمانی خشکسالی ایستگاه‌ها از تحلیل طیفی به روش تبدیل فوریه سریع تقسیمات بسامدی با مبنای دو استفاده شده است. برنامه‌نویسی در متلب انجام شد. سپس برنامه بر روی سری زمانی شاخص خشکسالی مؤثر اجرا گردید. خروجی اجرای برنامه تحلیل طیفی در متلب برای داده‌ها به صورت نمودار پریودگرام یا طیف‌نگار نشان داده می‌شود. نمودار پریودگرام رابطه توان و بسامد را نشان می‌دهد. این نمودار یک نمودار پیوسته است که با داده‌های گسسته همخوانی کاملی را نشان می‌دهد. محور افقی معرف بسامد است. محور عمودی که معرف توان است در واقع مجذور دامنه را نشان می‌دهد. بالا بودن توان نشان می‌دهد که این یک بسامد غالب در سری زمانی مورد نظر در بخش طیفی است. در این پژوهش بسامد بر حسب دور بر یک ماه نشان داده شده است. به عبارت دیگر دوره تناوب یا چرخه بر مبنای زمان یک ماه سنجیده شده است. بسامدهای پایین، معرف دوره تناوب‌های بزرگ است. بسامدهای بالا معرف دوره تناوب‌های کوچک است. همچنین ده مولفه یا ده دوره غالب با بالاترین توان شناسایی گردیدند. شکل (۲) نمودار طیف‌نگار ایستگاه ایرانشهر را نشان می‌دهد.

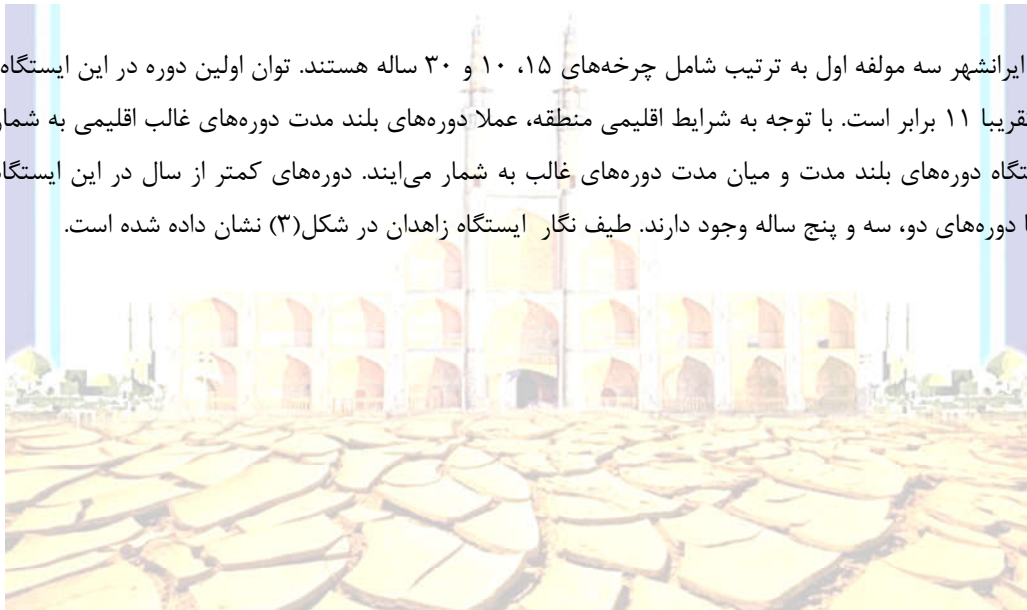


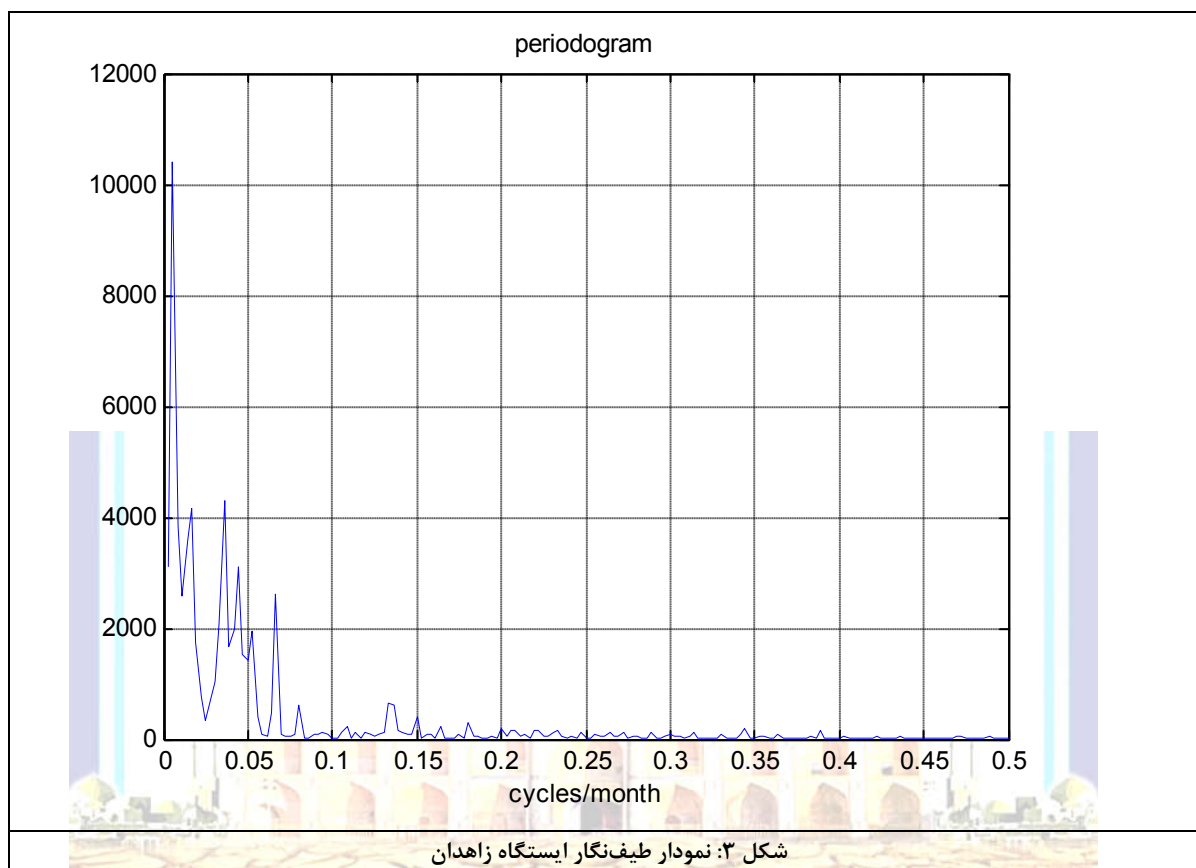
نمودار طیف‌نگار ایستگاه ایرانشهر نشان می‌دهد که نه مولفه این ایستگاه در محدوده بسامدی صفر تا 0.05 بر ماه قرار دارند. در واقع یک دوره کمتر از ۲۰ ماه در ده دوره اول وجود دارد. مولفه هشتم دارای دوره ۱۸ ماه است. جدول (۲) ده مولفه اول این ایستگاه را نشان می‌دهد:

جدول ۲: ده مولفه و توان هر دوره ایستگاه ایرانشهر

مولفه اول	مولفه دوم	مولفه سوم	مولفه چهارم	مولفه پنجم	مولفه ششم	مولفه هفتم	مولفه هشتم	مولفه نهم	مولفه دهم	
۱۷۳	۱۰۱	۳۸	۳۳	۳۲	۲۷	۲۵	۲۴	۲۱	۱۶	توان
۱۸۰	۱۲۰	۳۶۰	۹۰	۶۰	۲۲/۵	۳۶	۱۸	۲۶	۳۰	دوره (ماه)

در ایستگاه ایرانشهر سه مولفه اول به ترتیب شامل چرخه‌های ۱۵، ۱۰ و ۳۰ ساله هستند. توان اولین دوره در این ایستگاه نسبت به دوره دهم تقریباً ۱۱ برابر است. با توجه به شرایط اقلیمی منطقه، عملاً دوره‌های بلند مدت دوره‌های غالب اقلیمی به شمار می‌روند. در این ایستگاه دوره‌های بلند مدت و میان مدت دوره‌های غالب به شمار می‌آیند. دوره‌های کمتر از سال در این ایستگاه مشاهده نمی‌شود اما دوره‌های دو، سه و پنج ساله وجود دارند. طیف نگار ایستگاه زاهدان در شکل (۳) نشان داده شده است.



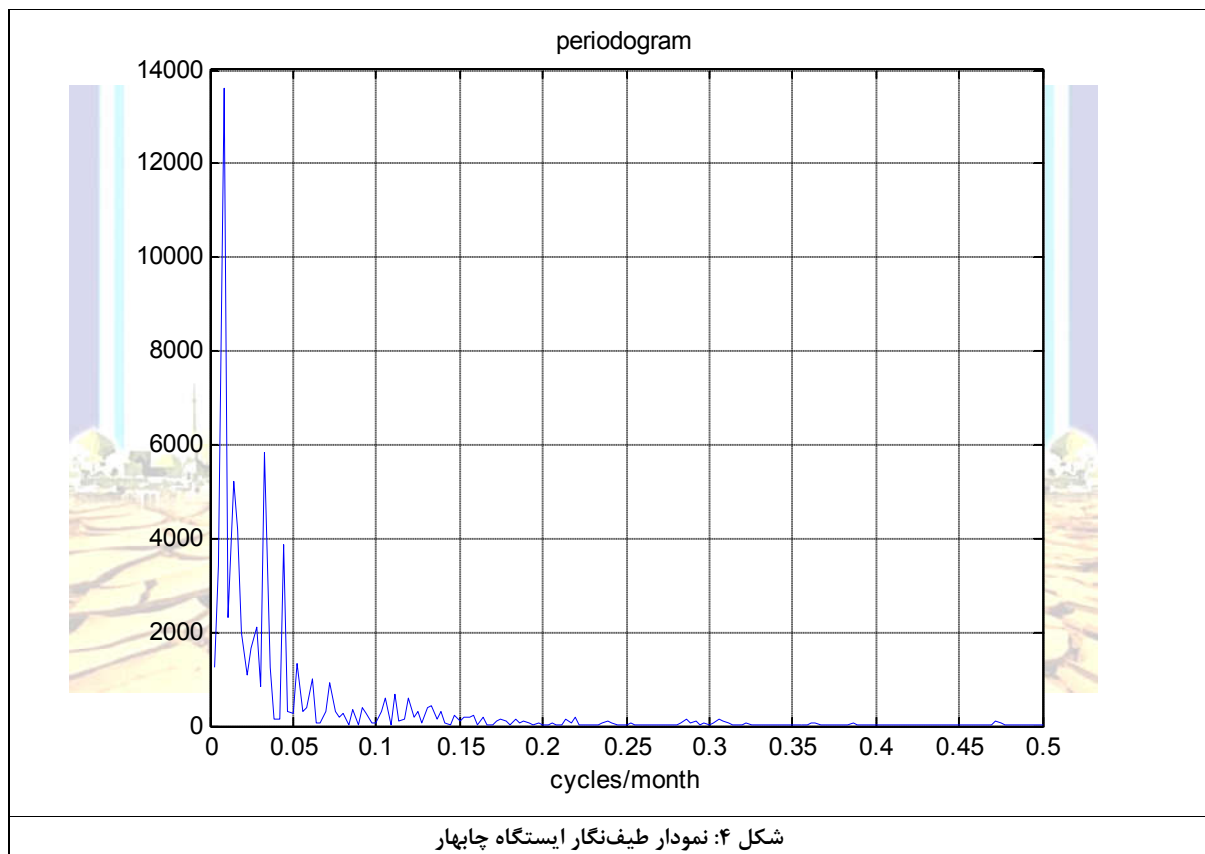


نمودار طیف‌نگار نشان می‌دهد که بالاترین توان در بسامد کمتر از $0/005$ قرار دارد. یک بسامد قابل ملاحظه نیز با توان بالا در فاصله بسامدی $0/005$ تا $0/1$ مشاهده می‌شود. این مولفه دوره ۱۵ ماهه را نشان می‌دهد. جدول (۳) ده مولفه اول ایستگاه زاهدان را نشان می‌دهد. در این ایستگاه دوره‌های میان مدت دوره غالب به شمار می‌آیند.

جدول ۳: ده مولفه و توان هر دوره ایستگاه زاهدان

مولفه اول	مولفه دوم	مولفه سوم	مولفه چهارم	مولفه پنجم	مولفه ششم	مولفه هفتم	مولفه هشتم	مولفه نهم	مولفه دهم	
۱۰۴	۴۳	۴۲	۳۸	۳۶	۳۱	۳۱	۲۶	۲۶	۲۱	توان
۱۸۰ (ماه)	۲۸	۶۰	۱۲۰	۷۲	۲۲/۵	۳۶۰	۱۵	۹۰	۳۰	دوره (ماه)

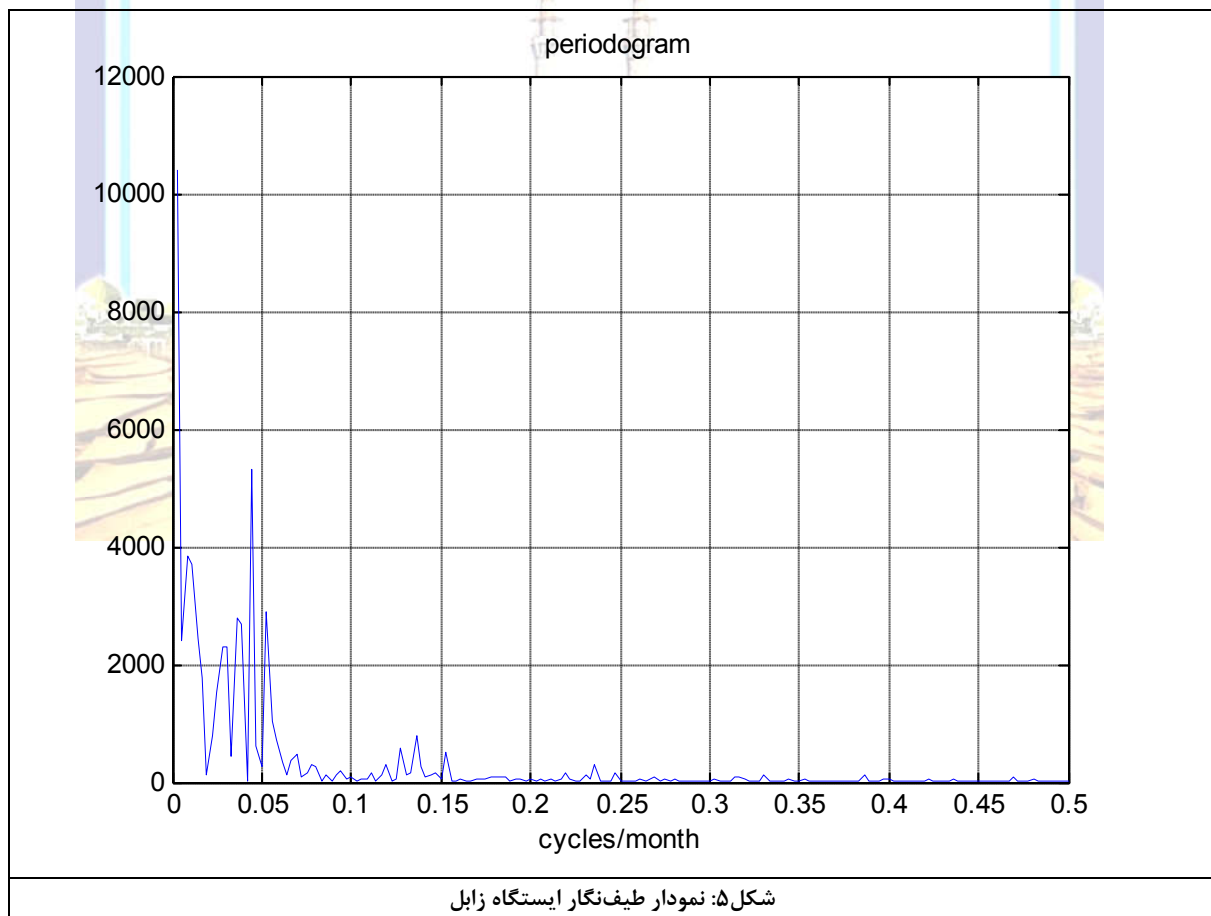
طیف نگار ایستگاه چابهار در شکل (۴) نشان داده شده است. برای ایستگاه چابهار نمودار طیف‌نگار نشان می‌دهد که دوره تناوب کمتر از ۲۲/۵ ماهه وجود ندارد. دوره‌های کوتاه مدت در این ایستگاه توان کمی دارند. جدول (۴) ده مولفه اول ایستگاه چابهار را نشان می‌دهد.



جدول ۴: ده مولفه و توان هر دوره ایستگاه چابهار

مولفه اول	مولفه دوم	مولفه سوم	مولفه چهارم	مولفه پنجم	مولفه ششم	مولفه هفتم	مولفه هشتم	مولفه نهم	مولفه دهم	
۱۳۶	۵۸	۵۲	۳۸	۴۲	۳۹	۲۳	۲۱	۲۰	۱۷	توان
۱۲۰	۳۰	۷۲	۶۰	۲۲/۵	۱۸۰	۹۰	۳۶	۵۱	۴۰	دوره(ماه)

برای ایستگاه زابل نمودار طیف‌نگار شکل (۵) نشان می‌دهد که دوره تناوب کمتر از ۱۹ ماهه در ده مولفه اول وجود ندارد. در واقع این یک دوره غالب در سه مولفه اول این ایستگاه است. دوره تناوب ۲۲/۵ ماهه در این ایستگاه به عنوان مولفه دوم ظاهر می‌شود. اما در سه ایستگاه دیگر این دوره جزو سه مولفه اول نیست. جدول (۵) ده مولفه اول ایستگاه زابل را نشان می‌دهد.



جدول ۵: ده مولفه و توان هر دوره ایستگاه زابل

مولفه اول	مولفه دوم	مولفه سوم	مولفه چهارم	مولفه پنجم	مولفه ششم	مولفه هفتم	مولفه هشتم	مولفه نهم	مولفه دهم	
۱۰۴	۴۳	۴۲	۳۸	۳۶	۳۱	۳۱	۲۶	۲۶	۲۱	توان
۳۶۰	۲۲/۵	۱۲۰	۹۰	۱۹	۲۸	۲۶	۷۲	۱۸۰	۳۳	دوره(ماه)

بالاترین توان در این ناحیه مربوط به دوره ۱۸۰ ماهه(۱۵ساله) ایستگاه ایرانشهر است. وجه مشترک ایستگاه ایرانشهر با ایستگاه زاهدان، داشتن یک چرخه ۱۵ ساله در مولفه اول است. در این ناحیه، نمودار پریودگرام ایستگاهها نشان می‌دهد که محدوده بسامدی صفر تا کمی بیشتر از ۰/۰۵ از نظر تحلیل دارای ارزش است. در این بازه، بسامدها دارای توان بالایی هستند. سه مولفه اول تمام ایستگاههای این ناحیه نیز در محدوده بسامدی صفر تا کمتر از ۰/۰۵ قرار دارند. در نتیجه سه مولفه اول در این ناحیه نیز در بسامدهای پایین، یا دوره تناوبهای بالا قرار دارند. بیشینه توضیح واریانس پنج مولفه اول در این ناحیه مربوط به ایستگاه ایرانشهر است. پنج مولفه اول در این ایستگاه ۷۶/۹ درصد از واریانس را تبیین می‌کنند. کمینه توضیح واریانس پنج مولفه اول مربوط به ایستگاه زاهدان و برابر ۶۶/۱ درصد از واریانس کل است. با توجه به نسبت توانهای دوره‌ها در ایستگاههای کل ایران، صرفاً از سه مولفه اول می‌توان استفاده کرد. سه مولفه اول در ایستگاه ایرانشهر بالاترین مقدار واریانس را در این ناحیه توضیح می‌دهند. سه مولفه اول ۶۳/۷ درصد از واریانس را تبیین می‌کنند. سه مولفه اول در ایستگاه زاهدان ۴۷/۵ از واریانس را تبیین می‌کنند که کمترین مقدار در این ناحیه است. در این ناحیه همخوانی معناداری بین ایستگاهها از نظر طیفی وجود ندارد. اما می‌توان نتیجه گرفت که دوره‌های بلند مدت وجه غالب این ناحیه هستند. جدول(۶)ویژگی‌های طیفی خشکسالی‌های ایستگاه‌های این ناحیه را برای سه مولفه اول نشان می‌دهد.

جدول ۶- ویژگی‌های طیفی خشکسالی‌های ایستگاههای ناحیه جنوب شرق

نام ایستگاه	مولفه اول	مولفه دوم	مولفه سوم	
چابهار	۱۳۶	۵۸	۵۲	توان
	۱۲۰	۳۰	۷۲	دوره(ماه)
ایرانشهر	۱۷۳	۱۰۱	۳۸	توان
	۱۸۰	۱۲۰	۳۶۰	دوره(ماه)
زابل	۱۰۴	۵۳	۳۸	توان
	۳۶۰	۲۲	۱۲۰	دوره(ماه)
زاهدان	۱۰۴	۴۳	۴۲	توان

دوره(ماه)	۶۰	۲۸	۱۸۰	
-----------	----	----	-----	--

نتیجه گیری

تحلیل طیفی خشکسالی‌های ناحیه جنوب شرق ایران با استفاده از شاخص خشکسالی موثر در مقیاس زمانی ماهانه نشان داد که دوره‌های غالب موجود در سری‌های خشکسالی متنوع بوده و از دوره‌های دو ساله تا دوره ۳۰ ساله را شامل می‌شود. بسامد غالب و همچنین بازه‌ی بسامدی در ایستگاه‌های مورد مطالعه همخوانی مناسبی با یکدیگر نداشته و رفتار ایستگاه‌ها متفاوت می‌باشد. ویژگی مشترک چهار ایستگاه مورد مطالعه در سه مولفه اول این بود که در تمام ایستگاه‌ها مولفه کمتر از سال وجود نداشت و یک دوره بلند مدت، دوره غالب ایستگاه‌های این ناحیه است. در دوره‌های بلند مدت، دوره ده ساله دارای فراوانی بیشتری است. بطور خلاصه نتایج را برای سه مولفه اول می‌توان به صورت زیر نوشت:

- دوره درون سالی و سالیانه در ایستگاه‌های مورد مطالعه مشاهده نشد.
 - دوره غالب در این ایستگاه‌ها در مولفه اول یک دوره بلند مدت است.
 - تحلیل طیفی با استفاده از تبدیل کلاسیک فوریه در شناسایی دوره‌های بلند مدت موفق عمل می‌کند.
- پیشنهاد می‌شود با استفاده از روش‌های تبدیل در حوزه زمان- بسامد این دوره‌ها شناسایی شده و نتایج با هم مقایسه گردد. همچنین برای شناسایی علل این دوره‌ها از شاخص‌های بزرگ مقیاس و الگوهای پیوند از دور استفاده شود.

منابع

۱. آلونسو، م. و جی فین، ا.، ۱۳۶۹، فیزیک عمومی، جلد اول (مکانیک). ترجمه لطیف کاشیگر، تهران: مرکز نشر دانشگاهی.
۲. براون، ج. و. و، و چرچیل، ر.، ۱۳۷۶، سری‌های فوریه و مسایل مقدار مرزی، ترجمه سیدمحمد حسینی و امیر خسروی، انتشارات دانشگاه تربیت مدرس، چاپ اول.
۳. بلیانی، ی.، فاضل نیا، غ.، و بیات، ع.، ۱۳۹۱، تحلیل و مدل‌سازی دمای سالانه شهر شیراز با استفاده از مدل ARIMA، فصلنامه علمی- پژوهشی فضای جغرافیایی، سال ۱۲، شماره ۷۳، ۱۴۴-۱۲۸.
۴. تقوی، ف.، نصری، م.، بیات، ب.، متولیان، س. س.، و آزادی فرد، د.، ۱۳۹۰، تعیین الگوهای رفتار اقلیم در مناطق مختلف ایران بر اساس تحلیل طیفی و خوشه بندی مقادیر حدی بارش و دما. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۷۷، ۱۲۴-۱۰۹.

۵. جلالی، م.، و کارگر، ح.، ۱۳۹۰، تحلیل و مدلسازی آماری دمای ایستگاه بوشهر (۲۰۰۵-۱۹۵۱)، فصلنامه علمی-پژوهشی فضای جغرافیایی، سال ۱۱، شماره ۳۳، ۱۷۳-۱۴۹.
۶. دانشمند، ح.، ۱۳۹۲، تحلیل آماری-همدیدی دماهای کمینه ماهانه در نیمه شرقی ایران، رساله دکترای اقلیم شناسی، دانشکده جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، ۱۹۵ ص.
۷. رضائی پور، م.، روشنی، م.، و ستوده، ف.، ۱۳۹۰، تحلیلی بر تغییر، روند و چرخه های بارش و دبی در غرب استان گیلان (مطالعه موردی: حوضه ناورود)، مجله چشم انداز جغرافیایی، سال پنجم، شماره ۱۳، ۷۹-۶۰.
۸. رورده، ه.، یوسفی، ی.، معصوم پور سماکوش، ج.، و فیضی، و.، ۱۳۹۳، تغییرپذیری زمانی-مکانی بارش های حدی در ایران، جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، سال ۲۵، پیاپی ۵۴، شماره ۲، ۳۶-۲۵.
۹. زمیمر، ر.، ترانتر، و.، و رونالد فین، د.، ۱۳۷۶، سیگنال‌ها و سیستم‌ها، ترجمه پرویز جبه دار مارالانی. انتشارات دانشگاه تهران، چاپ چهارم.
۱۰. عساکره، ح.، ۱۳۸۸، تحلیل طیفی سری های زمانی دمای سالانه تبریز، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال ۲۴، شماره ۳ (پیاپی ۹۴)، ۵۰-۳۳.
۱۱. عساکره، ح.، ۱۳۸۹، تحلیل چرخه های میانگین دمای سالانه شهر زنجان. فصلنامه جغرافیا و توسعه، دوره ۸، شماره پیاپی ۱۹، صص ۲۴-۱۱.
۱۲. عساکره، ح.، ۱۳۸۹، تحلیل تغییرات بارش های فرین شهر زنجان، نشریه پژوهش های اقلیم شناسی، سال اول، شماره اول و دوم، ۱۰۰-۸۹.
۱۳. عساکره، ح.، ۱۳۹۱، تغییر توزیع فراوانی بارش های فرین شهر زنجان. فصلنامه جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، سال ۲۳، شماره ۱ (پیاپی ۴۵)، صص ۶۶-۵۱.
۱۴. عساکره، ح.، و رزمی، ر.، ۱۳۹۱، تحلیل تغییرات بارش سالانه شمال غرب ایران. فصلنامه جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، سال ۲۳، شماره ۳ (پیاپی ۴۷)، صص ۱۶۲-۱۴۷.
۱۵. عساکره، ح.، خوشرفتار، ر.، و ستوده، ف.، ۱۳۹۱، تحلیل چرخه های سری زمانی دبی و بارش ایستگاه آب سنجی ماشین خانه (حوضه آبریز گرگان رود تالش)، نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۶، شماره ۵، ۱۱۳۹-۱۱۲۸.
۱۶. محمدی، ح.، عزیزی، ق.، تقوی، ف.، و یوسفی، ی.، ۱۳۹۰، تغییرپذیری زمانی و مکانی بیشینه بارش ماهانه در بخش های جنوبی دریای خزر. پژوهش های جغرافیای طبیعی، شماره ۷۵، صص ۱۵-۱.
۱۷. مرتینز، آ.، ۱۳۸۰، آنالیز سیگنال ویولت، فیلتر بانک، تبدیل های زمان بسامد و کاربرد آنها. ترجمه محمد حسن مرادی، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

۱۸. مقبل، م.، داودی، م.، نیستانی، ا.، تقوی، ف.، ۱۳۹۰، شناسایی تغییرات رژیم بارشی ایران در دهه های اخیر. مجله علمی و فنی نیوار، شماره ۷۲ و ۷۳، ۶۵-۵۵.

۱۹. موحدی، س.، عساکره، ح.، سبزی پرور، ع. ا.، مسعودیان، ا.، مریانجی، ز.، ۱۳۹۰، بررسی تغییرپذیری رژیم بارش در ایران، نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۵، شماره ۶، ۱۴۴۷-۱۴۳۴.

۲۰. هالیدی، د.، و رزینیک، ر.، ۱۳۷۴، فیزیک، جلد اول، ترجمه نعمت اله گلستانیان و محمود بهار، تهران: مرکز نشر دانشگاهی

21. Byun, H. R., and Wilhite, D. A., 1999, Objective quantification of drought severity and duration. *J. Climate*, 12, 2747-2756.
22. Kim, D. W., and Byun, H. R., 2009, Future pattern of Asian drought under global warming scenario. *Theor. Appl. Climatol.* 98, 137-150.
23. Morid, S., Smakhtin, V., and Moghaddasi, M., 2006. Comparison of seven meteorological indices for drought monitoring in Iran. *Int. J. Climatol.* 26, 971-985.

