

تحلیل طیفی خشکسالی‌های ایران

حجت اله دانشمند^{1*} و پیمان محمودی²

¹ استادیار، گروه فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران
² استادیار، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

تاریخ دریافت: 94/07/05، تاریخ پذیرش: 95/04/10

چکیده

هدف اصلی این مطالعه آشکارسازی رفتار دوره‌ای خشکسالی‌های ماهانه ایران است. برای دستیابی به این هدف از آمار بارش ماهانه 41 ایستگاه هم‌مدیدی کشور برای یک دوره آماری 31 ساله (1983-2013) و برای شناسایی فراوانی درجات مختلف خشکسالی‌ها از شاخص خشکسالی مؤثر (EDI) استفاده شد. هدف اصلی این شاخص اختصاص یک ارزش عددی به هر رویداد بارندگی در مقیاس زمانی ماهانه می‌باشد. در تحلیل طیفی و شناسایی دوره‌های غالب موجود در سری‌های زمانی خشکسالی ایستگاه‌های مورد مطالعه از تبدیل فوریه سریع (FFT) تقسیمات بسامدی با مبنای دو استفاده شد. نتایج نشان داد که دوره‌های غالب موجود در سری‌های زمانی خشکسالی‌های ایران بسیار متنوع بوده و از دوره‌های 2 تا 30 ساله را شامل می‌شوند. به‌طور کلی برای دوره‌های بلندمدت، می‌توان در کل ایران دو دوره 10 ساله و 30 ساله را به‌عنوان دوره‌های غالب در نظر گرفت. در دوره‌های بلندمدت، فراوانی این دو دوره در مولفه اول بیشینه است و در دو مولفه دیگر کاهش می‌یابد. اما درخصوص دوره‌های کوتاه‌مدت، نمی‌توان برای کل ایران یک دوره غالب مشخص کرد. نکته حائز اهمیت در مورد دوره‌های کوتاه مدت عدم وجود دوره‌های درون‌سالی، به استثنای یک ایستگاه (ایستگاه بابلسر)، در کل ایستگاه‌های مورد مطالعه است.

واژه‌های کلیدی: خشکسالی، شاخص خشکسالی مؤثر، تحلیل طیفی، توان، بسامد

1 مقدمه

مهم‌ترین هدفی که در پشت هر مطالعه شناسایی دوره‌های تناوب خشکسالی‌ها وجود دارد، فراهم آوردن یک ابزار علمی مناسب برای پیش‌بینی رخداد آنها در آینده است. همچنین این نوع از مطالعات می‌توانند برای شناخت علل خشکسالی‌ها نیز استفاده شوند. تاکنون روش‌های آماری و غیرآماری متعددی را محققین مختلف برای شناخت این علل ارائه و استفاده کرده‌اند که می‌توان آنها را در چند دسته کلی به شرح ذیل طبقه‌بندی کرد.

دسته اول مطالعاتی هستند که وجود رابطه مستقیم بین دوره‌های تناوب خشکسالی‌ها و فعالیت لکه‌های خورشیدی را نشان داده‌اند. این مطالعات نشان می‌دهند که چرخه‌های 11 و 22 ساله لکه‌های خورشیدی، چرخه‌های مربوط به خشکسالی‌ها را تحت تاثیر خود قرار می‌دهند (استاکتون و مکو، 1975؛ میچل و همکاران، 1979؛ کوری، 1981؛ استاکتون و همکاران، 1983؛ اوبرایان و کوری، 1993؛ کوک و همکاران، 1997؛ هادل و همکاران، 2001؛ زرین و مفیدی، 1384؛ جهانبخش اصل و عدالت‌دوست، 1387؛ کلیم و همکاران، 1392).

دسته دوم مطالعاتی هستند که از حلقه‌های درختان برای برآورد میزان بارش و در نتیجه استخراج چرخه خشکسالی‌ها استفاده کرده‌اند. این نوع از مطالعات بیشتر در ایالات متحده آمریکا مورد توجه بوده است. با استفاده از این روش، مطالعات مشابه دیگری در قسمت‌های مختلف جهان همچون چین (ژوان و یان بن، 2005؛ کوری، 2007)، هندوستان (بالم و مولی، 1981)، آمریکای جنوبی (کوری، 1983) و دیگر بخش‌های آمریکای شمالی (کوری، 1984) انجام شده است.

سومین دسته مطالعاتی هستند که وجود رابطه بین خشکسالی‌ها و انسو (ال‌نینو-نوسان جنوبی) را مورد توجه قرار داده‌اند. مطالعات انجام شده در کشورهای آمریکای شمالی همچون ایالات متحده آمریکا و کانادا (اتلس و

همکاران، 1993؛ لیان و دال، 1995؛ مونتروی، 1997؛ تینگ و وانگ، 1997؛ چن و نیومن، 1998)، در کشورهای آسیایی (چانگ و کینگ، 1999؛ دیلی و هیمن، 1999؛ جیانگ و همکاران، 2006؛ ژنگ و همکاران، 2006؛ ژنگ و همکاران، 2007؛ و ناظم‌السادات و قاسمی، 1382) و در استرالیا (چیو و همکاران، 1998) نشان داده‌اند که پیش‌بینی خشکسالی‌ها شاید بر اساس چرخه انسو امکان‌پذیر باشد. از سوی دیگر، برخی از محققین در آسیا ادعای ذکر شده در بالا یعنی وجود رابطه بین خشکسالی‌ها و انسو را مورد تردید قرار داده‌اند (لاو و ونگ، 2002؛ ژو و همکاران، 2004). اگر چه بیون و همکاران (2001) قبول دارند که فراوانی وقوع خشکسالی‌ها در آسیا در سال‌های وقوع ال‌نینو و لائینا افزایش می‌یابد اما آنها اعتقاد دارند که وسعت این وقایع بسیار محدود بوده و تعمیم‌پذیر به همه نقاط جهان نیست.

دسته چهارم مطالعاتی هستند که ادعا کرده‌اند سامانه‌های بندالی در وردسپهر (گیرادین و همکاران، 2004؛ ناپ و همکاران، 2004؛ حبیبی، 1385، 1386) و انتقال غیرعادی بخار آب (لیان و دال، 1995؛ چن و نیومن، 1998) علل اصلی وقوع خشکسالی‌ها هستند، اما این پدیده‌ها تنها به بخش‌ها و نواحی خاصی از جهان محدود می‌شوند و سخت می‌توان آنها را عاملی کلی و جهانی تلقی کرد. علاوه بر این، برخی مطالعات (آبوت و همکاران، 2005) وجود رابطه با PDO (نوسان دهه‌ای اقیانوس آرام) را مورد توجه قرار داده‌اند.

در نهایت دسته آخر، مطالعاتی هستند که بر روی شدت خشکسالی‌ها و نه علل آنها متمرکزند و می‌توان آنها را به دو دسته تقسیم کرد. دسته‌ای که ادعا می‌کنند فراوانی خشکسالی‌ها از اواخر قرن بیستم به بعد افزایش داشته (مش چرسکایا و بلاژیوچ، 1997؛ دای و ترنبرث، 1998؛ مین و همکاران، 2003؛ پیکارتا و همکاران، 2004؛ معافی مدنی و همکاران، 1391؛ صالح‌نیا و همکاران،

می‌گیرد. در بخش‌های کوهستانی و شرقی به هماهنگ‌های سوم و چهارم و در بعضی موارد تا هماهنگ ششم نیز برای تبیین واریانس نیاز است که نشان از تغییرپذیری زیاد و ناپیکنواختی بارش در این مناطق دارد.

عساکره (1391الف) با استفاده از توزیع فرین تعمیم‌یافته (GEV) و بعد از استخراج چهار شاخص فرین بارش یعنی بیشینه بارش، پنج بارش بزرگ، صدک پنجم و صدک نودوپنجم، تغییرات بارش‌های فرین ایستگاه زنجان را بررسی کرد. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که شکل توزیع فراوانی بارش‌های حاصل از صدک پنجم در نیمه اول (1961-1983) و نیمه دوم (1984-2006) با هم متفاوت بوده، به طوری که از توزیع چوله به چپ در نیمه اول به توزیع چوله به راست در نیمه دوم تغییر یافته است. این تغییرات در صدک پنجم بارش با شدت کمتری در بارش‌های حاصل از صدک نودوپنجم نیز مشاهده شد. بنابراین می‌توان استنباط کرد که فراوانی و مقدار بارش‌های سنگین و سبک به سمت کاهش میل کرده‌اند. علاوه بر این نتایج، نتیجه دیگری که از کاربست تحلیل طیفی بر روی چهار شاخص مورد مطالعه به دست آمد، شناسایی یک چرخه حدوداً سه‌ساله برای مجموع بارش‌های حاصل از پنج بارش بزرگ این ایستگاه بود.

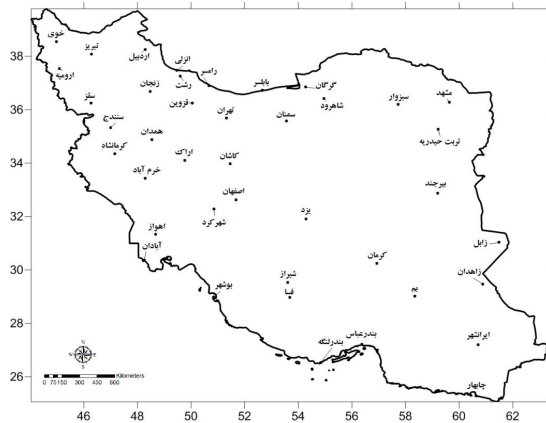
عساکره (1391ب) برای بررسی تغییرات شاخص‌های فرین بارش ایستگاه زنجان در طی دوره آماری 2006-1961، 26 شاخص بارشی مبتنی بر داده‌های روزانه را برای ایستگاه زنجان استخراج کرد. سپس با اجرای تحلیل مؤلفه‌های اصلی با آرایش P، شش مؤلفه را که حدود 86/4 درصد از تغییرات را تبیین می‌کردند، انتخاب نمود. تحلیل طیفی مؤلفه‌های اصلی فرین‌های بارش نشان داد مؤلفه دوم که نماینده فراوانی و تداوم بارش‌های بزرگ است حاوی یک چرخه حدوداً سه‌ساله، مؤلفه چهارم که نماینده بارش‌های آبرسنگین است حاوی چرخه‌های تقریباً چهارساله و مؤلفه پنجم که نماینده میزان، فراوانی و

1392؛ خزانه‌داری و همکاران، 1388) و آنهایی که ادعا می‌کنند که در قسمت‌هایی از جهان فراوانی خشکسالی‌ها کاهش یافته است (پاندی و راماساستری، 2001).

یکی از مهم‌ترین روش‌هایی که در این پنج دسته از مطالعات برای آشکارسازی رفتار دوره‌ای عناصر اقلیمی استفاده شده، تحلیل طیفی یا تحلیل در حوزه بسامد بوده است. طیف یک سری زمانی، نشان‌دهنده بسامدهای موجود در آن سری زمانی است و تحلیل طیفی روشی برای شناسایی این بسامدهاست.

در ادبیات اقلیم‌شناسی و هواشناسی ایران نیز، در چند سال اخیر، به فراوانی از روش تحلیل طیفی برای شناسایی رفتار دوره‌ای متغیرهای مختلف اقلیمی استفاده شده است. تقوی و همکاران (1390) بیشینه بارش 24 ساعته ماهانه، میانگین بیشینه دمای ماهانه و میانگین کمینه دمای ماهانه 65 ایستگاه همدیدی ایران را در بازه زمانی 1986 تا 2005 مورد تحلیل طیفی قرار دادند. آنها بعد از استخراج مشخصات طیف‌های اصلی این سه متغیر، یعنی دامنه‌ها و بسامدها، به منظور شناسایی مناطق هم‌رفتار از تحلیل خوشه‌ای استفاده کردند. نتایج به دست آمده گویای تنوع رفتاری مشخصات حدی در مناطق مختلف اقلیمی ایران بوده است به گونه‌ای که می‌توان اظهار داشت سامانه اقلیمی واحدی لزوماً بر مناطق هم‌رفتار حاکم نیست. در این خصوص، منحصر به فرد بودن رفتار ایستگاه‌های رامسر و کنارک جالب توجه بوده است. محمدی و همکاران (1390) برای بررسی تغییرپذیری درون‌سالانه فراوانی بارش‌های بیشینه ماهانه مناطق جنوبی دریای خزر از روش تحلیل هماهنگ (هارمونیک) بهره جستند. نتایج تحقیق آنها نشان داد که بیشترین درصد تبیین واریانس با هماهنگ اول به میزان بیش از 70 درصد در بخش‌های ساحلی مناطق مرکزی و غربی این منطقه مشاهده می‌شود. در این بخش‌ها تغییرات درون‌سالانه بارش بیشینه ماهانه طی دوره مورد بررسی عموماً به صورت سالانه صورت

بازسازی شد. توزیع و پراکنش ایستگاه‌های مورد مطالعه در شکل 1 آورده شده است.



شکل 1. نقشه موقعیت و پراکنش ایستگاه‌های مورد مطالعه.

بعد از تشکیل بانک اطلاعاتی مورد نیاز، برای شناسایی فراوانی درجات مختلف خشکسالی‌ها از شاخص خشکسالی مؤثر (EDI) استفاده شد. این شاخص را بیون و ویلهیت در سال 1999 برای آشکارسازی خشکسالی و تعیین زمان آغاز و خاتمه آن توسعه دادند. در شکل اصلی خود، EDI برخلاف دیگر شاخص‌های خشکسالی، بر اساس داده‌های روزانه محاسبه می‌شود، هرچند که اصول آن می‌تواند به داده‌های بارش ماهانه نیز تعمیم داده شود (مرید و همکاران، 2007؛ پانندی و همکاران، 2008). نحوه این تعمیم بدین گونه است که مقادیر روزانه در طول یک ماه با یک‌دیگر جمع و بر تعداد روزهای آن ماه تقسیم می‌شوند. طبقه‌بندی EDI شبیه طبقه‌بندی شاخص معیار شده بارش (SPI) است (جدول 1).

برای اطلاع از روش محاسبه EDI می‌توان به منابع (مرید و همکاران، 2006؛ کیم و بیون، 2009؛ اختری و همکاران، 2009؛ کالاماراس و همکاران، 2010) مراجعه کرد. لازم به اشاره است که محاسبه EDI برای کل ایستگاه‌های مورد مطالعه با استفاده از نرم‌افزار DIP (Drought Indices Package) که مرید و همکاران در

تداوم بارش‌های کم مقدار است حاوی چرخه‌های دو تا سه ساله هستند. علاوه بر این مطالعات، عساکره (1389ب)، موحدی و همکاران (1390)، مقبل و همکاران (1390)، عساکره و رزمی (1391)، رورده و همکاران (1393) برای متغیر بارش، عساکره (1388)، عساکره (1389الف)، جلالی و کارگر (1390)، بلیانی و همکاران (1391) و دانشمند (1392) برای متغیر دما، رضانی‌پور و همکاران (1390) و عساکره و همکاران (1391) برای آشکارسازی چرخه‌های آشکار و نهان موجود در سری زمانی دبی رودخانه‌ها و جلیلی و همکاران (1390، 1391) برای سری زمانی تراز سطح آب دریاچه ارومیه از این روش استفاده کرده‌اند.

لذا با مطالعه و بررسی منابع موجود در ادبیات اقلیم‌شناسی و هواشناسی ایران مشاهده شد که هیچ گونه مطالعه مستقلی که به‌طور مشخص هدف آن بررسی و شناسایی رفتار دوره‌های خشکسالی‌های ایران باشد موجود نیست. لذا در این مطالعه هدف بر آن است که با استفاده از روش تحلیل طیفی، رفتار دوره‌های خشکسالی‌های ایران در مقیاس ماهانه تحلیل شود.

2 روش‌شناسی

به علت اینکه رخداد خشکسالی جزء پدیده‌های نادر طبیعی به‌شمار می‌آید، همانند مطالعات اقلیم‌شناختی دیگر، مستلزم وجود آمار بلندمدت برای انجام تحلیل است و هر قدر آمارهای مورد استفاده سال‌های بیشتری را دربرگیرند، تحلیل‌های انجام گرفته بیشتر با واقعیت منطبق خواهند شد. در این پژوهش از آمار بارش ماهانه 41 ایستگاه همدیدی کشور برای یک دوره آماری 31 ساله (1983-2013) که از قسمت خدمات ماشینی سازمان هواشناسی کشور دریافت شده، استفاده گردید. این داده‌ها دارای آمار کامل و قابل اعتماد بودند که اندک خلاء آماری داده‌ها با استفاده از همبستگی و مدل‌های وایزشی (رگرسیون)

سال 1384 توسعه داده‌اند، انجام گرفته است.

نقطه‌ای تجزیه می‌شود. باید توجه داشت که در تبدیل فوریه سریع، N طول سری زمانی توانی از دو است. در صورتی که این شرط برقرار نباشد، بقیه عضوها صفر منظور می‌شوند تا طول سری کامل شود (مرتینز، 1999).

جدول 1. طبقه‌بندی شاخص خشکسالی موثر.

وضعیت	شاخص خشکسالی موثر
ترسالی بسیار شدید	بزرگ‌تر از یا برابر با $2/5$
ترسالی شدید	بزرگ‌تر از یا برابر با $1/5$
ترسالی ملایم	بزرگ‌تر از یا برابر با $0/7$
بهنجار (نرمال)	کوچک‌تر از $0/7$ و بزرگ‌تر از $-0/7$
خشکسالی ملایم	کوچک‌تر از یا برابر با $-0/7$
خشکسالی شدید	کوچک‌تر از یا برابر با $-1/5$
خشکسالی بسیار شدید	کوچک‌تر از یا برابر با $-2/5$

4 نتایج

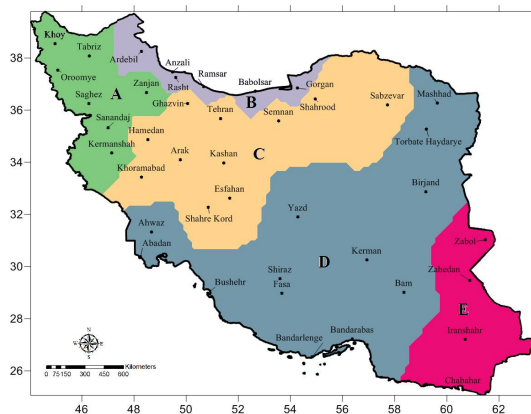
در این پژوهش در ابتدا برای تحلیل خشکسالی‌های ایران از EDI یا همان شاخص خشکسالی مؤثر که یک ابزار بسیار قوی در تحلیل داده‌های بارش به‌خصوص در دو مقیاس زمانی روزانه و ماهانه است، استفاده شد. هدف اصلی این شاخص اختصاص یک مقدار عددی به هر رویداد بارندگی در دو مقیاس زمانی روزانه و ماهانه است تا بتوان بر اساس آن نواحی با اقلیم کاملاً متفاوت را با یکدیگر مقایسه کرد. محاسبه EDI برای کل ایستگاه‌های مورد مطالعه و برای مقیاس زمانی ماهانه انجام گرفت. سپس در ادامه برای شناسایی دوره‌های غالب موجود در سری‌های زمانی خشکسالی ایستگاه‌ها از تحلیل طیفی به روش فوریه استفاده شد. در تحلیل طیفی به روش فوریه از تبدیل فوریه سریع تقسیمات بسامدی با مبنای دو استفاده شد. با توجه به اینکه تبدیل فوریه در تحلیل طیفی سری‌های نایستا با مشکل روبروست، ابتدا شرط ایستایی سری‌های زمانی ماهانه EDI برای کل 41 ایستگاه مورد نظر بررسی شد. در ایستگاه‌هایی که شرط ایستایی برقرار نبود، با استفاده از تبدیلات باکس-کاکس (خرمی و بزرگ‌نیا، 1386) ایستاسازی انجام گرفت. سپس داده‌ها در محیط نرم‌افزاری متلب مورد تحلیل طیفی قرار گرفت.

خروجی اجرای برنامه تحلیل طیفی در متلب برای سری زمانی EDI به صورت نمودار پریودگرام یا طیف‌نگار نشان داده می‌شود. نمودار طیف‌نگار بیانگر رابطه توان (مجذور دامنه) و بسامد است. بالا بودن توان در یک بسامد نشان می‌دهد که این بسامد در سری زمانی مورد نظر در بخش طیفی غالب است. در این پژوهش بسامد بر

3 تحلیل طیفی

روش‌های تحلیل در حوزه بسامد بسیار گسترده‌اند. 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، 1999). از روش فوریه برای سری‌های زمانی غیردوره‌ای نیز می‌توان استفاده کرد. اختلاف اساسی بین سری فوریه در توابع زمانی دوره‌ای و غیردوره‌ای آن است که در توابع دوره‌ای با بسامدهای ناپیوسته و در توابع غیردوره‌ای با طیف پیوسته‌ای از بسامدها روبرو هستیم (نیرومند، 1376). کاربرد سری فوریه در سری‌های زمانی گسسته، تبدیل فوریه نامیده می‌شود. رویکردهای مختلفی از تبدیل فوریه وجود دارد. در این پژوهش از روش تبدیل فوریه سریع (FFT) تقسیمات بسامدی با مبنای دو از مرجع مرتینز (1999) 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 برای کاهش مراحل محاسباتی استفاده می‌نماید. برای یک سری زمانی، اولین قدم تجزیه سری زمانی به مولفه‌های عددی زوج و فرد است. یعنی سری زمانی ورودی به دو نیمه تقسیم می‌شود. در واقع یک تبدیل فوریه گسسته N نقطه‌ای، به دو تبدیل $N/2$

مطالعه (شکل 3) نشان می‌دهد که ایران را می‌توان بر اساس رفتار یکسان زمانی-مکانی خشکسالی‌ها به پنج ناحیه تقسیم کرد. از این رو تحلیل‌ها در قالب این پنج ناحیه ارائه خواهند شد با این تفاوت که عنوان‌های ارائه شده در شکل 3 برای معرفی نواحی پنج گانه بدین شرح تغییر یافت: ناحیه A به ناحیه شمال غرب، ناحیه B به ناحیه کرانه جنوبی دریای خزر، ناحیه C به ناحیه نیمه شمالی ایران مرکزی، ناحیه D به ناحیه نیمه جنوبی ایران مرکزی و ناحیه E به ناحیه جنوب شرقی.

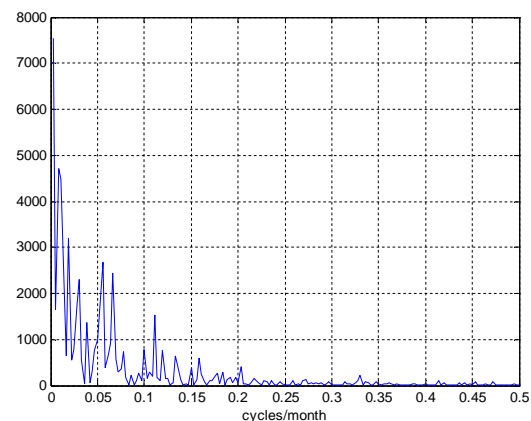


شکل 3. ناحیه‌بندی ایران بر اساس شاخص خشکسالی مؤثر (EDI) (نوشیروانی، 1393).

4-1 ناحیه شمال غرب

نتایج تحلیل طیفی به صورت نمودار طیف‌نگار در شکل 4 نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهند که تمام ایستگاه‌های این ناحیه دارای یک دوره یا چرخه غالب 120 ماهه در یکی از سه مولفه اول هستند. مولفه اول که دارای بالاترین مقدار توان است در ایستگاه‌های تبریز، زنجان، سنج، سقز و خوی یک دوره 120 ماهه است. در ایستگاه کرمانشاه این دوره مولفه دوم را تشکیل می‌دهد. در ایستگاه ارومیه این دوره یا چرخه نقش مولفه سوم را بازی می‌کند. اولین مولفه در ایستگاه کرمانشاه یک دوره یا چرخه 360 ماهه است. در ایستگاه ارومیه اولین مولفه یک چرخه 90 ماهه را نشان می‌دهد. به بیان

حسب دور بر یک ماه نشان داده شده است. به عبارت دیگر دوره تناوب یا چرخه بر مبنای زمان یک ماه سنجیده شده است. برای نمونه، در شکل 2 نمودار طیف‌نگار ایستگاه کرمانشاه ارائه شده است. قله‌ها (پیک‌ها) در طیف‌نگار معرف بسامدهای با اهمیتی هستند که در سری مورد بررسی وجود دارند. روند منحنی طیف‌نگار نشان می‌دهد که بسامدهای پایین دارای توان بیشتری هستند. بالاترین توان در این ایستگاه مربوط به بسامد $0/0027$ بر ماه یا دوره تناوب 360 ماهه است. در این پژوهش پنج بسامد با بیشترین مقدار توان انتخاب شده‌اند که آنها را به ترتیب از بیشترین به کمترین توان، مولفه اول تا مولفه پنجم نامیده شده است.

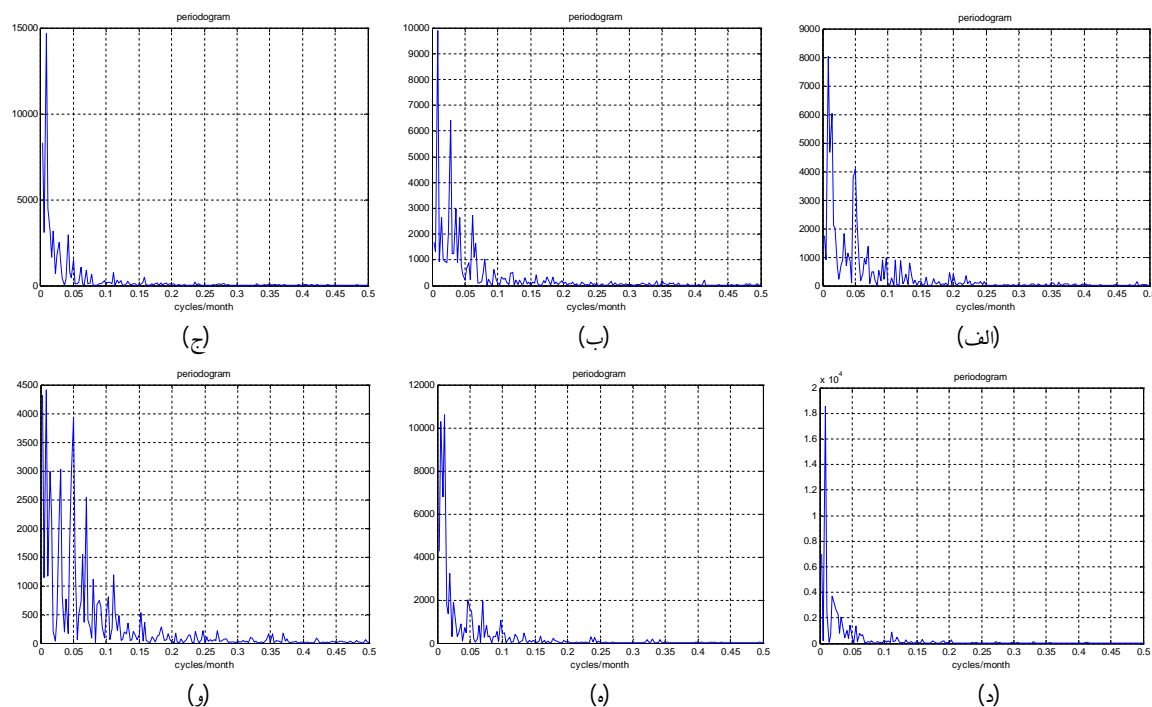


شکل 2. طیف‌نگار ایستگاه کرمانشاه.

نتایج به دست آمده از تحلیل طیفی نشان از گستردگی زیاد کار داشت. لذا برای نظم بخشیدن به ارائه نتایج نهایی پژوهش و در راستای پرهیز از پراکنده‌گویی، از ناحیه‌بندی خشکسالی‌های ایران که نوشیروانی (1393) ارائه داده، استفاده شد. این ناحیه‌بندی برای همین تعداد ایستگاه و برای همین دوره زمانی مورد مطالعه، انجام شده است. نوشیروانی (1393) ابتدا EDI را در مقیاس روزانه محاسبه و سپس با استفاده از تحلیل خوشه‌ای ناحیه‌بندی خشکسالی‌های ایران را انجام داد. نتایج حاصل از این

دوره 2/5 ساله مربوط به ایستگاه زنجان وجود دارد. طیف‌نگار تمام ایستگاه‌ها نشان می‌دهد که بسامدهای پایین دارای توان بالایی هستند. این محدوده بسامدی از صفر تا تقریباً 0/05 بر ماه را شامل می‌شود و سه مولفه اول تمام ایستگاه‌ها در آن قرار دارند. تحلیل طیفی نشان می‌دهد که پنج مولفه بسامدی یا تناوبی ایستگاه سنندج از دوره 16 ماه تا دوره 360 ماه را شامل می‌شود. قله منحنی به شکل یک تابع درجه دوم نزولی یا تابع نمایی از بسامدهای کم به بسامدهای زیاد کاهش می‌یابد. بنابراین با توجه به توان مربوط به بسامدها یا دوره‌ها، می‌توان چنین در نظر گرفت که در طیف‌نگار، بازه بسامدی صفر تا کمی بیشتر از 0/05 از نظر تحلیل دارای ارزش است و در این بازه، بسامدها توان بالایی دارند. بالاترین توان در طیف‌نگار ایستگاه سنندج، بسامدی برابر با 0/00833 بر ماه دارد. طیف‌نگار ایستگاه خوی نیز نشان می‌دهد که سه مولفه اول این ایستگاه دارای دوره تناوب به ترتیب 120، 360 و 20 ماهه

دیگر سه چرخه غالب با بالاترین توان در این ناحیه، چرخه‌های 120، 360 و 90 ماهه است. در جدول 2 ویژگی‌های طیفی خشکسالی‌های این ناحیه برای پنج مولفه اول با مقادیر توان هر دوره آورده شده است. بیشینه تبیین واریانس پنج مولفه اول در این ناحیه مربوط به ایستگاه ارومیه است. پنج مولفه اول در این ایستگاه 79/1 درصد از واریانس را تبیین می‌کنند. کمینه تبیین واریانس پنج مولفه اول مربوط به ایستگاه خوی و برابر با 61/6 درصد است. با توجه به نسبت توان‌های دوره‌ها در ایستگاه‌های کل ایران، صرفاً سه مولفه اول مورد تحلیل قرار گرفته است. در این ناحیه بالاترین توان مربوط به چرخه 120 ماهه در ایستگاه سنندج و کمترین توان در مولفه اول مربوط به چرخه 120 ماهه ایستگاه خوی است. کمترین توان متوسط در سه چرخه غالب مربوط به ایستگاه خوی است. دوره درون‌سالی در این ناحیه مشاهده نمی‌شود. یک دوره تقریباً دوساله در ایستگاه خوی و



شکل 4. طیف‌نگار ایستگاه‌های ناحیه شمال‌غرب: (الف) تبریز، (ب) زنجان، (ج) سقز، (د) سنندج، (ه) ارومیه، (و) خوی.

جدول 2. ویژگی‌های طیفی خشکسالی‌های ایستگاه‌های ناحیه شمال غرب (توان برحسب مجذور دامنه و دوره برحسب ماه).

نام ایستگاه	ویژگی‌های طیفی	مولفه اول	مولفه دوم	مولفه سوم	مولفه چهارم	مولفه پنجم
خوی	توان	44	43	39	30	30
	دوره تناوب	120	360	20	33	72
ارومیه	توان	106	103	68	43	32
	دوره تناوب	90	180	120	360	51
سقز	توان	147	83	45	32	31
	دوره تناوب	120	360	90	51	72
سنندج	توان	186	70	37	31	27
	دوره تناوب	120	360	51	45	40
کرمانشاه	توان	76	47	45	32	27
	دوره تناوب	360	120	90	51	18
تبریز	توان	80	60	47	41	38
	دوره تناوب	120	72	90	20	21
زنجان	توان	99	64	30	27	26
	دوره تناوب	120	36	28	16	72

دارد. این نتایج در ایستگاه رامسر با نتایجی که محمدی و همکاران (1390) به دست آوردند، همخوانی بالایی را نشان می‌دهد. بالاترین توان برای مولفه اول در این ناحیه مربوط به دوره 360 ماهه ایستگاه رامسر است. ایستگاه رشت دارای یک چرخه 120 ماهه است. به جز چرخه 360 ماهه در ایستگاه رامسر، تمام چرخه‌ها در کل ایستگاه‌های ناحیه دارای توان تقریباً یکسانی هستند. تغییرات توان در این ناحیه برای سه مولفه اول در هر ایستگاه تقریباً 30 واحد است و در تمام ایستگاه‌ها تقریباً همین مقدار را دارد. به جز دوره 30 ساله ایستگاه رامسر و اردبیل و دوره 10 ساله در ایستگاه رشت، چرخه‌های غالب تمام ایستگاه‌ها بین 2/5 سال تا پنج سال قرار دارند. در این ناحیه نیز طیف‌نگار در بازه بسامدی صفر تا کمی بیشتر از 0/05 از نظر توان با ارزش بوده و مورد تحلیل قرار گرفته است. سه مولفه اول تمام ایستگاه‌های این ناحیه نیز در بازه بسامدی صفر تا کمی بیشتر از 0/05 قرار دارند. در نتیجه سه مولفه اول در این ناحیه نیز در بسامدهای پایین، یا دوره تناوب‌های بالا قرار دارند. تمامی این

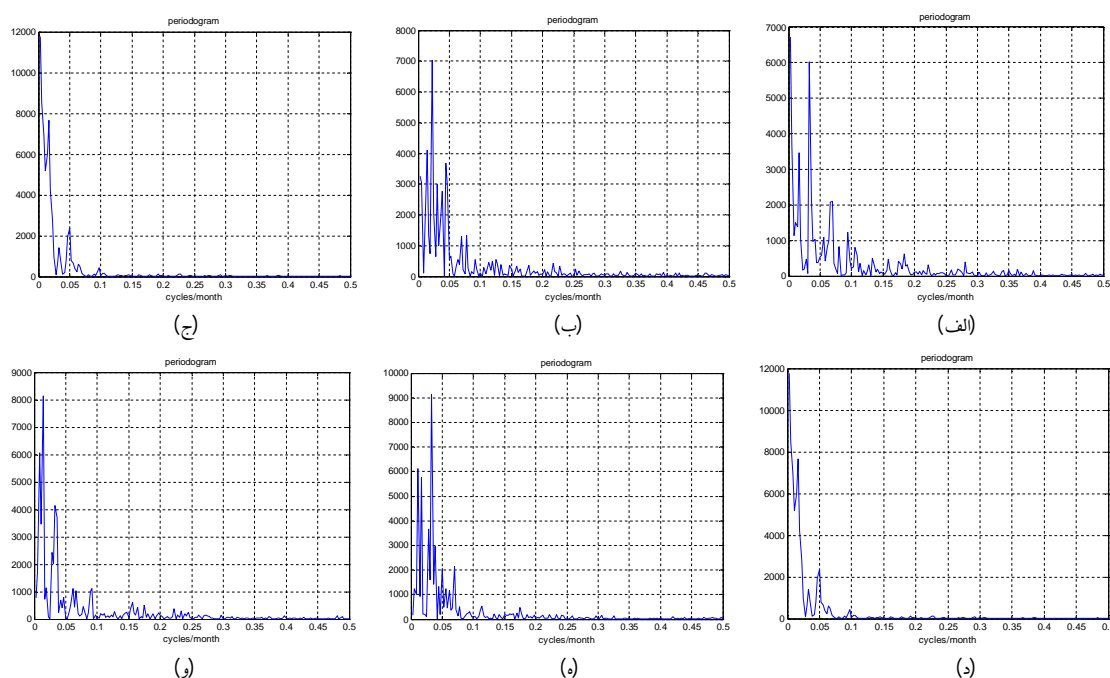
هستند. طیف‌نگار هر کدام از ایستگاه‌های این ناحیه در شکل 4 آورده شده است. در ایستگاه سنندج سه مولفه اول، دوم و سوم به ترتیب $41/6$ ، $15/7$ و $8/3$ درصد از واریانس را تبیین می‌کنند. در مجموع سه مولفه اول، $65/6$ درصد از واریانس را تبیین می‌کنند که بالاترین مقدار تبیین واریانس در این ناحیه است. برای ایستگاه خوی این سه مولفه اول $41/7$ درصد از واریانس را تبیین می‌کنند که کمینه مقدار تبیین واریانس در این ناحیه است.

2-4 ناحیه کرانه جنوبی دریای خزر

در این ناحیه مقدار توان برای سه مولفه اول یا سه چرخه غالب همخوانی بیشتری را بین ایستگاه‌ها به جز ایستگاه رامسر نشان می‌دهد (شکل 5). دو ایستگاه رامسر و اردبیل مولفه اول یکسانی دارند. دوره اول در این دو ایستگاه یک دوره 360 ماهه است. اما توان این دوره یا چرخه در ایستگاه رامسر تقریباً دو برابر ایستگاه اردبیل است. در این ناحیه ایستگاه رامسر رفتار تکینی را نشان می‌دهد و توان سه مولفه اول در مقایسه با سایر ایستگاه‌ها مقادیر بالاتری

سه مولفه اول مورد تحلیل قرار گرفته است. سه مولفه اول در این ناحیه، در ایستگاه بابلسر 57/9 درصد از واریانس را تبیین می‌کنند که بالاترین مقدار تبیین واریانس در این ناحیه است. کمترین مقدار تبیین واریانس مربوط به ایستگاه انزلی با مقدار 43/6 درصد است (جدول 3).

دوره‌ها بیشتر از 20 ماه هستند. بیشینه تبیین واریانس پنج مولفه اول در این ناحیه مربوط به ایستگاه بابلسر است. پنج مولفه اول در این ایستگاه 76/3 درصد از واریانس را تبیین می‌کنند. کمینه تبیین واریانس پنج مولفه اول مربوط به ایستگاه انزلی و برابر با 62/7 درصد است. بر مبنای نسبت توان‌ها، در این ناحیه نیز



شکل 5. طیف‌نگار ایستگاه‌های ناحیه کرانه جنوبی دریای خزر: (الف) اردبیل، (ب) انزلی، (ج) رشت، (د) رامسر، (ه) بابلسر، (و) گرگان.

جدول 3. ویژگی‌های طیفی خشکسالی‌های ایستگاه‌های ناحیه کرانه جنوبی دریای خزر (توان برحسب مجذور دامنه و دوره برحسب ماه).

نام ایستگاه	مولفه اول	مولفه دوم	مولفه سوم	مولفه چهارم	مولفه پنجم	ویژگی‌های طیفی
انزلی	70	41	37	33	30	توان
	45	72	22	360	180	دوره تناوب
اردبیل	67	60	37	35	22	توان
	360	30	180	60	28	دوره تناوب
بابلسر	91	61	58	37	30	توان
	30	9	60	36	26	دوره تناوب
گرگان	81	61	41	37	35	توان
	72	120	30	28	90	دوره تناوب
رامسر	118	85	77	69	60	توان
	360	180	60	120	72	دوره تناوب
رشت	81	42	32	29	28	توان
	120	45	40	22	360	دوره تناوب

3-4 ناحیه نیمه شمالی ایران مرکزی

در این ناحیه همخوانی مناسبی بین طیف ایستگاه‌ها (شکل 6) مشاهده نمی‌شود و از نظر طیفی تقسیم‌بندی خاصی را نمی‌توان ارائه کرد. در ایستگاه‌های تهران، اراک، خرم‌آباد و شهرکرد یک دوره 120 ماهه به‌منزله مولفه اول وجود دارد. در ایستگاه خرم‌آباد دوره دوسالانه مشاهده نمی‌شود. رفتار این ایستگاه با سایر ایستگاه‌ها متفاوت است. دوره 360 ماهه فقط در ایستگاه خرم‌آباد مشاهده می‌شود. این دوره، مولفه سوم این ایستگاه است. سه مولفه اول ایستگاه خرم‌آباد دارای دوره تناوب 10، 15 و 30 ساله هستند. در بقیه ایستگاه‌های این ناحیه در سه مولفه اول با دوره‌های 2/5 الی پنج ساله روبرو هستیم. بنابراین به‌جز ایستگاه خرم‌آباد در سایر ایستگاه‌های این ناحیه دوره‌های کمتر از پنج سال دوره‌های غالب هستند. پنج مولفه اول در این ایستگاه 71/1 درصد از واریانس را تبیین می‌کنند. کمینه

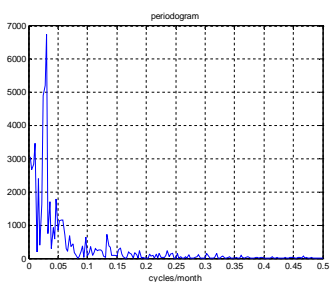
تبیین واریانس پنج مولفه اول مربوط به ایستگاه‌های همدان و شاهرود برابر با 66/8 درصد واریانس است. بیشینه تبیین واریانس پنج مولفه اول در این ناحیه مربوط به ایستگاه قزوین است. در این ناحیه نیز مولفه‌های درون‌سالی در هیچ ایستگاهی مشاهده نمی‌شود. مانند دو ناحیه قبلی در این ناحیه نیز تحلیل بر بازه بسامدی صفر تا کمی بیشتر از 0/05 بر ماه که مقادیر توان بالاست و سه مولفه اول تمام ایستگاه‌های این ناحیه در آن قرار دارد، متمرکز است. بیشینه تبیین واریانس ناشی از سه مولفه اول مربوط به ایستگاه قزوین است. سهم واریانس سه مولفه اول برابر با 56/3 درصد است و کمینه تبیین واریانس در ایستگاه شاهرود مشاهده می‌شود (جدول 4). سهم سه مولفه اول در این ایستگاه برابر با 44/6 درصد است (جدول آن آورده نشده است).

جدول 4. ویژگی‌های طیفی خشکسالی‌های ایستگاه‌های ناحیه نیمه شمالی ایران مرکزی (توان برحسب مجذور دامنه و دوره برحسب ماه).

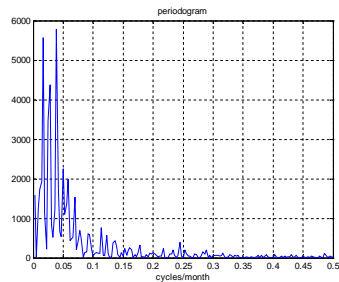
نام ایستگاه	مولفه اول	مولفه دوم	مولفه سوم	مولفه چهارم	مولفه پنجم	ویژگی‌های طیفی
اراک	55	42	42	29	22	توان
	120	180	36	26	360	دوره تناوب
اصفهان	67	52	49	35	31	توان
	33	36	40	90	360	دوره تناوب
قزوین	97	47	41	27	22	توان
	45	120	90	24	26	دوره تناوب
همدان	74	42	40	39	36	توان
	90	18	26	36	33	دوره تناوب
کاشان	58	56	44	35	23	توان
	26	60	36	40	20	دوره تناوب
خرم‌آباد	61	57	56	43	40	توان
	120	180	360	51	36	دوره تناوب
سبزوار	81	57	57	39	33	توان
	60	72	28	16	45	دوره تناوب
سمنان	69	57	49	46	37	توان
	28	60	45	19	120	دوره تناوب
شهرکرد	65	58	41	41	37	توان
	120	180	51	60	45	دوره تناوب

ادامه جدول 4.

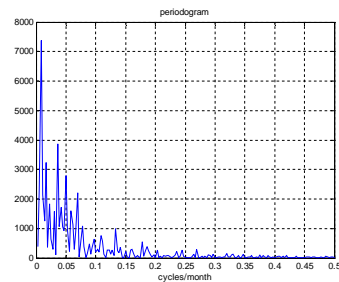
نام ایستگاه	مولفه اول	مولفه دوم	مولفه سوم	مولفه چهارم	مولفه پنجم	ویژگی های طیفی
شاهرود	68	54	53	46	41	توان
	45	180	28	33	60	دوره تناوب
تهران	74	39	32	28	24	توان
	120	28	60	20	180	دوره تناوب



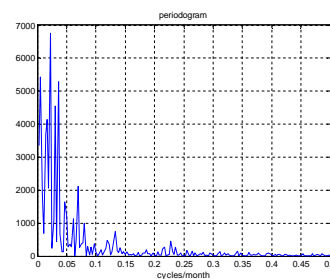
(الف)



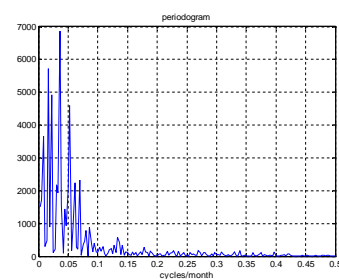
(ب)



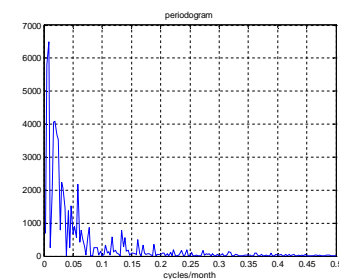
(ج)



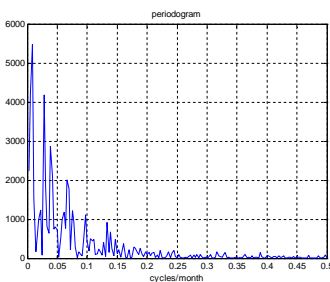
(د)



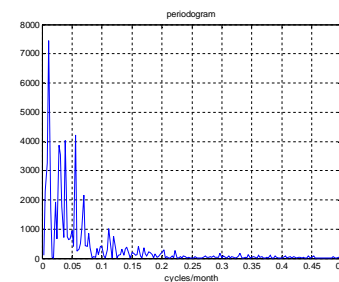
(ه)



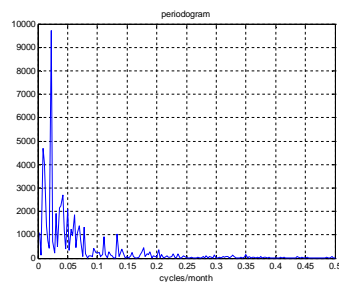
(و)



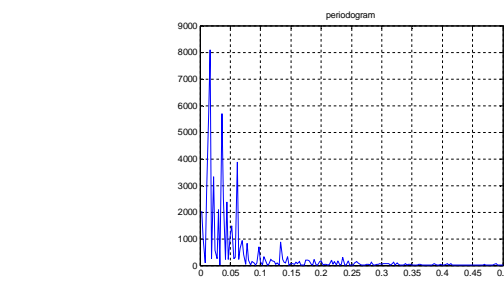
(ز)



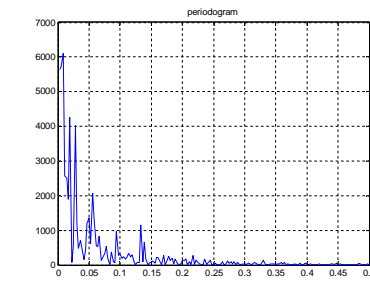
(ح)



(ط)



(ک)



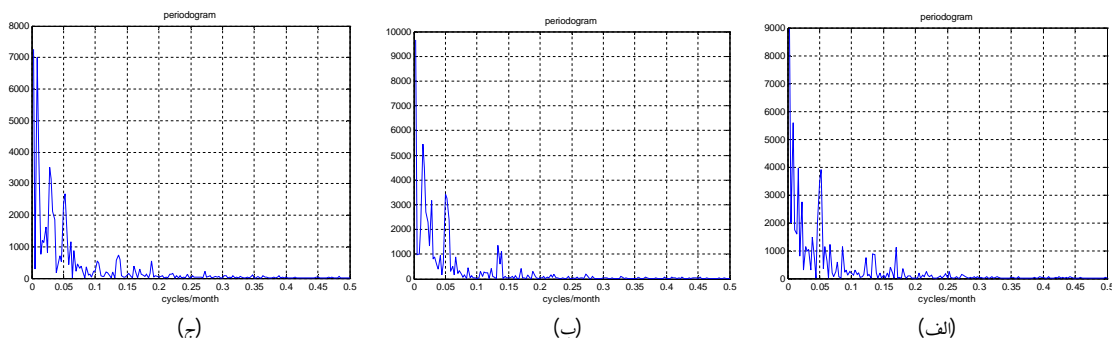
(ل)

شکل 6. طیف‌نگار ایستگاه‌های ناحیه شمالی ایران مرکزی: (الف) تهران، (ب) کاشان، (ج) اصفهان، (د) شهرکرد، (ه) سمنان، (و) شاهرود، (ز) قزوین، (ح) همدان، (ط) اراک، (ی) خرم‌آباد، (ک) سبزوار.

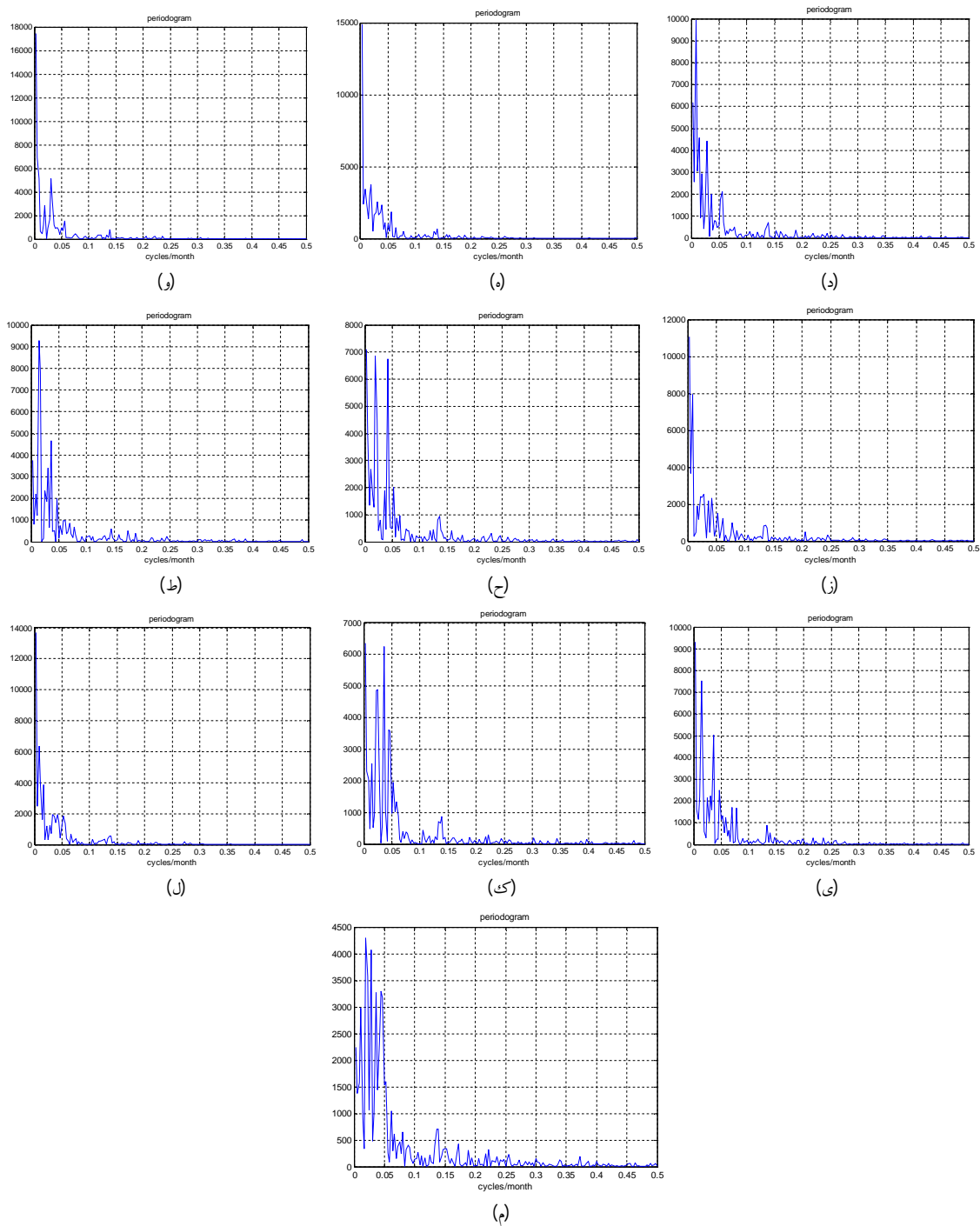
4-4 ناحیه نیمه جنوبی ایران مرکزی

در این ناحیه نیز طیف‌نگارها (شکل 7) در بازه بسامدی صفر تا کمی بیشتر از 0/05 بر ماه که دارای توان بالایی بوده و سه مولفه اول همه ایستگاه‌ها در آن قرار می‌گیرد، از نظر تحلیل ارزشمند هستند. این ناحیه رفتار معناداری را در طیف بسامدی نشان می‌دهد. در این ناحیه 77 درصد از ایستگاه‌ها دارای مولفه اول یکسانی هستند. اولین مولفه در این ناحیه برای ده ایستگاه، شامل یک دوره 360 ماهه است. در دو ایستگاه یزد و فسا دوره 360 ماهه نقش مولفه دوم را دارد. ایستگاه مشهد رفتار متفاوتی را در این ناحیه نشان می‌دهد. این ایستگاه دوره‌های 360 و 120 ماهه ندارد. بجز ایستگاه مشهد بقیه ایستگاه‌ها دارای دوره‌های 30 و 10 ساله هستند. ایستگاه مشهد دارای دوره‌های شش‌ساله، پنج‌ساله و تقریباً 2/5 ساله است. در میان سه مولفه اول این ناحیه، مولفه درون‌سالی دیده نمی‌شود. ایستگاه بم دارای یک دوره دوساله است. این دوره مولفه سوم این ایستگاه است. در سایر ایستگاه‌ها کمترین دوره در بین سه مولفه اول، یک دوره 2/5 الی سه‌ساله است. بالاترین توان در مولفه اول مربوط به ایستگاه بندرلنگه است. تقریباً در نیمی از ایستگاه‌های این ناحیه یک دوره 120 ماهه وجود دارد. در ایستگاه فسا این دوره به‌عنوان مولفه اول ظاهر شده است. در سایر ایستگاه‌ها این دوره

نقش مولفه دوم یا سوم را دارد. در نوار جنوبی این ناحیه، یعنی از ایستگاه آبادان تا بندرعباس همخوانی کاملی از نظر طیفی وجود دارد. تمامی این ایستگاه‌ها مولفه اول یکسانی دارند. توان مولفه اول از آبادان به سمت بندرلنگه افزایش می‌یابد. در بندرلنگه بیشترین توان دیده می‌شود. در نوار جنوبی تغییرپذیری اقلیمی کمی وجود دارد. به عبارت دیگر یک نظام کم‌تغییر از نظر طیفی در این نوار حاکم است. ایستگاه‌های آبادان و اهواز کمترین مقادیر توان را در هر سه چرخه یا دوره غالب در این ناحیه دارند. در ایستگاه بندرلنگه یک چرخه 2/5 الی سه‌ساله وجود دارد. در سایر ایستگاه‌های نوار جنوبی این ناحیه بقیه چرخه‌ها دوره تناوب بیش از پنج سال دارند. کمترین مقدار توان در چرخه 120 ماهه مربوط به ایستگاه بندرعباس و در چرخه 60 ماهه مربوط به ایستگاه بوشهر است (جدول 5). بیشینه تبیین واریانس پنج مولفه اول در این ناحیه مربوط به ایستگاه بندرلنگه است. پنج مولفه اول در این ایستگاه 81/5 درصد از واریانس را تبیین می‌کنند. کمینه تبیین واریانس پنج مولفه اول مربوط به ایستگاه یزد و برابر با 60 درصد واریانس کل است. بیشینه (کمینه) تبیین واریانس ناشی از سه مولفه اول مورد بررسی مربوط به ایستگاه بندرلنگه (یزد) و برابر با 63/4 (38/7) درصد است.



شکل 7. طیف‌نگار ایستگاه‌های ناحیه نیمه جنوبی ایران مرکزی: (الف) آبادان، (ب) اهواز، (ج) شیراز، (د) فسا، (ه) بندرعباس، (و) بندرلنگه، (ز) کرمان، (ح) بم، (ط) مشهد، (ی) تربت حیدریه، (ک) بیرجند، (ل) بوشهر، (م) یزد.



ادامه شکل 7.

جدول 5. ویژگی‌های طیفی خشکسالی‌های ایستگاه‌های ناحیه نیمه جنوبی ایران مرکزی (توان برحسب مجذور دامنه و دوره برحسب ماه).

نام ایستگاه	مولفه اول	مولفه دوم	مولفه سوم	مولفه چهارم	مولفه پنجم	ویژگی‌های طیفی
آبادان	90	56	40	39	35	توان
	360	120	60	19	20	دوره تناوب
اهواز	96	55	45	34	33	توان
	360	72	60	20	19	دوره تناوب
۳	71	69	67	45	40	توان
	360	51	24	45	180	دوره تناوب
بندرعباس	149	38	34	30	25	توان
	360	51	120	60	33	دوره تناوب
بندرلنگه	174	69	51	51	33	توان
	360	180	33	120	30	دوره تناوب
بیرجند	63	63	49	49	36	توان
	360	28	40	45	22	دوره تناوب
بوشهر	137	64	39	38	25	توان
	360	120	60	90	180	دوره تناوب
فسا	99	62	46	44	31	توان
	120	360	72	36	90	دوره تناوب
کرمان	111	80	37	25	24	توان
	360	120	180	36	45	دوره تناوب
مشهد	93	78	47	37	34	توان
	72	60	28	360	33	دوره تناوب
شیراز	73	70	41	35	32	توان
	360	120	90	36	33	دوره تناوب
تربت حیدریه	93	75	50	36	25	توان
	360	72	28	60	21	دوره تناوب
یزد	43	41	36	33	33	توان
	51	360	45	22	28	دوره تناوب

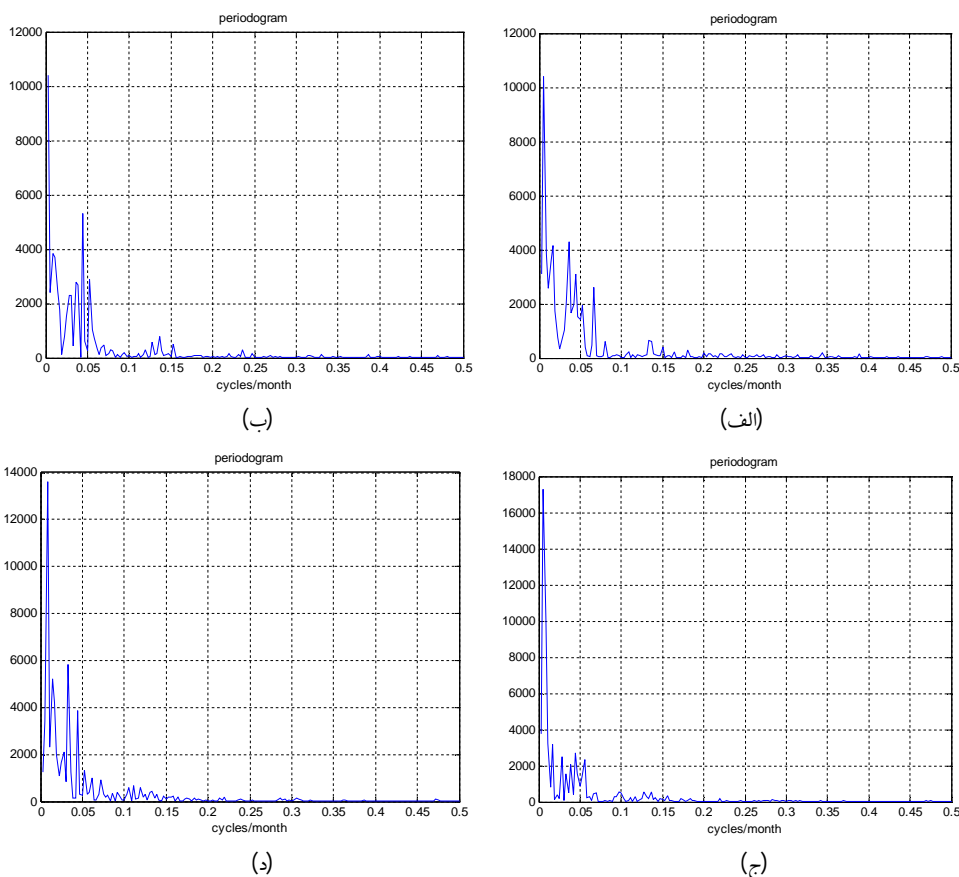
5-4 ناحیه جنوب شرق

در این ناحیه همخوانی معناداری بین ایستگاه‌ها از نظر طیفی (شکل 8) وجود ندارد. در ایستگاه ایرانشهر سه مولفه اول به ترتیب شامل چرخه‌های 15، 10 و 30 ساله هستند. بالاترین توان در این ناحیه مربوط به دوره 180 ماهه (پانزده‌ساله) در ایستگاه ایرانشهر است. وجه مشترک ایستگاه ایرانشهر با ایستگاه زاهدان، داشتن یک چرخه پانزده‌ساله است. بالاترین توان در ایستگاه زاهدان مربوط

به چرخه پانزده‌ساله است. دو ایستگاه زاهدان و زابل دارای یک چرخه دوساله تا سه‌ساله هستند. این چرخه‌ها با توان‌های متفاوتی در دو ایستگاه روی می‌دهند. ایستگاه چابهار نیز همخوانی خاصی با سه ایستگاه دیگر نشان نمی‌دهد (جدول 6). در این ناحیه نیز به همان دلایل گفته شده برای ناحیه‌های دیگر، طیف‌نگار در بازه بسامدی صفر تا کمی بیشتر از 0/05 از نظر تحلیل دارای ارزش است. بیشینه (کمینه) تبیین واریانس پنج

(زاهدان) بالاترین (کمترین) مقدار واریانس برابر با 63/7 (47/5) درصد از واریانس کل دیده می‌شود.

مولفه اول در این ناحیه مربوط به ایستگاه ایرانشهر (زاهدان) و برابر با 76/9 (66/1) درصد از واریانس کل است. برای سه مولفه اول، در ایستگاه ایرانشهر



شکل 8. طیف‌نگار ایستگاه‌های ناحیه جنوب شرق: (الف) زاهدان، (ب) زابل، (ج) ایرانشهر، (د) چابهار.

جدول 6. ویژگی‌های طیفی خشکسالی‌های ایستگاه‌های ناحیه جنوب شرق (توان برحسب مجذور دامنه و دوره برحسب ماه).

نام ایستگاه	مولفه اول	مولفه دوم	مولفه سوم	مولفه چهارم	مولفه پنجم	ویژگی‌های طیفی
چابهار	136	58	52	42	39	توان
	120	30	72	60	22	دوره تناوب
ایرانشهر	173	101	38	33	32	توان
	180	120	360	90	60	دوره تناوب
زابل	104	53	38	37	29	توان
	360	22	120	90	19	دوره تناوب
زاهدان	104	43	42	38	36	توان
	180	28	60	120	72	دوره تناوب

5 نتیجه‌گیری

تحلیل طیفی خشکسالی‌های ماهانه ایران نشان داد که دوره‌های غالب موجود در سری‌های زمانی خشکسالی‌های ایران بسیار متنوع بوده و از دوره‌های دوساله تا سی‌ساله را شامل می‌شوند. خشکسالی‌های ناحیه شمال‌غرب ایران علاوه بر دوره‌های غالب کوتاه‌مدت دارای دو دوره غالب بلندمدت ده‌ساله و سی‌ساله است. خشکسالی‌های ناحیه کرانه جنوبی دریای خزر دوره‌های تناوب کوتاه‌تری دارند، به طوری که به استثنای دو ایستگاه رامسر و اردبیل که دارای دوره‌های تناوب 30 و 15 ساله هستند، بقیه ایستگاه‌ها دارای دوره‌های تناوب کمتر از 10 سال هستند. دوره‌های غالب در اکثر ایستگاه‌های ناحیه شمالی ایران مرکزی، کوتاه مدت‌اند به طوری که بلندترین دوره تناوب این ناحیه، یک دوره پانزده‌ساله است. ناحیه نیمه جنوبی ایران مرکزی دارای رفتار طیفی یکنواختی است. در این ناحیه دوره غالب با بالاترین توان، مربوط به دوره سی‌ساله است، به طوری که تمامی ایستگاه‌های این ناحیه به استثنای ایستگاه مشهد دارای دوره سی‌ساله در میان سه مولفه اول خود هستند. همچنین دوره ده‌ساله به‌عنوان دومین دوره غالب در نیمی از ایستگاه‌های این ناحیه مشاهده می‌شود. ناحیه جنوب شرق رفتار خاصی از نظر دوره‌های غالب نشان نمی‌دهد. بلندترین دوره تناوب غالب در ایستگاه چابهار، ده‌ساله، در دو ایستگاه ایرانشهر و زابل سی‌ساله و در ایستگاه زاهدان، پانزده‌ساله است. علاوه بر این دوره‌های بلندمدت، یک دوره 2/5 تا 3 ساله هم می‌تواند نقش دوره غالب کوتاه‌مدت را در این ناحیه داشته باشد. به‌طور کلی برای دوره‌های بلندمدت، می‌توان در کل ایران دو دوره ده‌ساله و سی‌ساله را به‌عنوان دوره غالب در نظر گرفت. در میان دوره‌های بلندمدت، فراوانی این دو دوره در مولفه اول بیشینه است و در دو مولفه دیگر کاهش می‌یابد، به طوری که در مولفه سوم کمترین

مقدار را پیدا می‌کند. به‌طور خلاصه نتایج را برای سه مولفه اول می‌توان به‌صورت زیر بیان کرد:
دوره درون‌سالی به استثنای ایستگاه بابلسر در دیگر ایستگاه‌های مورد مطالعه مشاهده نشد.
دوره غالب در اکثر ایستگاه‌ها، یک دوره سی‌ساله یا ده‌ساله است.

در ایستگاه اصفهان دوره‌های ده‌ساله و سی‌ساله مشاهده نشد. سه مولفه اول این ایستگاه به‌ترتیب دارای دوره‌های 3/3، 3 و 2/7 ساله هستند.

با توجه به نسبت توان‌های دوره‌ها در ایستگاه‌های کل ایران و سهم مولفه‌ها در تبیین واریانس، صرفاً از سه مولفه اول نیز می‌توان برای تحلیل نتایج استفاده کرد.

نتایج نشان می‌دهد که شناسایی دوره‌های غالب با استفاده از روش تبدیل فوریه امکان‌پذیر است. اما مشکل اساسی در این روش برآورد پایداری زمانی این دوره‌ها است. بنابراین پیشنهاد می‌شود با استفاده از روش‌های تبدیل در حوزه زمان- بسامد پایداری زمانی این دوره‌ها شناسایی و نتایج با هم مقایسه شود. تبدیل موجک یکی از این روش‌ها است که می‌تواند درستی نتایج را در سطح اطمینان بالاتری مورد ارزیابی قرار دهد. پیشنهاد می‌شود برای شناسایی علل این دوره‌ها از شاخص‌های بزرگ‌مقیاس و الگوهای دورپیوندی نیز استفاده شود.

قدردانی و تشکر

این پژوهش در قالب طرح پژوهشی با شماره 9312 و با استفاده از اعتبارات پژوهشی دانشگاه سیستان و بلوچستان انجام شده است. نویسندگان مقاله مراتب سپاس و تشکر ویژه خود را از حوزه معاونت محترم پژوهش و فناوری دانشگاه سیستان و بلوچستان که با حمایت مادی و معنوی امکان انجام این پژوهش را فراهم ساختند، اعلام می‌دارند.

منابع

- حیبی، ف.، 1386، نقش سامانه‌های بندالی در چرخندزایی روی شرق دریای مدیترانه و بررسی نقش آن در سیل روی منطقه غرب ایران در مارس 2000: فصلنامه پژوهش‌های جغرافیایی، 39(62)، 109-127.
- خرمی، م.، و بزرگ‌نیا، ا.، 1386، تجزیه و تحلیل سری‌های زمانی با نرم افزار MINITAB 14: انتشارات سخن گستر، چاپ اول.
- خزانه‌داری، ل.، زابل عباسی، ف.، قندهاری، ش.، کوهی، م.، و ملبوسی، ش.، 1388، دورنمایی از وضعیت خشکسالی ایران طی سی سال آینده: دو-فصلنامه جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای، شماره 12، 83-98.
- دانشمند، ح.، 1392، تحلیل آماری-همدیدی دماهای کمینه ماهانه در نیمه شرقی ایران: رساله دکتری اقلیم‌شناسی، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، 195 ص.
- رمضانی پور، م.، روشنی، م.، و ستوده، ف.، 1390، تحلیلی بر تغییر، روند و چرخه‌های بارش و دبی در غرب استان گیلان (مطالعه موردی: حوضه ناورد): مجله چشم‌انداز جغرافیایی، 5(13)، 60-79.
- رورده، ه.، یوسفی، ی.، معصوم‌پور سماکوش، ج.، و فیضی، و.، 1393، تغییرپذیری زمانی-مکانی بارش‌های حدی در ایران: جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، 25(2)، 25-36.
- زرین، آ.، و مفیدی، ع.، 1384، وردش‌پذیری فعالیت خورشیدی و اثر آن بر اقلیم زمین (مطالعه موردی: اقلیم خاورمیانه و ایران): فصلنامه جغرافیایی سرزمین، 2(42)، 83-104.
- صالح‌نیا، ن.، موسوی بایگی، م.، و انصاری، ح.، 1392، پیش‌بینی خشکسالی با استفاده از نمایه PDSI به بلیانی، ی.، فاضل‌نیا، غ.، و بیات، ع.، 1391، تحلیل و مدل‌سازی دمای سالانه شهر شیراز با استفاده از مدل ARIMA: فصلنامه علمی-پژوهشی فضای جغرافیایی، 12(73)، 128-144.
- تقوی، ف.، ناصری، م.، بیات، ب.، متولیان، س. س.، و آزادی فرد، د.، 1390، تعیین الگوهای رفتار اقلیم در مناطق مختلف ایران بر اساس تحلیل طیفی و خوشه‌بندی مقادیر حدی بارش و دما: پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، 43(77)، 109-124.
- جلالی، م.، و کارگر، ح.، 1390، تحلیل و مدل‌سازی آماری دمای ایستگاه بوشهر (1951-2005): فصلنامه علمی-پژوهشی فضای جغرافیایی، 11(33)، 149-173.
- جلیلی، ش.، مرید، س.، بناکار، ا.، و نامدار قنبری، ر.، 1390، ارزیابی تاثیر شاخص‌های اقلیمی NAO و SOI بر تغییرات تراز دریاچه ارومیه، کاربرد روش‌های آنالیز طیفی سری‌های زمانی: نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، 25(1)، 140-149.
- جلیلی، ش.، مرید، س.، بناکار، ا.، و نامدار قنبری، ر.، 1391، تحلیل طیفی رفتار دوره‌ای سری زمانی تراز سطح آب دریاچه ارومیه: مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، 19(14)، 25-46.
- جهانبخش اصل، س.، و عدالت دوست، م.، 1387، تاثیر فعالیت‌های خورشیدی بر تغییرات بارندگی‌های سالانه ایران: تحقیقات جغرافیایی، 23(1)، 3-24.
- حیبی، ف.، 1385، تحلیل همدیدی و دینامیکی سامانه‌های بندالی، روش تشخیص سامانه‌های بندالی و تاثیر آن روی منطقه ایران: مجله فیزیک زمین و فضا، 32(3)، 69-89.

- محمدی، ح.، عزیزی، ق.، تقوی، ف.، و یوسفی، ی.، 1390، تغییرپذیری زمانی و مکانی بیشینه بارش ماهانه در بخش‌های جنوبی دریای خزر: پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، 43(75)، 1-15.
- مرید، س.، مقدسی، م.، پایمزد، ش.، و قائمی، ه.، 1384، طراحی سیستم پایش خشکسالی استان تهران: پروژه تحقیقاتی، پژوهشکده مهندسی آب دانشگاه تربیت مدرس، 253 ص.
- معافی مدنی، س. ف.، موسوی بایگی، م.، و انصاری، ح.، 1391، پیش‌بینی وضعیت خشکسالی استان خراسان رضوی طی دوره 2011-2030 با استفاده از ریزمقیاس‌نمایی آماری خروجی مدل LARS-WG5: جغرافیا و مخاطرات محیطی، 1(3)، 21-37.
- مقبل، م.، داودی، م.، نیستانی، ا.، و تقوی، ف.، 1390، شناسایی تغییرات رژیم بارشی ایران در دهه‌های اخیر: مجله علمی و فنی نیوار، شماره 72 و 73، 55-65.
- موحدی، س.، عساکره، ح.، سبزی‌پرور، ع. ا.، مسعودیان، ا.، و مریانجی، ز.، 1390، بررسی تغییرپذیری رژیم بارش در ایران: نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، 25(6)، 1434-1447.
- ناظم‌السادات، س. م. ج.، و قاسمی، ا. ر.، 1382، بارندگی شش‌ماهه سرد مناطق مرکزی جنوب غرب ایران و ارتباط آن با پدیده ال‌نینو-نوسانات جنوبی: مجله علوم آب و خاک-علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، 7(3)، 1-12.
- نوشیروانی، ن.، 1393، مطالعه تغییرات روزانه شدت خشکسالی در ایران: پایان‌نامه کارشناسی ارشد علوم محیط زیست، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان، 98 ص.
- کممک مدل‌های LARS-WG و HadCM3 (مطالعه موردی: حوضه نیشابور): مجله آبیاری و زهکشی ایران، 7(1)، 93-103.
- عساکره، ح.، 1388، تحلیل طیفی سری‌های زمانی دمای سالانه تبریز: فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، 24(3)، 33-50.
- عساکره، ح.، 1389الف، تحلیل چرخه‌های میانگین دمای سالانه شهر زنجان: فصلنامه جغرافیا و توسعه، 8، 11-24.
- عساکره، ح.، 1389ب، تحلیل تغییرات بارش‌های فرین شهر زنجان: نشریه پژوهش‌های اقلیم‌شناسی، 1(2)، 89-100.
- عساکره، ح.، 1391الف، تغییر توزیع فراوانی بارش‌های فرین شهر زنجان: فصلنامه جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، 23(1)، 51-66.
- عساکره، ح.، 1391ب، تحلیل تغییرات مؤلفه‌های مبنای نمایه‌های فرین شهر زنجان: فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، 27(2)، 1-17.
- عساکره، ح.، و رزمی، ر.، 1391، تحلیل تغییرات بارش سالانه شمال غرب ایران: فصلنامه جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، 23(3)، 147-162.
- عساکره، ح.، خوشرفتار، ر.، و ستوده، ف.، 1391، تحلیل چرخه‌های سری زمانی دبی و بارش ایستگاه آب‌سنجی ماشین‌خانه (حوضه آبریز گرگان‌رود تالش): نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، 26(5)، 1128-1139.
- کلیم، د. م.، پیشوایی، م. ر.، و محمودی، پ.، 1392، مطالعه امکان تاثیر لکه‌های خورشیدی بر بارش در ایستگاه‌های منتخب جنوب ایران: فضای جغرافیایی، 13(42)، 191-208.

- Currie, R. G., 1983: Detection of 18.6 year nodal induced drought in the Patagonian Andes: *Geophys. Res. Lett.*, **10**, 1089–1092.
- Currie, R. G., 1984: Periodic (18.6-year) and cyclic (11-year) induced drought and flood in Western North America: *J. Geophys. Res.*, **89**, 7215–7230.
- Currie, R. G., 2007: Luni-solar 18.6- and solar cycle 10-11-year signals in Chinese dryness-wetness indices: *Int. J. Climatol.*, **15**, 497–515.
- Dai, A., and Trenberth, K. E., 1998, Global variations in droughts and wet spells: 1900–1995: *Geophys. Res. Lett.*, **25**, 3367–3370.
- Dilley, M., and Heyman, B. N., 1999, ENSO and disaster: droughts, floods and El Nino/Southern Oscillation warm events: *Disasters*, **19**, 181–193.
- Girardin, M. P., Tardif, J., Flannigan, M. D., Wotton, B. M., and Bergeron, Y., 2004: Trends and periodicities in the Canadian Droughts Code and their relationship with atmospheric circulation for the southern Canadian boreal forest: *Can. J. For. Res.*, **34**, 103–119.
- Hodell, D. A., Brenner, M., Curtis, J. H., and Guilderson, T., 2001, Solar forcing of drought frequency in the Maya lowlands: *Science*, **292**, 1367–1370.
- Jiang, T., Zhang, Q., Zhu, D. M., and Wu, Y. J., 2006, Yangtze floods and droughts (China) and teleconnections with ENSO activities (1470–2003): *Quat. Int.*, **144**, 29–37.
- Juan, Z., and Yanben, H., 2005, Determination of precipitation cycle in Beijing area and comparison with solar activity cycle: *Earth, Moon, and Planets*, **97**, 69–78.
- Kalamaras, N., Michalopoulou, H., and Byun, H. R., 2010, Detection of drought events in Greece using daily precipitation: *Hydrol. Res.*, **41**, 126–133.
- Kim, D. W., and Byun, H. R., 2009, Future pattern of Asian drought under global warming scenario: *Theor. Appl. Climatol.*, **98**, 137–150.
- Knapp, P. A., Soule, P. T., and Grissino-Mayer, H. D., 2004, Occurrence of sustained droughts in the Interior Pacific Northwest (A.D. 1733–1980) inferred from tree-ring data: *J. Climate*, **17**, 140–150.
- Lau, K. M., and Weng, H., 2002, Recurrent tele-connection patterns linking summertime precipitation variability over East Asia and North America: *J. Meteor. Soc. Japan*, **80**, 1309–1324.
- نیرومند، حسینعلی، 1376، تحلیل سری‌های زمانی (روش‌های یک متغیری و چند متغیری): انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، شماره 228.
- Abbott, M. B., Nelson, D. B., and Finney, B. P., 2005, A 6000-year record of drought in north-central Washington from laminated lake sediments: *Proceedings of the 2005 GSA Annual Meeting*, **37**, 120.
- Akhtari, R., Morid, S., Mahdian, M. H., and Smakhtin, V., 2009, Assessment of areal interpolation methods for spatial analysis of SPI and EDI drought indices: *Int. J. Climatol.*, **29**, 135–145.
- Atlas, R., Wolfson, N., and Terry, J., 1993, The effect of SST and soil moisture anomalies on GLA model simulations of the 1988 U. S. summer drought: *J. Climate*, **6**, 2034–2048.
- Bhalme, H. N., and Mooley, D. A., 1981, Cyclic fluctuations in the flood area and relationship with the double (hale) sunspot cycle: *J. Appl. Meteorol.*, **20**, 1041–1048.
- Byun, H. R., and Wilhite, D. A., 1999, Objective quantification of drought severity and duration: *J. Climate*, **12**, 2747–2756.
- Byun, H. R., Kang, K. A., and Kim, K. H., 2001, Correlations between Nino-3 anomalies and Asian drought, flood: *J. Korean Meteor. Soc.*, **37**, 453–464.
- Chang, W. Y. B., and King, G., 1999, Centennial climate changes and their global associations in the Yangtze River (Chang Jiang) delta, China and subtropical Asia: *Climate Res.*, **2**, 95–103.
- Chen, P., and Newman, M., 1998, Rossby wave propagation and the rapid development of upper-level anomalous anticyclones during the 1988 U.S. drought: *J. Climate*, **11**, 2491–2504.
- Chiew, F. H. S., Piechota, T. C., Dracup, J. A., and McMahon, T. A., 1998, El Nino/Southern Oscillation and Australian rainfall, streamflow and drought: Links and potential for forecasting: *J. Hydrol.*, **204**, 138–149.
- Cook, E. R., Meko, D. M., and Stockton, C. W., 1997, A new assessment of possible solar and lunar forcing of the bi-decadal drought rhythm in the Western United States: *J. Climate*, **10**, 1343–1356.
- Currie, R. G., 1981, Evidence for 18.6 year MN signal in temperature and drought conditions in North America since A.D. 1800: *J. Geophys. Res.*, **86**, 11055–11064.

- Pandey, R. P., and Ramasastri, K. S., 2001, Relationship between the common climatic parameters and average drought frequency: *Hydrol. Processes*, **15**, 1019–1032.
- Pandey, R. P., Dash, B. B., Mishra, S. K., Singh, R., 2008, Study of indices for drought characterization in KBK districts in Orissa (India): *Hydrol. Processes*, **12**, 1895–1907.
- Piccarreta, M., Capolongo, D., and Boenzi, F., 2004, Trend analysis of precipitation and drought in Basilicata: *Int. J. Climatol.*, **24**, 907–922.
- Stockton, C. W., and Meko, D. M., 1975, A long-term history of drought occurrence in western United States as inferred from tree rings: *Weatherwise*, **28**, 244–249.
- Stockton, C. W., Mitchell Jr., J. M., and Meko, D. M., 1983, A reappraisal of the 22-year drought cycle: In: *Solar–Terrestrial Influences on Weather and Climate*, McCormac, B. M., Ed., Colorado Associated University Press, 507–515.
- Ting, M., and Wang, H., 1997, Summertime U. S. precipitation variability and its relation to Pacific sea surface temperature: *J. Climate*, **10**, 1853–1873.
- Xu, Z. X., Takeuchi, K., and Ishidaira, H., 2004, Correlation between El Nino–Southern Oscillation (ENSO) and precipitation in South-east Asia and the Pacific region: *Hydrol. Processes*, **18**, 107–123.
- Zhang, Q., Liu, C., Xu, C. Y., Xu, Y., and Jiang, T., 2006, Observed trends of annual maximum water level and streamflow during past 130 years in the Yangtze River basin: *China J. Hydrol.*, **324**, 255–265.
- Zhang, Q., Xu, C. Y., Jiang, T., and Wu, Y. J., 2007, Possible influence of ENSO on annual maximum streamflow of the Yangtze River: *China J. Hydrol.*, **333**, 265–274.
- Lyon, B., and Dole, R. M., 1995, A diagnostic comparison of the 1980 and 1988 U.S. summer heat wave-droughts: *J. Climate*, **8**, 1658–1675.
- Mertins, A., 1999, *Signal analysis: wavelets, filter banks, time-frequency transformation and applications*: John Wiley & Sons Ltd., New York, USA.
- Meshcherskaya, A. V., and Blazhevich, V. G., 1997, The drought and excessive moisture indices in a historical perspective in the principal grain-producing regions of the former Soviet Union: *J. Climate*, **10**, 2670–2682.
- Min, S. K., Kwon, W. T. E., Park, E. H., and Choi, Y. G., 2003, Spatial and temporal comparisons of droughts over Korea with East Asia: *Int. J. Climatol.*, **23**, 223–233.
- Mitchell Jr., J. M., Stockton, C. W., and Meko, D. M., 1979, Evidence of a 22-year rhythm of drought in the western United States related to the Hale solar cycle since the 17th century: *Solar–Terrestrial Influences on Weather and Climate*, McCormac, B. M., and Seliga, T. A., Eds., D. Reidel, 125–144.
- Montroy, D. L., 1997, Linear relation of central and eastern North American precipitation to Tropical Pacific sea surface temperature anomalies: *J. Climate*, **10**, 541–558.
- Morid, S., Smakhtin, V., and Moghaddasi, M., 2006, Comparison of seven meteorological indices for drought monitoring in Iran: *Int. J. Climatol.*, **26**, 971–985.
- Morid, S., Smakhtin, V., Bagherzadeh, K., 2007, Drought forecasting using artificial neural networks and time series of drought indices: *Int. J. Climatol.*, **27**, 2103–2111.
- O'Brien, D. P., and Currie, R. G., 1993, Observations of the 18.6-year cycle of air pressure and a theoretical model to explain certain aspects of this signal: *Climate Dyn.*, **8**, 287–298.

A spectral analysis of Iran's droughts

Hojjat Daneshmand^{*1} and Peyman Mahmoudi²

¹ Assistant Professor, Department of Physics, Sciences Faculty, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran

² Assistant Professor, Department of Physical Geography, Geography and Regional Planning Faculty, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran

(Received: 26 September 2015, Accepted: 30 June 2016)

Summary

Identification of periodic droughts can provide a scientific tool for predicting the occurrence of this environmental risk. One of the most important methods that can be used for detection of periodic droughts is the spectral analysis or frequency-domain analysis. The purpose of this study is to detect the periodic behavior of Iran's monthly droughts. To this aim, use has been made of the monthly rainfall statistics of 41 synoptic stations for a period of 31 years (1983–2013) obtained from the IR of Iran Meteorological Organization (IRIMO). First, to identify considerable differences in droughts, the "effective drought index" (EDI) was employed. Assigning a numerical value to each rainfall event on a monthly time scale is the main objective of the EDI in order to compare the areas with different climates based on it. Then the spectral analysis by Fourier transform was used to identify the dominant available periods in the stations' drought time series. In this analysis, Radix-2 Fast Fourier Transform was used. Since Fourier transform leads to difficulties in the spectral analysis of non-stationary series, first the stationary condition of the EDI monthly time series was investigated for all of the 41 stations used in this study. In those stations with a non-stationary condition, the Box–Cox procedure was applied to make them stationary.

The results were classified into five areas. The results showed that the dominant periods in the time series of Iran's droughts vary greatly from periods of 2 to 30 years. In addition to the dominant short-term periods, droughts in the northwest of Iran have two dominant long-term periods of 10 and 30 years. Droughts in the southern coast of the Caspian Sea have shorter periodicities. So with the exception of the two stations of Ramsar and Ardebil with the periodicities of 30 and 15 years, the other stations have periods of less than 10 years. The dominant periods in most stations in the northern districts of central Iran are short-term ones, and the longest periodicity in this area is 15 years. The southern districts of the central Iran have a more consistent spectral behavior. In this area, the dominant period with the highest power is the period of 30 years. All of the stations in this area with the exception of Mashhad station have a 30-year period in their first three components. The 10-year period, as the second dominant period, can also be seen in half of the stations in this area. The southeast area does not exhibit any specific behavior for the dominant periods. The longest periodicity in Chabahar station is a 10-year period. The two stations in Zabol and Iranshahr have shown the longest period of 30 years and the long-term period seen in Zahedan is a 15-year one. In addition to these long-term periods, a period of 2.5 to 3 years can play the role of the dominant short-term period in this area. In general, for the long-term behavior, the two periods of 10 and 30 years can be considered as being the dominant periods across Iran. Among the long-term periods, the frequency of occurrence of these two periods is maximum in the first component and reduces in the other two components. In the third component, the minimum frequency of occurrence of these two periods is seen.

Keywords: drought, effective drought index, spectral analysis, cycle, Iran