

همپوشانی دوره تناوب شاخص نوسان اطلس شمالی (NAO) با دوره تناوب خشکسالی‌ها و ترسالی‌های ایران

سمیرا رزمجو^۱، پیمان محمودی^{۲*} و سید مهدی امیر جهانشاهی^۳

^۱ دانش آموخته کارشناسی ارشد اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

^۲ استادیار اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

^۳ استادیار آمار، گروه آمار، دانشکده ریاضی، آمار و علوم کامپیوتر، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۹/۰۹، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۲/۱۶)

چکیده

در این پژوهش برای آشکارسازی دوره تناوب خشکسالی‌ها و ترسالی‌های ایران و انطباق زمانی آنها با چرخه‌های الگوی پیوند از دور شاخص نوسان اقیانوس اطلس شمالی (NAO) از دو مجموعه داده شامل داده‌های مربوط به بارش ماهانه ۶۳ ایستگاه هواشناسی همدید سازمان هواشناسی ایران طی بازه زمانی ۱۹۸۸ تا ۲۰۱۵ و مقادیر شاخص NAO در همان بازه زمانی متعلق به پایگاه داده‌های مرکز ملی پیش‌بینی محیطی - مرکز ملی پژوهش‌های جوی NCEP/NCAR وابسته به سازمان پژوهش‌های جوی و اقیانوسی ایالات متحده - استفاده شد. برای محاسبه و شناسایی خشکسالی‌ها و ترسالی‌های ایستگاه‌های مورد مطالعه نیز از شاخص بارش استاندارد شده (SPI) استفاده شد. با محاسبه شاخص SPI برای تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه در یک مقیاس ماهانه، سری‌های زمانی آنها در مقیاس ایستگاهی و مقیاس منطقه‌ای به تفکیک، برای تمامی ماه‌های مورد مطالعه تهیه و تنظیم شد. علاوه بر این دو سری زمانی، سری‌های زمانی شاخص NAO نیز برای همان ماه‌ها تهیه شدند. در نهایت، برای شناسایی دوره‌های غالب موجود در سری‌های زمانی مورد نظر از تحلیل طیفی به روش فوریه استفاده شد. نتایج تحلیل طیفی سری‌های زمانی شاخص NAO نشان داد که در هر ماه، دوره‌های تناوب مختلفی از دوره تناوب‌های کوتاه‌مدت تا دوره تناوب‌های بلندمدت وجود دارد به طوری که بیشترین فراوانی با دوره‌های تناوب کوتاه‌مدت (کمتر از ۱۰ سال) است. در انطباق این دوره‌ها با دوره‌های مربوط به خشکسالی‌ها و ترسالی‌های ایستگاه‌های مورد مطالعه مشاهده شد که به استثناء ماه می، در بقیه ماه‌ها بیش از ۶۵ درصد ایستگاه‌ها دست کم یک دوره تناوب یکسان با دوره‌های تناوب شاخص NAO داشتند که می‌تواند بیانگر ارتباط و اثرگذاری این نوسان اقلیمی بر شرایط وقوع خشکسالی‌ها و ترسالی‌های ایران باشد.

واژه‌های کلیدی: ایران، تحلیل طیفی، ترسالی، خشکسالی، شاخص نوسان اطلس شمالی

۱.... مقدمه

نوسان اقیانوس اطلس شمالی (NAO) مهم‌ترین شکل تغییرپذیری جوی روی اقیانوس اطلس شمالی است که سهم بسیار بزرگی در تبیین تغییرات وضع هوا و اقلیم در شرق قاره آمریکای شمالی، شمال اقیانوس اطلس شمالی و قاره اوراسیا دارد (وان لون و راجرز، ۱۹۷۸؛ والس و گوتزلر، ۱۹۸۱؛ هورل، ۱۹۹۵، ۱۹۹۶ و کوشنیر، ۱۹۹۹). این نوسان را سرگیلبرت والکر، اولین بار در دهه ۱۹۲۰ شناسایی کرد (والکر، ۱۹۲۴ و والکر و بلیس، ۱۹۳۲). در آن زمان بیشترین توجه پژوهشگران به تغییرپذیری جوی فصل زمستان بود، درحالی که یکی از ویژگی‌های مهم تغییرپذیری جوی، توجه به بازه‌های زمانی مختلف آن در طول یک سال است (بارنستون و لیوزی، ۱۹۸۷ و راجرز، ۱۹۹۰). به بیانی بسیار ساده، نوسان اقیانوس اطلس شمالی (NAO)، اندازه شدت وزش بادهای غربی روی اقیانوس اطلس شمالی در حد فاصل دو عرض جغرافیایی ۴۰ و ۶۰ درجه شمالی است. در زمستان‌هایی که شاخص NAO زیاد است، بادهای غربی شدیدتر از حد نرمال می‌وزند. در این شرایط اثر تعدیل‌کنندگی NAO منجر به شرایطی گرم‌تر از شرایط نرمال روی قاره اوراسیا و شرایطی سردتر از شرایط نرمال روی شرق کانادا می‌شود (هورل، ۱۹۹۵، ۱۹۹۶). راجرز (۱۹۸۴) اشاره می‌کند که NAO را اولین بار والکر (۱۹۲۴) به‌خوبی توضیح داده است: A ... به‌طور کلی مشخص شده است که تفاوت فشار تشدیدشده‌ای بین جزایر آزرور و ایسلند در دو فصل پاییز و زمستان وجود دارد که با یک جریان گلف استریم قوی، دمای زیاد در دو فصل زمستان و بهار در اسکاندیناوی و سواحل شرقی ایالات متحده و دمای کم در سواحل شرقی کانادا و غرب گروئیلند همراه است. \cong ممکن است ادعای والکر (۱۹۲۴) درباره جریان گلف استریم صحیح نباشد، اما زیاد و کم شدن میانگین دمای زمستان بین گروئیلند و شمال اروپا که یک مشخصه آشکار از NAO است، از قرن هجدهم به

این طرف کاملاً شناخته شده است (ر.ک. وان لون و راجرز، ۱۹۷۸ و لووه، ۱۹۳۷). زمستان‌هایی که شاخص NAO در آنها زیاد است، معمولاً با شرایط اقلیمی خشک‌تر روی قسمت وسیعی از مرکز و جنوب اروپا و شرایطی مرطوب‌تر از شرایط نرمال روی ایسلند و اسکاندیناوی همراه است؛ بنابراین شناخت NAO و تغییرپذیری آن از اهمیت اجتماعی و اقتصادی چشمگیری برخوردار است.

امروزه، با توسعه روزافزون مدل‌های دینامیکی، عددی و آماری، پژوهشگران پژوهش‌های همه‌جانبه‌ای در زمینه شناخت تغییرپذیری شاخص NAO انجام داده‌اند که این مطالعات را می‌توان در چند دسته تقسیم‌بندی کرد. دسته اول مطالعاتی هستند که بیشتر روی شناخت جنبه‌های دینامیکی این شاخص تمرکز داشته‌اند (برای مثال، بارت، ۱۹۸۵؛ کوشنیر، ۱۹۹۹؛ گریفیس و برایان، ۱۹۹۶؛ بریثرتون و باتیستی، ۲۰۰۰؛ نصر اصفهانی و همکاران، ۱۳۸۹، ۱۳۹۲؛ عالم‌زاده و همکاران، ۱۳۹۲؛ رضایی و همکاران، ۱۳۹۳ و مرتضی‌پور و همکاران، ۱۳۹۵). در این مطالعات تلاش‌های زیادی جهت شبیه‌سازی این شاخص و شناخت جنبه‌های همدید، فیزیکی و دینامیکی آن شده است. دسته دوم مطالعاتی هستند که بیشتر روی تحلیل آماری سری‌های زمانی این شاخص و ارتباط آماری آنها با برخی متغیرهای اقلیمی همچون دما و بارش متمرکز بوده‌اند (برای مثال، خورشیددوست و همکاران، ۱۳۸۶؛ خوش‌اخلاق و همکاران، ۱۳۸۷؛ مسعودیان، ۱۳۸۷؛ صلاحی و حاجی‌زاده، ۱۳۹۲؛ کرم‌پور و همکاران، ۱۳۹۴؛ خوشرو و همکاران، ۱۳۹۵ و عساکره و همکاران، ۱۳۹۵). البته رابطه آماری این شاخص با دیگر متغیرها همچون ابرناکی (رضایی و قویدل رحیمی، ۱۳۹۵) و سطح پوشش برف (فتاحی و همکاران، ۱۳۸۸) نیز مورد توجه قرار گرفته است. دسته سوم نیز مطالعاتی بوده‌اند که بیشتر به اثرهای زیست‌محیطی و اجتماعی-اقتصادی این شاخص

صورت گرفته تحلیل طیفی روی خشکسالی‌های ایران بسیار اندک بوده است. دانشمند و محمودی (۲۰۱۷) با تحلیل طیفی سری‌های زمانی به دست آمده از شاخص خشکسالی مؤثر (EDI) برای ۴۱ ایستگاه مورد مطالعه در ایران اقدام به آشکارسازی رفتار دوره‌ای خشکسالی‌ها در ایران کردند. نتایج مطالعه این پژوهشگران نشان داد که دوره‌های غالب موجود در سری‌های زمانی خشکسالی‌های ایران بسیار متنوع است و دوره‌های دوساله تا سی‌ساله را شامل می‌شود. آنها همچنین در مطالعه‌ای دیگر نشان دادند وقوع ترسالی‌های ایران در حال کاهش و شدت وقوع خشکسالی‌های آن در حال افزایش است. علاوه بر این موارد، ایشان به صراحت نشان دادند احتمال وقوع خشکسالی‌های ایران در حال افزایش است؛ یعنی دوره بازگشت خشکسالی‌ها نسبت به گذشته در حال کوتاه‌تر شدن است.

با توجه به پیشینه غنی در زمینه مطالعات مربوط به NAO که به برخی از آنها در بالا نیز اشاره شد، این مطالعه قصد دارد با استفاده از روش‌های آماری پیشرفته تحلیل سری‌های زمانی در حوزه بسامد، در گام اول به شناسایی دوره‌های تناوب شاخص NAO اقدام و در گام دوم، همین دوره‌ها را برای خشکسالی‌ها و ترسالی‌های ایران در مقیاس ایستگاهی و منطقه‌ای شناسایی کند. در گام نهایی، همپوشانی این دوره‌ها با یکدیگر بررسی می‌شود.

۲ روش‌شناسی

در این پژوهش، برای آشکارسازی دوره‌های تناوب خشکسالی‌ها و ترسالی‌های ایران و انطباق زمانی آنها با چرخه‌های الگوی پیوند از دور شاخص NAO، از دو مجموعه داده بهره گرفته شد. نخست داده‌های مربوط به بارش ماهانه ۶۳ ایستگاه هواشناسی همدید ایران طی بازه زمانی ۲۰۱۵-۱۹۸۸ از سازمان هواشناسی ایران اخذ شد و سپس مقادیر شاخص پیوند از دور NAO که متعلق به

توجه کرده‌اند (برای مثال، دینر، ۱۹۹۷ الف و ب؛ مان و درینک‌واتر، ۱۹۹۴ و مرتز و مایرز، ۱۹۹۴).

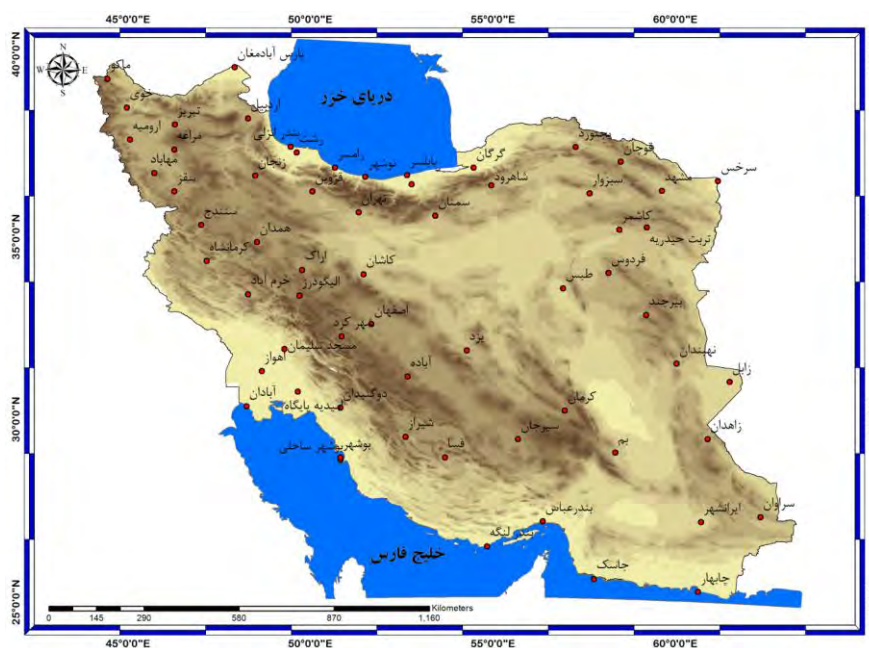
استفاده از روش‌های آماری همواره یکی از ابزارهای مورد علاقه پژوهشگران مختلف جهت شناخت جنبه‌های نهان و آشکار سری‌های زمانی شاخص NAO و ارتباط آن با تغییرپذیری دیگر متغیرهای اقلیمی است. یکی از این روش‌های آماری که می‌تواند در راستای شناسایی دوره‌های تناوب سری‌های زمانی متغیرهای هواشناسی به طور عام و شناسایی دوره‌های تناوب سری‌های زمانی الگوهای پیوند از دور به طور خاص استفاده شود، تحلیل طیفی یا تحلیل در قلمرو بسامد (بسامد) است (بیون و همکاران، ۲۰۰۸؛ دانشمند و محمودی، ۱۳۹۵ و محمودی و دانشمند، ۱۳۹۷). تحلیل طیفی روشی برای استخراج چرخه‌های نهان و آشکار در یک سری زمانی است. ایده اساسی در تحلیل طیفی این است که هر تابع متناوب (دوره‌ای یا چرخه‌ای) را می‌توان برحسب مجموعه نامتناهی از توابع پایه سینوسی و کسینوسی یا توابع نمایی متناوب آن به صورت مختلط نوشت (کارت رایت، ۱۳۸۲). تحلیل طیفی به طور وسیعی در رشته‌های مختلف به خصوص در علوم طبیعی از جمله اقلیم‌شناسی (کرکیلا و حامید، ۱۹۸۹؛ عساکره، ۱۳۸۸ و تقوی و همکاران، ۱۳۹۰)، آب‌شناسی (یون جو و لی، ۲۰۱۰)، زمین‌ریخت-شناسی (هگ، ۱۹۹۶)، هواشناسی (اسپانگنبرگ و بردمایر، ۱۹۹۹) و اقیانوس‌شناسی (دی آریگو و همکاران، ۲۰۰۱) استفاده شده است. مطالعات بسیاری نیز که اغلب روی دو پارامتر دما و بارش بوده است، با استفاده از این روش اما به صورت ایستگاهی انجام شده است (لانا و بورگینو، ۲۰۰۰؛ لیوآدا و همکاران، ۲۰۰۸؛ غیور و عساکره، ۱۳۸۴؛ عساکره، ۱۳۸۸؛ رضیئی و عزیزی، ۱۳۸۸؛ تقوی و همکاران، ۱۳۸۹؛ عساکره، ۱۳۸۹؛ تقوی و همکاران، ۱۳۹۰؛ عساکره و رزمی، ۱۳۹۱؛ بلیانی و همکاران، ۱۳۹۱ و محمودی و دانشمند، ۱۳۹۷). مطالعات

خشکسالی‌هایی (یا ترسالی‌هایی) هستند که حدود ۲۵ تا ۷۵ درصد کل ایستگاه‌های مورد مطالعه، آن را اعلام کرده باشند؛ ۳- خشکسالی‌های (یا ترسالی‌های) فراگیر: خشکسالی‌هایی (یا ترسالی‌هایی) هستند که حدود ۷۵ درصد و بیشتر ایستگاه‌های مورد مطالعه در ایران آن را اعلام کرده باشند. این تقسیم‌بندی براساس چارک‌ها صورت گرفته است. در آمار توصیفی، به هریک از سه مقداری که یک مجموعه از داده‌های مرتب‌شده را به چهار بخش مساوی تقسیم کند، چارک گفته می‌شود. به-این ترتیب، هرکدام از آن بخش‌ها، یک‌چهارم از نمونه یا جمعیت را به نمایش می‌گذارند (بهبودیان، ۱۳۸۱).

پس از اینکه خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها در دو مقیاس محلی و منطقه‌ای آماده شدند، ایستا بودن یا نبودن آنها با استفاده از تبدیلات باکس-کاکس (بزرگ‌نیا و خرمی، ۱۳۸۶) بررسی شد و سری‌های زمانی نایستا با این تبدیلات ایستا شدند. بعد از آزمون ایستا بودن تمامی سری‌های زمانی مورد مطالعه، برای شناسایی دوره‌های تناوب خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها از تحلیل طیفی استفاده شد. برای تحلیل

همان بازه زمانی است، از پایگاه داده‌های مرکز ملی پیش‌بینی محیطی-مرکز ملی پژوهش‌های جوی NCEP/NCAR وابسته به سازمان پژوهش‌های جوی و اقیانوسی ایالات متحده-برداشت شد. نام، موقعیت و پراکنش ۶۳ ایستگاه هم‌دید مورد مطالعه در شکل ۱ آورده شده است.

در ادامه، برای شناسایی فراوانی درجات مختلف خشکسالی‌ها از شاخص SPI (مک‌کی و همکاران، ۱۹۹۳، ۱۹۹۵) استفاده شد. هدف اصلی این شاخص، اختصاص یک ارزش عددی به هر حادثه بارندگی در مقیاس‌های زمانی مختلف است. بعد از محاسبه این شاخص در یک مقیاس ماهانه برای تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه، خشکسالی‌ها و ترسالی‌های ایران بر اساس سه شاخص فضایی به سه دسته تقسیم شدند: ۱- خشکسالی‌های (یا ترسالی‌های) محلی: خشکسالی‌هایی (یا ترسالی‌هایی) هستند که حدود ۲۵ درصد و کمتر کل ایستگاه‌های مورد مطالعه در ایران آن را اعلام کرده باشند؛ ۲- خشکسالی‌های (یا ترسالی‌های) نیمه‌فراگیر:



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی و پراکنش ایستگاه‌های مورد مطالعه.

در این مطالعه از تبدیل فوریه سریع (FFT) تقسیمات بسامدی با مبنای دو استفاده شده است. تبدیل فوریه سریع از ایده تبدیل فوریه گسسته (DFT) استفاده می‌کند. تبدیل فوریه سریع، تحقق سریع تبدیل فوریه گسسته است که از حاصل ضرب ماتریس‌ها جهت کاهش مراحل محاسباتی استفاده می‌کند (مرتینز، ۱۳۸۰). باید توجه داشت که در تبدیل فوریه سریع، طول سری زمانی (N) توانی از دو است. اگر این شرط برقرار نباشد، بقیه اعضا صفر منظور می‌شود تا طول سری کامل شود (مرتینز، ۱۳۸۰).

۳ نتایج

در این پژوهش برای محاسبه و شناسایی خشکسالی‌ها و ترسالی‌های ایستگاه‌های مورد مطالعه در گستره ایران-زمین، از شاخص SPI استفاده شد که ابزاری بسیار قوی در تحلیل داده‌های بارش به‌شمار می‌رود. با محاسبه شاخص SPI برای تمامی ایستگاه‌های مورد بررسی در یک مقیاس ماهانه، سری‌های زمانی آنها هم در مقیاس ایستگاهی و هم در مقیاس منطقه‌ای به تفکیک، برای تمامی ماه‌های مورد مطالعه تهیه و تنظیم شدند. علاوه بر این دو سری زمانی، سری‌های زمانی شاخص NAO نیز برای همان ماه‌ها تهیه شدند. با توجه به اینکه تبدیل فوریه در تحلیل طیفی سری‌های نایستا با مشکل روبه‌رو است، ابتدا شرط ایستایی تمامی سری‌های زمانی مورد مطالعه بررسی شد. نتایج این بررسی نشان داد که تمامی سری‌های زمانی شرط ایستایی را دارند و نیازی به استفاده از تبدیلات باکس-کاکس برای ایستاسازی آنها وجود ندارد. با اطمینان از ایستا بودن تمامی سری‌ها، برای شناسایی دوره‌های غالب موجود در آنها از تحلیل طیفی به روش فوریه استفاده شد. خروجی تحلیل طیفی همواره به صورت یک پریود گرام یا طیف‌نگار است. پریود گرام یا طیف‌نگار بیانگر رابطه توان (مجذور دامنه) و بسامد است. زیاد بودن توان در یک بسامد نشان می‌دهد این بسامد در

طیفی یک سری زمانی از تبدیل‌های متنوعی می‌توان سود برد. تبدیل کلاسیک فوریه یکی از پایه‌ای‌ترین و اساسی‌ترین این تبدیل‌ها است. تبدیل کلاسیک فوریه یک تبدیل از حوزه زمان به بسامد است. با استفاده از این تبدیل می‌توان دقیقاً بسامدها و دوره‌ها را شناسایی کرد. تبدیل فوریه بیان می‌کند که هر نوع حرکت دوره‌ای را می‌توان به صورت جمع چند حرکت دوره‌ای ساده در نظر گرفت. تبدیل فوریه نشان می‌دهد که یک تابع دوره‌ای مانند $f(t)$ با دوره p را می‌توان به صورت جمع توابع سینوسی و کسینوسی نوشت:

$$f(t) = a_0 + \sum_{j=1}^n a_j \cos(j\omega t) + \sum_{j=1}^n b_j \sin(j\omega t), \quad (1)$$

که رابطه دوره و بسامد به صورت زیر است:

$$p = \frac{2\pi}{\omega} \quad (2)$$

ω بسامد اصلی (اول) است و بسامدهای $2\omega, 3\omega, \dots, n\omega$ را هماهنگ‌های آن می‌نامند. بسامد اصلی، هماهنگ اول یا همساز اول نامیده می‌شود. بسامدهای دیگر را که ضریبی از بسامد اول هستند، هماهنگ یا همساز می‌نامند؛ بنابراین بسامد هر هماهنگ، مضرب صحیحی از بسامد اول یا اصلی است. بسامد هماهنگ‌ها یا همسازهای دوم، سوم، ... و n ام به ترتیب برابر $2\omega, 3\omega, \dots, n\omega$ است. ثابت a_0 مقدار متوسط تابع است و کمیت‌های a_n و b_n دامنه توابع سینوسی و کسینوسی هستند. شکل دقیق تابع دوره‌ای به تعداد تابع‌های سینوسی و کسینوسی و همچنین دامنه آنها بستگی دارد. به بیان دیگر، شکل دقیق تابع، تعداد جملات انتخابی از سری را مشخص می‌کند. در نمایش ریاضی، n معرف تعداد جملات انتخابی از سری فوریه است (آلونسو و فین، ۱۳۶۹).

دوره‌های غالب کوتاه‌مدت (کمتر از ۱۰ سال) بیشترین حاکمیت را در بین دیگر دوره‌ها به خود اختصاص داده‌اند به طوری که چهار دوره غالب دو ماه ژانویه و می، همگی دوره‌های غالب کوتاه‌مدت هستند. در ماه ژانویه به ترتیب دوره‌های ۳/۳، ۷/۵، ۶ و ۳ ساله با بیشترین توان، دوره‌های غالب هستند و در ماه می نیز دوره‌های غالب، به ترتیب ۲/۵، ۲/۱، ۴/۲ و ۳/۷ ساله هستند. دوره‌های غالب میان‌مدت (۱۰ سال) و بلندمدت (۳۰ سال) نیز در برخی از ماه‌ها به روشنی مشاهده می‌شوند (جدول ۱).

در گام بعدی، بعد از آشکارسازی دوره‌های تناوب غالب موجود در سری‌های زمانی شاخص NAO، دوره‌های تناوب غالب موجود در سری‌های زمانی خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها در یک مقیاس ایستگاهی برای ۶۳ ایستگاه مورد مطالعه شناسایی و استخراج شدند. با توجه به حجم زیاد اطلاعات در این قسمت و جهت رعایت اصل اختصار، نتایج همپوشانی دوره‌های شاخص NAO با دوره‌های خشکسالی‌ها و ترسالی‌های

سری زمانی مورد نظر در بخش طیفی غالب است. در این پژوهش، بسامد برحسب دوره بر یک سال نشان داده شده است. به عبارت دیگر، دوره تناوب یا چرخه بر مبنای زمان یک سال سنجیده شده است.

تحلیل طیفی روی سری‌های زمانی شاخص NAO هر ماه به صورت جداگانه اعمال شد. نتایج نشان داد که در هر ماه، دوره تناوب‌های مختلفی از دوره تناوب‌های کوتاه‌مدت گرفته تا بلند مدت وجود دارد. از بین این دوره تناوب‌های مختلف، تصمیم بر این گرفته شد که تنها از چهار دوره تناوب اول که بیشترین توان‌ها را دارند، برای بحث همپوشانی داشتن دوره‌های تناوب شاخص NAO با دوره‌های تناوب خشکسالی‌ها و ترسالی‌های ایران استفاده شود (پریودگرام‌ها یا طیف‌نگارهای آنها جهت رعایت اصل اختصار در مقاله نشان داده نشده است). در جدول ۱ چهار دوره تناوب آشکار شده در سری‌های زمانی شاخص NAO به تفکیک برای هر ماه آورده شده است. همچنان‌که از این جدول مشخص می‌شود،

جدول ۱. چهار دوره تناوب اول شاخص NAO همراه با توان‌های آنها.

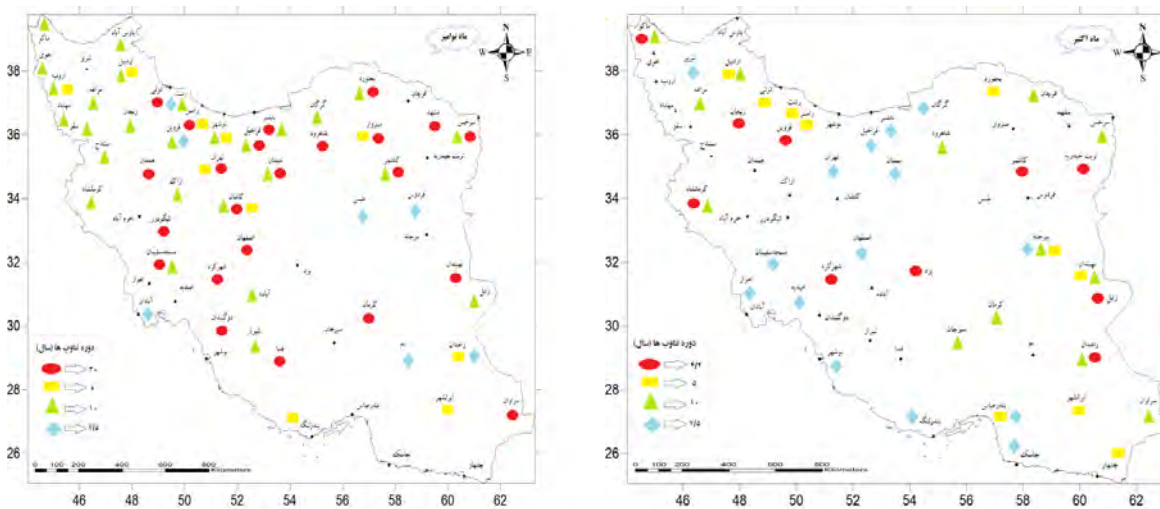
ماه	ویژگی‌های طیفی	مؤلفه اول	مؤلفه دوم	مؤلفه سوم	مؤلفه چهارم
اکتبر	دوره تناوب (سال)	۴/۲	۵	۱۰	۷/۵
	توان	۵/۹۸	۵/۰۳	۴/۷۹	۲/۹۶
نوامبر	دوره تناوب (سال)	۷/۵	۲/۵	۱۰	۶
	توان	۵/۵۳	۵/۴۷	۴/۹۶	۲/۴۱
دسامبر	دوره تناوب (سال)	۴/۲	۷/۵	۶	۱۰
	توان	۶/۲۲	۶/۱۰	۵/۴۵	۵/۳۶
ژانویه	دوره تناوب (سال)	۳/۳	۷/۵	۶	۳
	توان	۴/۵۰	۳/۳۴	۳/۲۰	۲/۰۷
فوریه	دوره تناوب (سال)	۳۰	۲/۷	۳/۷	۶
	توان	۶/۰۸	۴/۷۶	۴/۶۰	۲/۹۶
مارس	دوره تناوب (سال)	۴/۲	۲/۵	۳/۷	۳۰
	توان	۷/۸۱	۷/۰۴	۴/۵۷	۴/۰۹
آوریل	دوره تناوب (سال)	۱۰	۲/۱	۳۰	۵
	توان	۶/۷۸	۶/۵۴	۳/۴۰	۲/۷۸
می	دوره تناوب (سال)	۲/۵	۲/۱	۱۰	۴/۲
	توان	۴/۹۵	۴/۳۹	۳	۴/۲

ترسالی ایستگاه‌ها با دوره‌های تناوبی شاخص NAO همخوانی دارند که در این میان، بیشترین درصد تطابق ایستگاه‌ها با شاخص NAO مربوط به دو دوره تناوبی دوم (۴۱٪) و سوم (۳۳٪) است که شامل ۲۷ ایستگاه برای دوره تناوبی دوم و ۲۲ ایستگاه برای دوره تناوبی سوم است (شکل ۲).

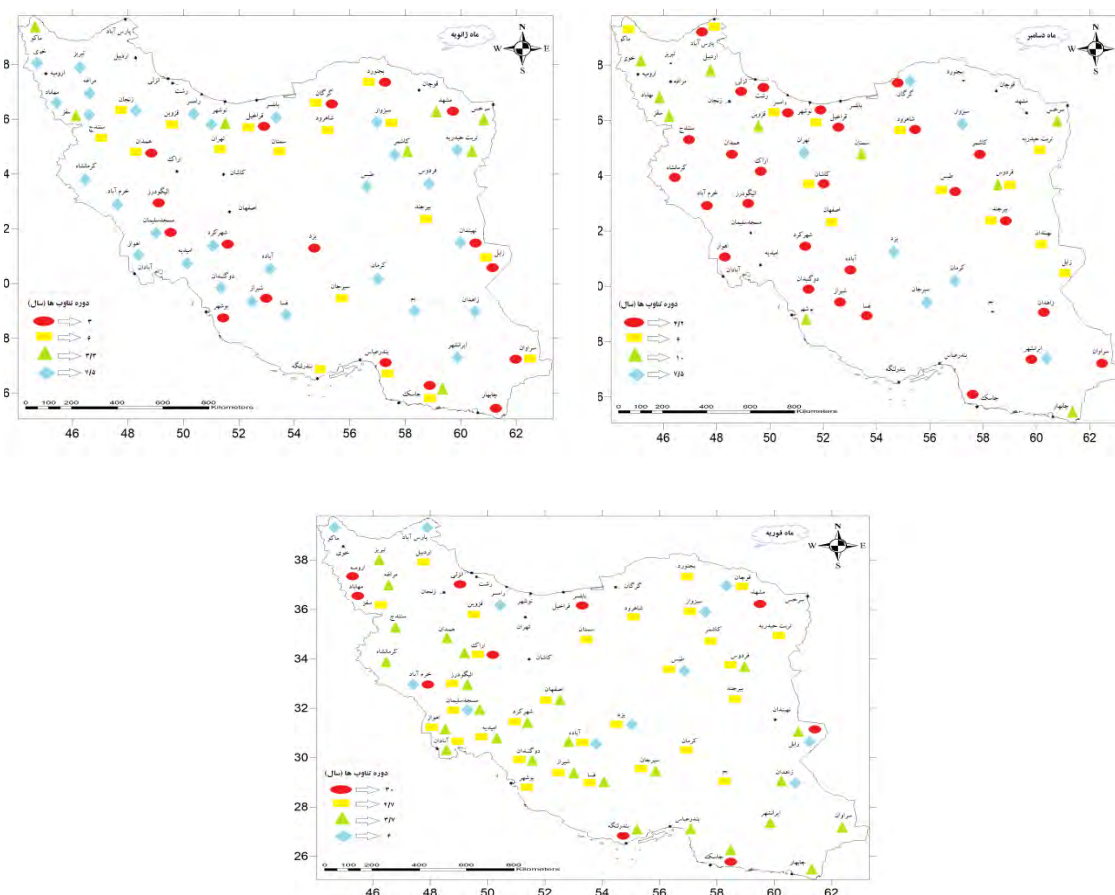
در نتایج تحلیل طیفی برای سه ماه فصل زمستان مشاهده شد یکی از دوره‌های تناوب بیش از ۷۶ درصد از خشکسالی‌ها و ترسالی‌های ایستگاه‌های مورد مطالعه، با دوره‌های تناوب شاخص NAO مطابقت دارد. در ماه دسامبر بیشترین همپوشانی روی نواحی غرب و شمال غرب ایران متمرکز بوده است (شکل ۳). در این نواحی بیشترین انطباق برای دوره تناوبی اول (۴/۲ سال) است در حالی که دوره تناوبی چهارم (۱۰ سال) تنها با ۱۷ درصد از ایستگاه‌های مورد مطالعه تطابق داشته است. در ماه ژانویه بیشترین میزان همپوشانی (۸۴٪) با شاخص NAO مشاهده می‌شود که بیشترین مقدار آن مربوط به دوره تناوبی دوم (۴۱٪) است که حدود ۳۰ ایستگاه را شامل می‌شود. در ماه فوریه نیز همچون ماه ژانویه وضعیت به‌گونه‌ای است که بیشترین میزان همپوشانی (۸۲٪) با

ایستگاه‌های مورد مطالعه، در قالب نقشه‌هایی به تفکیک ماه و در قالب سه فصل پاییز، زمستان و بهار ارائه شد. در قسمت راهنمای این نقشه‌ها، دوره‌های غالب شاخص NAO برای ماه مورد نظر آورده شده است. سپس دوره‌های غالب هر ایستگاه با این دوره‌ها انطباق داده شدند؛ یعنی اگر هر دوره غالب موجود در سری‌های زمانی خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها با یکی از دوره‌های غالب شاخص NAO منطبق شده باشد، با یکی از نشانه‌های چهارگانه تعریف شده روی نقشه‌ها مشخص می‌شود.

نتایج تحلیل طیفی سری‌های زمانی خشکسالی‌ها و ترسالی‌های ایستگاه‌ها در ماه اکتبر نشان می‌دهند که حدود ۶۵ درصد از ایستگاه‌ها دست کم در یکی از دوره‌های تناوبشان با دوره‌های تناوبی شاخص NAO همپوشانی دارند. دوره‌های تناوبی غالب شاخص NAO برای ماه اکتبر به ترتیب ۴/۲، ۵، ۱۰ و ۷/۵ ساله هستند (جدول ۱) که ۲۱ درصد از ایستگاه‌ها با دوره تناوبی اول، ۲۴ درصد از ایستگاه‌ها با دوره تناوبی دوم، ۲۶ درصد از ایستگاه‌ها با دوره تناوبی سوم و ۲۹ درصد از ایستگاه‌ها با دوره تناوبی چهارم انطباق دارند. همچنین در ماه نوامبر مشاهده می‌شود که ۷۷ درصد از دوره‌های تناوب خشکسالی و



شکل ۲. توزیع پراکنش مکانی دوره‌های تناوبی ایستگاه‌ها برای ماه‌های اکتبر و نوامبر.



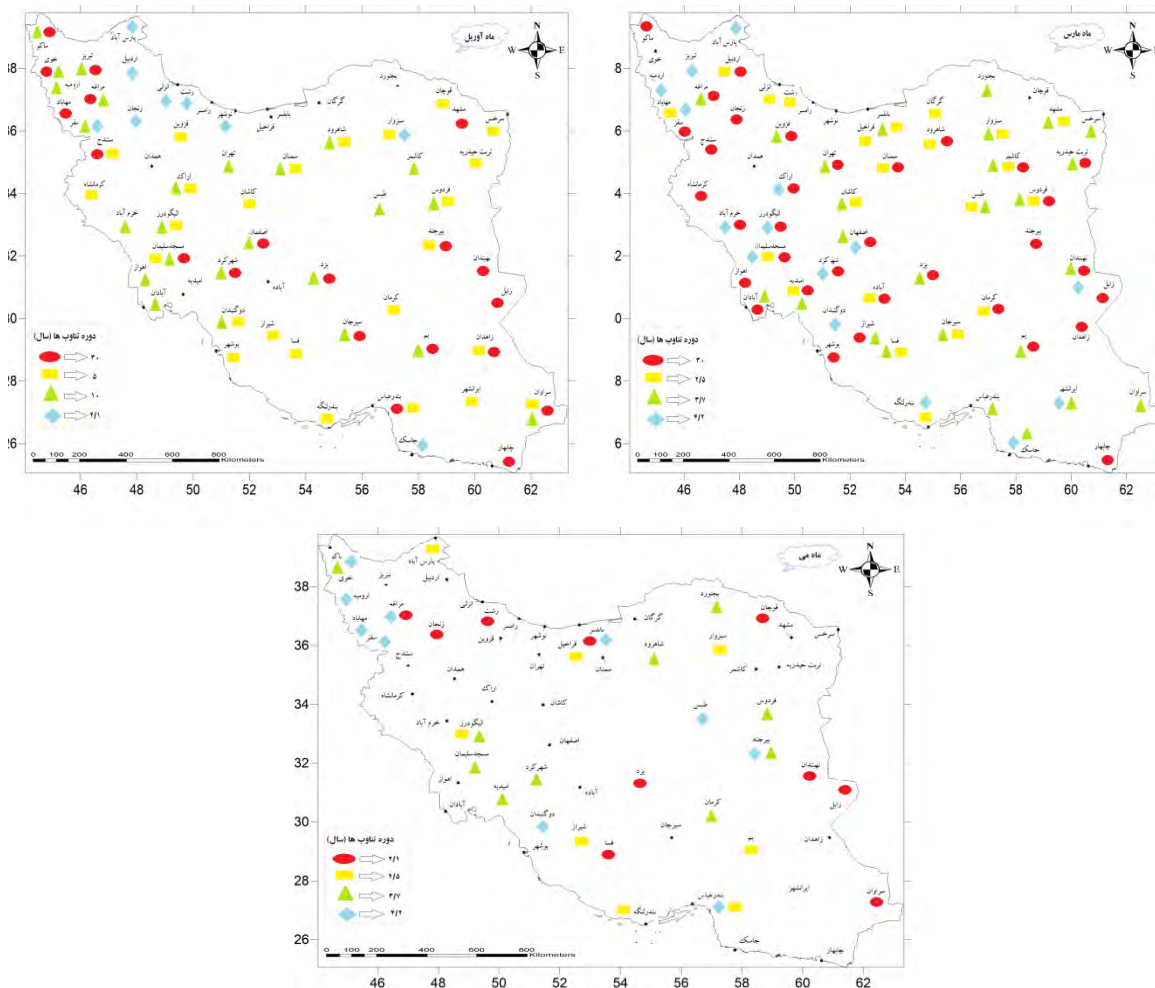
شکل ۳. توزیع پراکنش مکانی دوره‌های تناوبی ایستگاه‌ها برای ماه‌های دسامبر، ژانویه، فوریه.

(۵۰٪) دیده می‌شود (شکل ۴). بیشترین میزان انطباق مربوط به سه دوره تناوبی دوم، سوم و چهارم، ۲۶ درصد است که برای ۱۰ ایستگاه تکرار شده و کمترین آن مربوط به دوره تناوبی اول (۲۲٪) است.

بعد از ارائه نتایج تحلیل طیفی بین خشکسالی‌ها و شاخص NAO در مقیاس ایستگاهی، تحلیل طیفی در یک مقیاس منطقه‌ای نیز اجرا شد. همان‌گونه که در قسمت روش‌شناسی گفته شد، ابتدا براساس یک معیار فضایی، خشکسالی‌ها (ترسالی‌ها) در یک مقیاس ماهانه به سه دسته خشکسالی‌های فراگیر، نیمه‌فراگیر و محلی (ترسالی‌های فراگیر، نیمه‌فراگیر و محلی) تقسیم‌بندی شدند. بعد از مشخص شدن طبقات هر ماه، تحلیل طیفی بین مقادیر درصدی انواع خشکسالی‌های (ترسالی‌های) هر

شاخص NAO دیده می‌شود. بیشترین ایستگاه‌های موجود در این ماه برای دوره تناوبی ۲/۷ سال با میزان ۳۸ درصد تکرار شده است (شکل ۳).

در فصل بهار، بیش از ۸۵ درصد ایستگاه‌ها به استثناء ماه می (۴۹٪) با یکی از دوره‌های تناوبی شاخص NAO انطباق داشته‌اند. در ماه مارس، بیشترین انطباق مربوط به دوره تناوب چهارم (۳۰ سال) است که برای ۳۳ درصد از ایستگاه‌ها تکرار شده است. در ماه آوریل ۸۵ درصد ایستگاه‌ها دوره‌های تناوبی یکسان با شاخص NAO دارند که بیشترین میزان همپوشانی مربوط به دوره تناوبی اول و چهارم (۳۲٪) و کمترین آن مربوط به دوره تناوبی دوم (۱۱٪) است. در ماه می وضعیت به‌گونه‌ای است که کمترین میزان همپوشانی با دوره تناوبی شاخص NAO



شکل ۴. توزیع پراکنش مکانی دوره‌های تناوبی ایستگاه‌ها برای ماه‌های مارس، آوریل، می.

تناوبی اول (۲/۷)، ماه مارس با دوره تناوبی دوم (۲/۵) و ماه می با دوره تناوبی اول (۳/۷) همخوانی دارد (جدول ۲).

۴ نتیجه‌گیری

نتایج تحلیل طیفی روی سری‌های زمانی شاخص NAO نشان داد که در هر ماه، دوره‌های تناوب مختلفی شامل دوره تناوب‌های کوتاه‌مدت تا بلندمدت وجود دارد که در این بین، بیشترین حاکمیت با دوره‌های تناوب کوتاه‌مدت (کمتر از ۱۰ سال) است. در انطباق این دوره‌ها با دوره‌های مربوط به خشکسالی‌ها و ترسالی‌های ایستگاه‌های بررسی شده مشاهده شد که به استثناء ماه می، در بقیه ماه‌ها

ماه با شاخص NAO در تأخیر هم‌زمان بررسی شد. تحلیل طیفی خشکسالی‌های هشت ماه مطالعه‌شده نشان داد که خشکسالی‌ها در این ماه‌ها هیچ شباهتی به یکدیگر ندارند و دوره‌ها مستقل از یکدیگر عمل می‌کنند. همان‌طور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، تنها در پنج ماه بین دوره‌های تناوبی شاخص NAO و خشکسالی‌های منطقه‌ای ایران انطباق وجود دارد و در دیگر ماه‌ها، هیچ انطباقی بین خشکسالی‌های منطقه‌ای ایران و شاخص NAO مشاهده نمی‌شود. در ماه دسامبر دوره تناوبی NAO با دوره تناوبی چهارم (۴/۲ سال) خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها، ماه ژانویه با دوره تناوبی دوم (۳ سال)، ماه فوریه با دوره

جدول ۲. مقادیر تحلیل طیفی دوره‌های تناوبی بین خشکسالی‌های منطقه‌ای ایران و شاخص NAO برای هشت ماه مورد مطالعه در تأخیر زمانی هم‌زمان.

دوره تناوبی چهارم ۱۰	دوره تناوبی سوم ۶	دوره تناوبی دوم ۷/۵	دوره تناوبی اول ۴/۲	دوره تناوبی NAO ماه
۴/۲	۲/۵	۳	۲/۳	دسامبر
دوره تناوبی چهارم ۳	دوره تناوبی سوم ۶	دوره تناوبی دوم ۷/۵	دوره تناوبی اول ۳/۳	دوره تناوبی NAO ماه
۲/۷	۲/۵	۳	۲/۱	ژانویه
دوره تناوبی چهارم ۶	دوره تناوبی سوم ۳/۷	دوره تناوبی دوم ۲/۷	دوره تناوبی اول ۳۰	دوره تناوبی NAO ماه
۳	۱۰	۲/۱	۲/۷	فوریه
دوره تناوبی چهارم ۳۰	دوره تناوبی سوم ۳/۷	دوره تناوبی دوم ۲/۵	دوره تناوبی اول ۴/۲	دوره تناوبی NAO ماه
۶	۳	۲/۵	۲/۳	مارس
دوره تناوبی چهارم ۳/۷	دوره تناوبی سوم ۴/۲	دوره تناوبی دوم ۲/۱	دوره تناوبی اول ۲/۵	دوره تناوبی NAO ماه
۲	۶	۳	۳/۷	می

این ماه فاقد هرگونه بارشی هستند. برای ماه می نیز همین شرایط اما حالت عکس آن وجود دارد؛ یعنی در این ماه سامانه‌های بادهای غربی از بیشتر مساحت ایران فاصله می‌گیرند و سامانه‌های جو تابستانه بر ایران غالب می‌شوند. برای خشکسالی‌ها و ترسالی‌های منطقه‌ای ایران شرایط متفاوت تری حاکم است؛ از هشت ماه بررسی شده، تنها پنج ماه آن دوره‌های منطبق با دوره‌های شاخص NAO دارند که این دوره‌ها، دوره‌های کوتاه‌مدت بودند. این موضوع بیانگر این نکته می‌تواند باشد که دوره بازگشت خشکسالی‌ها و ترسالی‌های ایران در یک مقیاس منطقه‌ای می‌تواند بسیار کوتاه‌مدت باشد.

منابع

آلونسو، م.، فین، ا. جی.، ۱۳۶۹، فیزیک عمومی، جلد اول (مکانیک)، ترجمه لطیف کاشیگر، تهران: مرکز نشر دانشگاهی.

بیش از ۶۵ درصد ایستگاه‌ها دست کم یک دوره تناوب یکسان با دوره تناوب‌های شاخص NAO داشته‌اند که این می‌تواند بیانگر ارتباط و اثرگذاری این نوسان اقلیمی بر شرایط وقوع خشکسالی‌ها و ترسالی‌های ایران باشد. ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس و آوریل، چهار ماهی بودند که بیشترین تعداد همپوشانی دوره‌های خشکسالی و ترسالی را با شاخص NAO داشتند. با توجه به رژیم بارشی ایران که اغلب یک رژیم بارشی زمستانه است، این امر می‌تواند بسیار حائز اهمیت باشد. دو ماه اکتبر و می، دو ماهی بودند که کمترین تعداد همپوشانی را بین دوره‌های استخراج شده از سری‌های زمانی خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها و دوره‌های استخراج شده از سری‌های زمانی شاخص NAO داشتند که دلیل آن می‌تواند ماهیت گذار این دو ماه از فصل گرم به سرد و برعکس باشد. در ماه اکتبر هنوز سامانه‌های جوی تابستانه روی بیشتر مساحت ایران حاکمیت دارند و بسیاری از ایستگاه‌های مورد مطالعه در

- بزرگ‌نیا، س. ا.، خرمی، م.، ۱۳۸۶، تجزیه و تحلیل سری‌های زمانی با نرم‌افزار MINTAB 14: انتشارات سخن‌گستر، تهران.
- بلیانی، ی.، فاضل‌نیا، غ. و بیات، ع.، ۱۳۹۱، تحلیل و مدل‌سازی دمای سالانه شهر شیراز با استفاده از مدل ARIMA: فضای جغرافیایی، ۱۲(۳۸)، ۱۲۷-۱۴۴.
- بهبودیان، ج.، ۱۳۸۱، روش‌های ناپارامتری: انتشارات دانشگاه پیام نور، تهران.
- تقوی، ف.، ناصری، م.، بیات، ب.، متولیان، س.، آزادی فرد، د.، ۱۳۹۰، تعیین الگوهای رفتار اقلیم در مناطق مختلف ایران بر اساس تحلیل طیفی و خوشه‌بندی مقادیر حدی بارش و دما: پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۴۳(۷۷)، ۱۰۴-۱۰۹.
- تقوی، ف.، نیستانی، ا.، محمدی، ح.، رستمی جلیلیان، ش.، ۱۳۸۹، کاربرد تحلیل موجک در شناسایی رفتار بارش در مناطق غربی ایران: مجله ژئوفیزیک ایران، ۵(۴)، ۱۳-۳۰.
- خورشیددوست، م. ع.، قویدل رحیمی، ی.، صنیعی، ر.، یساری، ط.، نوری، ح.، ۱۳۸۶، تحلیل نقش پدیده NAO در نوسانات سالانه بارش حوضه آبریز دریاچه ارومیه: فصلنامه فضای جغرافیایی، ۷(۱۹)، ۶۳-۸۷.
- خوش‌اخلاق، ف.، قنبری، ن.، معصوم‌پور سماکوش، ج.، ۱۳۸۷، مطالعه اثرات نوسان اطلس شمالی بر رژیم بارش و دمای سواحل جنوبی دریای خزر: فصلنامه پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۴۰(۶۶)، ۵۷-۷۰.
- خوشرو، ع.، گندمکار، ا.، حاجیان، ع.، ۱۳۹۵، مطالعه روند تغییرات دمای حداکثر در ایران مرکزی طی نیم قرن گذشته و رابطه آن با نوسان اقیانوس اطلس شمالی و جنوبی: فصلنامه جغرافیا (برنامه‌ریزی منطقه‌ای)، ۶(۳)، ۱۹-۳۴.
- دانشمند، ح.، محمودی، پ.، ۱۳۹۵، تحلیل طیفی خشکسالی‌های ایران: مجله ژئوفیزیک ایران، ۱۰(۴)، ۲۸-۴۷.
- رضائی، م.، قویدل رحیمی، ی.، ۱۳۹۵، واکاو اثر الگوهای پیوند از دور نوسان اطلس شمالی و مدیترانه بر تغییرات ابرناکی زمستانه ایران: مجله پژوهش‌های دانش زمین، ۷(۱)، ۱-۱۵.
- رضائیان، م.، محب‌الحجه، ع.، احمدی گیوی، ف.، نصر اصفهانی، م. ع.، ۱۳۹۳، تحلیل آماری-دینامیکی رابطه بین مسیر توفان مدیترانه و نوسان اطلس شمالی بر مبنای فرایافت فعالیت موج: فصلنامه فیزیک زمین و فضا، ۴۰(۲)، ۱۳۹-۱۵۲.
- رضیعی، ت.، عزیزی، ق.، ۱۳۸۸، شناخت مناطق همگن بارشی در غرب ایران: مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، ۲۰(۲)، ۶۵-۸۶.
- صلاحی، ب.، حاجی‌زاده، ز.، ۱۳۹۲، تحلیلی بر رابطه زمانی نوسان اطلس شمالی و شاخص‌های دمای سطحی اقیانوس اطلس با تغییرپذیری بارش و دمای استان لرستان: فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ۲۸(۳)، ۱۱۹-۱۳۰.
- عالم‌زاده، ش.، احمدی گیوی، ف.، محب‌الحجه، ع.، نصر اصفهانی، م. ع.، ۱۳۹۲، تحلیل دینامیکی-آماري اثر متقابل نوسان اطلس شمالی (NAO) و نوسان مادون-جولیان (MJO): مجله ژئوفیزیک ایران، ۷(۴)، ۶۴-۸۱.
- عساکره، ح.، ۱۳۸۸، تحلیل طیفی سری‌های زمانی دمای سالانه تبریز: فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ۲۴(۳)، ۳۳-۵۰.
- عساکره، ح.، ۱۳۸۹، تحلیل چرخه‌های میانگین دمای سالانه شهر زنجان: جغرافیا و توسعه، ۸(۱۹)، ۱۱-۲۴.
- عساکره، ح.، خوش‌اخلاق، م.، شاه محمدی، ز.، ۱۳۹۵، استخراج الگوهای هم‌دید توأم با فاز مثبت نوسانات

تبدیل‌های زمان بسامد و کاربرد آنها)، ترجمه محمدحسن مرادی: انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، چاپ اول.

مسعودیان، س. ا.، ۱۳۸۷، ارتباط نوسان اطلس شمالی با بارش ایران: فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ۲۳ (۴)، ۳-۱۹.

نصر اصفهانی، م. ع.، احمدی گیوی، ف.، محب‌الحجه، ع.، ۱۳۸۹، بررسی انرژی‌تیک ارتباط نوسان اطلس شمالی (NAO) و گردش بزرگ مقیاس وردسپهر در جنوب غرب آسیا: فصلنامه فیزیک زمین و فضا، ۳۶ (۳)، ۱۳۱-۱۵۱.

نصر اصفهانی، م. ع.، احمدی گیوی، ف.، محب‌الحجه، ع.، ۱۳۹۲، شبیه‌سازی عددی نوسان اطلس شمالی (NAO) و آثار آن در جنوب غرب آسیا: فصلنامه فیزیک زمین و فضا، ۳۹ (۳)، ۱۴۵-۱۵۸.

Barnett, T. P., 1985, Variations in near-global sea level pressure: *Journal of Atmospheric Sciences*, **42**, 478-501.

Barnston, A. G., and Livezey, R. E., 1987, Classification, seasonality and persistence of low frequency atmospheric circulation patterns: *Monthly Weather Review*, **115**(6), 1083-1126.

Bretherton, C. S., and Battisti, D. S., 2000, An interpretation of the results from atmospheric general circulation models forced by the time history of the observed sea surface temperature distribution: *Geophysical Research Letters*, **27**(6), 767-770.

Byun, H. I., Lee, S. J., Morid, S., Choi, K. S., Lee, S. M., and Kim, D. W., 2008, Study on the periodicities of droughts in Korea: *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences*, **44**(4), 417-441.

Daneshmand, H., and Mahmoudi, P., 2017, Estimation and assessment of temporal stability of periodicities of droughts in Iran: *Water Resource Management*, **31**(11), 3413-3426.

D'Arrigo, R., Vilallba, R., Wiles, G., 2001, Tree-ring estimates of Pacific decadal climate variability: *Climate Dynamics*, **18**(3-4), 219-224.

اطلس شمالی (NAO) و تأثیر آن بر بارش زمستانه ایران: نشریه هیدروژئومورفولوژی، ۳ (۹)، ۱۱۳-۱۳۷. عساکره، ح.، رزمی، ر.، ۱۳۹۱، تحلیل تغییرات بارش سالانه شمال غرب ایران: مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، ۲۳ (۳)، ۱۴۷-۱۶۲.

غیور، ح.، عساکره، ح.، ۱۳۸۴، کاربرد مدل‌های فوریه در برآورد دمای ماهانه و آینده‌نگری آن، مطالعه موردی: دمای مشهد: فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ۲ (۷۷)، ۸۳-۹۹.

فتاحی، ا.، نوحی، ک.، دلاور، م.، ۱۳۸۸، بررسی سطح پوشش برف حوضه‌های جنوب غربی ایران در ارتباط با سیگنال‌های اقلیمی: فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ۴ (۹۵)، ۱۰۹-۱۳۱.

کارت رایت، م.، ۱۳۸۲، روش‌های فوریه برای مهندسان و محققان، ترجمه محمد جهانشاهی و حمیدرضا خاتمی: انتشارات دانشگاه تربیت معلم آذربایجان، چاپ اول.

کرم‌پور، م.، نصیری، ب.، مریانجی، ز.، غلامی، پ.، مرادی، خ.، بساطی، س.، ۱۳۹۴، واکاوی آماری موج گرمایی و دماهای گرانیگین بیشینه کرمانشاه و ارتباط آن با نوسان اطلس شمالی: نشریه جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۴ (۱۳)، ۵۹-۷۶.

محمودی، پ.، و دانشمند، ح.، ۱۳۹۷، کاربرد تحلیل موجک در شناسایی رفتار دوره‌ای خشکسالی‌های ایران: مجله جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۷ (۱)، ۱۵۳-۱۶۸.

مرتضی‌پور، س.، احمدی گیوی، ف.، محب‌الحجه، ع.، نصر اصفهانی، م. ع.، ۱۳۹۵، ارزیابی اثر بسته موج‌های کژفشار اقیانوس اطلس شمالی بر مسیر توفان دریای مدیترانه در زمستان ۲۰۱۱-۲۰۱۲: مجله ژئوفیزیک ایران، ۱۰ (۲)، ۱-۱۴.

مرتینز، آ.، ۱۳۸۰، آنالیز سیگنال (ویولت، فیلتر بانک،

- Oscillation and the influence on the theoretical spawning time of fish: *Deutsche Hydrografische Zeitschrift*, **49**, 267-275.
- Dippner, J. W., 1997b, Recruitment success of different fish stocks in the North Sea in relation to climate variability: *Deutsche Hydrografische Zeitschrift*, **49**(2-3), 277-293.
- Griffies, S., and Bryan, K., 1996, Predictability of North Atlantic multidecadal climate variability: *Science*, **275**, 181-184.
- Hegge, G. M., 1996, Spectral analysis of geomorphic time series: *Auto-Spectrum: Earth Surface Processes and Landforms*, **21**(11), 1021-1040.
- Hurrell, J. W., 1995, Decadal trends in the North Atlantic Oscillation: Regional temperatures and precipitation: *Science*, **269**, 676-679.
- Hurrell, J. W., 1996, Influence of variations in extratropical wintertime teleconnections on Northern Hemisphere temperature: *Geophysical Research Letters*, **23**(6), 665-668.
- Kirkyla, K. I., and Hameed, H., 1989, Harmonic analysis of the seasonal cycle in precipitation over the United States: A comparison between observations and a general circulation model: *Journal of Climate*, **2**(12), 1463-1475.
- Kushnir, Y., 1999, Europe's winter prospects: *Nature*, **398**, 289-291.
- Lana, X., and Burgueno, A., 2000, Statistical distribution and spectral analysis of rainfall anomalies for Barcelona (NE Spain): *Theoretical and Applied Climatology*, **66**(3-4), 211-227.
- Livada, I., Charalambous, M., and Assimakopoulos, N., 2008, Spatial and temporal study of precipitation characteristics over Greece: *Theoretical and Applied Climatology*, **93**(1-2), 45-55.
- Loewe, F., 1937, A period of warm winters in western Greenland and the temperature seesaw between western Greenland and central Europe: *Quarterly Journal of Royal Meteorological Society*, **63**(271), 365-372.
- Mann, K. H., and Drinkwater, K., 1994, Environmental influences on fish and shellfish production in the Northwest Atlantic: *Environmental Reviews*, **2**(1), 16-32.
- McKee, T. B., Doesken, N. J., Kleist, J., 1993, The relationship of drought frequency and duration to time scales: 8th conference on Applied Climatology, 17-22 January, Anaheim, USA.
- McKee, T. B., Doesken, N. J., Kleist, J., 1995, Drought monitoring with multiple time scales: in 9th AMS conference on Applied Climatology, 15-20 January, Dallas, USA.
- Mertz, G., and Myers, R. A., 1994, The ecological impact of the Great salinity anomaly in the northern North-west Atlantic: *Fisheries Oceanography*, **3**(1), 1-14.
- Rogers, J. C., 1984, The association between the North Atlantic Oscillation and the Southern Oscillation in the Northern Hemisphere: *Monthly Weather Review*, **112**(10), 1999-2015.
- Rogers, J. C., 1990, Patterns of low frequency monthly sea level pressure variability (1899-1996) and associated wave cyclone frequencies: *Journal of Climate*, **3**(12), 1364-1379.
- Spangenberg, A., and Bredemeier, M., 1999, Applications of spectral analysis to meteorological and soil solution chemistry data: *Chemosphere*, **39**(10), 1651-1665.
- Van Loon, H., and Rogers, J. C., 1978, The seesaw in winter temperatures between Greenland and northern Europe. Part I: General description: *Monthly Weather Review*, **106**(3), 296-310.
- Walker, G. T., 1924, Correlations in seasonal variations of weather IX: *Memoirs of the Indian Meteorological Department*, **24**(9), 275-332.
- Walker, G. T., and Bliss, E. W., 1932, World weather V: *Memoirs of the Royal Meteorological Society*, **4**(36), 53-84.
- Wallace, J. M., and Gutzler, D. S., 1981, Teleconnections in the geopotential height field during the northern hemisphere winter: *Monthly Weather Review*, **109**(4), 784-812.
- Yun-Ju, J., and Lee, J. Y., 2010, Time series analysis of hydrologic data obtained from a man-made undersea LPG Cavern: *Engineering Geology*, **113**(1-4), 70-80.
- Sorey, M. L., Vicki, S., McConnell, and Roeloffs, E., 2003, Summary of recent research in Long Valley caldera, California: *Journal of volcanology and geothermal research*, **127**(3-4), 165-173.
- Stein, R., 1999, The role of stress transfer in earthquake occurrence: *Nature*, **402**, 605-609.
- Van Der Wel, A., et al., 2014, 3D-HST+CANDELS: the evolution of the galaxy size-mass distribution since $z=3$: *The Astrophysical Journal*, **788**(1), 28.
- Wakita, H., 1975, Water wells as possible indicators of tectonic strain: *Science*, **189**(4202), 553-555.

- Wang, J., Agrawala, M., and Cohen, M. F., 2007, Soft scissors: an interactive tool for realtime high quality matting: in ACM Transactions on Graphics (TOG), **26**(3), 9.
- Wang, C. Y. and Chia, Y., 2008, Mechanism of water level changes during earthquakes: Near field versus intermediate field: Geophysical Research Letters, **35**(12), 1-5.
- Wang, L., Feng, Z., Wang, X., and Zhang, X., 2009, DEGseq: an R package for identifying differentially expressed genes from RNA-seq data: Bioinformatics, **26**(1), 136-138.
- Wang, C. Y., and Manga, M., 2010, Hydrologic responses to earthquakes and a general metric: Geofluids, **10**(1-2), 206-216.
- Xiaolong, S., Yaowei, L., and Hongwei, R., 2011, Influence of the 2011 Mw9.0 Japan earthquake on groundwater levels in Chinese mainland: Geodesy and Geodynamics, **2**(4), 33-39.
- Zhang, Y., Fu, L. Y., Huang, F., and Chen, X., 2015, Coseismic water-level changes in a well induced by teleseismic waves from three large earthquakes: Tectonophysics, **651-652**, 232-241.