

بررسی رابطه تغییرات جریان فصلی رودخانه‌های شمال غرب کشور با برخی شاخص‌های پیوند از دور با استفاده از تحلیل موجک

کیمیا امیرمادی^۱، علی اکبر سبزی پرور^{۲*}، علی دیهیمی^۳

تاریخ دریافت: ۹۳/۰۵/۰۵

تاریخ پذیرش: ۹۴/۰۲/۰۸

^۱ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد آبیاری زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

^۲ استاد، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

^۳ دانشیار، گروه مهندسی برق، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: swsabzi@basu.ac.ir

چکیده

در این مطالعه به بررسی ارتباط موجود بین جریان فصلی رودخانه‌های شمال غرب کشور و حالت‌های غالب تغییرات شرایط آب و هوایی موجود پرداخته شد. برای انجام این پژوهش از داده‌های ماهانه و فصلی جریان رودخانه ایستگاه‌های هیدرومتری واقع در شمال غرب کشور در طی دوره‌ی آماری ۱۳۸۸-۱۳۵۰ استفاده گردید. تبدیل موجک پیوسته روی دبی‌های میانگین فصلی جریان رودخانه برای ۳۳ ایستگاه هیدرومتری مورد مطالعه انجام شد. تحلیل موجک متقاطع بین جریان فصلی رودخانه‌ها و سه شاخص پیوند از دور منتخب NAO، PNA و SOI انجام شد. بیش‌ترین کوواریانس اقلیم-دبی توسط موجک متقاطع در دوره‌ی ۶-۲ سال بعد از سال ۱۳۷۰ (۱۹۹۱) برای شاخص‌های اقلیمی و دبی‌های فصلی مورد مطالعه پدیدار شد. نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل همبستگی در دوره ۶-۲ سال بین دبی‌های فصلی و شاخص‌های اقلیمی منتخب نشان داد که قوی‌ترین همبستگی بین شاخص NAO با جریان رودخانه فصل‌های بهار و زمستان برای دوره بعد از سال ۱۳۷۰ وجود دارد. شاخص‌های PNA و SOI وجود همبستگی منفی معنی‌داری را قبل از سال ۱۳۷۰ برای تمامی فصول نشان دادند. تحلیل طیف موجک متقاطع و همبستگی در دوره ۶-۲ سال حضور یک نقطه عطف در حدود سال ۱۳۷۰ در جریان رودخانه فصلی شمال غرب کشور را آشکار ساخت. نتایج تحلیل همبستگی نشان داد که افزایش تغییرات جریان بعد از سال ۱۳۷۰ ناشی از تأثیر شاخص NAO بر شمال غرب کشور هست. تغییرات به‌وجود آمده جریان فصلی رودخانه‌های شمال غرب کشور بعد از سال ۱۳۷۰ به‌وسیله شاخص‌های پیوند از راه دور می‌تواند از افزایش میانگین جهانی دمای هوا و تغییر اقلیم ناشی شده باشد.

واژه‌های کلیدی: تبدیل موجک پیوسته، تحلیل همبستگی، رودخانه‌های شمال غربی ایران، شاخص‌های SOI - PNA - NAO، موجک متقاطع

Analysis of the Relationship between Seasonal Streamflow Variations and some Teleconnection Indices by Wavelet Analysis Method (Case study: Northwest Rivers)

K Amirmoradi¹, AA Sabziparvar^{2*}, A Deihimi³

Received: 27 July 2014

Accepted: 28 April 2015

¹-Former M.Sc. Student, Dept. of Irrigation and Drainage Engineering, Bu-Ali Sina Univ., Iran

²-Prof., Dept. of Meteorology, Bu-Ali Sina Univ. Iran

³-Assoc. Prof., Dept. of Electrical Engineering, Bu-Ali Sina Univ. Iran

*Corresponding Author, Email :swsabzi@basu.ac.ir

Abstract

This work investigates the relationship between the seasonal streamflows and the dominant modes of climate variability. For this work, monthly and seasonal data from 33 hydrometric stations located in the Northwest of Iran were used during the period of 1971-2009. Continuous wavelet transform was implemented on the mean seasonal streamflows for all sites. Cross-wavelet analysis was also applied to the seasonal streamflows and three selected teleconnection indices [North Atlantic Oscillation (NAO), Pacific–North America (PNA) and Southern Oscillation Index (SOI)]. The wavelet cross-spectra of all seasons revealed strong climate–streamflow covariance within (2–6)-years time interval just after 1991. Correlation analysis within (2–6)-years time interval between the seasonal streamflow and the selected teleconnection indices showed the largest positive correlations with the NAO, for spring and winter seasons after the change point (1991). In contrast, PNA and SOI showed statistically significant correlations for all seasons before 1991. The cross-wavelet spectra and the correlation analysis within (2–6)-years interval also confirmed the occurrence of a change point around 1991 in seasonal streamflows.

Keywords: Continuous wavelet transform, Correlation analysis, Cross-wavelet, NAO-PNA, Northwest of Iran, SOI Indices

دهنده سطح زمین، از جنبه‌های گوناگون موردتوجه انسان بوده‌اند (یمانی و حسین‌زاده ۱۳۸۱). در سال‌های اخیر در نواحی مختلف دنیا تغییرات اقلیمی ایجاد شده است که موجب تغییرات برخی از پارامترهای آب و هواشناسی شده است. این تغییر اقلیم موجب کم‌آبی‌ها و خشک‌سالی‌هایی در بیشتر نقاط کشور از جمله شمال غرب گردیده است. ارتباط این تغییرات مقطعی یا متناوب با عوامل مختلف در دهه‌های اخیر موردتوجه

مقدمه

یکی از ثروت‌های اصلی یک ملت منابع آبی است که به‌صورت جاری در رودخانه‌های آن کشور جریان دارد و به‌دلیل نقش آن در مکان‌گزینی و گسترش آن در مکان‌گزینی و توسعه آبادی‌ها، شهرها و راه‌های ارتباطی و کشاورزی از گذشته دارای اهمیت قابل‌توجهی بوده است. به‌همین دلیل، دستگاه‌های رودخانه‌ای به‌عنوان یکی از حیاتی‌ترین عناصر تشکیل-

NAO با اقلیم جنوب غرب آسیا پرداختند. برای انجام این تحقیق از داده‌های مرکز NCEP/NCAR در دوره‌ی ۱۹۵۰ تا ۲۰۰۵ میلادی برای فصل زمستان استفاده گردید. نتایج بیانگر این بود که رخداد نوسان اطلس شمالی سبب تغییر کمیت‌های هواشناسی مهم که با شدت و حرکت چرخندها در مدیترانه و جنوب غرب آسیا مرتبط می‌باشند، می‌شود. کاهایا (۲۰۱۱) اثرات NAO بر هیدرولوژی کشورهای شرق مدیترانه از جمله ترکیه، ایران، کویت، عمان و اسرائیل را از یک دیدگاه کلی مورد بررسی قرار داد. شواهد فصلی نشان دادند که NAO بر روی هیدرولوژی کشورهای شرق دریای مدیترانه با بزرگی‌های متفاوت تأثیرگذار است.

به هر کمیت متغیر در زمان و مکان که قابل‌اندازه‌گیری باشد سیگنال می‌گویند. برای تحلیل سیگنال‌ها، مبدل‌های ریاضی مورد استفاده قرار می‌گیرند تا بتوان اطلاعاتی را که از سیگنال‌های خام به‌آسانی قابل استخراج نیست، به‌دست آورد. برای انجام این کار بیش از همه، تبدیل فوریه^۶ استفاده می‌شود (لاروکیو و همکاران ۱۹۹۸). یکی از محدودیت‌های اصلی تحلیل فوریه این است که نمی‌تواند موقعیت خود را در فضا و مکان حفظ کند. این محدودیت موجب می‌شود که این تحلیل در پیشامدهایی با فواصل نامنظم و یا سیگنال‌های نایستا^۷ خوب عمل نکند (اسمیت و همکاران ۱۹۹۸). تحقیقات اخیر نشان داده است که ساختارهای زمانی گزارش شده بارش-رواناب را نمی‌توان با استفاده از تجزیه و تحلیل طیفی کلاسیک یا همبستگی محاسبه کرد (لابات و همکاران ۲۰۰۰). تحت چنین شرایطی تبدیل موجک را می‌توان به‌عنوان یک جایگزین پیشنهاد نمود. موجک به عملیاتی گفته می‌شود که یک تابع جدید را از روی توابع پایه و با ایجاد تغییرات و پردازش در آن‌ها می‌سازد این نوع تحلیل، یک شیوه جدید برای پردازش سیگنال‌ها به زمان و مقیاس است. اغلب سیگنال‌ها در مطالعه یک حوضه آبخیز اعم از هیدرولوژیکی و هواشناسی نایستا و دارای روند هستند لذا با روش‌های آماری موجود نمی-

محققین بوده است. افت‌وخیزهای این پدیده‌های فرا اقلیمی به‌صورت شاخص‌های عددی نظیر NAO^۱، SOI^۲ و PNA^۳ تعریف شده‌اند.

پدیده نوسانات اطلس شمالی یا NAO تغییرات اقلیمی بزرگ مقیاس نیمکره شمالی است که به دلیل حالات نسبتاً ثابت دهه‌ای می‌تواند به تغییرات آب و هوایی در مناطق مختلف از جمله شمال آمریکا تا اروپا و حتی تا شمال آسیا منجر شود. الگوی اقیانوس آرام شمال آمریکا (PNA) یکی از شاخص‌های برجسته تغییرات اقلیمی نیمکره شمالی، مخصوصاً در زمستان است. PNA ارتباط زیادی با درجه حرارت و بارندگی در شمال آمریکا دارد. شاخص PNA با استفاده از متوسط ماهانه استاندارد شده فشار هوا در سه نقطه Aleutian (47.9 N-170 W)، Rockies (49 N-111 W) و جنوب شرق ایالات متحده (29.7 N-86.3 W) محاسبه می‌شود.

رویداد ENSO^۴ ترکیبی از ElNino و SO^۵ است که منجر به ناهنجاری‌های بزرگ آب و هوایی در بسیاری از نقاط جهان می‌شود. برای نخستین بار واکر و بلیس (۱۹۳۲ و ۱۹۳۷) به وجود چنین پدیده‌ای اشاره کردند و آن را نوسانات جنوبی یا SO نامیدند. شاخص نوسان جنوبی (SOI) نیز شاخص عددی مورد استفاده برای مطالعه پدیده ENSO است و مقادیر مثبت یا منفی این شاخص بیانگر فازهای مختلف انسو (لانینا و النینو) هست (مانتوا ۲۰۰۲).

از مطالعات انجام شده در ارتباط با تأثیر شاخص های اقلیمی بر جریان رودخانه‌های شمال غرب کشور می‌توان به مطالعه فاتحی مرج و همکاران (۱۳۸۵) اشاره کرد. در این مطالعه نشان داده شد که از بین شاخص‌های اقلیمی NOI، PDO، NINO3.4، SOI، NAO و PNA تغییرات جریان فصل بهار بیشتر رودخانه‌ها ناشی از شاخص‌های SOI منفی، PDO مثبت و NAO است. نصر اصفهانی و همکاران (۱۳۸۷) به بررسی ارتباط شاخص

^۱North Atlantic Oscillation

^۲Southern Oscillation Index

^۳Pacific North America

^۴ElNino Southern Oscillation

^۵Southern Oscillation

^۶Fourier transform

^۷Non-stationary signals

می‌دهد که تغییرات موجود بعد از سال ۱۹۵۰ به بعد مربوط به اثر شاخص NAO هست.

در مطالعه حاضر به بررسی ارتباط بین سری-های زمانی شاخص‌های اقلیمی بزرگ مقیاس شامل NAO، SOI، PNA و جریان رودخانه‌های شمال غرب کشور پرداخته شد. با استفاده از تحلیل موجک، موجک متقاطع و روش‌های آماری به شناسایی دوره غالب وقوع تغییرات و رابطه همبستگی میان دو پارامتر جریان رودخانه و شاخص‌های اقلیمی مورد مطالعه پرداخته شد تا بتوان وجود چنین ارتباطی و نیز چگونگی تأثیر آن بر نوسانات جریان رودخانه را ارزیابی کرد.

مواد و روش‌ها

داده‌ها و منطقه مطالعاتی

در این مطالعه از داده‌های جریان رودخانه ماهانه و فصلی ۳۳ ایستگاه هیدرومتری استان‌های آذربایجان شرقی، آذربایجان غربی، کردستان، کرمانشاه و همدان در دوره آماری ۱۳۵۰-۱۳۸۸ استفاده گردید. توپوگرافی و موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه در شکل ۱ نشان داده شده است. به‌عنوان نمونه سری زمانی ماهانه جریان رودخانه یکی از ایستگاه‌های هیدرومتری مورد مطالعه (ایستگاه ونیار) طی دوره آماری ۱۳۵۰-۱۳۸۸ در شکل ۲ نشان داده شده است. انتخاب ایستگاه‌های مورد مطالعه با اولویت کامل‌تر بودن تعداد داده‌های هیدرومتری مورد نیاز نسبت به دیگر ایستگاه‌ها در منطقه مورد مطالعه هست. قبل از انجام تجزیه و تحلیل بر روی داده‌ها آزمون کیفیت که شامل بررسی همگنی و پرت بودن داده‌های مورد مطالعه بود، انجام شد. کنترل کیفی همگنی داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS و آزمون Run و پرت بودن داده‌ها با استفاده از نمودار Box-Plot انجام شد.

توان به آشکارسازی نوسانات پرداخت. امروزه محققین با به‌کارگیری علم ریاضی و کاربرد روش‌هایی همچون موجک به این مشکلات پاسخ مناسبی داده‌اند. این موضوع یکی از مشخصه‌های مفید و لازم برای تحلیل الگوهای زمانی پیچیده از قبیل شاخص‌های اقلیمی و سری زمانی هیدرولوژیکی است. استفاده از تحلیل موجک برای سری‌های زمانی هیدرولوژیکی جهت ارائه جزئیات مفید و کاربردی، تأکید شده است. امروزه مدل موجک در منابع آب و هواشناسی کاربرد زیادی پیدا کرده است (یان و همکاران ۲۰۰۴، کاساک ۲۰۰۴).

از جمله مطالعات انجام‌شده در ارتباط با استفاده از تحلیل موجک جهت بررسی ارتباط میان جریان رودخانه و شاخص‌های اقلیمی می‌توان به مطالعه آنستیل و کولیالی (۲۰۰۳) اشاره کرد. در این مطالعه به توصیف تغییرپذیری محلی میان سالانه دبی منطقه کبک^۸ در جنوب کانادا بر اساس تجزیه و تحلیل موجک و شناسایی پیوند از راه دور اقلیم‌های موجود به‌منظور توضیح دادن این تغییرات محلی پرداخته شد. روابط خطی بین دبی‌های منطقه‌ای و پنج شاخص اقلیمی NAO، ENSO3، PNA، NAM^۹ و BWA^{۱۰} محاسبه گردید. از تحلیل همبستگی پی به وجود یک نقطه عطف در سری زمانی دبی در حدود سال ۱۹۷۰ برده شد.

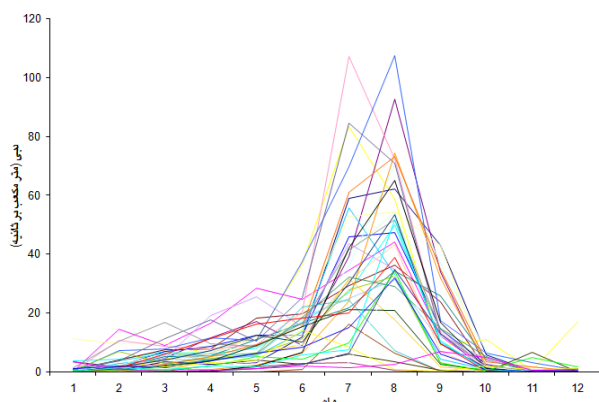
کولیالی و برن (۲۰۰۵) از تحلیل موجک و موجک متقاطع جهت شناخت و توصیف تغییرات مکانی و زمانی دبی‌های فصلی کانادا و همچنین جهت به‌دست آوردن دیدگاهی در رابطه با پیوستگی دینامیکی موجود بین دبی‌های فصلی و حالت‌های غالب تغییرات شرایط آب و هوایی موجود در نیمکره شمالی استفاده کردند. در پژوهش نامبردگان تحلیل موجک متقاطع بین دبی-های فصلی و شاخص‌های اقلیمی NAO، ENSO3^{۱۱} و PNA انجام شد. بهترین کوواریانس اقلیم-دبی توسط موجک متقاطع در دوره‌ی ۶-۲ سال بعد از سال ۱۹۵۰ برای شاخص‌های آب و هوایی مورد مطالعه را نشان

^۲Québec

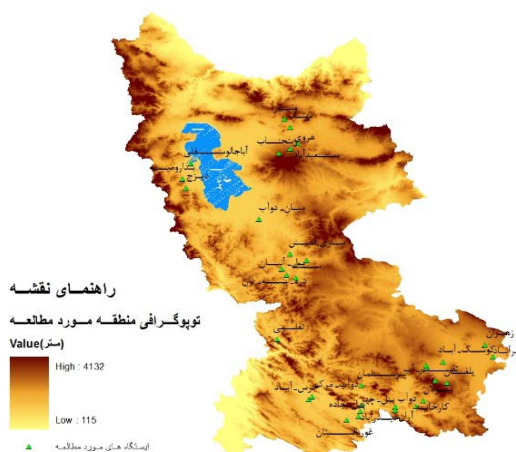
^۳The Northern hemisphere Annular Mode

^۴The Baffin island-West Atlantic

^{۱۱}Sea surface temperature series over the Niño-3 region



شکل ۲- تغییرات ماهانه جریان رودخانه ایستگاه ونیار طی دوره آماری ۱۳۵۰-۱۳۸۸.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های هیدرومتری مورد مطالعه.

تحلیل موجک

موجک‌ها توابع ریاضی هستند که شکل سری-های زمانی و روابط آن‌ها را جهت تحلیل سری‌های زمانی که شامل متغیرها و غیرثابت‌ها هست، ارائه می‌دهند. تجزیه سری زمانی به مقیاس- زمان نه تنها به شناسایی حالت‌های غالب تغییرات می‌پردازد بلکه به تعیین این حالات در زمان‌های متفاوت می‌پردازد. عبارت موجک به معنای موج کوچک هست که دارای سه مشخصه تعداد نوسان محدود، بازگشت سریع به صفر در هر دو جهت مثبت و منفی در دامنه خود و میانگین صفر است که شرط مقبولیت نامیده می‌شود (فارگ ۱۹۹۲) و به شکل رابطه ۱ بیان می‌شود:

$$\int \psi(t) dt = 0 \quad [1]$$

که در آن $\psi(t)$ تابع تبدیل موجک (موجک مادر) هست. عبارت مادر به این دلیل به کار رفته است که توابع (موجک‌های) متفاوت به وجود آمده بر اساس پارامتر-های مقیاس و انتقال همگی از تابع پایه (موجک مادر) ناشی می‌شوند (طوفانی و همکاران ۱۳۹۰).

تبدیل موجک

تبدیل موجک اولین بار در سال ۱۹۸۰ به عنوان یک ابزار جهت تحلیل سیگنال‌ها معرفی شد. این تبدیل برای غلبه بر ضعف تبدیل فوریه ابداع شد. در روش

نتایج حاصل از آزمون Run نشان داد که داده-های جریان رودخانه‌های شمال غرب کشور همگن بودند. بررسی پرت بودن داده‌های مورد مطالعه با استفاده از نمودار Box-Plot به سه صورت میان ایستگاهی، سالانه و ماهانه انجام پذیرفت. بررسی بدین صورت بود که اگر داده‌ای در این سه حالت پرت دیده می‌شد با استفاده از روش‌های آماری موجود اصلاح گردد. نتایج حاصل از نمودار Box-Plot برای این سه حالت نشان داد که در بین داده‌های ایستگاه‌های هیدرومتری منتخب داده‌ی پرت برای ۳۹ سال مورد مطالعه وجود نداشته است. برای این تحقیق مقادیر ماهانه شاخص‌های اقلیمی شامل SOI, NAO و PNA طی دوره آماری ۱۹۷۱ تا ۲۰۱۰ میلادی مشابه دوره آماری جریان رودخانه، تهیه و مورد استفاده قرار گرفت. از آنجایی که شاخص‌های مذکور به صورت نرمال و استاندارد می‌باشند، از این رو جریان رودخانه‌های غرب کشور ایستگاه‌های مورد مطالعه نیز نرمال و استاندارد شدند. برای مطالعه ارتباط بین جریان رودخانه‌های شمال غرب کشور با شاخص‌های اقلیمی SOI, NAO, PNA از روش تحلیل موجک و روش‌های آماری استفاده گردید.

گسسته و پیوسته استفاده می‌شود. تبدیل موجک پیوسته برای علوم ژئوفیزیک و سری‌های زمانی هیدرولوژیکی به علت وجود طیف گسترده‌ای از فرکانس‌های ممکن مناسب‌تر است. از تبدیل موجک به منظور تحلیل سری‌های زمانی با سیگنال‌های مختلف از نوع نایستا استفاده می‌گردد (دابچی ۱۹۹۰).

تبدیل موجک پیوسته از یک توالی گسسته x_n به صورت حلقه‌ای از x_n با پارامترهای مقیاس و انتقال از $\psi_0(\eta)$ به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$W_n(s) = \sum_{n'}^{N-1} x_{n'} \Psi \left[\frac{(n' - n)\delta t}{s} \right] \quad [۳]$$

در این رابطه N تعداد نقاط موجود در سری زمانی، s مقیاس موجک، n شاخص زمان موضعی شده و علامت * معرف مزدوج مختلط هست. در این مطالعه تحلیل تبدیل موجک پیوسته با استفاده از موجک مورلت مختلط انجام شد.

از آنجاکه پیچیدگی موجک منجر به پیچیدگی تبدیل موجک پیوسته هست، طیف توانی موجک را می-

توان به صورت $|W_n(s)|^2$ نشان داد که شرح مناسبی از نوسانات واریانس در فرکانس‌های مختلف ارائه می‌دهد. به منظور آسان‌سازی مقایسه طیف‌های توانی موجک نیاز به پیدا کردن نرمال‌سازی برای طیف موجک است.

برای سری زمانی نویز سفید، مقادیر مورد انتظار $\frac{\sigma^2}{n}$ هست که σ^2 واریانس است. بنابراین، برای فرآیند یک نویز سفید، مقدار مورد نیاز برای تبدیل موجک

$\sigma^2 = |W_n(s)|^2$ برای تمامی n و s هست. برای نرمال‌سازی طیف توانی موجک از رابطه $\frac{|W_n(s)|^2}{\sigma^2}$ استفاده

گردید که σ^2 واریانس سری زمانی موجود است. نرمال‌سازی با استفاده از $\frac{1}{\sigma^2}$ اندازه‌گیری توان نسبت

به نویز سفید را نشان می‌دهد. از آنجایی که هدف این مطالعه، شناسایی فرکانس غالب وقوع تغییرات موجود است، از روش تبدیل موجک استفاده شده است. موجک

فوریه موج‌های پایه، موج‌های سینوسی و کسینوسی (هارمونیک) می‌باشند درحالی‌که محتوای فرکانسی هر فرکانس فقط یک نقطه است؛ همچنین روش تبدیل فوریه فقط محتوای فرکانس هر موج را مشخص می‌کند و زمان وقوع هر فرکانس در موج اصلی را نشان نمی‌دهد. تبدیل موجک عملگری هست که یک تابع را به مجموعه-ای از تبدیل موجک‌های مادر اصلاح‌شده تبدیل می‌کند که این تبدیل موجک‌های اصلاح‌شده همان تبدیل موجک دختر می‌باشند.

به‌طور کلی دو نوع تبدیل موجک وجود دارد: ۱-

تبدیل موجکی پیوسته (1CWT) و ۲- تبدیل موجکی گسسته (2DWT). از آنجایی که هدف این مطالعه، شناسایی فرکانس غالب وقوع تغییرات موجود است، از روش تبدیل موجک پیوسته استفاده شده است. سری زمانی x_n با گام‌های زمانی δt ، که $n = 0, \dots, N-1$ و همچنین تابع موجک $\psi_0(\eta)$ ^۴ که به پارامتر بدون بعد η وابسته هست، در نظر گرفته می‌شود. موجک مورلت^۵ تابع مناسبی برای شناسایی تغییرات مداوم در سیگنال‌های ژئوفیزیک است که شامل یک جمله گوسی و یک جمله مدولاسیون است به صورت زیر تعریف می‌گردد (رابطه ۲):

$$\psi_0(\eta) = \pi^{-1/4} e^{i\omega_0 \eta} e^{-\eta^2/2} \quad [۲]$$

در رابطه ۲، پارامتر ω_0 نشان‌دهنده فرکانس (بدون بُعد) هست که جهت برقراری شرط مقبولیت عدد ۶ در نظر گرفته شده است (فارگ ۱۹۹۲). مقیاس موجک مورلت معادل با دوره فوریه نمایی مختلط است و عبارت مقیاس و دوره می‌توانند به صورت معادل به کار روند. اصطلاحاً تابع موجک مورد استفاده، اشاره به دو موجک متعامد و غیرمتعامد دارد. اصطلاح "پایه موجک"^۶ اشاره به مجموعه توابع متعامد دارد. اصل متعامد فقط در تبدیل موجک گسسته کاربرد دارد درحالی‌که تابع موجک نامتعامد در تبدیل موجک

¹Continues wavelet transform

²Discrete wavelet transform

³Wavelet function

¹⁵ Morlet wavelet

¹⁶Wavelet basis

آن است که واریانس موجود در داده‌های چند متغیره را به مؤلفه‌هایی تجزیه کند که اولین مؤلفه تا آنجا که ممکن است علت بیشترین واریانس موجود در داده‌ها باشد. با اعمال این روش، متغیرهای ورودی اولیه به مؤلفه‌های جدید و بدون همبستگی تبدیل می‌شوند؛ به طوری که مؤلفه‌های ایجاد شده، ترکیبی خطی از متغیرهای ورودی‌اند (لو و همکاران ۲۰۰۳).

در این مطالعه ماتریس ورودی داده شده به نرم افزار SPSS جهت انجام تحلیل تجزیه به مؤلفه اصلی شامل ۲۹ سطر (تعداد سال‌های مورد مطالعه) و ۳۳ ستون (تعداد متغیرها که همان ایستگاه‌های مورد مطالعه می‌باشند) بود. در این مطالعه از ماتریس همبستگی جهت انجام تحلیل مربوطه استفاده شده است.

از حاصل ضرب ماتریس پراکنش در ماتریس بارها، ماتریس نمرات مؤلفه‌ها به دست می‌آید. ماتریس نمرات مؤلفه‌ها در واقع رابطه میان مشاهدات و مؤلفه‌ها را معلوم می‌سازد. به عبارت دیگر نمرات مؤلفه‌ها ارزش هر کدام از مشاهدات در مؤلفه‌های جدید بوده و به شرح ذیل محاسبه می‌شود:

$$\hat{F}_{jk} = \sum_{i=1}^p W_{ji} Z_{ik} \quad [5]$$

که در آن Z_{ik} مقدار استاندارد شده مشاهده k ام از متغیر i ام و W_{ji} ضریب نمرات متغیر i ام در مؤلفه j ام است. تعداد متغیرها از $i=1$ تا $i=p$ است. بدین ترتیب با کاهش مشاهدات، به جای بررسی تمام متغیرها برای توصیف جریان رودخانه از سری زمانی نمرات چند مؤلفه محدود که نماینده مشاهدات می‌باشند، استفاده گردید.

شکل ۳ نمرات مؤلفه اصلی اول به دست آمده از ایستگاه‌های هیدرومتری مورد مطالعه را نشان می‌دهد. نمرات مؤلفه اصلی اول (PC1) برای هر چهار فصل بهار، تابستان، پاییز و زمستان حاصل و ترسیم گردید (شکل ۳). نمرات مؤلفه اصلی اول برای فصول تابستان، پاییز و بهار زمستان کاهش مقدار دبی را از سال ۱۳۷۰ به بعد نشان می‌دهد.

مورلت تابع مناسبی برای شناسایی تغییرات مداوم در سیگنال‌های ژئوفیزیکی است.

به منظور بررسی ارتباط دو متغیر در حوزه زمان-مقیاس (فرکانس) نیاز به بسطی دومتغیره از تبدیل موجک هست (عبداللهی اسدآبادی و همکاران ۱۳۹۳). در سال ۱۹۹۳، هادگینز برای اولین بار مفهوم تبدیل موجک متقاطع^{۱۷} را ارائه کرد. این مفهوم اولین بار در سال ۱۹۹۳ توسط لابات در تحلیل‌های هیدرولوژیکی مورد استفاده قرار گرفت (لابات ۲۰۱۰). در این مطالعه جهت بررسی ارتباط میان جریان رودخانه و شاخص‌های اقلیمی از موجک متقاطع استفاده شد. طیف توانی موجک متقاطع بیشترین مقدار کوواریانس بین دو سری زمانی (X, Y) را نشان می‌دهد (گرینستد و همکاران ۲۰۰۴). طیف توانی موجک متقاطع با استفاده از رابطه ۴ بیان می‌شود:

$$\left| W_n^{XY}(s) \right| = \left| W_n^X(s) W_n^{Y*}(s) \right| \quad [4]$$

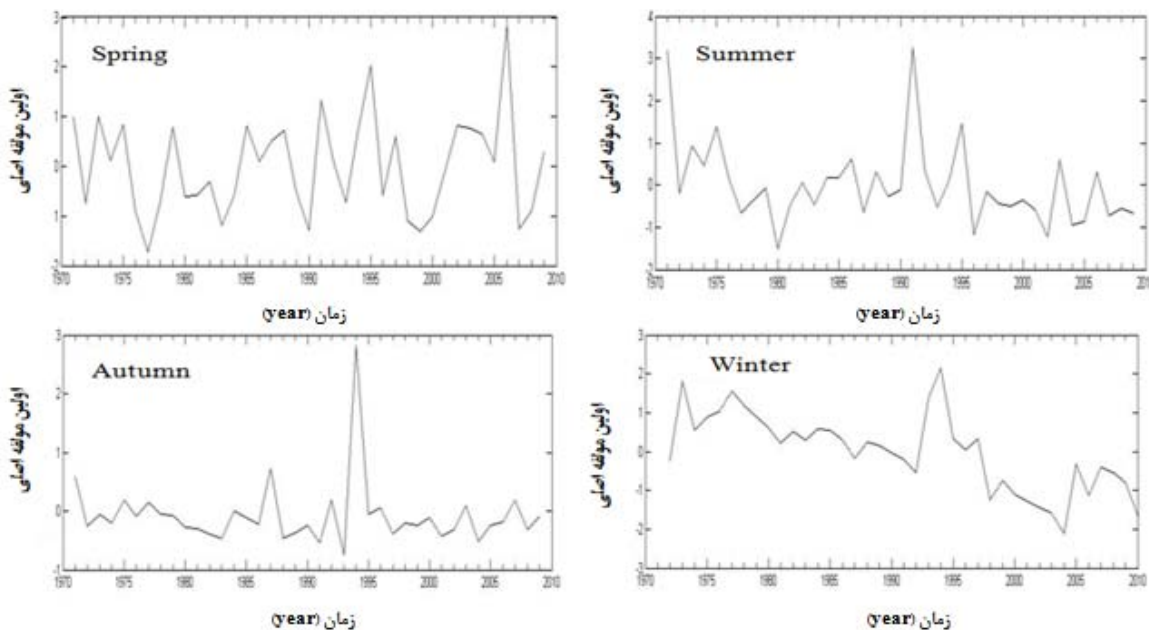
که $W_n^{Y*}(s)$ مزدوج مختلط $W_n^Y(s)$ است و با استفاده از رابطه $\frac{1}{\sigma_X \sigma_Y}$ نرمال می‌شود.

با استفاده از طیف توانی موجک متقاطع به دست آمده از موجک مورلت مختلط هم می‌توان ویژگی‌های مشترک بین شاخص‌های اقلیمی و جریان رودخانه فصلی را مشاهده کرد هم تغییرات زمانی میان این دو پارامتر را مشخص کرد. نرم‌افزارهای مورد استفاده از تجزیه و تحلیل داده‌ها شامل نرم‌افزارهای SPSS، Matlab و Excell هستند.

نتایج و بحث

جهت تخمین تغییرپذیری جریان رودخانه در منطقه مورد مطالعه، از تحلیل تجزیه به مؤلفه اصلی استفاده شد. تجزیه مؤلفه اصلی از روش‌های آماری چندمتغیره است که می‌توان از آن برای کاهش تعداد متغیرها و تفسیر بهتر اطلاعات استفاده کرد (کامدویرن و همکاران ۲۰۰۵). هدف از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی

¹ Cross wavelet



شکل ۳- سری زمانی نمرات مؤلفه اصلی اول از جریان رودخانه فصلی ایستگاه‌های هیدرومتری منتخب.

شکل ۴ (الف) طیف توانی موجک موضعی^۱ نرمال شمال را برای شاخص فصلی NAO با استفاده از موجک مورلت بیان می‌کند. مقیاس موجک مورلت دقیقاً معادل با دوره‌ی زمانی فوریه با تابع نمایی مختلط است و عبارت مقیاس و دوره می‌توانند به صورت معادل به کار گرفته شوند (تورنس و کمپو ۱۹۹۸، تورنس و وبستر ۱۹۹۹). در شکل ۴ (ب) طیف توانی موجک متقاطع موضعی نرمال از داده‌های فصلی جریان رودخانه و شاخص فصلی NAO برای فصل‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد. نمودار خط‌چین در شکل ۴ نشان‌دهنده‌ی مخروط نفوذ (COI) از تحلیل موجک است (تورنس و وبستر ۱۹۹۹). این منحنی نشان‌دهنده منطقه نفوذ است و مناطقی که در خارج از این منحنی قرار گرفتند بدین علت است که به سمت صفر کاهش پیدا کردند (در اطراف دوره زمانی ۱۲ سال) که این مسئله به خاطر محدود بودن طول داده‌های مورد مطالعه هست. خطوط کنتور مشکی مشاهده شده در شکل ۴ نشان‌دهنده سطح اطمینان ۹۵ درصد نویز قرمز با استفاده از مدل اتورگرسیو تک متغیره و با ضریب همبستگی α محاسبه می‌شود (تورنس و کمپو ۱۹۹۸).

جهت بررسی ارتباط میان جریان رودخانه فصلی و شاخص‌های پیوند از راه دور NAO، SOI و PNA از موجک متقاطع بین نمرات مؤلفه اصلی اول و هر کدام از شاخص‌های منتخب استفاده گردید. به منظور انجام موجک متقاطع از موجک مادر مورلت مختلط استفاده شد. موجک متقاطع توزیع کوواریانس میان جریان رودخانه و شاخص‌های اقلیمی در مقیاس‌های زمانی مختلف را نشان می‌دهد. شکل‌های ۴ تا ۶ نتایج تحلیل مربوطه به تحلیل موجک متقاطع بین شاخص‌های پیوند از راه دور و جریان رودخانه فصلی را نشان می‌دهد. مقادیر هر کدام از شاخص‌ها برای چهار فصل مورد مطالعه به صورت فصلی محاسبه گردید.

شکل‌های ۴ تا ۶ نتایج حاصل از تحلیل موجک برای هر کدام از شاخص‌ها در هر سطر نتایج حاصل از تحلیل موجک برای شاخص‌ها و نتایج حاصل از موجک متقاطع میان نمرات مؤلفه اصلی اول و شاخص‌های اقلیمی برای فصول مورد مطالعه را نشان می‌دهد. در هر کدام از گراف‌ها نمودار افقی نشان‌دهنده‌ی زمان (سال) و محور عمودی نشان‌دهنده دوره‌ی فوریه که معادل با مقیاس موجک است (از این به بعد به نام دوره‌ی موجک نامیده می‌شود).

^۱Local wavelet power spectrum

و قاره‌های مجاور قابل توجه هست (مارشال و همکاران ۲۰۰۱).

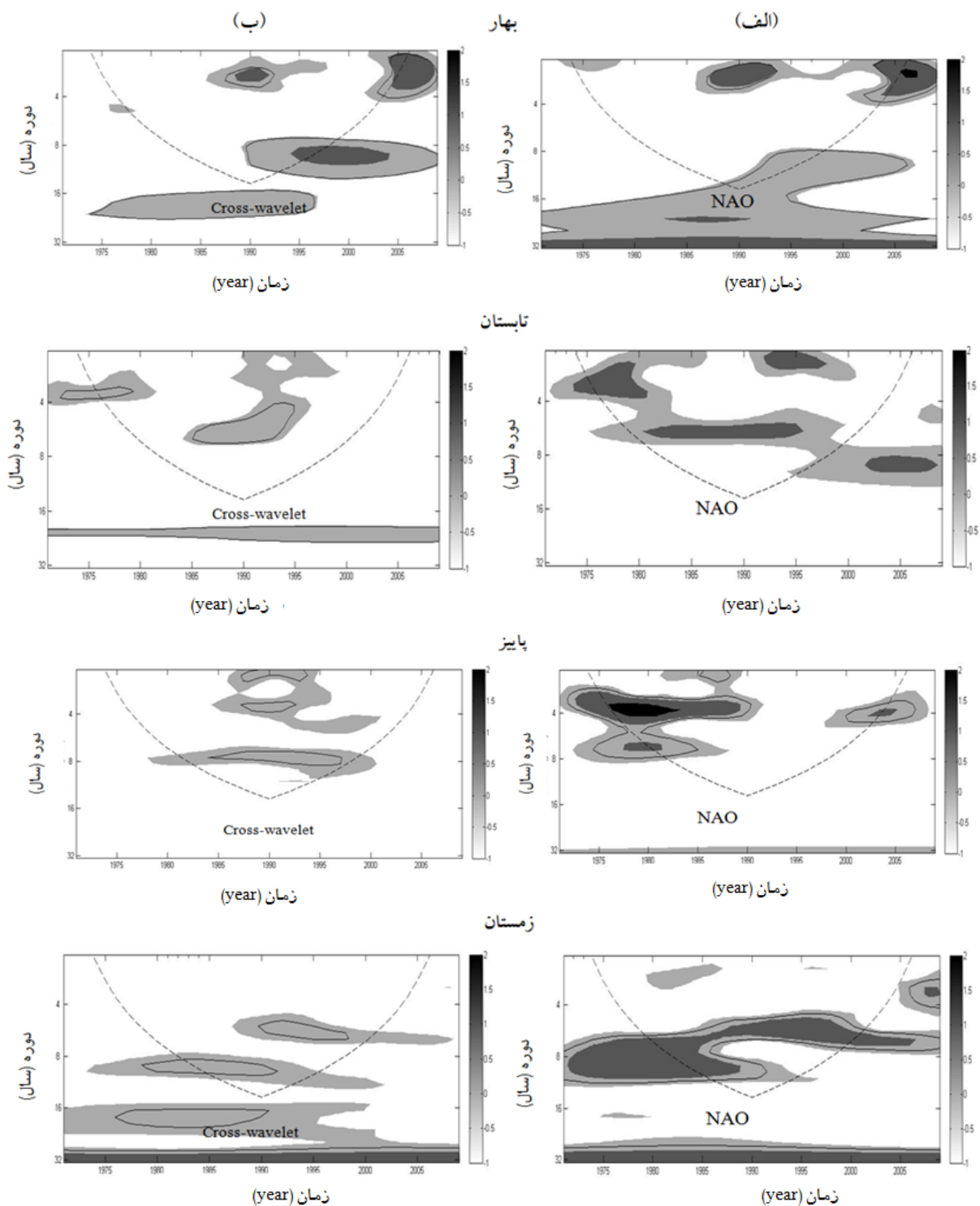
نتایج مربوط به شاخص PNA در شکل ۵ نشان داده شده است. در اطراف دوره‌ی ۱۶ سال به‌ویژه در تمامی فصل‌ها به‌غیر از فصل بهار، واریانس از شدت بیشتری برخوردار هست. تحلیل موجک متقاطع میان شاخص PNA و جریان رودخانه‌های فصلی منطقه مورد مطالعه کواریانس شدیدتری را در محدوده وسیع‌تری با تغییرپذیری بیشتری برای فصل‌ها به‌ویژه فصول پاییز و زمستان نشان می‌دهد. این نتیجه مشخص می‌کند که PNA می‌تواند بر روی جریان رودخانه تغییرات زیادی به‌صورت فصلی و مکانی ایجاد کند.

نتایج مربوط به شاخص SOI در شکل ۶ نشان داده شده است. از شکل ۶ مشاهده می‌شود که واریانس قابل‌توجهی در اطراف دوره‌ی ۶-۲ سال موجود است. واریانس‌های شدید در اطراف سال‌های ۲۰۰۰-۱۹۸۵ اتفاق افتاده است. قوی‌ترین واریانس برای فصل‌های بهار و تابستان نسبت به دو فصل دیگر مشاهده می‌شود.

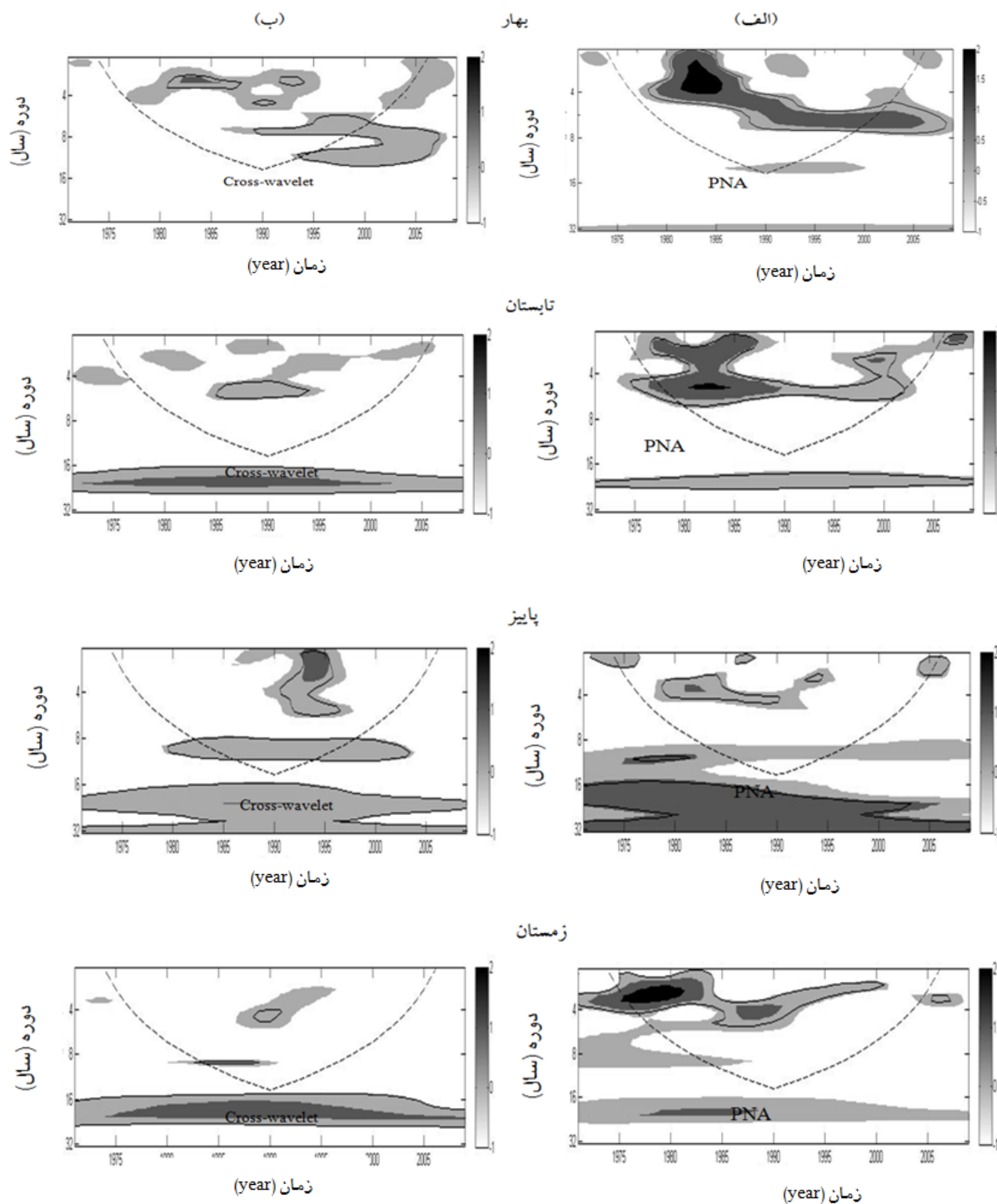
در تحلیل موجک متقاطع شدیدترین کواریانس در اطراف دوره ۶-۲ سال متمرکز شده است. همچنین مشاهده می‌شود که شدیدترین کواریانس در فصول بهار و پاییز اتفاق افتاده است. به‌طور کل تحلیل موجک متقاطع کواریانس قوی را در اطراف دوره ۶-۲ سال و به‌طور عمده بعد از سال ۱۹۹۱ (۱۳۷۰) برای شاخص‌های منتخب و جریان رودخانه فصلی منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد.

در مورد ارتباط میان جریان رودخانه و شاخص NAO کواریانس شدیدی به‌ویژه در فصل بهار و از سال ۱۹۹۱ (۱۳۷۰) به بعد دیده می‌شود (شکل ۴). یک ارتباط معنی‌داری بین جریان رودخانه و شاخص SOI در حدود سال‌های ۲۰۰۰-۱۹۹۰ وجود دارد (شکل ۶). می‌توان نتیجه گرفت که شاخص NAO و SOI نقش مهمی در برابر تغییرات جریان رودخانه از سال ۱۹۹۱ (۱۳۷۰) به بعد دارند. فقط شاخص PNA است که وجود کواریانس قوی قبل از سال ۱۹۹۱ (۱۳۷۰) را نشان می‌دهد.

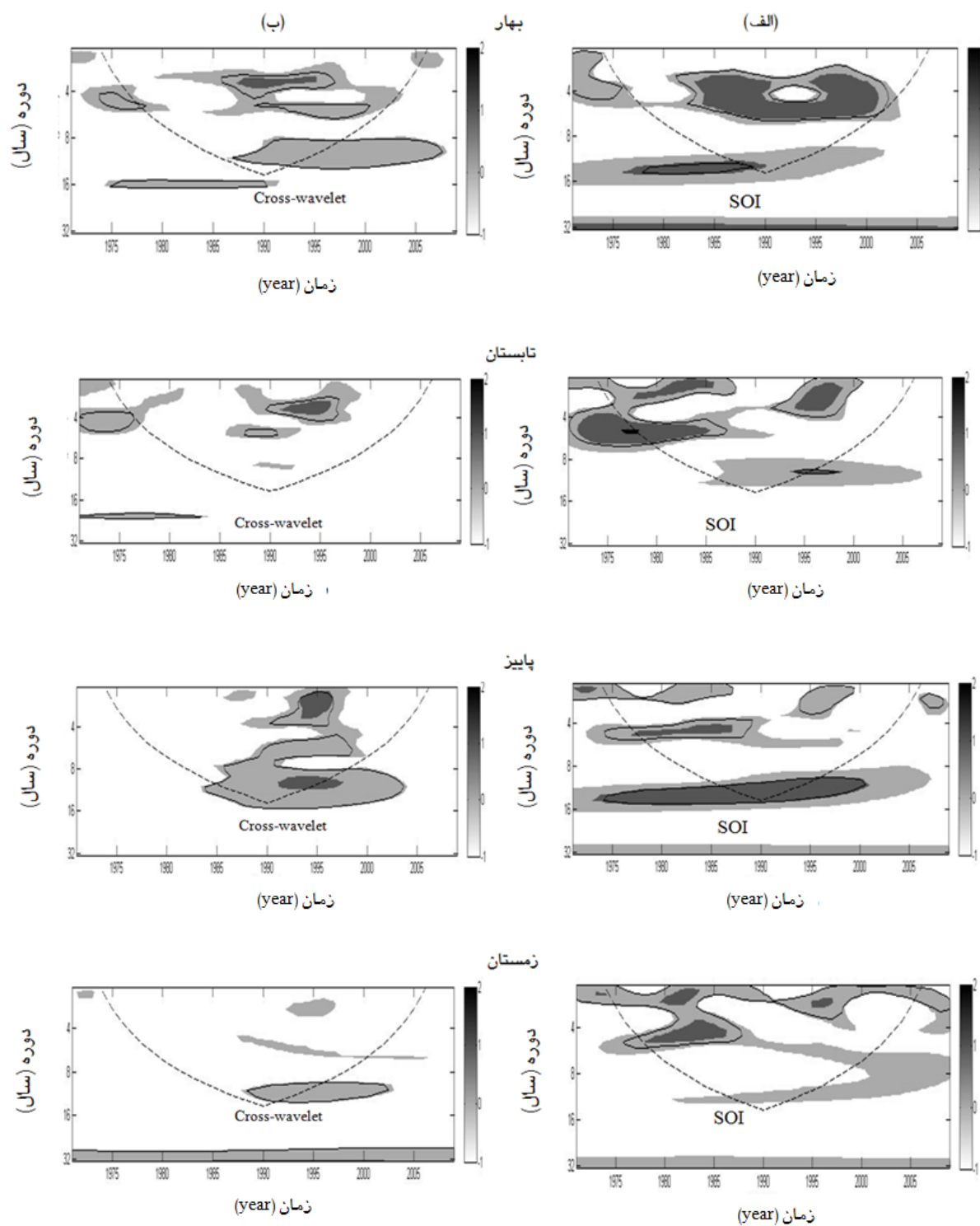
در یک تعریف کلی، به هر نوسان و تغییر غیرعمدی که بر روی سیگنال‌های مورد اندازه‌گیری ظاهر می‌شود، نویز گفته می‌شود. نویز سفید تمامی فرکانس‌ها را دربردارد ولی نویز قرمز فقط شامل محدوده‌ای از فرکانس‌ها ($1/f^2$) هست. سطح اطمینان ۹۵ درصد دلالت بر این دارد که ۵ درصد از توان موجک باید بالاتر از این سطح باشد که فرض می‌شود مناطقی که طیف توان آن‌ها خارج از سطح اطمینان ۹۵ درصد هست، فقط حاصل از اغتشاش است. فرآیند طبیعی موجود در این مناطق از اندازه طیف توانی کمتری برخوردارند (تورنس و کمپو ۱۹۹۸). در شکل ۴ (الف) دیده می‌شود که شاخص NAO به‌طور کلی در دوره‌ی ۸-۲ سال واریانس قوی‌تری را نسبت به دوره‌های دیگر برخوردار هست. از اشکال مشاهده می‌شود که این شاخص در فصل زمستان نسبت به بقیه فصول واریانس قوی‌تری را به‌خود اختصاص داده است. این نتایج از داده‌های ثبت‌شده شاخص مربوطه حاصل‌شده است و مقادیر این شاخص در فصل زمستان از واریانس بیشتری برخوردار می‌باشند. برای تحلیل موجک متقاطع نیز کواریانس در دوره‌های ۸-۲ سال بیشتر دیده می‌شود که در فصل بهار و زمستان نسبت به فصول پاییز و تابستان بیشتر هست. در فصول بهار، تابستان و پاییز تغییرات بعد از سال ۱۹۹۱ میلادی (۱۳۷۰) قابل‌ملاحظه‌تر است. حضرتی و همکاران (۲۰۰۴) با مطالعه تأثیر پدیده‌های نوسانات اطلس شمالی و جنوبی بر دما و بارش حوضه دریاچه ارومیه به این نتیجه رسیدند که بارش زمستانه حوضه با نوسانات اطلس شمالی و بارش پاییزه با نوسانات جنوبی در ارتباط هست. کلن و همکاران (۲۰۰۲) به بررسی شاخص NAO بر جریان رودخانه‌های خاورمیانه پرداختند و نتایج این پژوهش هم نشان داد که شاخص NAO از ماه دسامبر تا مارس بر روی جریان رودخانه‌های مورد مطالعه مؤثر بوده است. کاهایا (۲۰۱۱) نشان داد که شاخص NAO بر روی هیدرولوژی کشورهای شرق دریای مدیترانه با اندازه‌های متفاوت، تأثیرگذار است. اثر NAO بر روی جریان رودخانه با نوسانات این شاخص و تأثیر آن بر دما، باران و طوفان‌ها بر بخشی از آتلانتیک



شکل ۴- (الف) طیف توانی موجک موضعی نرمال از شاخص فصلی NAO در فصل‌های بهار، تابستان، پاییز و زمستان با استفاده از موجک مورلت. (ب) طیف توانی موجک متقاطع موضعی نرمال از داده‌های فصلی جریان رودخانه و شاخص فصلی NAO در فصل‌های بهار، تابستان، پاییز و زمستان. منحنی خط چین در اشکال (الف) و (ب) نشان‌دهنده‌ی مخروط نفوذ (COI) است که در این ناحیه اثرات لبه‌ها مهم‌تر است. خطوط کنتور مشکی در اشکال (الف) و (ب) سطح اطمینان ۹۵٪ محاسبه شده برای نویز قرمز با استفاده از مدل اتورگرسیو با ۱ تأخیر را نشان می‌دهند.



شکل ۵- (الف) طیف توانی موجک موضعی نرمال از شاخص فصلی PNA در فصل‌های بهار، تابستان، پاییز و زمستان با استفاده از موجک مورلت. (ب) طیف توانی موجک متقاطع موضعی نرمال از داده‌های فصلی جریان رودخانه و شاخص فصلی PNA در فصل‌های بهار، تابستان، پاییز و زمستان. مشخصات این نمودارها مشابه با توضیحات شکل ۴ هست.



شکل ۶- (الف) طیف توانی موجک موضعی نرمال از شاخص فصلی SOI در فصل‌های بهار، تابستان، پاییز و زمستان با استفاده از موجک مورلت. (ب) طیف توانی موجک متقاطع موضعی نرمال از داده‌های فصلی جریان رودخانه و شاخص فصلی SOI در فصل‌های بهار، تابستان، پاییز و زمستان. مشخصات این نمودارها مشابه با توضیحات شکل ۴ هست.

NAO و جریان رودخانه فصلی در نتایج این پژوهش نیز مشاهده می‌شود. تحلیل همبستگی برای شاخص PNA نشان می‌دهد که مقادیر فصل تابستان این شاخص برای قبل و بعد از سال ۱۳۷۰ و در کل دوره زمانی مورد مطالعه مقدار همبستگی منفی معنی‌داری وجود دارد.

شاخص PNA فصل بهار همبستگی مثبت معنی‌داری را بعد از سال ۱۳۷۰ به‌خود اختصاص داده است. میان این شاخص و فصل تابستان و زمستان همبستگی منفی معنی‌داری بعد از سال ۱۳۷۰ دیده می‌شود. از جدول ۱ مشاهده می‌شود که شاخص SOI فصل‌های تابستان و پاییز و زمستان همبستگی منفی معنی‌داری قبل از سال ۱۳۷۰ و شاخص SOI فصل زمستان بعد از سال ۱۳۷۰ وجود دارد. ناظم السادات (۲۰۰۰) وجود همبستگی منفی معنی‌داری میان شاخص SOI و داده‌های بارندگی در بیشتر مناطق ایران از جمله دامنه جنوبی رشته‌کوه البرز، مناطق شمال غرب و مناطق مرکزی را گزارش کرد. آشوری و همکاران (۲۰۱۱) به بررسی تأثیر شاخص‌های SOI و PDO بر جریان

رودخانه حوضه زاینده‌رود پرداختند. نتایج نشان داد که جریان رودخانه‌های مورد مطالعه در فصل زمستان بیش‌ترین همبستگی را با شاخص SOI فصول بهار، تابستان و پاییز دارد. بیشترین مقدار همبستگی مثبت معنی‌دار میان شاخص PNA بهار و فصل زمستان بعد از سال ۱۳۷۰ دیده می‌شود. با استناد به نتایج به‌دست‌آمده از جدول ۱ شاخص NAO بیش‌ترین تأثیر بر روی تغییرات جریان رودخانه بعد از سال ۱۳۷۰ را به‌خود اختصاص داده است. مطالعه پروین (۱۳۸۹) نیز نشان داد که شرق و غرب دریاچه ارومیه تغییرات ناگهانی و جهش معنی‌داری داشته و طی دهه ۱۹۹۰ و ۲۰۰۰ شیب تندی بر روند نزولی سری‌های متوسط دمای کمینه و بارش حاکم بوده است. تغییرات به‌وجود آمده بر روی پارامترهای دمای حداقل و بارش ماهانه شمال غرب کشور از نوع نوسانات کوتاه‌مدت اقلیمی و روند هست که در اکثر سری‌های زمانی عمدتاً از دهه ۱۹۹۰ به بعد بیشتر مشهود است.

تأثیر بیشتر و قابل‌توجه شاخص‌های مذکور بر روی جریان رودخانه فصلی بعد از سال ۱۹۹۱ (۱۳۷۰) می‌تواند مربوط به گرم شدن میانگین درجه حرارت جهانی باشد. این افزایش دما باعث تغییر در مدت، شدت و زمان بارش، تغییر نوع بارش از برف به باران، تغییر در حجم، زمان و مدت رواناب، بالا آمدن سطح آب اقیانوس‌ها، کاهش ذخایر برفی در کوهستان‌ها، تغییر در میزان تبخیر و تعرق از سطح گیاهان و منابع افزایش مصرف و تقاضای آب شهری و به‌طورکلی عاملی برای کاهش منابع آب شود (رشیدی ۱۳۹۰). نتایج تحلیل موجک متقاطع با تغییرات در حدود سال ۱۹۹۱ (۱۳۷۰) سازگار است که نتایج حاصل از تحلیل تجزیه به مؤلفه اصلی نیز این مسئله را تأیید می‌کند و سال ۱۹۹۱ (۱۳۷۰) به بعد به‌عنوان یک نقطه عطف در منطقه مورد مطالعه معرفی می‌کند.

جهت بررسی ارتباط دینامیکی میان جریان رودخانه‌های فصلی شمال غرب کشور و شاخص‌های پیوند از راه دور NAO، PNA و SOI از تحلیل همبستگی برای دوره‌ی ۶-۲ سال استفاده شد. تحلیل همبستگی اغلب فرآیند تأخیر زمانی بین شاخص‌های فصلی و جریان رودخانه در باند ۶-۲ سال را ارزیابی می‌کند. نتایج حاصل از تحلیل همبستگی بین جریان رودخانه و شاخص‌های اقلیمی قبل و بعد از سال ۱۳۷۰ (۱۹۹۱) و برای کل بازه‌ی زمانی مورد مطالعه (۱۳۸۸-۱۳۵۰) در جدول ۱ آورده شده است. از جدول ۱ مشاهده می‌شود که شاخص NAO فصل تابستان بعد از سال ۱۳۷۰ همبستگی قوی و مثبتی را دارا هست و برای کل دوره مورد مطالعه یک همبستگی منفی معنی‌داری برای شاخص NAO فصل پاییز دیده می‌شود. همچنین همبستگی مثبت معنی‌داری نیز میان شاخص NAO با فصل بهار و زمستان بعد از سال ۱۳۷۰ مشاهده می‌شود. طبری و همکاران (۲۰۱۳) به بررسی ارتباط میان شاخص NAO با جریان رودخانه فصلی و سالانه در غرب ایران پرداختند. نتایج نشان داد که بیش‌ترین همبستگی میان شاخص NAO و جریان رودخانه به‌صورت فصلی با دو تا سه فصل تأخیر وجود دارد. این همبستگی قوی با تأخیر میان شاخص

جدول ۱- نتایج تحلیل همبستگی بین شاخص‌های فصلی منتخب و جریان رودخانه فصلی منطقه مورد مطالعه برای باند ۶-۲ سال.

شاخص‌ها	۱۲۵۰-۱۳۸۸				۱۳۷۰>				۱۳۷۰<			
	بهار	تابستان	پاییز	زمستان	بهار	تابستان	پاییز	زمستان	بهار	تابستان	پاییز	زمستان
بهار-NAO	۰/۸۱ [°]	۰/۲	۰/۰۹	۰/۳۵ [°]	۰/۸۰ [°]	۰/۰۵	-۰/۱۷	۰/۱۲	۰/۷۲ [°]	۰/۶۷ [°]	۰/۸۹ [°]	۰/۶۲ [°]
تابستان-NAO	-۰/۱۸	۰/۰۲	۰/۴۲ [°]	-۰/۰۳	-۰/۰۲	۰/۷۱ [°]	۰/۸۹ [°]	۰/۵۸ [°]	۰/۰۸	-۰/۶۴ [°]	-۰/۳۹	۰/۶۸ [°]
پاییز-NAO	-۰/۳۲ [°]	-۰/۳۹ [°]	-۰/۵۷ [°]	-۰/۷۵ [°]	۰/۶۵ [°]	۰/۰۶	۰/۰۲	۰/۵ [°]	۰/۰۸	-۰/۶۴ [°]	-۰/۴	-۰/۶۸ [°]
زمستان-NAO	۰/۲۹	-۰/۳۲ [°]	۰/۳۲ [°]	۰/۰۴	۰/۳۲	-۰/۰۳	۰/۳۵	۰/۴	-۰/۲۲	-۰/۴۵ [°]	۰/۱۵	-۰/۵۶ [°]
بهار-PNA	-۰/۵۱ [°]	-۰/۲	-۰/۴۴ [°]	-۰/۵۶ [°]	۰/۵۷ [°]	۰/۵۵ [°]	۰/۶۹ [°]	۰/۹۴ [°]	-۰/۷۹ [°]	-۰/۶۳ [°]	-۰/۷۸ [°]	-۰/۶۲ [°]
تابستان-PNA	-۰/۴۴ [°]	-۰/۶۲ [°]	-۰/۳۳ [°]	-۰/۷۷ [°]	-۰/۵۸ [°]	-۰/۶۹ [°]	-۰/۵۳ [°]	-۰/۵۹ [°]	-۰/۵۲ [°]	-۰/۸۳ [°]	-۰/۳۹	-۰/۸۷ [°]
پاییز-PNA	۰/۳۲ [°]	۰/۰۳	۰/۱۶	-۰/۰۰	۰/۷۵ [°]	۰/۴۳ [°]	۰/۳۶	۰/۳	-۰/۳۳	-۰/۵۸ [°]	-۰/۰۱	-۰/۵۳ [°]
زمستان-PNA	-۰/۳۱	-۰/۲۳	-۰/۳۳ [°]	-۰/۵۴ [°]	-۰/۰۹	۰/۴۵ [°]	۰/۲۳	-۰/۰۵	۰/۰۶	-۰/۵۹ [°]	-۰/۵۸ [°]	-۰/۶۳ [°]
بهار-SOI	-۰/۴۳ [°]	۰/۳۵ [°]	۰/۳۴ [°]	۰/۲	-۰/۶ [°]	۰/۰۴	۰/۰۹	-۰/۲۲	-۰/۱۹	۰/۴۲	۰/۴۷ [°]	۰/۴۴ [°]
تابستان-SOI	-۰/۵۵ [°]	-۰/۲	-۰/۱	-۰/۴۱ [°]	-۰/۳۶	۰/۰۳	۰/۲	-۰/۰۸	-۰/۵۶ [°]	-۰/۸۵ [°]	-۰/۹۱ [°]	-۰/۷۷ [°]
پاییز-SOI	-۰/۴۳ [°]	-۰/۲	-۰/۱۵	-۰/۳۴ [°]	-۰/۲۲	-۰/۳	-۰/۱۳	-۰/۳۹	-۰/۹۱ [°]	-۰/۳۲ [°]	-۰/۶۳ [°]	-۰/۴۵ [°]
زمستان-SOI	-۰/۲۷	-۰/۴۷ [°]	-۰/۲۴	-۰/۵۴ [°]	-۰/۲۷	-۰/۵۷ [°]	-۰/۴۷ [°]	-۰/۶۶ [°]	-۰/۶۲ [°]	-۰/۶۹ [°]	-۰/۴۹ [°]	-۰/۷۱ [°]

نتیجه‌گیری کلی

دور NAO، PNA و SOI از تحلیل همبستگی برای دوره زمانی قبل و بعد از سال ۱۳۷۰ و کل دوره آماری مورد مطالعه برای دوره ۶-۲ سال استفاده شد. تحلیل همبستگی میان واریانس جریان رودخانه فصلی و شاخص‌های پیوند از راه دور منتخب در باند ۶-۲ سال وجود همبستگی مثبت و معنی‌دار شاخص NAO با فصول بهار و زمستان بعد از سال ۱۳۷۰ نشان می‌دهد. شاخص‌های SOI و PNA وجود همبستگی منفی معنی‌داری را قبل از سال ۱۳۷۰ برای تمامی فصول نشان می‌دهند. همچنین شاخص PNA با فصل تابستان و زمستان همبستگی منفی معنی‌داری بعد از سال ۱۳۷۰ برخوردار هست. نتایج تحلیل همبستگی نشان داد که تغییرات و واریانس بیشتر بعد از سال ۱۳۷۰ ناشی از تأثیر شاخص NAO بر شمال غرب کشور هست. تغییرات به وجود آمده بر جریان رودخانه فصلی شمال غرب کشور بعد از سال ۱۳۷۰ به وسیله شاخص‌های پیوند از راه دور می‌تواند ناشی از افزایش میانگین جهانی دمای هوا و تغییر اقلیم به وجود آمده باشد.

در این تحقیق به بررسی تأثیر شاخص‌های پیوند از راه دور NAO، SOI و PNA بر جریان رودخانه‌های فصلی شمال غرب کشور با استفاده از تحلیل موجک متقاطع پرداخته شد. در این مطالعه از داده‌های جریان رودخانه ۳۳ ایستگاه هیدرومتری در شمال غرب کشور چهار فصل بهار، تابستان، پاییز و زمستان طی دوره آماری ۱۳۵۰-۱۳۸۸ استفاده گردید. نتایج حاصل از طیف موجک متقاطع نشان داد که میان شاخص‌های اقلیمی و جریان رودخانه فصلی در دوره ۶-۲ سال و بعد از سال ۱۳۷۰ (۱۹۹۱) کوواریانس قابل‌توجهی موجود است. قبل از سال ۱۳۷۰ تغییرات کمتری نسبت به سال‌های بعد مشاهده می‌شود. نتایج به دست آمده (تغییرات در اطراف سال ۱۳۷۰) با نتایج حاصل از تحلیل تجزیه به مؤلفه اصلی مطابقت داشت. از نتایج به دست آمده مشاهده شد که وجود کوواریانس شدیدتر بعد از سال ۱۳۷۰ (۱۹۹۱) بیشتر مربوط به شاخص‌های اقلیمی NAO و SOI هست.

جهت بررسی ارتباط میان جریان رودخانه‌های فصلی شمال غرب کشور و شاخص‌های پیوند از راه

منابع مورد استفاده

- پروین ن، ۱۳۸۹. مطالعه تغییر اقلیم نیم قرن اخیر با تاکید بر منطقه شمال غرب ایران. صفحه‌های ۱۴-۱، مجموعه مقالات چهارمین کنگره بین المللی جغرافیدانان جهان اسلام (ICIWG 2010) ایران، زاهدان.
- حضرتی ش، ابریشمی ا و تجریشی م، ۱۳۸۲. تاثیر پدیده‌های نوسانات اطلس شمالی و جنوبی بر دما و بارش حوضه دریاچه ارومیه. صفحه‌های ۸-۱، اولین کنفرانس ملی مهندسی عمران. دانشگاه صنعتی شریف، تهران.
- رشیدی م و غریب ه، ۱۳۹۰. تغییرات اقلیم و اثرات آن بر منابع آب. صفحه‌های ۸-۱، چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران. دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران.
- طوفانی پ، مساعدی ا و فاخری فرد ا، ۱۳۹۰. پیش‌بینی بارندگی با استفاده مستقیم از نظریه موجک. نشریه آب و خاک، جلد ۲۵، صفحه‌های ۱۲۱۷ تا ۱۲۲۶.
- عبداللهی اسدآبادی س، دین‌پژوه ی و میرعباسی نجف‌آبادی ر، ۱۳۹۳. پیش‌بینی دبی متوسط روزانه جریان رودخانه بهشت آباد با استفاده از تحلیل موجک. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۸، شماره ۳، صفحه‌های ۵۴۵-۵۳۴.
- فاتحی مرج ا، برهانی داریان عر و مهدیان مح، ۱۳۸۵. پیش بینی فصلی جریان رودخانه‌های دریاچه‌ی ارومیه با استفاده از شاخص‌های اقلیمی. پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی، شماره ۱۷، صفحه‌های ۴۱ تا ۵۱.
- نصر اصفهانی مع، محب الحجه ع و احمدی گیوی ف، ۱۳۸۷. اثر نوسانات اطلس شمالی (NAO) بر برخی کمیت‌های هواشناختی و ردسپهر در خاورمیانه و جنوب غرب آسیا. مجله ژئوفیزیک ایران، جلد ۲، صفحه‌های ۵۱ تا ۶۴.
- یمانی م و حسین‌زاده م، ۱۳۸۲. روش‌های بررسی تغییرات و الگوی رودخانه بابل در محدوده جلگه ساحلی. نشریه علوم جغرافیایی، جلد ۲، صفحه‌های ۱۰۹ تا ۱۲۲.
- Ancil F and Coulibal P, 2003. Wavelet analysis of the Interannual variability in Southern Que'bec streamflow. *Journal of Climate* 17:163-173.
- Ashouria H, Abrishamchib A, Moradkhanic H and Tajrishyd M, 2011. Effects of El-Nino southern oscillation and pacific decadal oscillation on streamflow in the Zayandeh-rood river basin. *World Environmental and Water Resources Congress*. 22-28 May, California, United States.
- Camdevyren H, Demyr N, Kanik A and Keskin S, 2005. Use of principal component scores in multiple linear regression models for prediction of Chlorophyll- a in reservoirs. *Ecological Modeling* 181: 581-589.
- Coulibaly P and Bur DH, 2005. Spatial and temporal variability of Canadian seasonal streamflows. *Journal of Climate* 18:191-210.
- Cullen HM, Kaplan A, Arkin PA and Demenocal PB, 2002. Impact of the north Atlantic oscillation on Middle Eastern climate and streamflow. *Journal of Climatic Change* 55: 315-338.
- Daubechies I, 1990. The wavelet transform time-frequency localization and signal analysis. *Journal of Information Theory* 36:961-1004.
- Farge M, 1992. Wavelet transforms and their applications to turbulence. *Journal of Annual Reviews of Fluid Mechanics* 24: 395-457.
- Grinsted A, Moore JC, Jevrejeva S, 2004. Application of the cross wavelet transform and wavelet coherence to geophysical time series. *Nonlinear Process of Geophysics* 11:561-566.
- Kahya E, 2011. The Impacts of NAO on the Hydrology of the Eastern Mediterranean. *Advances in Global Change Research* 46: 57-71.
- Kucuk M, 2004. Modelling river flow series using wavelet transform. Ph.D. Thesis, Istanbul Technical University Turkish.
- Labat D, Ababou R and Mangin A, 2000. Rainfall-runoff relations for Karstic springs. Part I: Convolution and spectral analyses. *Journal of Hydrology* 238:123-148.
- Labat D. 2010. Cross wavelet analyses of annual continental freshwater discharge and selected climate indices. *Journal of Hydrology* 385: 269-278.
- Larocque M, Mangin A, Razack M and Banton O, 1998. Contribution of correlation and spectral analysis to the regional study of the large Karst aquifer. *Journal of Hydrology* 205:217-231.
- Lu WZ, Wang WJ, Wang XK, Xu ZB and Leung AYT, 2003. Using improved neural network to analyze RSP, NOX and NO2 levels in urban air in MongKok, Hong Kong. *Environmental Monitoring and Assessment* 87: 235-254.

- Mantua N J, 2002. *The Earth System, Physical and Chemical Dimension of Global Environmental Change*. Wiley Pub, USA.
- Marshall J, Kushnir Y, Battisti D, Chang P, Czaja A, Dickson R, Hurrell J, McCartney M, Saravanan R and Visbeck M, 2001. North Atlantic climate variability: Phenomena, impacts and mechanisms. *International Journal of Climatology* 21:1863–1898.
- Nazemosadat M, 2000. On the relationships between ENSO and autumn rainfall in Iran. *International Journal of Climatology* 20:47-61.
- Smith LC, Turcotte D and Isacks BL, 1998. Stream flow characterization and feature detection using a discrete wavelet transform. *Hydrological Processes* 12: 233–249.
- Tabari H, Abghari H and HosseinzadehTalaee, P, 2013. Impact of the north Atlantic oscillation on streamflow in Western Iran. *Hydrological Processes* 28: 4411–4418.
- Torrence C and Compo GP, 1998. A practical guide to wavelet analysis. *Journal of American Meteorological Society* 79: 61–78.
- Torrence C and Webster PJ, 1999. Interdecadal changes in the ENSO–monsoon system. *Journal of Climate* 12: 2679–2690.
- Walker GT and Bliss EW, 1932. *World Weather V*. Membership Royal Meteorological Society 36 (4):53-84.
- Walker G T, and Bliss E W, 1937. *World Weather VI*. Membership Royal Meteorological Society 39 (4):119-139.
- Yan Z, Tsimplis MN and Woolf D, 2004. Analysis of the relationship between the North Atlantic Oscillation and sea level changes in northeast Europe. *International Journal of Climatology* 24: 743–758.