

بررسی تشابه الگوهای نوسانی دما و فشار بخار آب با استفاده از تبدیل موجک گسسته

علیرضا عراقی^{*1} - محمد موسوی بایگی² - سیدمجید هاشمی نیا³

تاریخ دریافت: 1392/6/4

تاریخ پذیرش: 1392/11/30

چکیده

دوره تناوب و روند، دو شاخص مهم و تاثیرگذار در سری زمانی داده‌های هیدرواقليمی هستند و به دلیل اهمیت فراوان، تاکنون روش‌های مختلفی برای مطالعه آنها ارائه و به کار گرفته شده است. این روش‌ها عمدتاً پایه آماری داشته و اغلب در گروه آزمون‌های ناپارامتری قرار دارند. روش تبدیل موجک، روشی قدرتمند با پایه ریاضی است که در سالهای اخیر در مباحث تحلیل سیگنال و سری‌های زمانی کاربرد فراوانی یافته است. در این پژوهش، با بکارگیری این روش در کنار روش من-کندال دنباله‌ای، میزان تشابه روند و الگوهای تناوبی غالب در پارامترهای دما و فشار بخار در ایستگاههای سینوپتیک بابلسر، تهران و شاهرود در دوره آماری 55 ساله (1956 تا 2010) مورد مطالعه قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد که در اقلیم‌های خشک و نیمه خشک، الگوهای نوسانی بلند مدت و در اقلیم‌های مرطوب، الگوهای نوسانی کوتاه مدت دما و فشار بخار، همبستگی بیشتری دارند و طول دوره تناوبی غالب با خشکی منطقه افزایش میابد.

واژه‌های کلیدی: تبدیل موجک، الگوی نوسانی، من-کندال، دما، فشار بخار

مقدمه

امیدوار و خسروی (1) روند متغیرهای اقلیمی را در ایستگاههای سینوپتیک بوشهر، بندر عباس و آبادان با استفاده از آزمون من-کندال مطالعه نموده و نشان دادند که تغییرات دمایی میانگین در هر سه ایستگاه مشابه با روند تغییرات دمایی حداقل آنها است و آنچه موجب افزایش دمایی میانگین منطقه ایستگاه‌ها شده، بیشتر دمایی حداقل بوده است. محمدی (7) با تحلیل روند بارش سالانه در ایران بر اساس دوره آماری 1343 تا 1382، نشان داد که میانگین بارش ایستگاهی به طور متوسط در هر سال حدود 0/64 میلی‌متر کاهش یافته است. طبری (24) نشان داد که روند دمایی حداقل و حداکثر در مناطق خشک و نیمه خشک ایران عمدتاً افزایشی است، البته روند مثبت دمایی حداقل بسیار بیشتر از دمایی حداکثر بوده و این روند در فصول تابستان و زمستان بیشتر از فصول بهار و پاییز بوده است. بیشترین افزایش نیز در منطقه شمال شرق مشاهده گردید. صومعی (22) با تحلیل داده‌های سالانه و فصلی بارش در دوره 1967 تا 2006 در 28 ایستگاه سینوپتیک در ایران مشخص نمود که روند کاهشی بارش در فصل زمستان در بخش‌های شمالی ایران و نواحی ساحلی دریای مازندران قابل توجه است، اما روند بارش در پاییز در اغلب ایستگاهها معنی‌دار نبوده است. الکنای (11) با مطالعه دمایی ناحیه شمال شرقی اسپانیا در دوره 1920 تا 2006 نشان داد که دمایی حداقل، حداکثر و متوسط، از سال 1960 روند افزایشی معنی‌داری یافته و بیشینه آن در فصول بهار و تابستان بوده است، اما در فصل پاییز روند معنی‌داری

عناصر و عوامل هواشناسی، متغیرهای غیرقطعی و عمدتاً تصادفی‌اند و چگونگی وقوع رخداد آنها در آینده، تابعی از خصوصیات آماری وابسته به وقوع آنها در گذشته است (5). اقلیم یک ناحیه، تنها توسط یک عامل یا عنصر اقلیمی مشخص نمی‌شود، بلکه ترکیبی از مجموعه عوامل گوناگون هواشناسی، گیاهی، آبی و غیره است که اقلیم را می‌سازد (6 و 8). تغییرات ناچیز در ترکیبات جوی خصوصاً گازهای گلخانه‌ای سبب افزایش تدریجی فرکانس تناوب و شدت رخدادهای حدی هیدرواقليمی، افزایش میزان نوسانات متغیرهای هواشناسی، تغییر در میزان تولیدات کشاورزی، تغییرات خرد و کلان زیست محیطی و... می‌شود (25). به دلیل اهمیت فراوان مطالعه تغییرات بلند مدت پارامترهای هیدرواقليمی از جنبه‌های مختلف خصوصاً تحلیل پدیده تغییر اقلیم، تاکنون روش‌های مختلف و متعددی در این خصوص ارائه و به کار گرفته شده است. این روش‌ها (به دلیل ماهیت داده‌های هیدرواقليمی که غالباً فاقد توزیع نرمال می‌باشند)، اغلب در گروه آزمون‌های آماری ناپارامتری قرار دارند. آزمون من-کندال یکی از روش‌های مناسب در این زمینه است (27).

1. 2 و 3 - به ترتیب دانشجوی دکتری هواشناسی کشاورزی، استاد و مربی گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
* - نویسنده مسئول: (Email: alireza_araghi@yahoo.com)

نمود. هدف پژوهش حاضر، استفاده از تبدیل موجک گسسته و آزمون من-کنندال دنباله‌ای برای تشخیص تشابه روند تغییرات و الگوهای نوسانی اصلی دو متغیر مهم ترمودینامیکی جو یعنی دما و فشار بخار آب می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه و داده‌ها

در این تحقیق، از آمار دما و فشار بخار متوسط ماهانه در ایستگاه‌های همدید بابلسر، تهران (مهرآباد) و شاهرود طی دوره 55 ساله از 1956 تا 2010 استفاده شده است. این ایستگاه‌ها به گونه‌ای انتخاب شده‌اند که هم فاقد هر گونه نقص آماری باشند و هم به لحاظ اقلیمی شرایط متنوعی داشته باشند. مشخصات این ایستگاه‌ها در جدول 1 ارائه شده است.

تبدیل موجک

هدف از اعمال تبدیل ریاضی موجک بر روی سیگنال، استخراج اطلاعات زمان-فرکانسی می‌باشد که با روش‌های کلاسیک آماری قابل دستیابی نیست. تبدیل موجک که در سال‌های اخیر در مباحث تحلیل سیگنال به ویژه در مهندسی پزشکی، بسیار مورد استفاده قرار گرفته و گاه حتی به عنوان معتبرترین روش در این زمینه مطرح می‌گردد (15)، در واقع حالت بهبود یافته تبدیل فوریه زمان کوتاه است. ریاضیدانان روش تبدیل موجک را به دلیل کاستی‌های روش فوریه (به ویژه در نمایان سازی زمان رخداد فرکانس‌ها در یک سیگنال) و نیز محدودیت کاربرد آن تنها در سیگنال‌های ایستا، ارائه و پیشنهاد نمودند (18 و 21). تبدیل موجک مشابه تبدیل فوریه زمان کوتاه است، با این تفاوت که تابع پنجره آن (که موجک مادر نیز خوانده می‌شود) ثابت نبوده و قابلیت تغییر مقیاس دارد. این تبدیل دو نوع پیوسته و گسسته دارد که با توجه به اینکه اغلب داده‌های هواشناسی و هیدرولوژیکی ساختار گسسته زمانی دارند، لذا استفاده از نوع گسسته تبدیل موجک در مطالعات اقلیمی و هیدرولوژیکی ارجح است (3). چون تبدیل موجک، با لگاریتم‌گیری در مبنای 2 از حالت پیوسته به گسسته تبدیل شده است، لذا الگوهای نوسانی استخراج شده از طریق اعمال این تبدیل نیز در مبنای 2 خواهند بود. شکل کلی تبدیل موجک گسسته به صورت رابطه 1 می‌باشد (14 و 15).

$$DWT(\tau, s) = \frac{1}{\sqrt{2}} \sum_{t=0}^{n-1} x(t) \cdot \psi\left(\frac{t}{2^s} - \tau\right) \quad (1)$$

در این رابطه، τ ، s و $x(t)$ به ترتیب معرف پارامترهای انتقال، مقیاس و سیگنال (سری زمانی داده‌ها) هستند. به طور کلی، انواع مختلفی از موجک مادر وجود دارد.

مشاهده نمی‌گردد. مارتینز (12) با بررسی داده‌های بلند مدت دما و بارش در ایالت فلوریدا آمریکا به این نتیجه رسید که معنی‌دارترین روند کاهشی بارندگی مربوط به ماه‌های اکتبر و می است. به علاوه دمای متوسط، حداقل و حداکثر، روندی مثبت نشان می‌دهند که معنی‌داری آن در محدوده سالهای 1970 تا 2009 بیشتر بوده است. تحقیق باکولاری (10) در منطقه مدنا ایتالیا حاکی از آن است که روند دما، بارش و تعداد روزهای یخبندان در 30 سال گذشته به ترتیب افزایشی، کاهشی و کاهشی بوده است. سونالی (23) با بررسی روند تغییرات دما در 3 دهه گذشته در کشور هند نشان داد که اغلب جهش‌های اقلیمی پارامتر دما در این کشور از سال 1970 به بعد اتفاق افتاده است. شی (20) با تحلیل داده‌های بارش روزانه حوضه رودخانه لان سانگ در چین در دوره 1960 تا 2010 نشان داد که پرش‌های اقلیمی در دهه 1960، 1970 و 1980 در این منطقه به وقوع پیوسته است.

در سال‌های اخیر، روش‌های جدیدی در حوزه مسائل تحلیل سیگنال و سری‌های زمانی ارائه شده است که اغلب مبنای ریاضی دارند. تبدیلی موسوم به موجک¹ یکی از قدرتمندترین این روش‌ها است. این تبدیل در واقع حالت پیشرفته و ارتقاء یافته تبدیل فوریه زمان کوتاه می‌باشد هستند. تقوی و همکاران (2) با به‌کارگیری روش تبدیل موجک، نشان دادند که بارش در ایستگاه‌های منطقه غربی ایران دارای دوره بازگشت یک ساله با سطح اطمینان بیش از 90 درصد است که تقویت و تضعیف آن، باعث وقوع دوره‌های ترسالی و خشکسالی در این مناطق می‌شود. ازگر (16) با بررسی داده‌های 43 ایستگاه هواشناسی در تگزاس آمریکا با استفاده از روش تبدیل موجک نشان داد که سیکل‌های دوره‌های سالانه بارش در ایجاد حالت زنجیره‌ای در دوره‌های تناوبی مرطوب و خشک و در نهایت به وجود آمدن شرایط حدی هیدرولوژیکی مانند سیل یا خشکسالی موثر است. سانتوز (19) با انجام پژوهشی در شمال شرقی برزیل با استفاده از تبدیل موجک نشان داد که این روش یک ابزار قدرتمند و کاربردی برای تحلیل دقیق و موشکافانه سری‌های زمانی هیدرولوژیکی است. ونگ (26) وضعیت هیدرولوژیکی حوضه آبریز شیوانگ چین را با استفاده از روش‌های تبدیل موجک و آزمون من-کنندال مطالعه کرد. او مشخص نمود که علیرغم عدم تغییر بارش در 5 دهه گذشته، میزان رواناب در این حوضه کاهش داشته است. نالی و همکاران (14) با استفاده از روش تبدیل موجک، روند تغییرات دمای سطحی را در ایالت‌های آنتاریو و کبک کانادا با روش تبدیل موجک تحلیل کردند. آنها نشان دادند که با استفاده از این روش در کنار روش‌های کلاسیک آماری مانند من-کنندال، می‌توان الگوهای نوسانی موثر بر تغییرات دوره‌ای پارامترهای اقلیمی و هیدرولوژیکی را بهتر مشخص

جدول 1- مشخصات ایستگاه‌های همدید مورد استفاده در این پژوهش

ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (متر)	نوع اقلیم (دومارتن)
یابلسر	59° 32' E	36° 43' N	-21	مرطوب
تهران	51° 19' E	35° 41' N	1190/8	نیمه خشک
شاهرود	54° 57' E	36° 25' N	1345/3	خشک

آزمون من-کندال دنباله‌ای که در سال 1990 توسط اسنیرس ارائه و سپس از سوی سازمان هواشناسی جهانی به عنوان روش پیشنهادی برای تحلیل روند معرفی شد، بر اساس محاسبه تغییرات روند در طول دوره زمانی مورد مطالعه بنا نهاده شده است (17).

در این آزمون، $u(t)$ یک متغیر استاندارد با میانگین صفر، انحراف معیار واحد و رفتار نوسانی در اطراف سطح صفر است. در واقع $u(t)$ همانند پارامتر Z استاندارد است که برای مجموعه داده‌ها از اولین تا آخرین نقطه (در مقیاس زمانی) محاسبه می‌شود. برای انجام آزمون من-کندال دنباله‌ای، ابتدا داده‌ها رتبه بندی می‌شوند، سپس هر x_j من x_k با $(j=1, \dots, n)$ با $(k=1, \dots, j-1)$ مقایسه شده و تعداد مواردی که $x_j > x_k$ باشد با پارامتر n_{jk} شمارش می‌شود. در مرحله بعد، آماره t میانگین و واریانس آن و همچنین آماره $u(t)$ از طریق روابط زیر محاسبه می‌شوند (4).

$$t_j = \sum_{k=1}^{j-1} n_{jk} \quad (2)$$

$$E(t) = \frac{n(n-1)}{4} \quad (3)$$

$$Var(t_j) = \frac{j(j-1)(2j+5)}{72} \quad (4)$$

$$u(t) = \frac{t_j - E(t)}{\sqrt{Var(t_j)}} \quad (5)$$

مقادیر سری زمانی $u(t)$ در طول دوره مورد مطالعه، محاسبه و ترسیم می‌شوند. به این ترتیب، نمودار تغییرات $u(t)$ روند را به صورت دنباله‌ای در طول زمان نشان می‌دهد.

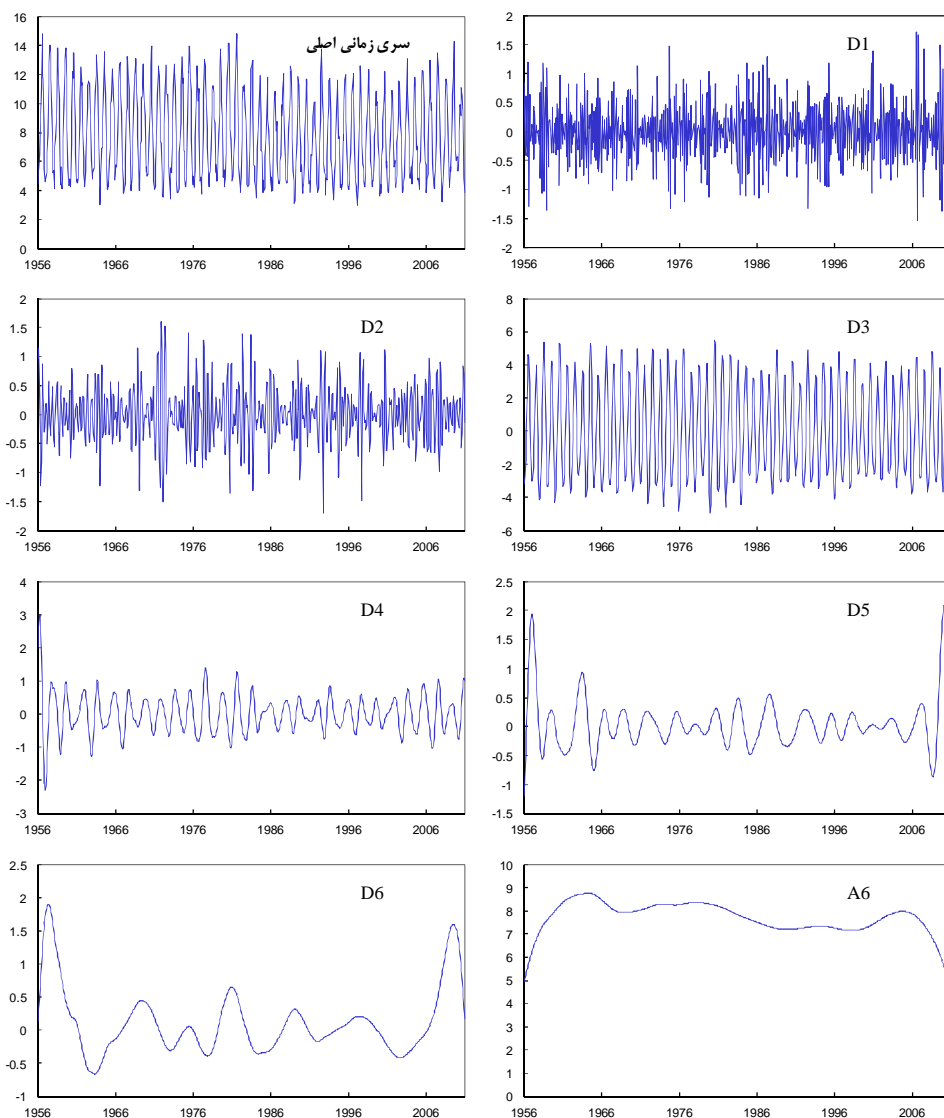
در پژوهش حاضر، با توجه به اینکه هیچ یک از مولفه‌های حاصل از تجزیه (با تبدیل موجک) به تنهایی تشابه قابل قبولی را به لحاظ وضعیت روند با داده‌های اصلی نشان ندادند و به علاوه چون هدف اصلی، شناسایی الگوهای نوسانی مشابه است، لذا آزمون من-کندال دنباله‌ای برای ترکیب مولفه‌های حاصل از تجزیه (مولفه تقریب با هر یک از مولفه‌های جزئیات) انجام و سپس نتایج مورد تحلیل قرار گرفته است. برای تعیین میزان تشابه رفتار داده‌های اصلی با هر یک از ترکیبات فوق، از ضریب همبستگی پیرسن (R) استفاده شده است که با استفاده از رابطه زیر قابل محاسبه می‌باشد (4).

با توجه به ساختار سری‌های زمانی اقلیمی و پیشنهاد محققین (14 و 18)، در این تحقیق موجک مادر دابیز (db) انتخاب شده است. موجک مادر db انواع متنوعی از جمله db1، db2 و... دارد که هر چه شماره آن بالاتر برود، میزان فشردگی و پیچیدگی آن نیز افزایش می‌یابد. همچنین در این تبدیل، نحوه برخورد با شرایط مرزی سیگنال اهمیت زیادی دارد (13).

تبدیل موجک در واقع دارای یک الگوریتم تکراری است، به طوری که محصول تجزیه سیگنال با این تبدیل هر مرحله، دو مؤلفه است: مؤلفه تقریب و مؤلفه جزئیات. مؤلفه اول در برگیرنده بسامدهای کم و بلند مدت و مورد دوم حاوی بسامدهای زیاد و کوتاه مدت است. مؤلفه تقریب مرحله قبل در مراحل بعدی تجزیه، مجدداً به مولفه‌های تقریب و جزئیات جدیدی تبدیل می‌شود و این فرایند ادامه می‌یابد. تعداد بهینه مراحل تجزیه بر اساس نوع موجک مادر و تعداد داده‌ها تعیین می‌شود. با توجه به اینکه جعبه ابزار موجک در نرم‌افزار متلب (نسخه 2013) محدودیت‌هایی دارد، لذا در این پژوهش کلیه مراحل کار (شامل انتخاب بهترین حالت تبدیل، تعداد بهینه مراحل تجزیه، انتخاب بهترین نوع موجک دابیز و...) با استفاده از توابع موجود در نرم‌افزار و از طریق با کد نویسی انجام شده است. به عنوان نمونه، مولفه‌های حاصل از تجزیه سیگنال فشار بخار متوسط ماهانه در ایستگاه همدید شاهرود در شکل 1 ارائه شده است.

آزمون من-کندال دنباله‌ای

به طور کلی، رفتار سری‌های زمانی ترکیبی از چند عامل مختلف مانند روند بلند مدت، تغییرات فصلی، تغییرات دوره‌ای و تغییرات تصادفی است که این عوامل می‌توانند به طور کامل تجزیه شده و هر یک به صورت جداگانه مورد تحلیل و بررسی قرار گیرند. روند، یکی از مولفه‌های بسیار مهم در سری‌های زمانی است و در علوم جوی در بررسی گرایش بلند مدت متغیرهای هواشناسی کاربرد فراوانی دارد (3). برای انجام مطالعات آماری در مواردی که نوع توزیع داده‌ها نامشخص باشد و یا اطمینان داشته باشیم که توزیع نرمال نیست، می‌توان از روش‌های آماری ناپارامتری استفاده نمود (9). آزمون من-کندال، روشی غیرپارامتری است که امروزه استفاده از آن در مطالعات جوی به ویژه در بحث تعیین معنی‌داری روند، به سرعت گسترش یافته است. یکی از انواع این آزمون، حالت دنباله‌ای آن است (3).



شکل 1- سری زمانی اصلی فشار بخار (متوسط ماهانه) و مولفه‌های حاصل از تجزیه با تبدیل موجک گسسته در ایستگاه شاهرود

همدید شاهرود است، در شکل 2 مشاهده می‌شود. خط آبی (ساده) و خط قرمز (خط چین) در این شکل، به ترتیب نشان دهنده مقدار $u(t)$ آزمون من-کندال برای سری داده‌های اصلی و ترکیب مولفه‌های حاصل از تجزیه با تبدیل موجک گسسته است. مقادیر $u(t)$ مربوط به ترکیب مولفه‌های حاصل از تجزیه، برای پارامترهای دما و فشار بخار در مرحله بعد در کنار هم ترسیم شدند تا بدین ترتیب تشابه این دو پارامتر بر اساس الگوهای نوسانی مختلف (بر مبنای مرحله تجزیه) شناسایی شود. البته همانگونه که ذکر گردید، میزان این تشابه از هم از طریق بصری و هم از طریق محاسبه ضریب همبستگی، بررسی گردید. (لازم به ذکر است که در کلیه جدول‌ها و شکل‌ها، حرف A

$$R = \frac{\sum(x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x - \bar{x})^2 \sum(y - \bar{y})^2}} \quad (6)$$

نتایج و بحث

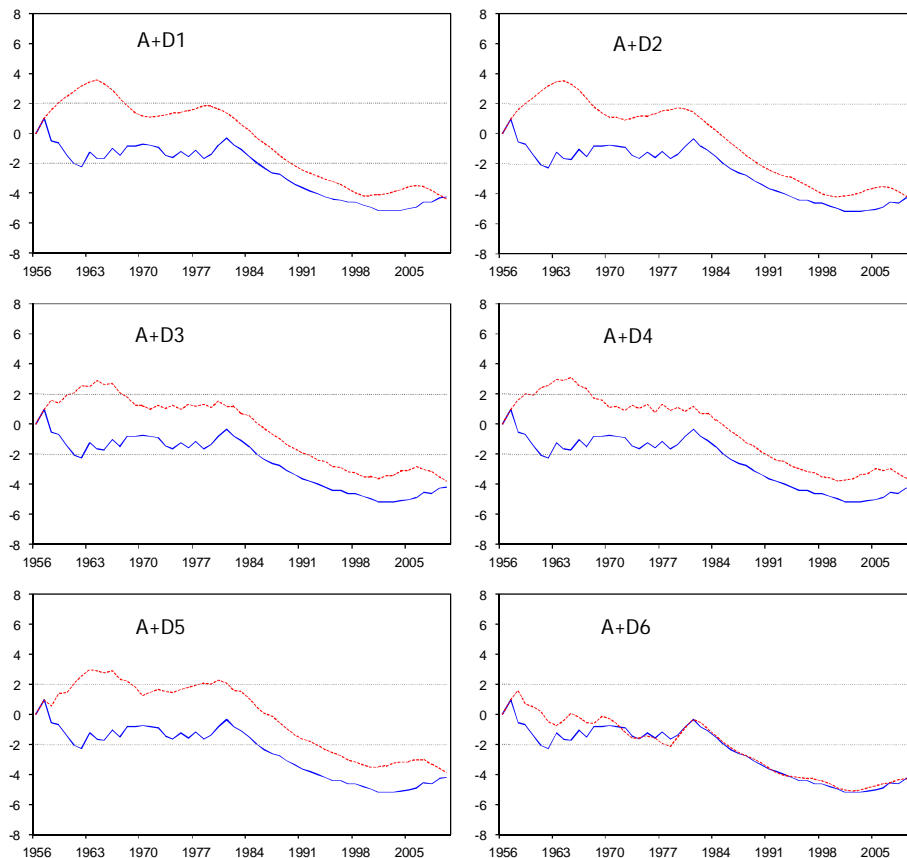
پس از تجزیه سیگنال متغیرهای دما و فشار بخار در مقیاس ماهانه در ایستگاههای بابلسر، تهران و شاهرود، آزمون دنباله‌ای من-کندال بر روی ترکیب مولفه‌های حاصل از تجزیه (مولفه تقریب + هر یک از مولفه‌های جزئیات) اعمال گردید. نمونه‌ای از نتایج خروجی این آزمون که مربوط به سری زمانی فشار بخار متوسط ماهانه در ایستگاه

به دو صورت کوتاه مدت و بلند مدت (و نسبتاً پایدار) ایجاد می‌شود. جدول 2 نشان می‌دهد که تغییرات 4 ماهه دما در بابلسر (که طبیعتاً تغییرات فصلی دماست)، هم در فشار بخار فصلی (4 ماهه) و هم در فشار بخار 64 ماهه (تقریباً 5 ساله) منطقه تاثیرگذار است. که می‌توان مورد دوم را به دلیل دوره تناوبی بلند مدت و بسامد کم آن، موثر در شرایط پایدار اقلیمی منطقه دانست. هر چند در این خصوص، نباید تاثیر دوره تناوبی 64 ماهه دما بر دوره تناوبی 32 ماهه فشار بخار که نشان دهنده حالت تثبیت شده اقلیمی است را فراموش نمود.

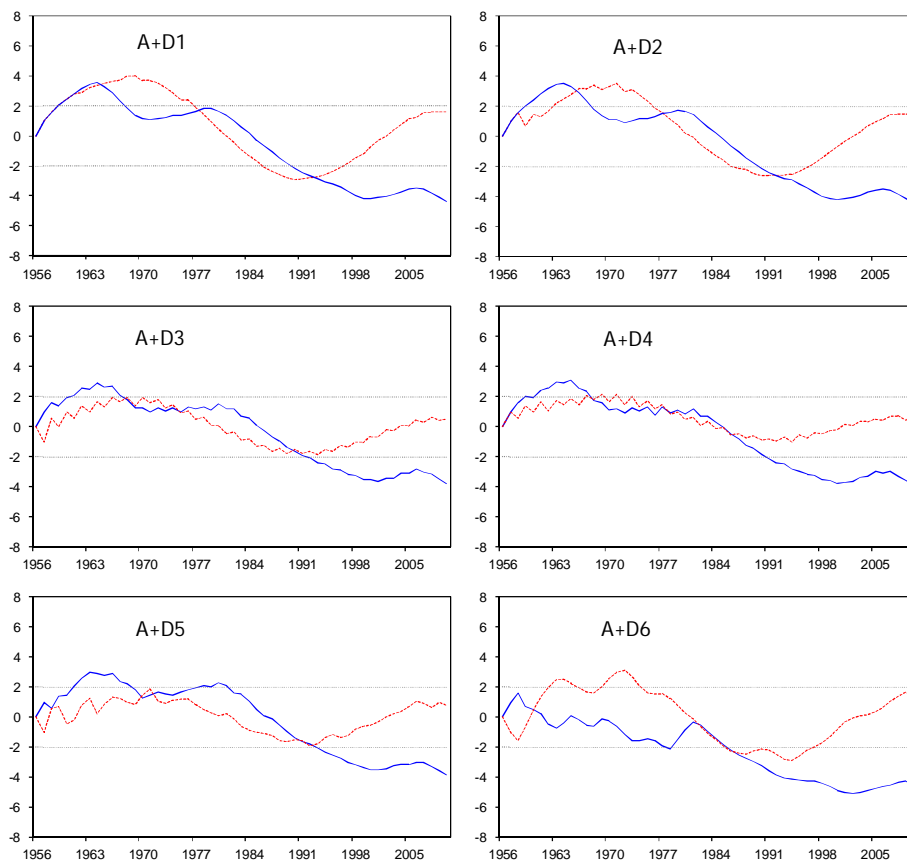
الگوهای تناوبی در ایستگاههای تهران و شاهرود که به ترتیب اقلیم نیمه خشک و خشک دارند، با همبستگی زیاد در دوره‌های زمانی طولانی‌تر (8 و 16 ماه) مشاهده می‌شود. ضرایب همبستگی بالاتر در ایستگاه تهران نکته دیگر قابل تامل است. این ضرایب در دوره تناوبی 64 ماه و کمتر دیده می‌شود و می‌توان مطالعات آماری، ترمودینامیکی و سینوپتیکی تکمیلی برای بررسی بیشتر این موضوع در منطقه انجام داد.

نشان دهنده مولفه تقریب و حروف D نشان دهنده مولفه‌های جزئیات می‌باشد. مولفه تقریب (A) همیشه مربوط به آخرین مرحله تجزیه است، بنابراین شماره مرحله در کنار نام آن نوشته نشده است). برای محاسبه ضریب همبستگی میان مقادیر $u(t)$ مربوط به ترکیب مولفه‌های حاصل از تجزیه در پارامترهای دما و فشار بخار در دوره‌های تناوبی مختلف، از نرم‌افزار SPSS (نسخه 21) استفاده شده است. نتایج این محاسبات به شرح جداول 2 تا 4 می‌باشد.

همانگونه که در نتایج مشاهده می‌شود، تاثیر دوره‌های تناوبی بلند مدت و مرطوب به خشک نزدیکتر می‌شود، تاثیر دوره‌های تناوبی بلند مدت و با بسامد کمتر، افزایش می‌یابد. این موضوع نشان می‌دهد که در مناطق خشک و نیمه خشک، به دلیل فقدان منابع رطوبتی کافی، تغییرات دمایی کوتاه مدت تاثیر چندانی بر ذخیره رطوبت جوی ندارد. اما در مناطق مرطوب (مانند ایستگاه همدید بابلسر)، به علت وجود منبع غنی تامین رطوبت جوی (دریای مازندران)، تغییرات کوتاه مدت دما تاثیرات بیشتری در بیلان بخار آب موجود دارد. هر چند این تاثیر



شکل 2- نتایج آزمون من-کندال دنباله‌ای برای فشار بخار آب (متوسط ماهانه) در ایستگاه سینوپتیک شاهرود (خط ساده و خط چین به ترتیب نشان دهنده مقادیر $u(t)$ برای داده‌های اصلی و ترکیب مولفه‌های حاصل از تجزیه است)



شکل 3- نتایج آزمون من-کندال دنباله‌ای برای دما و فشار بخار آب (متوسط ماهانه) در ایستگاه سینوپتیک شاهرود (خط ساده و خط چین به ترتیب نشان دهنده مقادیر $u(t)$ برای ترکیب مولفه‌های حاصل از تجزیه فشار بخار و دما است)

جدول 2- ضرایب همبستگی مقادیر $u(t)$ آزمون من-کندال دنباله‌ای برای ترکیب مولفه‌های حاصل از تجزیه پارامتر دما و فشار بخار ماهانه در ایستگاه سینوپتیک بابلسر (اعداد 2 تا 64 دوره‌های تناوبی بر حسب ماه می‌باشد)

دما	فشار بخار					
	64	32	16	8	4	2
2	0/818	0/804	0/733	0/796	0/814	0/794
4	0/838	0/818	0/760	0/801	0/829	0/808
8	0/781	0/780	0/653	0/817	0/773	0/752
16	0/730	0/816	0/627	0/823	0/786	0/778
32	0/736	0/748	0/663	0/609	0/719	0/700
64	0/779	0/896	0/609	0/762	0/818	0/809

که در مناطق خشک و نیمه خشک، تاثیر دوره های تناوبی بلند مدت دما (که بسامد کمتری دارند) بر تغییرات نوسانی فشار بخار آب، بیشتر است، در حالی که در مناطق مرطوب به دلیل وجود منابع غنی تامین رطوبت جوی، مولفه‌های دما با بسامد بالا (که دوره تناوبی کمتری دارند)، تاثیرات بیشتری بر تغییرات نوسانی فشار بخار آب دارند.

نتیجه گیری

در این پژوهش، تشابه الگوهای نوسانی دما و فشار بخار آب، با استفاده از تبدیل موجک گسسته و آزمون من-کندال دنباله‌ای، مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت. برای این کار، از آمار ماهانه دما و فشار بخار آب ایستگاه‌های سینوپتیک بابلسر، تهران و شاهرود در دوره 55 ساله (از 1956 تا 2010) استفاده شد. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد

جدول 3- ضرایب همبستگی مقادیر $u(t)$ آزمون من-کندال دنباله‌ای برای ترکیب مولفه‌های حاصل از تجزیه پارامتر دما و فشار بخار ماهانه در ایستگاه سینوپتیک تهران (اعداد 2 تا 128 دوره‌های تناوبی بر حسب ماه می‌باشد)

دما	فشار بخار					
	128	64	32	16	8	4
2	0/718	0/776	0/764	0/849	0/853	0/839
4	0/712	0/802	0/801	0/871	0/875	0/852
8	0/713	0/822	0/876	0/939	0/921	0/894
16	0/669	0/800	0/860	0/940	0/896	0/869
32	0/714	0/841	0/911	0/905	0/894	0/860
64	0/749	0/889	0/848	0/852	0/876	0/845
128	0/893	0/692	0/605	0/593	0/645	0/670

جدول 4- ضرایب همبستگی مقادیر $u(t)$ آزمون من-کندال دنباله‌ای برای ترکیب مولفه‌های حاصل از تجزیه پارامتر دما و فشار بخار ماهانه در ایستگاه سینوپتیک شاهرود (اعداد 2 تا 128 دوره‌های تناوبی بر حسب ماه می‌باشد)

دما	فشار بخار					
	128	64	32	16	8	4
2	-	0/552	0/580	0/649	0/622	0/634
4	-	0/513	0/543	0/606	0/582	0/587
8	-	0/514	0/572	0/626	0/614	0/616
16	-	0/618	0/674	0/729	0/693	0/707
32	-	0/362	0/421	0/468	0/445	0/453
64	-	0/397	0/513	0/546	0/527	0/538
128	-	0/517	0/555	0/635	0/602	0/612

شناسایی شود. بر این اساس، با اتکاء به نتایج حاصل از اینگونه مطالعات، می‌توان تحلیل‌های دینامیکی و سینوپتیکی جو را با هدفمندی بیشتری به انجام رسانید و به این ترتیب، ماهیت فرآیندهای فعال در سیستم پویای جو، هر چه بیشتر و بهتر مشخص خواهد شد.

در مجموع به نظر می‌رسد که به دلیل ماهیت نوسانی پیچیده سیستم جو و پارامترهای آن، مناسب است که مطالعات هواشناسی و اقلیم شناسی با استفاده توأم از روش‌های دقیق تحلیل سیگنال و آزمون‌های کلاسیک آماری انجام شود تا به این ترتیب، ارتباط نوسانی و تناوبی اجزای موثر در سیستم جوی، به صورت آشکارتری

منابع

- 1- امیدوار ک. و خسروی ی. 1389. بررسی تغییر برخی عناصر اقلیمی در سواحل شمالی خلیج فارس با استفاده از آزمون کندال. مجله جغرافیا و برنامه ریزی محیطی 38 (2): 33 تا 46.
- 2- تقوی ف.، نیستانی ا.، محمدی ح. و رستمی جلیلیان ش. 1390. کاربرد تحلیل موجک در شناسایی رفتار بارش در مناطق غربی ایران. مجله ژئوفیزیک ایران 5 (4): 13-30.
- 3- رحیم زاده ف. 1390. روش‌های آماری در مطالعات هواشناسی و اقلیم‌شناسی. چاپ اول. انتشارات سید باقر حسینی. تهران.
- 4- رضایی ع. و میرمحمدی میبدی س. 1388. آمار و احتمالات (کاربرد در کشاورزی). چاپ سوم. انتشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی اصفهان.
- 5- علیزاده ا.، کمالی غ.، موسوی ف. و موسوی بایگی م. 1387. هوا و اقلیم شناسی. چاپ یازدهم. انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.
- 6- کاویانی م. و علیجانی ب. 1390. مبانی آب و هواشناسی. چاپ شانزدهم. انتشارات سمت. تهران.
- 7- محمدی ب. 1390. تحلیل روند بارش سالانه ایران. مجله جغرافیا و برنامه ریزی محیطی 22 (3): 95-106.
- 8- موسوی بایگی م. و اشرف ب. 1388. هوا و اقلیم شناسی در کشاورزی. چاپ اول. انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.

- 9- نیرومند ح. (ترجمه). 1386. روش‌های آماری ناپارامتری کاربردی. پی. اسپرنت، ان. سی. اسمیتون. چاپ اول. انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.
- 10- Bocolari M. and Malmusi S. 2013. Changes in temperature and precipitation extremes observed in Modena, Italy. *Atmospheric Research*, 122: 16-31.
- 11- El Kenawy A., Moreno J.I.L. and Serrano S.M.V. 2011. Trend and variability of surface air temperature in northeastern Spain (1920–2006). *Atmospheric Research*, 106: 159-180.
- 12- Martinez C.J., Maleski J.J. and Miller M.F. 2012. Trends in precipitation and temperature in Florida, USA. *Journal of Hydrology*, 452-453: 259-281.
- 13- Misiti M., Misiti Y., Oppenheim G. and Poggi J.M. 2013. *Matlab Wavelet Toolbox User's Guide*. MathWorks, US.
- 14- Nalley D., Adamowski J., Khalil B. and Ozga-Zielinski B. 2013. Trend detection in surface air temperature in Ontario and Quebec, Canada during 1967–2006 using the discrete wavelet transform. *Atmospheric Research*, 132-133, 375-398.
- 15- Olkkonen H. 2011. *Discrete Wavelet Transforms - Biomedical Applications*. InTech, Croatia.
- 16- Özger M., Mishra A.K. and Singh V.P. 2010. Scaling characteristics of precipitation data in conjunction with wavelet analysis. *Journal of Hydrology*, 395: 279-288.
- 17- Partal T. and Kahya E. 2005. Trend analysis in Turkish precipitation data. *Hydrological Processes*, 20: 2011-2026.
- 18- Ruch D.K. and Van Fleet P.J. 2009. *Wavelet Theory: an Elementary Approach with Applications*. Wiley Publications, New Jersey.
- 19- Santos C.A.G. and Freire P.K.M.M. 2012. Analysis of Precipitation Time Series of Urban Centers of Northeastern Brazil using Wavelet Transform. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 67: 845-850.
- 20- Shi W., Yu X., Liao W., Wang Y. and Jia B. 2013. Spatial and temporal variability of daily precipitation concentration in the Lancang River basin, China. *Journal of Hydrology*, 495: 197-207.
- 21- Smith R.T. and Minton R.B. 2012. *Calculus*. 4th ed., McGraw-Hill, New York.
- 22- Some'e B.S., Ezani A. and Tabari H. 2012. Spatiotemporal trends and change point of precipitation in Iran. *Atmospheric Research*, 113: 1-12.
- 23- Sonali P. and Kumar D.N. 2013. Review of trend detection methods and their application to detect temperature changes in India. *Journal of Hydrology*, 476: 212-227.
- 24- Tabari H. and Hosseinzadeh Talae P. 2011. Analysis of trends in temperature data in arid and semi-arid regions of Iran. *Global and Planetary Change*, 79, 1-10.
- 25- Watts R.G. 2013. *Engineering Response to Climate Change*. 2nd ed., CRC Press.
- 26- Wang H., Zhang M., Zhu H., Dang X., Yang Z. and Yin L. 2012. Hydro-climatic trends in the last 50 years in the lower reach of the Shiyang River Basin, NW China. *Catena*, 95: 33-41.
- 27- Wilks D.S. 2011. *Statistical methods in the atmospheric sciences*. 3rd ed. Academic Press, USA.



Assessment of Fluctuation Patterns Similarity in Temperature and Vapor Pressure Using Discrete Wavelet Transform

A. Araghi^{1*} - M. Mousavi Baygi² - S.M. Hashemini³

Received: 26-08-2013

Accepted: 19-02-2014

Abstract

Period and trend are two main effective and important factors in hydro-climatological time series and because of this importance, different methods have been introduced and applied to study of them, until now. Most of these methods are statistical basis and they are classified in the non-parametric tests. Wavelet transform is a mathematical based powerful method which has been widely used in signal processing and time series analysis in recent years. In this research, trend and main periodic patterns similarity in temperature and vapor pressure has been studied in Babolsar, Tehran and Shahroud synoptic stations during 55 years period (from 1956 to 2010), using wavelet method and the sequential Mann-Kendall trend test. The results show that long term fluctuation patterns in temperature and vapor pressure have more correlations in the arid and semi-arid climates, as well as short term oscillation patterns in temperature and vapor pressure in the humid climates, and these dominant periods increase with the aridity of region.

Keywords: Wavelet transform, Fluctuation pattern, Mann-Kendall

1,2,3 - Ph.D. Student of Agricultural Meteorology, Professor and Lecturer, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, IRAN, Respectively
(* - Corresponding Author Email: alireza_araghi@yahoo.com)