

به کارگیری تبدیل موجک گسسته برای تحلیل همبستگی بسامدی رطوبت نسبی

علیرضا عراقی^۱، محمد موسوی بایگی^{۲*}، سید مجید هاشمی نیا^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۶/۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۲/۱۷

چکیده

رطوبت نسبی، یکی از پارامترهای ترمودینامیکی جو می‌باشد که به شکل‌های مختلف بر خصوصیات اقلیمی منطقه تأثیری گذارد. مطالعه بلند مدت این پارامتر می‌تواند نکات مفیدی درباره اثرات بلند مدت تغییر اقلیم بر پارامترهای ترمودینامیکی جو در پی داشته باشد. در این پژوهش، با استفاده از روشی جدید موسوم به «تبدیل موجک» در کنار آزمون من-کندال دنباله‌ای، میزان همبستگی بسامدی رطوبت نسبی در ۳ ایستگاه سینوپتیک ایران در دوره آماری ۵۵ ساله (۱۹۵۶ تا ۲۰۱۰) مورد مطالعه قرار گرفته است. نتایج حاکی از آن است که پایداری بلند مدت وضعیت رطوبتی در اقلیم‌های خشک و مرطوب به مراتب بیش‌تر از اقلیم نیمه خشک بوده و این موضوع در همبستگی کم دوره‌های تناوبی بلند مدت به وضوح قابل مشاهده است.

واژه‌های کلیدی: رطوبت نسبی، تبدیل موجک، همبستگی بسامدی، آزمون من-کندال

مقدمه

ایستگاه‌های سینوپتیک بوشهر، بندر عباس و آبادان بررسی کرده و نشان دادند که تغییرات دمای میانگین مشابه روند تغییرات دمای حداقل است. قره‌خانی و قهرمان (۱۳۸۹) با بررسی روند تغییرات فصلی و سالانه رطوبت نسبی و نقطه شبنم در چند نمونه اقلیمی ایران مشخص نمودند که در مجموع میزان روند منفی این دو پارامتر از روند مثبت آن بیش‌تر است. محمدی (۱۳۹۰) روند بارش سالانه ایران را در دوره ۱۳۴۳ تا ۱۳۸۲ مطالعه کرده و مشخص نمود که به طور متوسط در هر سال، میانگین بارش ایستگاهی حدود ۰/۶۴ میلی‌متر کاهش یافته است. طبری و حسین‌زاده با تحقیق خود نشان دادند که روند دمای حداقل و حداکثر در مناطق خشک و نیمه خشک ایران عمدتاً افزایشی است و دمای حداقل روند مثبت بسیار بیش‌تری نسبت به دمای حداکثر دارد (Tabari and Hosseinzadeh, 2011). صومعی و همکاران با بررسی سری سالانه و فصلی بارش در دوره ۱۹۶۷-۲۰۰۶ در ۲۸ ایستگاه سینوپتیک ایران مشخص نمودند که روند منفی بارش در فصل زمستان در بخش‌های شمالی ایران و نواحی ساحلی دریای مازندران قابل توجه است (Some'e et al., 2012). الکناوی و همکاران با تحلیل دمای منطقه شمال شرقی اسپانیا در دوره ۱۹۲۰-۲۰۰۶ نشان دادند که دمای حداقل، حداکثر و متوسط از سال ۱۹۶۰ روند مثبت معنی‌داری یافته که بیشینه آن در فصول بهار و تابستان می‌باشد (El Kenawy et al, 2011). مارتینز و همکاران با مطالعه سری زمانی بلند مدت دما و بارش در ایالت فلوریدا آمریکا به این نتیجه رسیدند که بیشینه روند منفی بارش در این

به طور کلی، آب و هوای یک ناحیه تنها توسط یک عامل یا عنصر اقلیمی مشخص نمی‌شود، بلکه ترکیبی از عوامل گوناگون هواشناسی، اقلیم را می‌سازد (علیزاده و همکاران، ۱۳۸۷؛ کاویانی و علیجانی، ۱۳۹۰؛ موسوی بایگی و اشرف، ۱۳۸۸). تغییرات ناچیز در ترکیبات جوی خصوصاً گازهای گلخانه‌ای، افزایش تدریجی بسامد و شدت رخدادهای حدی هیدرواقلمی، افزایش میزان نوسانات پارامترهای هواشناسی، تغییر در میزان تولیدات کشاورزی، تغییرات خرد و کلان زیست محیطی و... را به دنبال دارد (Watts, 2013). به دلیل اهمیت فراوان مطالعه تغییرات بلند مدت پارامترهای هیدرواقلمی از جنبه‌های مختلف، تاکنون روش‌های متعددی در این زمینه به کار گرفته شده است. اغلب این روش‌ها (به دلیل ماهیت داده‌های هیدرواقلمی که غالباً فاقد توزیع نرمال می‌باشند) در دسته آزمون‌های ناپارامتری آماری قرار دارند. یکی از رایج‌ترین این روش‌ها، آزمون من-کندال است (Wilks, 2011). امیدوار و خسروی (۱۳۸۹) با استفاده از آزمون من-کندال روند پارامترهای اقلیمی را در

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد هواشناسی کشاورزی، گروه مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- استاد هواشناسی، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۳- مربی، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(* نویسنده مسئول، Email: mousavi500@yahoo.com)

مواد و روش‌ها

در این تحقیق از آمار رطوبت نسبی متوسط ماهانه در دوره ۵۵ ساله (۱۹۵۶-۲۰۱۰) ایستگاه‌های سینوپتیک بابلسر، تهران (مهرآباد) و شاهرود استفاده شده است. این ایستگاه‌ها طوری انتخاب شده‌اند که: ۱- فاقد نقص آماری باشند ۲- به لحاظ اقلیمی متنوع باشند. سری زمانی رطوبت نسبی ماهانه در دوره آماری مورد مطالعه (۱۹۵۶ تا ۲۰۱۰) در ایستگاه‌های بابلسر، تهران و شاهرود در شکل ۱ ارائه شده است.

تبدیل موجک

به طور کلی هدف اصلی از پیاده‌سازی تبدیل ریاضی بر روی یک سیگنال، دستیابی به اطلاعاتی است که با روش‌های کلاسیک آماری قابل استخراج و مشاهده نباشد. «تبدیل موجک» که در چند سال اخیر در مسائل تحلیل سیگنال و سری‌های زمانی کاربرد فراوانی داشته و حتی در مواردی به عنوان بهترین روش در این خصوص معرفی می‌گردد (Olkkonen, 2011)، در حقیقت شکل ارتقاء یافته تبدیل فوریه زمان کوتاه است. به دلیل محدودیت‌های روش فوریه، مخصوصاً در آشکار سازی زمان رخداد بسامدها در سیگنال و ضعف کاربردی آن در سیگنال‌های نایب، متخصصین روش تبدیل موجک را ارائه نمودند (Smith and Ruch and Van Fleet, 2009; Minton, 2012). این تبدیل مشابه تبدیل فوریه زمان کوتاه است، با این تفاوت که تابع پنجره آن (که تابع موجک مادر نامیده می‌شود) ثابت نبوده و قابلیت تغییر مقیاس دارد. این تبدیل دارای دو حالت پیوسته و گسسته است که به دلیل ساختار گسسته اغلب داده‌های هیدرواقلمیمی (رحیم‌زاده، ۱۳۹۰)، استفاده از نوع گسسته این تبدیل در مطالعات اقلیمی ارجحیت دارد. با توجه اینکه تبدیل موجک از طریق لگاریتم‌گیری در مبنای ۲ از حالت پیوسته به گسسته تبدیل می‌گردد، لذا الگوهای نوسانی نیز به صورت توان‌های ۲ تعریف می‌شوند. رابطه تبدیل موجک گسسته به صورت زیر است (Nalley et al, 2013; Olkkonen, 2011):

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

در این رابطه، τ ، s و $x(t)$ به ترتیب معرف پارامترهای مقیاس، انتقال و سیگنال (سری زمانی داده‌ها) می‌باشند. انواع متعددی از توابع موجک مادر وجود دارد که بر اساس ساختار سری‌های زمانی اقلیمی و پیشنهاد محققین (Nalley et al, 2013; Ruch and Van Fleet, 2009)، در این پژوهش موجک مادر دایبیز (db) انتخاب شده است. این موجک مادر انواع متنوعی از جمله db1، db2 و... دارد که هر چه شماره آن بیش‌تر شود، میزان پیچیدگی ظاهری آن نیز افزایش

منطقه مربوط به ماه‌های اکتبر و می است. به علاوه دمای متوسط، حداقل و حداکثر روند مثبت نشان می‌دهند که معنی‌داری آن در دوره ۱۹۷۰ تا ۲۰۰۹ بیش‌تر بوده است (Martinez et al, 2012). تحقیق باکلاری و مالموسی در ناحیه مدنا ایتالیا حاکی از آن است که روند دما، بارش و تعداد روزهای یخبندان در ۳۰ سال گذشته به ترتیب افزایشی، کاهش و کاهش یافته است (Baccolari and Malmusi, 2013). سنالی و کومار با مطالعه روند دما کشور هند در سه دهه گذشته مشخص نمودند که عمده جهش‌های اقلیمی در این کشور از سال ۱۹۷۰ به بعد اتفاق افتاده است (Sonali and Kumar, 2013). شی و همکاران با تحلیل داده‌های روزانه بارش در دوره ۱۹۶۰-۲۰۱۰ در حوضه رودخانه لان سانگ چین نشان دادند که پرش‌های اقلیمی در دهه ۱۹۶۰، ۱۹۷۰ و ۱۹۸۰ در این منطقه به وجود آمده است (Shi et al, 2013). در سال‌های اخیر راهکارهای نوینی در بحث تحلیل سری‌های زمانی ارائه شده است که بسیاری از آن‌ها پایه ریاضی دارند. یکی از معتبرترین روش‌ها در این زمینه «تبدیل موجک» است که در واقع نسخه ارتقا یافته تبدیل فوریه زمان کوتاه می‌باشد. تقوی و همکاران (۱۳۹۰) با به‌کارگیری این روش در بررسی بارش ایستگاه‌های منطقه غربی ایران نشان دادند که یک دوره بازگشت سالانه با سطح اطمینان بیش از ۹۰٪ در بارش وجود دارد که تقویت یا تضعیف آن باعث وقوع دوره‌های ترسالی و خشکسالی در این مناطق می‌گردد. اوزگر و همکاران با مطالعه آمار بارش ۴۳ ایستگاه هواشناسی در ایالت تگزاس آمریکا با استفاده از روش تبدیل موجک نشان دادند که چرخه سالانه بارش بر ایجاد حالت زنجیره‌ای در دوره‌های تناوبی مرطوب و خشک و وقوع شرایط حدی هیدرولوژیکی مانند سیل یا خشکسالی مؤثر است (Özger et al, 2010). سانتز و فریر با انجام پژوهشی در ناحیه شمال شرقی برزیل مشخص نمودند که روش تبدیل موجک یک ابزار نیرومند برای تحلیل دقیق سری‌های زمانی هیدرولوژیکی است (Santos and Freire, 2012). ونگ و همکاران با مطالعه وضعیت هیدرولوژیکی حوضه آبریز شیوانگ چین با استفاده توام از روش‌های تبدیل موجک و من-کندال به این نتیجه رسیدند که علی‌رغم عدم تغییر بارش در ۵ دهه گذشته، میزان رواناب در این حوضه کاهش داشته است (Wang et al, 2012). نالی و همکاران با استفاده از روش تبدیل موجک، روند تغییرات دمای سطحی را در ایالت‌های آنتاریو و کبک در کانادا مورد تحلیل قرار دادند. آن‌ها نشان دادند که استفاده از این روش در کنار روش‌های کلاسیک آماری مانند من-کندال می‌تواند الگوهای نوسانی مؤثر بر تغییرات دوره‌های پارامترهای اقلیمی و هیدرولوژیکی را مشخص سازد (Nalley et al, 2013). در این تحقیق، همبستگی بسامدی رطوبت نسبی با استفاده از تبدیل موجک گسسته و آزمون من-کندال دنباله‌ای مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته است.

متوسط ماهانه در ایستگاه سینوپتیک شاهرود مشاهده می‌گردد.

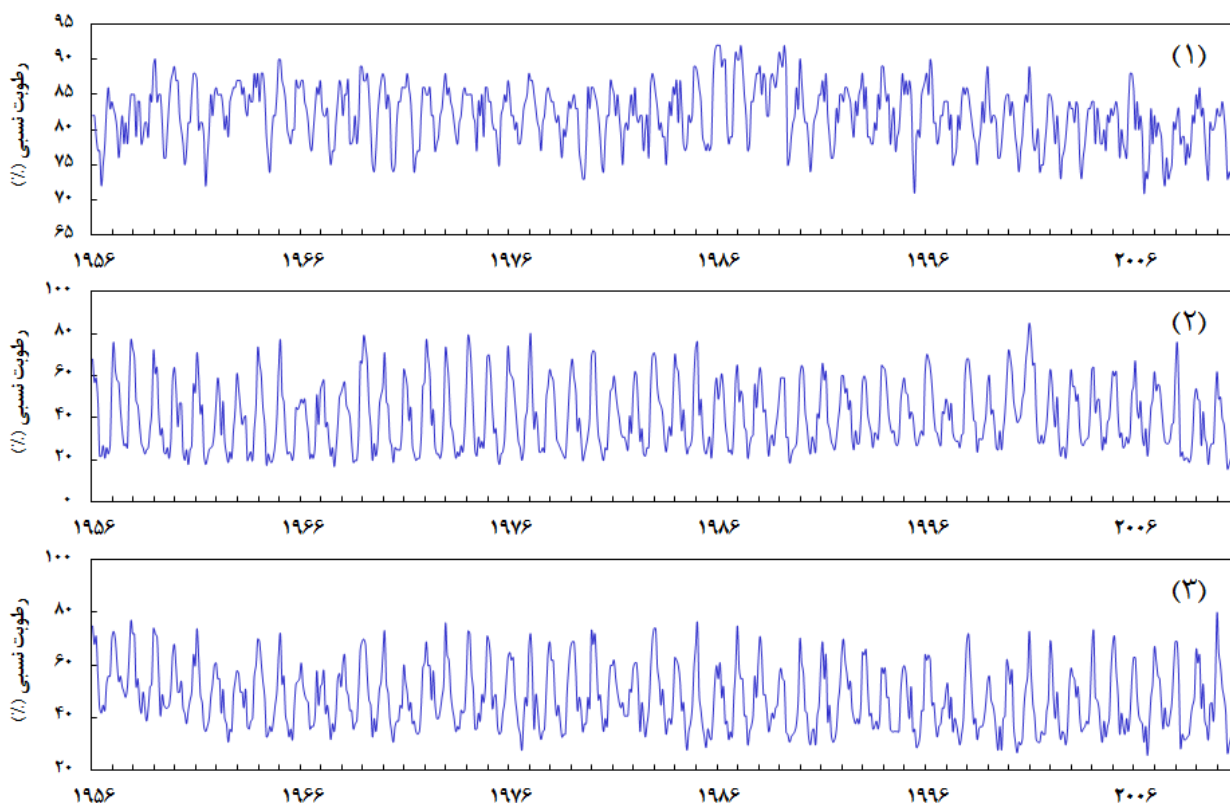
آزمون من-کندال دنباله‌ای

رفتار کلی یک سری زمانی، ترکیبی از چند عامل مختلف مانند روند بلند مدت، تغییرات فصلی، تغییرات دوره‌ای، و تغییرات تصادفی است که می‌توانند به طور کامل تجزیه شده و هر یک به صورت جداگانه مورد تحلیل و بررسی قرار گیرند (نیرومند، ۱۳۸۴). روند، یکی از مشخصات بسیار مهم در سری زمانی است و در بررسی گرایش بلندمدت پارامترهای هواشناسی کاربرد فراوانی دارد (رحیم‌زاده، ۱۳۹۰).

می‌آید. به علاوه نحوه برخورد با شرایط مرزی سیگنال در این تبدیل از اهمیت زیادی برخوردار است (Misiti et al, 2013). محصول تجزیه سیگنال با این تبدیل در هر مرحله، دو مؤلفه است: مؤلفه تقریب و مؤلفه جزئیات. مؤلفه نخست در برگرنده بسامدهای پائین و بلندمدت و مؤلفه دوم حاوی بسامدهای بالا و کوتاه مدت است. در مراحل بعدی تجزیه، مؤلفه تقریب مرحله قبلی، خود مجدداً به مؤلفه‌های تقریب و جزئیات تجزیه می‌شود. تعداد بهینه مراحل تجزیه بر اساس نوع موجک مادر و تعداد داده‌ها تعیین می‌گردد. در این پژوهش، با توجه به محدودیت جعبه ابزار موجک نرم‌افزار متلب، کلیه مراحل محاسبات و نیز انتخاب بهترین حالت تبدیل، با استفاده از توابع موجود در نرم‌افزار و از طریق کد نویسی انجام شده است. به عنوان نمونه، در شکل ۲ مؤلفه‌های حاصل از تجزیه سیگنال رطوبت نسبی

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه در این پژوهش

ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (متر)	اقلیم (دومارتن)
بابلسر	۵۹° ۳۳' E	۳۶° ۴۳' N	-۲۱	مرطوب
تهران	۵۱° ۱۹' E	۳۵° ۴۱' N	۱۱۹۰/۸	نیمه خشک
شاهرود	۵۴° ۵۷' E	۳۶° ۲۵' N	۱۳۴۵/۳	خشک



شکل ۱- سری زمانی رطوبت نسبی ماهانه در ایستگاه‌های مورد مطالعه (۱: ایستگاه بابلسر، ۲: ایستگاه تهران، ۳: ایستگاه شاهرود) در دوره آماری مورد مطالعه (از ۱۹۵۶ تا ۲۰۱۰)

ترسیم می‌گردد. نمودار تغییرات $u(t)$ روند را به صورت دنباله‌ای نشان می‌دهد. در پژوهش حاضر، با توجه به اینکه هیچ یک از مؤلفه‌های حاصل از تجزیه به تنهایی تشابه روند قابل قبولی را به لحاظ با داده‌های اصلی نشان ندادند و به علاوه چون هدف اصلی شناسایی الگوهای نوسانی مشابه است، لذا این آزمون برای ترکیب مؤلفه‌های حاصل از تجزیه (مؤلفه تقریب با هر یک از مؤلفه‌های جزئی) انجام و سپس نتایج مورد تحلیل قرار گرفته است. ضمناً برای تعیین میزان تشابه رفتار داده‌های اصلی با هر یک از ترکیبات فوق، از ضریب همبستگی پیرسن (r_p) استفاده شده است (رضایی و میرمحمدی، ۱۳۸۸):

$$r_p = \frac{\sum(x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x - \bar{x})^2 \sum(y - \bar{y})^2}} \quad (۶)$$

نتایج و بحث

پس از تجزیه سری زمانی رطوبت نسبی ماهانه در ایستگاه‌های مورد مطالعه، آزمون من-کندال دنباله‌ای بر روی ترکیب مؤلفه‌های حاصل از تجزیه (مؤلفه تقریب + هر یک از مؤلفه‌های جزئیات) اعمال گردید. در شکل ۳، نتایج آزمون من-کندال دنباله‌ای برای پارامتر رطوبت نسبی ماهانه در ایستگاه سینوپتیک شاهرود به عنوان نمونه ارائه شده است. در گام بعدی، ضریب همبستگی میان مقادیر $u(t)$ مربوط به ترکیب مؤلفه‌های حاصل از تجزیه در دوره‌های تناوبی مختلف با استفاده از نرم‌افزار SPSS محاسبه شده است. به این ترتیب بر اساس مقادیر ضرایب همبستگی محاسبه شده، مشخص خواهد شد که در هر یک از ایستگاه مورد مطالعه کدام بسامدها همبستگی بیش‌تری با هم دارند.

برای انجام مطالعات آماری در زمانی که نوع توزیع نامشخص باشد و یا اطمینان داشته باشیم که توزیع نرمال نیست، می‌توان از روش‌های آماری ناپارامتری استفاده نمود (نیرومند، ۱۳۸۶). آزمون من-کندال یکی از این دسته روش‌ها است که امروزه استفاده از آن در مطالعات جوی به ویژه در بحث تعیین معنی‌داری روند، به سرعت توسعه یافته است. این آزمون انواع مختلفی دارد که یکی از آن‌ها حالت دنباله‌ای است (رحیم‌زاده، ۱۳۹۰). این آزمون که در سال ۱۹۹۰ توسط اسنیرس و همکاران ارائه گردید 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 (Partal and Kahya, 2005). در این آزمون، $u(t)$ یک متغیر استاندارد شده با میانگین صفر و انحراف معیار واحد است و رفتار آن به صورت نوساناتی در اطراف سطح صفر می‌باشد. در واقع $u(t)$ همانند پارامتر Z استاندارد است که برای مجموعه داده‌ها از اولین تا آخرین نقطه (در مقیاس زمانی) محاسبه می‌گردد. برای انجام این آزمون، ابتدا داده‌ها رتبه‌بندی می‌شوند. سپس هر x_j ($j=1, \dots, n$) با x_k ($k=1, \dots, j-1$) مقایسه شده و سپس تعداد مواردی که $x_j > x_k$ باشد با پارامتر n_j شمارش می‌گردد. در مرحله بعدی، آماره t میانگین و واریانس آن و همچنین آماره $u(t)$ از طریق روابط زیر محاسبه می‌شوند:

$$t_j = \sum_1^j n_j \quad (۲)$$

$$E(t) = \frac{n(n-1)}{4} \quad (۳)$$

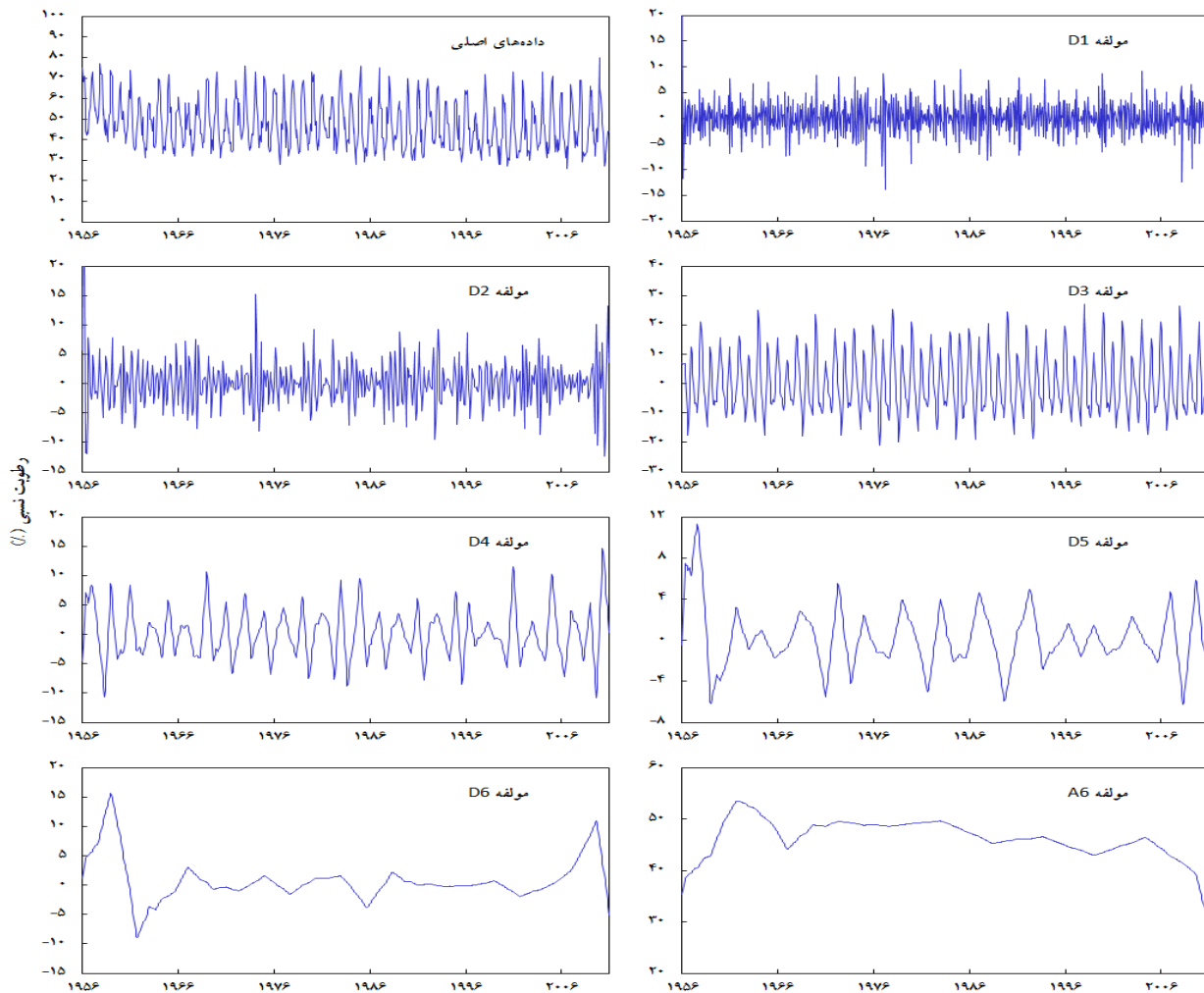
$$Var(t_j) = \frac{j(j-1)(2j+5)}{72} \quad (۴)$$

$$u(t) = \frac{t_j - E(t)}{\sqrt{Var(t_j)}} \quad (۵)$$

مقادیر آماره $u(t)$ در طول دوره زمانی مورد مطالعه محاسبه و

جدول ۲- ضرایب همبستگی مقادیر $u(t)$ ترکیب مؤلفه‌های حاصل از تجزیه سری زمانی رطوبت نسبی متوسط ماهانه در ایستگاه بابلسر (اعداد ۲ تا ۱۲۸ دوره‌های تناوبی بر حسب ماه می‌باشد)

ماه	۲	۴	۸	۱۶	۳۲	۶۴	۱۲۸
۲	۱	۰/۹۹۸	۰/۹۸۵	۰/۹۹۴	۰/۹۷۸	۰/۹۷۹	۰/۸۹۰
۴	۰/۹۹۸	۱	۰/۹۹۰	۰/۹۹۲	۰/۹۷۹	۰/۹۷۹	۰/۸۸۵
۸	۰/۹۸۵	۰/۹۹۰	۱	۰/۹۸۲	۰/۹۶۷	۰/۹۶۴	۰/۸۵۶
۱۶	۰/۹۹۴	۰/۹۹۲	۰/۹۸۲	۱	۰/۹۷۸	۰/۹۷۳	۰/۸۶۹
۳۲	۰/۹۷۸	۰/۹۷۹	۰/۹۶۷	۰/۹۷۸	۱	۰/۹۷۵	۰/۸۷۳
۶۴	۰/۹۷۹	۰/۹۷۹	۰/۹۶۴	۰/۹۷۳	۰/۹۷۵	۱	۰/۸۵۵
۱۲۸	۰/۸۹۰	۰/۸۸۵	۰/۸۵۶	۰/۸۶۹	۰/۸۷۳	۰/۸۵۵	۱



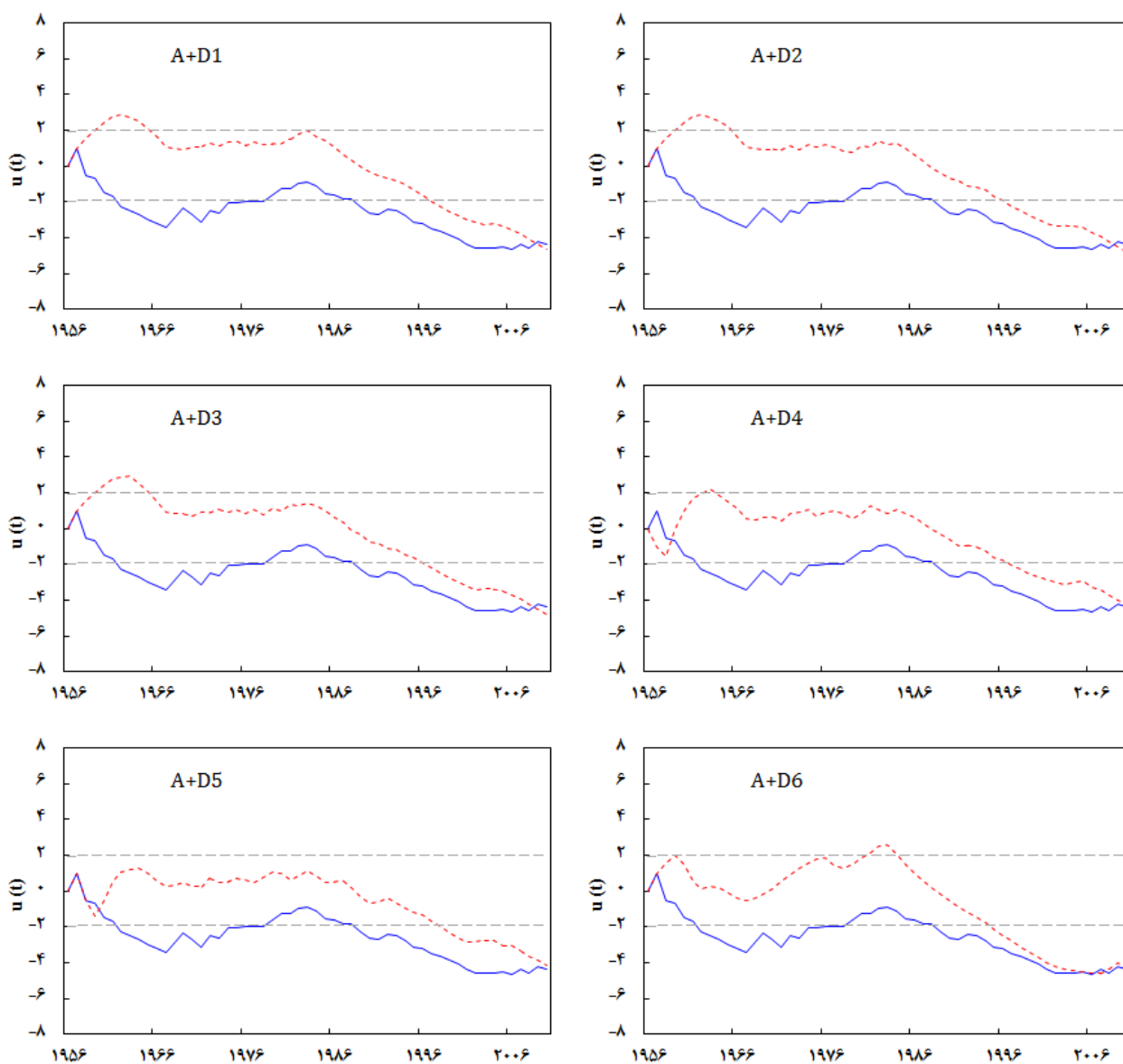
شکل ۲- سری زمانی داده‌های اصلی رطوبت نسبی ماهانه ایستگاه شاهرود و مولفه‌های حاصل از تجزیه آن با تبدیل موجک

جدول ۳- ضرایب همبستگی مقادیر $u(t)$ ترکیب مولفه‌های حاصل از تجزیه سری زمانی رطوبت نسبی متوسط ماهانه در ایستگاه تهران (اعداد ۲ تا ۱۲۸ دوره‌های تناوبی بر حسب ماه می‌باشد)

ماه	۲	۴	۸	۱۶	۳۲	۶۴	۱۲۸
۲	۱	<u>-۰/۹۸۳</u>	<u>-۰/۹۶۳</u>	۰/۸۷۶	-۰/۷۹۸	-۰/۷۰۴	-۰/۳۱۲
۴	۰/۹۸۳	۱	<u>-۰/۹۶۹</u>	<u>۰/۹۲۲</u>	-۰/۸۴۶	-۰/۶۹۹	-۰/۲۱۶
۸	۰/۹۶۳	-۰/۹۶۹	۱	<u>۰/۹۱۴</u>	-۰/۷۷۴	-۰/۶۸۹	-۰/۱۴۱
۱۶	۰/۸۷۶	-۰/۹۲۲	-۰/۹۱۴	۱	-۰/۹۰۱	-۰/۷۹۴	-۰/۱۲۰
۳۲	-۰/۷۹۸	-۰/۸۴۶	-۰/۷۷۴	-۰/۹۰۱	۱	-۰/۸۰۸	-۰/۲۱۶
۶۴	-۰/۷۰۴	-۰/۶۹۹	-۰/۶۸۹	-۰/۷۹۴	-۰/۸۰۸	۱	-۰/۲۴۴
۱۲۸	-۰/۳۱۲	-۰/۲۱۶	-۰/۱۴۱	-۰/۱۲۰	-۰/۲۱۶	-۰/۲۴۴	۱

بیش از هر عامل دیگری تحت تأثیر دماست. همانطور که در جداول ۲ تا ۴ ملاحظه می‌شود، همبستگی‌های بسامدی در ایستگاه‌های سینوپتیک بابلسر و شاهرود بسیار مشابه یکدیگر است و این در حالی است که اقلیم این دو منطقه به طور کامل با هم تفاوت دارد.

نتایج محاسبات نشان می‌دهد که رطوبت نسبی در نوارهای بسامدی ۲ و ۴ ماهه دارای بیش‌ترین مقدار همبستگی است و به نظر می‌رسد که رخدادهای این موضوع فارغ از بحث نوع اقلیم باشد، چرا که تغییرات کوتاه مدت وضعیت رطوبتی غالباً تحت تأثیر تغییرات دمایی است و لذا در بسامدهای ۲ و ۴ ماهه شرایط ناپایستار رطوبت نسبی



شکل ۳- مقادیر $u(t)$ حاصل از آزمون من-کندال دنباله‌ای برای رطوبت نسبی ماهانه ایستگاه شاهرود (خط ساده (آبی) و خط چین (قرمز) به ترتیب بیانگر مقادیر $u(t)$ داده‌های اصلی و ترکیب مولفه‌های حاصل از تجزیه است)

جدول ۴- ضرایب همبستگی مقادیر $u(t)$ ترکیب مولفه‌های حاصل از تجزیه سری زمانی رطوبت نسبی متوسط ماهانه در ایستگاه شاهرود (اعداد ۲ تا ۶۴ دوره‌های تناوبی بر حسب ماه می‌باشد)

ماه	۲	۴	۸	۱۶	۳۲	۶۴
۲	۱	0.997	0.997	0.965	0.942	0.927
۴	0.997	۱	0.998	0.959	0.928	0.907
۸	0.997	0.998	۱	0.958	0.928	0.910
۱۶	0.965	0.959	0.958	۱	0.952	0.884
۳۲	0.942	0.928	0.928	0.952	۱	0.902
۶۴	0.927	0.907	0.910	0.884	0.902	۱

دوره ۵۵ ساله (۱۹۵۶ تا ۲۰۱۰) در ایستگاه‌های بابلسر، تهران و شاهرود و سپس انجام آزمون من-کندال دنباله‌ای بر روی ترکیبات مختلف مولفه‌های حاصل از تجزیه، مقادیر ضریب همبستگی میان بسامدهای مختلف موجود در سری زمانی رطوبت نسبی محاسبه شد. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد وضعیت نوسانی رطوبت در مناطق نیمه خشک کم‌ترین مقدار پایداری بلند مدت را نسبت به مناطق خشک و مرطوب داراست و این در حالی است که در بسامدهای بالا (دوره های تناوبی کم) شرایط هر سه نوع اقلیم مورد مطالعه تقریباً مشابه است. در هر حال لازم است تا در مطالعات آتی این روش برای ایستگاه‌های بیش‌تری مورد استفاده قرار گیرد تا بتوان به نتایج جامع‌تری دست یافت. در مجموع به نظر می‌رسد استفاده از روش‌های دقیق تحلیل سیگنال در مباحث هواشناسی، هیدرولوژی و به طور کلی علوم محیطی می‌تواند نتایج به مراتب بهتری را در خصوص رفتار نوسانی مولفه‌های مورد نظر ارائه نماید و چه بسا با به‌کارگیری اینگونه روش‌های دقیق که بر پایه ریاضیات بنا نهاده شده‌اند، بتوان برای بسیاری از سؤالات اساسی در علوم محیطی جوابی قانع کننده و راهبردی یافت.

منابع

- امیدوار، ک و خسروی، ی. ۱۳۸۹. بررسی تغییر برخی عناصر اقلیمی در سواحل شمالی خلیج فارس با استفاده از آزمون کندال. مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، جلد ۲۱، شماره ۲، ۳۳-۴۶.
- تقوی، ف.، نیستانی، ا.، محمدی، ح و رستمی جلیلیان، ش. ۱۳۹۰. کاربرد تحلیل موجک در شناسایی رفتار بارش در مناطق غربی ایران. مجله ژئوفیزیک ایران، جلد ۵، شماره ۴، ۱۳-۳۰.
- رحیم زاده، ف. ۱۳۹۰. روش‌های آماری در مطالعات هواشناسی و اقلیم شناسی. انتشارات سید باقر حسینی. ۴۳۶ صفحه.
- رضایی، ع و میر محمدی میبیدی، ع. ۱۳۸۸. آمار و احتمالات (کاربرد در کشاورزی). انتشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی اصفهان. ۵۸۶ صفحه.
- علیزاده، ا.، کمالی، غ.، موسوی، ف و موسوی بایگی، م. ۱۳۸۷. هوا و اقلیم شناسی. انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد. ۳۹۲ صفحه.
- قره خانی، ا و قهرمان، ن. ۱۳۸۹. بررسی روند تغییرات فصلی و سالانه رطوبت نسبی و نقطه شبنم در چند نمونه اقلیمی در ایران. نشریه آب و خاک، جلد ۲۴، شماره ۴، ۶۳۶-۶۴۶.
- کاوایی، م و علیجانی، ب. ۱۳۹۰. مبانی آب و هواشناسی. انتشارات سمت. ۵۸۲ صفحه.

این موضوع نشان می‌دهد که وجود یا عدم وجود منبع تأمین رطوبت جوی تأثیر زیادی در رفتار همبستگی بسامدی رطوبت نسبی ندارد و شرایط اقلیمی پایدار منطقه تأثیر به مراتب بیش‌تری بر این موضوع دارد. از سویی دیگر مشاهده می‌شود که شرایط رطوبتی در ناحیه نیمه خشک (ایستگاه سینوپتیک تهران) دارای کم‌ترین پایداری بلند مدت است، چرا که مطابق نتایج ضرایب همبستگی از دوره تناوبی ۳۲ ماهه به بالا کاهش یافته و در دوره ۱۲۸ ماهه به صورت ناگهانی و شدید نزول می‌کند. این در حالی است که ضرایب همبستگی بسامدی رطوبت نسبی در دوره‌های کوتاه مدت در این ایستگاه، بسیار شبیه به دو ایستگاه دیگر (بابلسر و شاهرود) است. این حالت ناپایداری در همبستگی بسامدی دوره‌های ۲ و ۱۶ ماهه نیز به نوعی دیگر نمود یافته است و این در حالی است که در ایستگاه‌های بابلسر و شاهرود، همبستگی بسامدی میان این دوره‌های زمانی بالاست. این موضوع نشان می‌دهد که شرایط پایداری رطوبتی (با بسامد کم‌تر و دوره طولانی‌تر) در مناطق نیمه خشک تحت تأثیر دوره‌های تناوبی کوتاه مدت نیست و همانگونه که در جدول ۳ مشاهده می‌شود دوره ۱۶ ماهه با دوره ۴ و ۸ ماهه که به لحاظ مدت زمانی به آن نزدیک‌تر است، همبستگی بیش‌تری دارد. به این ترتیب، بسامدهای ۲ ماهه فقط تا دوره ۸ ماهه می‌تواند مؤثر باشد و این نشان دهنده ناپایداری وضعیت رطوبتی در مناطق نیمه خشک است. نکته قابل توجه دیگر در این باره، وجود همبستگی بالا در ایستگاه‌های بابلسر و شاهرود حتی در دوره‌های تناوبی بالا مانند ۱۲۸ ماهه (۱۰ ساله) است و این نکته‌ای است که در ایستگاه تهران به صورت کاملاً متفاوت اتفاق افتاده است و در بسامدهای بالا ضرایب همبستگی به شدت کاهش یافته‌اند که این موضوع بیانگر عدم ثبات بلند مدت شرایط رطوبتی در مناطق نیمه خشک می‌باشد. در مجموع با توجه به نتایج به‌دست آمده می‌توان اینگونه برداشت نمود که شرایط رطوبت نسبی در کوتاه مدت نسبت به وضعیت اقلیمی منطقه حساس نبوده و تحت شرایط دمایی و موجودیت منابع رطوبتی پایدار و غیر پایدار می‌تواند در شرایط اقلیمی مختلف رفتار مشابهی داشته باشد، اما در بررسی بلند مدت نوسانات رطوبت نسبی به نظر می‌رسد که وضعیت اقلیمی منطقه تأثیرات قابل توجهی دارد و بیش‌ترین میزان نوسانات بلند مدت و شرایط ناپایدار در نواحی نیمه خشک مشاهده می‌گردد و اقلیم‌های مرطوب و خشک حالت پایداری را به لحاظ نوسانات بلند مدت رطوبت نسبی نشان می‌دهند.

نتیجه گیری

در این تحقیق، با به‌کارگیری روش تبدیل موجک و تجزیه سری زمانی ماهانه رطوبت نسبی به مولفه‌های بسامدی سازنده آن طی

- precipitation data. *Hydrological Processes*, 20: 2011-2026.
- Ruch,D.K and Van Fleet,P.J. 2009. *Wavelet Theory: an Elementary Approach with Applications*. Wiley Publications, New Jersey.
- 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.
- 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.
- Smith,R.T and Minton,R.B. 2012. *Calculus*. 4th ed., McGraw-Hill, New York.
- Some'e,B.S., Ezani,A and Tabari,H. 2012. Spatiotemporal trends and change point of precipitation in Iran. *Atmospheric Research*, 113: 1-12.
- 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.
- Tabari,H. and Hosseinzadeh Talaee,P. 2011. Analysis of trends in temperature data in arid and semi-arid regions of Iran. *Global and Planetary Change*, 79, 1-10.
- 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.
- Watts,R.G. 2013. *Engineering Response to Climate Change*. 2nd ed., CRC Press.
- Wilks,D.S. 2011. *Statistical methods in the atmospheric sciences*. 3rd ed. Academic Press, USA.
- محمدی،ب. ۱۳۹۰. تحلیل روند بارش سالانه ایران. مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، جلد ۲۲، شماره ۳، ۹۵-۱۰۶.
- موسوی بایگی،م و اشرف،ب. ۱۳۸۸. هوا و اقلیم شناسی در کشاورزی. انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد. ۳۸۴ صفحه.
- نیرومند،ح. ۱۳۸۴. تجزیه و تحلیل سری‌های زمانی. انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد. ۴۱۷ صفحه.
- نیرومند،ح. ۱۳۸۶. روش‌های آماری ناپارامتری کاربردی. انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد. ۵۷۶ صفحه.
- Boccolari,M and Malmusi,S. 2013. Changes in temperature and precipitation extremes observed in Modena, Italy. *Atmospheric Research*, 122: 16-31.
- 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.
- 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.
- Misiti,M., Misiti,Y., Oppenheim,G and Poggi,J.M. 2013. *Matlab Wavelet Toolbox User's Guide*. MathWorks, US.
- 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.
- Olkkonen,H. 2011. *Discrete Wavelet Transforms - Biomedical Applications*. InTech, Croatia.
- 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.
- Partal,T and Kahya,E. 2005. Trend analysis in Turkish

Using Discrete Wavelet Transforms For Analysis Of Frequency Correlation In Relative Humidity

A. Araghi^۱, M. Mousavi Baygi*^۲, S.M. Hashemina^۳

Received: Sep.27, 2013

Accepted: May.7, 2014

Abstract

Relative humidity is one of the thermodynamic parameters in atmosphere which has various effects on the climatic attributes in any region. Long term studying of this parameter can have useful results about the long term effects of climate change on the thermodynamic parameters of the atmosphere. In this research, correlation of relative humidity frequency was considered in three synoptic stations in Iran during the period of 55 years (from 1956 to 2010) using a new method called “Wavelet transform” and also the sequential Mann-Kendall test. Results show that long term stability of humidity status in arid and humid climates is more than semi-arid climates and this issue can be obviously seen in the low correlations of long term periods.

Keywords: Relative humidity, Wavelet transforms, Frequency correlation, Mann-Kendall test

۱- M.Sc. Student in Agricultural Meteorology, Water Engineering Dep., Ferdowsi University of Mashhad

۲- Professor in Meteorology, Water Engineering Dep., College of Agriculture Ferdowsi University of Mashhad

۳- Lecturer, Water Engineering Dep., Ferdowsi University of Mashhad

(*Corresponding Author, Email: Mousavi500@yahoo.com)