

بکارگیری تبدیل موجک گسسته برای تحلیل روند و شناسایی الگوهای نوسانی دما (مطالعه موردی: ایستگاه سینوپتیک مشهد)

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

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۹/۰۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۰/۲۳

چکیده

مطالعه و بررسی روند تغییرات بلند مدت پارامترهای هواشناسی، یکی از روش‌های متداول در مطالعات جوی به ویژه مبحث تغییر اقلیم است. در میان پارامترهای هواشناسی، دما همواره به عنوان یکی از مهم‌ترین عناصر جوی مطرح است و مطالعه آن در جهت درک بهتر پدیده تغییر اقلیم، مفید و موثر بوده است. علاوه بر شناسایی روند تغییرات، استخراج الگوهای نوسانی موجود در رخداد پدیده‌ها و پارامترهای جوی، می‌تواند روشی مطمئن و کاربردی برای کشف ارتباطات پیچیده چرخه‌جو-اقیانوس و پیامدهای کوتاه مدت و بلند مدت آن باشد. در این مقاله، با استفاده از تبدیل موجک گسسته و انجام آزمون من-کندال، داده‌های دمای متوسط در ایستگاه سینوپتیک مشهد در دوره ۵۵ ساله (۱۹۵۶ تا ۲۰۱۰) مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد که روند تغییرات دما در همه مقیاس‌های زمانی مطالعه شده (ماهانه، فصلی، سالانه و فصول به صورت مجزا) مثبت و معنی‌دار است. فرکانس‌های غالب در مقیاس‌های ماهانه، فصلی و سالانه، تأیید کننده رفتار نوسانی یکدیگرند، اما در خصوص فصول به نظر می‌رسد که الگوی نوسانی فصل‌های دارای محدوده دمایی مشابه، شباهت بیشتری به یکدیگر دارند. از طرفی دیگر، با توجه به شباهت بیش‌تر میان نتایج آزمون من-کندال در فصول گرم و داده‌های با پایه زمانی ماهانه، فصلی و سالانه، به نظر می‌رسد دوره گرم سال تأثیر بیشتری بر روند مثبت و معنی‌دار دما در منطقه مطالعاتی دارد.

واژه‌های کلیدی: الگوی نوسانی، آزمون من-کندال، تبدیل موجک گسسته، روند

مقدمه

فعالیت‌های زیستی و انسانی از جمله کشاورزی تأثیرگذار است (۴، ۱۰، ۳۳). به دلیل این اهمیت، تاکنون مطالعات متعددی در سطح جهان در خصوص بررسی و تحلیل چگونگی تغییرات پارامترهای اقلیمی انجام شده است. الکانویو همکاران (۷) با بررسی آمار دما در ناحیه شمال شرقی اسپانیا در دوره ۱۹۲۰ تا ۲۰۰۶ با روش کوچکترین مربعات عادی^۴ و ضریب همبستگی ناپارامتری اسپیرمن^۵ مشخص نمودند که روند مثبت دما در این ناحیه از سال ۱۹۶۰ معنی‌دار شده است. مارتینز و همکاران (۱۳) پس از مطالعه روند دما در ایالت فلوریدای آمریکا به این نتیجه رسیدند که معنی‌داری روند مثبت دمای متوسط، حداقل و حداکثر در محدوده سال‌های ۱۹۷۰ تا ۲۰۰۹ بیش‌تر بوده است. سونالی و کومار (۲۹) با تحلیل روند داده‌های دمای ۳۰ سال گذشته در هند به این نتیجه رسیدند که بیش‌تر تغییرات ناگهانی در اقلیم این کشور از سال ۱۹۷۰ و بعد از آن اتفاق افتاده است. این‌گونه مطالعات در سطح جهان به دفعات انجام شده است. در ایران نیز پژوهش‌هایی

منظور از گرمایش جهانی، افزایش طبیعی یا انسان-منشاء متوسط دمای اتمسفر در نزدیکی سطح زمین است. این دما تحت تأثیر چهار عامل: مقدار تابش دریافتی، میزان انعکاس، نگهداشت گرما در جو و نهایتاً تبخیر و چگالش بخار آب می‌باشد (۲ و ۳). عوامل متعددی در ایجاد تغییرات بلند مدت پارامترهای هواشناسی موثرند که یکی از مهم‌ترین این عوامل، تغییر هر چند اندک درصد موجودیت گازهای گلخانه‌ای (دی اکسید کربن، بخار آب و...) در جو زمین است، چرا که این گازها، تشعشع طول موج بلند زمینی را جذب نموده و به این ترتیب گرمایش تدریجی جو حاصل خواهد شد (۸، ۱۲، ۲۴). به طور کلی، مطالعه روند پارامترهای جوی از اهمیت زیادی برخوردار است، زیرا تغییرات اقلیمی به صورت مستقیم و غیر مستقیم در اغلب

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد هواشناسی کشاورزی، استاد و مربی گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
* - نویسنده مسئول: (Email: alireza_araghi@yahoo.com)

4- Ordinary Least Squares (OLS)
5- Spearman

گسسته و تجزیه سری زمانی دمای ماهانه ایستگاه سینوپتیک مشهد و سپس انجام آزمون من-کندال، روند تغییرات و خصوصیات فرکانسی حاکم بر آن، مورد مطالعه و تحلیل قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

داده‌های مورد استفاده

در این پژوهش، از آمار دمای متوسط ماهانه ایستگاه سینوپتیک مشهد در یک دوره ۵۵ ساله از ۱۹۵۶ تا ۲۰۱۰ استفاده شده است. ایستگاه سینوپتیک مشهد در موقعیت طول جغرافیایی ۵۹/۶۳ شرقی و عرض جغرافیایی ۳۶/۲۷ شمالی و ارتفاع ۹۹۹/۲ متر (نسبت به سطح دریا) واقع شده است. اقلیم غالب این ایستگاه بر اساس روش طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن نیمه خشک بوده و دمای متوسط ماهانه در دوره فوق، ۱۴/۲ درجه سانتی‌گراد می‌باشد.

تبدیل موجک گسسته

تجزیه و تحلیل سیگنال عمدتاً با هدف کشف و استخراج اطلاعات زمانی و فرکانسی موجود در سیگنال انجام می‌شود و هر چه این سیگنال، دارای نالیستایی بیش‌تری باشد، اهمیت اعمال روش‌های تحلیلی بر روی آن بیش‌تر نمایان خواهد شد (۲۵). جوزف فوریه اولین شخصی است که در این زمینه راهکار ارائه نموده است (۲۸). کاستی عمده روش تبدیل فوریه، ناکارآمد بودن آن در مواجهه با شرایط نالیستایی در سیگنال است. به همین دلیل، روش فوریه زمان کوتاه^۱ ارائه و پیشنهاد گردید. مبنای این روش، استفاده از تبدیل فوریه در محدوده تابعی با عنوان تابع پنجره^۲ است تا به این شکل یک سیگنال نالیستا به قسمت‌های ایستا تبدیل شده و تحلیل گردد. اما این روش نیز در خیلی از موارد ناکارآمد است، چرا که در سیگنال‌های واقعی (مانند سیگنال‌های محیطی، زیستی و...) هیچ‌گونه نظمی به لحاظ ایستایی در ساختار مشاهده نمی‌شود. لذا در حدود سه دهه پیش، روش تبدیل موجک که همان تبدیل فوریه زمان کوتاه با تابع پنجره انعطاف پذیر است، ارائه گردید (۲۸). این روش به دلیل دقت بالا و مبنای ریاضی دقیق، امروزه در حساس‌ترین و حیاتی‌ترین مباحث تحلیل سیگنال یعنی در مهندسی پزشکی، مهمترین و دقیق‌ترین روش به حساب می‌آید (۱۹).

این تبدیل در دو نوع پیوسته و گسسته مورد استفاده قرار می‌گیرد که با توجه به ساختار گسسته داده‌های هواشناسی (۳۴)، توصیه شده است که از حالت گسسته تبدیل موجک^۳ به صورت رابطه زیر استفاده شود (۱۷ و ۲۱):

مشابه صورت گرفته است. طبری و طلایی (۳۰) پس از مطالعه آمار دمای حداقل و حداکثر در کشور، مشخص نمودند که روند این دو پارامتر در نواحی خشک و نیمه خشک ایران افزایشی است، هر چند که دمای حداقل دارای روند مثبت معنی‌دارتری است. صبوچی و همکاران (۲۶) با بررسی آمار دمای ۳۵ ایستگاه سینوپتیک در ایران نشان دادند که روند مثبت دمای ماهانه در نواحی غرب و شرق ایران حالت معنی‌دارتری دارد. سبزی‌پرور و همکاران (۲۷) پس از تحلیل آمار ۱۰ ایستگاه سینوپتیک در دوره ۱۳۳۵-۱۳۸۴ در مناطق خشک و نیمه خشک کشور به این نتیجه رسیدند که دمای متوسط و حداقل در ۹۰ درصد و دمای حداکثر در ۷۰ درصد ایستگاه‌ها، دارای روند مثبت و معنی‌دار بوده‌اند.

با توجه به ماهیت مشابه مفاهیم سری زمانی و سیگنال، امروزه بسیاری از روش‌های تحلیل سیگنال، در علوم مرتبط با آمار و سری زمانی مورد استفاده قرار می‌گیرد که یکی از بهترین این روش‌ها، تبدیل موجک است (۲۲). این روش به دلیل دقت بالا، در سال‌های اخیر بسیار مورد توجه محققین علوم محیطی قرار گرفته است، هر چند با توجه به جدید بودن آن، تعداد پژوهش‌های انجام شده بر اساس این روش بسیار کمتر از روش‌های کلاسیک و سنتی آماری است. ازگر و همکاران (۲۰) با تحلیل داده‌های بارش ۴۳ ایستگاه در تگزاس آمریکا بر اساس تبدیل موجک، مشخص نمودند که چرخه سالانه بارش بر ایجاد حالت زنجیره‌ای دوره‌هایت و خشک به صورت متناوب و در نهایت ایجاد شرایط حدی هیدرولوژیکی موثر است. مالون و همکاران (۱۶) از طریق ترکیب روش‌های تبدیل موجک و سنجش از دور، به بررسی ارتباطات زمان کوتاه و پیوند از دور در بخش‌های شمالی آمریکا پرداختند و خصوصیات فرکانسی مرتبط میان دمای سطح دریا و پدیده‌های بزرگ مقیاس جوی-اقیانوسی مانند ENSO و NAO را تحلیل نمودند. نالی و همکاران (۱۷) با استفاده از روش تبدیل موجک گسسته، روند دمای سطحی را در چند ایستگاه ایالت‌های آنتاریو و کبک کانادا مورد بررسی قرار دادند و در نهایت مشخص نمودند که استفاده از روش موجک به همراه آزمون‌های کلاسیک آماری همچون من-کندال، می‌تواند الگوهای دوره‌ای موثر بر تغییر پارامترهای هیدرواقلمی را آشکار سازد. در ایران، تاکنون مطالعات زیادی با استفاده از این روش انجام نشده است. تقوی و همکاران (۳۱) با اعمال تبدیل موجک بر سری زمانی بارش در مناطق غربی ایران، مشخص نمودند که بارش در این منطقه دارای یک دوره تناوبی سالانه با سطح اطمینان بالاتر از ۹۰ درصد است که تقویت یا تضعیف آن، رخداد دوره‌های ترسالی و خشکسالی را در پی خواهد داشت. طوفانی و همکاران (۳۲) با اعمال تبدیل موجک بر سری زمانی بارش ایستگاه زینگل استان گلستان و تجزیه سیگنال، بارش ماهانه را به صورت دقیق‌تر، الگوسازی و پیش‌بینی نمودند. در پژوهش حاضر، از طریق اعمال تبدیل موجک

1- Short time Fourier transform
2- Window function
3- Discrete Wavelet Transform



شکل ۱- تجزیه سیگنال با استفاده تبدیل موجک گسسته

Figure 1- Decomposing signal by applying discrete wavelet transform

باید به شماره مرحله تجزیه و نیز مقیاس زمانی داده‌های اصلی توجه نمود. به عنوان مثال، مولفه D2 برای داده‌های ماهانه معرف مولفه ۴ ماهه (۲ به توان ۲ با پایه زمانی یک ماهه) و مولفه D2 برای داده‌های فصلی مشخص کننده مولفه ۱۲ ماهه (۲ به توان ۲ با پایه زمانی سه ماهه) است. تجزیه سیگنال معمولاً تا چندین مرحله ادامه می‌یابد، به طوری که ورودی هر مرحله (غیر از مرحله اول)، مولفه تقریب گام قبلی است (۱۵ و ۱۹). در این پژوهش فرآیند تجزیه سری زمانی دما با تبدیل موجک گسسته با کدنویسی در نرم افزار MATLAB (ویرایش ۸/۱) انجام شده است.

آزمون من-کندال

آزمون من-کندال از جمله روش‌های آماری ناپارامتری است که در خصوص بررسی روند و معنی‌داری آن بسیار مورد استفاده قرار می‌گیرد و به دلیل ماهیت غیر خطی داده‌های اقلیمی، در مطالعات جوی نیز از محبوبیت ویژه‌ای برخوردار است. این روش در ابتدا توسط من^۴ در سال ۱۹۴۵ ارائه گردید و سپس کندال^۵ در سال ۱۹۷۵ اصلاحاتی را بر روی آن پیشنهاد و اعمال نمود که در نهایت این روش به صورت امروزی شکل گرفت (۱۱، ۱۸ و ۲۳). مراحل انجام نسخه اصلی آزمون من-کندال به صورت زیر است (۳۴):

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \text{sign}(x_{i+1} - x_i) \quad (2)$$

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \quad (3)$$

$$Z = \frac{S}{\sqrt{\text{Var}(S)}} \quad (4)$$

در استفاده از آزمون من-کندال، دو نکته حائز اهمیت فراوان است

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

در این رابطه، s و $x(t)$ به ترتیب معرف پارامترهای انتقال، مقیاس و سیگنال (سری زمانی داده‌ها) می‌باشند. در این تبدیل، در هر مرحله مقدار تشابه تابع موجک مادر (ψ) با سیگنال یا سری زمانی ($x(t)$) محاسبه می‌شود و سپس تابع موجک به اندازه گام زمانی τ به سمت انتهای سیگنال حرکت کرده و مجدداً تشابه تابع موجک با سیگنال محاسبه می‌شود. پس از رسیدن به انتهای سیگنال، مقیاس تابع موجک افزایش یافته و فرآیند بالا از ابتدای سیگنال تا انتهای آن تکرار می‌شود. به این ترتیب، تشابه سیگنال با موجک مادر در مقیاس‌های مختلف و با گام‌های زمانی متفاوت بدست می‌آید و بنابراین بر اساس این مقادیر تشابه، می‌توان مشخص نمود که سیگنال (یا سری زمانی) با چه مقیاسی از تابع موجک تشابه و همبستگی بیشتری دارد. با توجه به اینکه حالت گسسته تبدیل موجک بر اساس لگاریتم‌گیری در مبنای دو شکل گرفته است، لذا دوره‌های تناوبی نتیجه‌گیری شده از آن نیز بر پایه توان‌های دو خواهد بود (۱۹). یکی از نکات حائز اهمیت در استفاده از این تبدیل، انتخاب موجک مادر (یا همان تابع پنجره) است که با توجه به توصیه‌های موجود در مطالعات مشابه پیشین (۱۷ و ۲۱)، موجک مادر دایپچر^۱ برای این پژوهش انتخاب شده است. اعمال تبدیل موجک بر یک سیگنال به صورت شکل ۱ است:

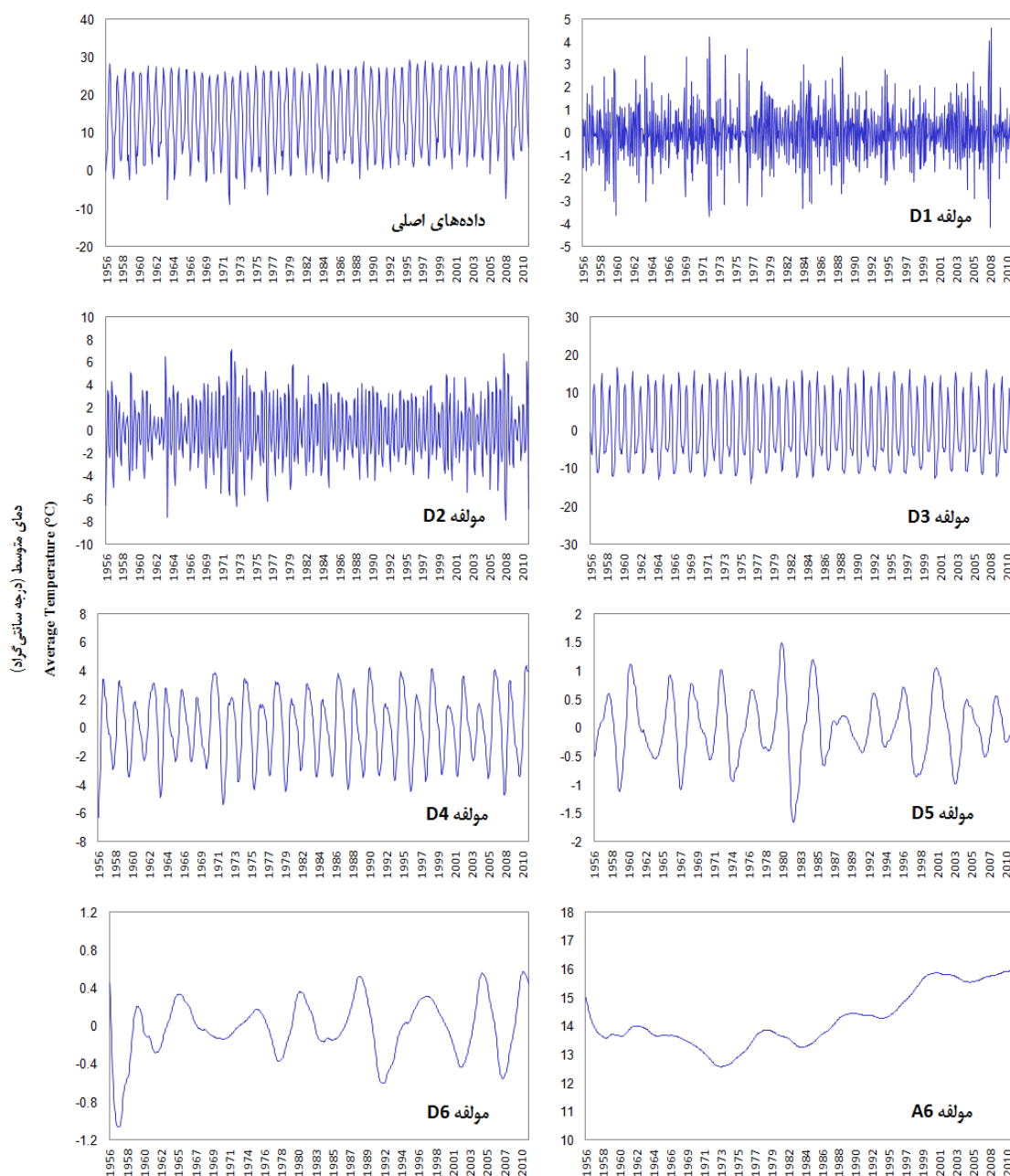
همان‌گونه که مشاهده می‌شود، تبدیل موجک گسسته، در هر مرحله، سیگنال را به دو مولفه تقریب^۲ و جزئیات^۳ تجزیه می‌کند. مولفه تقریب (A) در برگیرنده فرکانس‌های کم و بلند مدت است و مولفه جزئیات (D) عکس آن است. برای مشخص کردن فرکانس هر مولفه،

- 1- Daubechies
- 2- Approximation (A)
- 3- Details (D)

4- Mann
5- Kendall

من-کندال بر روی داده‌های خود همبسته با خصوصیات مختلف نشان دادند که وجود خودهمبستگی معنی‌دار در سری زمانی بر مقدار واریانس محاسبه شده در آزمون من-کندال تاثیر داشته و نتایج این آزمون را دچار تغییرات غیر منطقی می‌کند. لذا در سال ۱۹۹۸ روش اصلاح شده آزمون من-کندال را برای استفاده در سری‌های زمانی با خودهمبستگی معنی‌دار ارائه نمودند.

که باید حتماً قبل از انجام آزمون مورد بررسی قرار گیرد: ۱- وجود یا عدم وجود الگوی فصلی ۲- وضعیت خودهمبستگی داده‌ها. هرش و اسلک (۱۱) بعد از انجام چندین آزمون و تحقیق بر روی داده‌های مختلف هیدرواقليمی نشان دادند که وجود الگوی فصلی در داده‌ها بر نتایج آزمون من-کندال تاثیرگذار است و لذا در سال ۱۹۸۴ آزمون من-کندال اصلاح شده برای اینگونه داده‌ها را ارائه نمودند. هم‌چنین حامد و رائو (۹) پس از بررسی و اجرای آزمون



شکل ۲- مولفه‌های حاصل از تجزیه سری زمانی دمای متوسط ماهانه با اعمال تبدیل موجک گسسته

Figure 2- Decomposed components of monthly temperature time series by applying discrete wavelet transform

داده‌های مورد مطالعه در هر گام زمانی (ماهانه، فصلی، سالانه و فصول به صورت مجزا) از لحاظ شرایط الگوی فصلی و خودهمبستگی مورد ارزیابی قرار گرفته است که نتایج حاصل در جدول ۱ ارائه گردیده‌اند. بر اساس این نتایج، مشخص خواهد شد که در گام‌های بعدی محاسبات باید از کدام آزمون من-کندال استفاده شود. نمونه‌ای خودهمبستگی نگارهای ترسیم شده در شکل ۳ ارائه شده است. همانگونه که در این شکل مشاهده می‌شود، مقدار ضریب خودهمبستگی در تاخیر یک، حدود اطمینان را قطع کرده است، بنابراین معنی دار خواهد بود. به علاوه وجود الگوی فصلی در داده‌ها، بسیار واضح در این نمودار قابل مشاهده است.

همان‌گونه که قبلاً ذکر گردید، برای انجام فرآیند تجزیه سری زمانی باید تعداد مراحل تجزیه، نوع برخورد با شرایط مرزی سیگنال و نیز مناسب‌ترین نوع موج مادر دایچرز به صورت بهینه انتخاب شود.

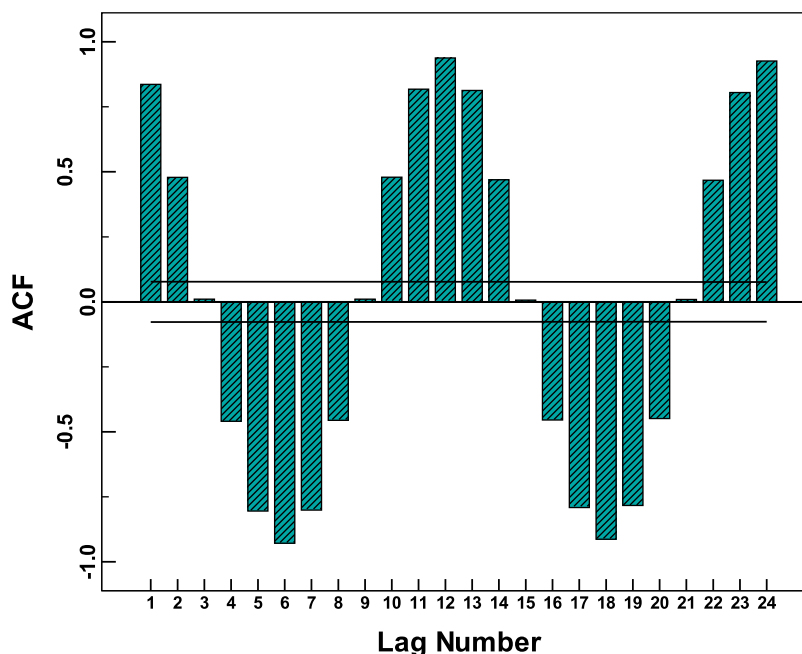
بر این اساس، در پژوهش حاضر وضعیت خودهمبستگی و نیز وجود الگوی فصلی در داده‌های دما با استفاده از نرم افزار SPSS مورد بررسی قرار گرفت و بر مبنای آن، در صورت وجود الگوی فصلی از روش اصلاح شده هرش و اسلک، در صورت معنی دار بودن خودهمبستگی، از روش اصلاح شده حامد و رائو و در صورت عدم وجود هیچ یک از این حالات از روش اصلی آزمون من-کندال استفاده گردید. لازم به ذکر است که جزئیات و مراحل انجام روش‌های اصلاح شده آزمون من-کندال در پژوهش‌های متعددی (۵، ۶، ۸، ۹، ۱۱، ۱۴، ۱۷) تشریح شده است که برای مطالعه بیشتر در این خصوص می‌توان به این منابع مراجعه نمود.

نتایج و بحث

در اولین مرحله از پردازش، با ترسیم خودهمبستگی نگار وضعیت

جدول ۱- مقادیر ضرایب خودهمبستگی با تاخیر یک در مقیاس‌های زمانی مختلف^۱

Table 1- Lag 1 autocorrelation coefficients in various time scales						
پاییز	تابستان	بهار	زمستان	سالانه	فصلی	ماهانه
0.495*	0.703*	0.323*	0.084	0.548*	0.011 (S)	0.836* (S)



شکل ۳- خودهمبستگی نگار برای داده‌های دمای متوسط ماهانه ایستگاه سینوپتیک مشهد (دوره ۱۹۵۶ تا ۲۰۱۰)
Figure 3- Correlogram for average monthly temperature data in Mashhad synoptic station (1956 to 2010)

۱ - وجود الگوی فصلی با حرف S و معنی دار بودن آن با علامت * مشخص شده است

جدول ۲- مقادیر آزمون من-کندال برای مولفه‌های حاصل از تجزیه سری زمانی دمای متوسط در مقیاس‌های زمانی مختلف^۱

Table 2- Mann-Kendall test statistic for decomposed components of average temperature time series via discrete wavelet transform in various time scales

پاییز	تابستان	بهار	زمستان	سالانه	فصلی	ماهانه	داده
5.23*	5.28*	4.36*	2.96*	5.65*	5.82*	5.67*	اصلی
5.22*	5.31*	4.32*	3.12*	5.63*	5.81*	5.65*	A
0.33	-0.02	0.39	-0.03	0.04	0.01	0.59	D1
0.43	0.13	0.41	0.23	0.06	0.21	-0.88	D2
1.09	-1.08	0.01	0.00	-0.01	0.30	-0.65	D3
1.39	-1.66	1.42	0.41	-1.19	0.74	-0.14	D4
5.07*	-	8.58*	-	-	-	-0.04	D5
-	-	-	-	-	-	1.25	D6
4.38*	5.88*	2.03*	2.29*	7.22*	6.12*	5.85*	D1+A
7.02*	6.33*	1.96	3.34*	3.99*	5.73*	6.05*	D2+A
6.04*	5.33*	3.78*	3.59*	3.79*	5.79*	5.13*	D3+A
5.21*	5.26*	4.14*	4.40*	8.61*	6.11*	4.82*	D4+A
3.67*	-	4.82*	-	-	-	5.43*	D5+A
-	-	-	-	-	-	6.16*	D6+A
5.97*	7.88*	1.51	2.13*	3.59*	5.35*	5.83*	D1+D2+A
4.24*	5.78*	3.32*	2.31*	3.88*	5.71*	4.67*	D1+D3+A
3.92*	5.72*	3.11*	2.87*	5.12*	6.09*	4.58*	D1+D4+A
4.86*	-	3.98*	-	-	-	5.11*	D1+D5+A
-	-	-	-	-	-	6.12*	D1+D6+A
3.89*	4.30*	2.09*	3.22*	5.13*	5.62*	4.89*	D2+D3+A
6.25*	5.63*	2.38*	3.88*	4.78*	5.77*	4.70*	D2+D4+A
6.37*	-	4.17*	-	-	-	5.33*	D2+D5+A
-	-	-	-	-	-	6.11*	D2+D6+A
10.20*	3.42*	4.89*	3.79*	5.49*	6.04*	5.23*	D3+D4+A
7.24*	-	5.82*	-	-	-	4.61*	D3+D5+A
-	-	-	-	-	-	5.32*	D3+D6+A
6.24*	-	6.53*	-	-	-	5.26*	D4+D5+A
-	-	-	-	-	-	5.12*	D4+D6+A
-	-	-	-	-	-	5.58*	D5+D6+A

تجزیه در جلوی آن خودداری شده است. برای رسیدن به نتایج بهتر، آزمون بر روی کلیه ترکیب‌های ممکن از مولفه تقریب (آخرین مرحله تجزیه) با یک و دو مولفه جزئیات انجام شده است.

همان‌گونه که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، روند تغییرات دما در همه مقیاس‌های زمانی مثبت و معنی‌دار است، البته در میان فصول مختلف، تابستان و پاییز مقادیر بزرگتری را نشان می‌دهند که با توجه به شباهت بیش‌تر این اعداد به نتایج آزمون در مقیاس ماهانه و سالانه، به نظر می‌رسد که فصول یاد شده تأثیر بیش‌تری در روند کلی دما در این ایستگاه دارند و فصول زمستان و بهار به ترتیب دارای کمترین تأثیر در روند کلی می‌باشند. مبنای بررسی و شناسایی دوره‌های نوسانی غالب، شباهت بیش‌تر مقادیر آزمون من-کندال در هر یک از مولفه‌ها و ترکیبات آن‌ها با نتایج آزمون برای داده‌های اصلی است. همان‌گونه که در نتایج مشهود است، نتایج آزمون برای مولفه‌های جزئیات به تنهایی فاقد شباهتی معنی‌دار با نتایج آزمون برای داده‌های اصلی است. بنابراین با توجه به این‌که معمولاً روند تغییرات بلند مدت در مولفه تقریب (A) نمود پیدا می‌کند، لذا ترکیب این مولفه با یک و دو مولفه جزئیات مورد بررسی قرار گرفته است. بر

بر اساس مطالعات پیشین (۱۷)، استفاده از مقدار خطای نسبی^۲ (R_E) به صورت زیر توصیه شده است:

$$R_E = \frac{|Z_a - Z_o|}{|Z_o|} \quad (5)$$

در این رابطه، Z_o و Z_a به ترتیب مقادیر نهایی آزمون من-کندال برای داده‌های اصلی و برای مولفه تقریب آخرین مرحله تجزیه سری زمانی می‌باشد. به این ترتیب بر اساس کمترین مقدار خطای نسبی، حالت بهینه برای انجام پروسه تجزیه سیگنال با تبدیل موجک مشخص شده است. برای اجرای آزمون من-کندال مناسب و تحلیل دقیق روند و نیز شناسایی ساختار فرکانسی موثر بر دما در گام‌های زمانی مختلف، آزمون من-کندال بر روی مولفه‌های حاصل از تجزیه و نیز ترکیب مولفه‌های جزئیات و تقریب اجرا گردید. نتایج این مرحله در جدول ۲ ارائه شده است. لازم به ذکر است که چون مولفه تقریب فقط در آخرین مرحله تجزیه وجود دارد، لذا از نوشتن شماره مرحله

۱ - علامت * مشخص کننده معنی دار بودن روند است

2- Relative Error

سامانه‌های کم فشارها و... در رفتار نوسانی دما ظاهر شده است و آنگونه که مشاهده می‌شود، در فصول سرد سال (زمستان و پاییز)، این فرکانس بالاتر است (۲۴ ماهه) که این موضوع نیز تاییدی بر فرضیه ذکر شده می‌باشد.

نتیجه گیری کلی

مطالعه روند تغییرات بلند مدت پارامترهای هیدرواقليمی از جمله متداول‌ترین روش‌های بررسی و تحلیل رفتارهای ساختاری جوی است. امروزه بحث تغییر اقلیم و اثرات و پیامدهای کوتاه مدت و بلند مدت آن به عنوان یکی از مطالب با اهمیت در حوزه تحقیقات هواشناسی و اقلیم مطرح می‌باشد. با توجه به اینکه این تغییرات بلند مدت اقلیمی، تحت تاثیر عوامل متعدد با فرکانس‌های مختلف انجام می‌شود، لذا به نظر می‌رسد که مطالعه رفتار نوسانی پارامترهای هواشناسی به اندازه مطالعه روند تغییرات آن‌ها حائز اهمیت است، چرا که بسیاری از نوسانات و تغییرات اقلیمی تحت تاثیر پدیده‌های بزرگ مقیاس جوی (از جمله ENSO، NAO و...) به صورت پیوند از دور اتفاق می‌افتد. بر این اساس، شناسایی فرکانس‌های غالب تاثیر گذار بر عناصر اقلیمی (دما، بارش و...) می‌تواند راهنمای مناسبی برای کشف اینگونه ارتباطات پیچیده در سیستم جوی زمین باشد. در این پژوهش، با بکارگیری روش تبدیل موجک که یکی از دقیق‌ترین و معتبرترین روش‌ها در زمینه تحلیل سیگنال می‌باشد، داده‌های دمای متوسط ایستگاه سینوپتیک مشهد در مقیاس‌های زمانی مختلف (ماهانه، فصلی، سالانه و فصول به صورت مجزا) در دوره آماری ۱۹۵۶ تا ۲۰۱۰ مورد تحلیل و مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که روند تغییرات در همه گام‌های زمانی مثبت و معنی‌دار است که این موضوع مطابق با نتایج مطالعات پیشین (۳ و ۲۸) می‌باشد. اما رفتار فرکانسی دمای متوسط (که هدف اصلی این مقاله بررسی آن بوده است) در هر سری از داده‌ها، بر حسب شرایط و عوامل اقلیمی موثر در آن (خصوصاً در مورد فصول) متفاوت می‌باشد، هر چند به نظر می‌رسد که فصول دارای وضعیت دمایی مشابه (به لحاظ محدوده داده‌ها در توزیع آماری) دارای شباهت بیش‌تری از نقطه نظر رفتار فرکانسی باشند. در مجموع، علیرغم اینکه استفاده از روش‌های دقیق تحلیل سیگنال از جمله روش تبدیل موجک، نسبت به روش‌های کلاسیک آماری در مراحل اولیه خود در حوزه پژوهش‌های هیدروکلیماتولوژی قرار دارد، اما در هر حال انجام مطالعات هواشناسی و هیدرولوژیکی با رویکرد تحلیل نوسانی سری‌های زمانی در مقیاس‌های زمانی و مکانی مختلف، می‌تواند کمک بسزایی در جهت درک و شناسایی پدیده‌های موثر چرخه جو- اقیانوس و تاثیر این پدیده‌ها در رفتارهای اقلیمی و هیدرولوژیکی بنماید. بر این اساس در مطالعات آینده می‌توان به موضوعاتی همچون امکان‌سنجی استفاده از تبدیل موجک در

اساس نتایج آزمون بر مبنای ترکیبات مختلف مولفه تقریب با یک مولفه جزئیات، دوره تناوبی غالب در مقیاس ماهانه، دو ماه و در مقیاس فصلی و سالانه به صورت مشابه، ۲۴ ماه است. این موضوع حاکی از ساختار نسبتاً منظم دما و تاثیر پذیری زیاد آن از فرآیندهای نوسانی و منظم اقلیمی از جمله تابش خورشیدی است. این موضوع باعث شده تا علیرغم وجود روند بلند مدت، معنی دار و مثبت، پارامتر دما همچنان تحت تاثیر فرکانس‌های نسبتاً کوتاه مدت باشد. اما تحلیل روند فصول به صورت مجزا نتایج جزئی‌تری را آشکار می‌سازد. همانگونه که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، فصول بهار تا پاییز دارای وضعیت نوسانی مشابه کم فرکانس و بلند مدت (۱۶ سال) هستند، در حالی که زمستان تغییرات نوسانی کوتاه مدت‌تری (۴ سال) را نشان می‌دهد و این موضوع بیانگر وضعیت با ثبات تر در فصول گرم‌تر سال است. این ثبات در دوره‌های زمانی کوتاه‌تر حالت مشهودتری خواهد داشت.

آنچه در مقادیر روند محاسبه شده ترکیبات مولفه تقریب (آخرین مرحله تجزیه) و دو مولفه جزئی مشاهده می‌شود، بیانگر تاثیر توأم عوامل فرکانسی مختلف بر ساختار نوسانی دماست. در مقیاس ماهانه، دو دسته ترکیبی از فرکانس‌ها به عنوان الگوهای نوسانی غالب مطرح می‌باشند: فرکانس ۲ و ۴ ماهه به صورت توأم و نیز فرکانس‌های ۳۲ و ۶۴ ماهه به همراه هم. این نتایج بیانگر آن است که رفتار نوسانی دما، تحت تاثیر فرکانس‌های زیاد و کم به صورت همزمان و البته به صورتی پیچیده است. فرکانس‌های زیاد مربوط به تاثیر پدیده‌های کوتاه مدت بر رفتار نوسانی دماست، از جمله مقدار تابش خورشیدی، زاویه تابش و... فرکانس‌های کم و بلند مدت گویای رخداد پدیده‌های نسبتاً تثبیت شده با ایستایی بیشتر مانند تغییر درصد گازهای گلخانه‌ای جوی و تاثیر آن در افزایش بلند مدت دماست. این وضعیت در نتایج تحلیل سری‌زمانی فصلی و سالانه نیز نمایان می‌گردد، به طوری که در داده‌های فصلی، مولفه ترکیبی فرکانس‌های زیاد و کم (۱۲ و ۴۸ ماهه) به عنوان فرکانس غالب شناخته شده است، حال آنکه در داده‌های سالانه، فرکانس غالب بیشتر به سمت ترکیبی از فرکانس‌های کم و بلند مدت (۲۴ و ۴۸ ماهه) گرایش یافته است که این موضوع با توجه به پایه زمانی بلند مدت داده‌های سالانه (نسبت به داده‌های فصلی و ماهانه) منطقی و معقول به نظر می‌رسد.

آنچه در تحلیل داده‌های دما در فصول مختلف قابل درک می‌باشد، آن است که رفتار فرکانس پایین فصول بهار و پاییز با هم و تابستان و زمستان با هم دارای شباهت بیشتری است. این موضوع می‌تواند نشانگر این مطلب باشد که رفتار مقادیر حدی دما (که تحت تاثیر فرکانس‌های پایین و بلند مدت است)، در فصول مذکور مشابهت بیشتری دارد. نکته حائز اهمیت در همه این فصل‌ها، حضور مولفه فرکانس بالاست که به نظر می‌رسد به دلیل فرآیندهای کوتاه مدت جوی (از جمله ورود توده‌های هوایی به منطقه، عبور و تاثیر

تشخیص تغییرات اقلیمی و به ویژه ارتباط آن با نوسانات سیگنال‌های بزرگ مقیاس جوی-اقیانوسی از جمله ENSO، NAO و... پرداخته شود.

منابع

- 1- Ahrens C.D. 2011. *Meteorology Today*. Cengage Learning, USA.
- 2- Alizadeh A. 2010. *Climate and Agricultural Meteorology*. Imam Reza University Publication, Mashhad. (in Persian)
- 3- Alizadeh A., Kamali Gh., Mousavi F., and Mousavi Baygi M. 2008. *Weather and Climate*. Ferdowsi University of Mashhad Publication, Mashhad. (in Persian)
- 4- Dinar A., and Mendelsohn R. 2011. *Handbook on Climate Change and Agriculture*. Edward Elgar Publication, UK.
- 5- Dinpashoh Y., Jhahharia D., Fakheri-Fard A., Singh V.P., and Kahya E. 2011. Trends in reference crop evapotranspiration over Iran. *Journal of Hydrology*, 399: 422-433.
- 6- Dinpashoh Y., Mirabbasi R., Jhahharia D., Zare Abianeh H., and Mostafaeipour A. 2014. Effect of short-term and long-term persistence on identification of temporal trends. *Journal of Hydrologic Engineering*, 19: 617-625.
- 7- 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.
- 8- Esmaeilpour S. and Dinpashoh Y. 2012. Long term trend analysis of potential evapotranspiration in south basin of Aras river. *Geography and Environmental Planning*, (48)3:193-210. (in Persian)
- 9- Hamed K. and Rao A. 1998. A modified Mann-Kendall trend test for autocorrelated data. *Journal of Hydrology* 204: 182-196.
- 10- Hasheminia S.M. 2006. *Water Management in Agriculture*. Ferdowsi University of Mashhad Publication, Mashhad. (in Persian)
- 11- Hirsch R. and Slack J. 1984. A nonparametric trend test for seasonal data with serial dependence. *Water Resources Research*, 20 (6): 727-732.
- 12- Kavyani M. and Alijani B. 2011. *The Foundations of Climatology*. Samt Publication, Tehran. (in Persian)
- 13- 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.
- 14- Mirabbasi Najafabadi R., and Dinpashoh Y. 2010. Trend Analysis of Streamflow Across the North West of Iran in Recent Three Decades. *Journal of Water and Soil*, (24)4:757-768. (in Persian with English abstract)
- 15- Misiti M., Misiti Y., Oppenheim G. and Poggi J. M. 2013. *Matlab Wavelet Toolbox User's Guide*. MathWorks, USA.
- 16- Mullon L., Chang N., Yang Y. and Weiss J. 2013. Integrated remote sensing and wavelet analyses for screening short-term teleconnection patterns in northeast America. *Journal of Hydrology*, 499: 247-264.
- 17- 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.
- 18- Niroomand H. 2007. *Applied Nonparametric Statistical Methods*. Ferdowsi University of Mashhad Publication, Mashhad. (in Persian)
- 19- Olkkonen H. 2011. *Discrete Wavelet Transforms - Biomedical Applications*. InTech, Croatia.
- 20- 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.
- 21- Partal T. and Kahya E. 2005. Trend analysis in Turkish precipitation data. *Hydrological Processes*, 20: 2011-2026.
- 22- Percival D. and Walden A. 2000. *Wavelet Methods for Time Series Analysis*. Cambridge University Press, New York.
- 23- Rahimzadeh F. 2011. *Statistical Methods in Meteorology and Climatology Researches*. Seyed Bagher Hosseini Publication, Tehran. (in Persian)
- 24- Richardson K., Steffen W. and Liverman D. 2011. *Climate Change: Global Risks, Challenges and Decisions*. Cambridge University Press. New York.
- 25- Ruch D. K. and Van Fleet P.J. 2009. *Wavelet Theory: an Elementary Approach with Applications*. Wiley Publications, New Jersey.
- 26- Saboohi R., Soltani S. and Khodagholi M. 2012. Trend analysis of temperature parameters in Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 109: 529-547.
- 27- Sabziparvar A., Seyf Z., and Ghiami F. 2013. Trend analysis of temperature in some stations in arid and semi-arid regions of Iran. *Geography and Development*, 30: 117-138. (in Persian)
- 28- Smith R. T. and Minton R. B. 2012. *Calculus*. McGraw-Hill, New York.
- 29- 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.

- 30- 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.
- 31- Taghavi F., Neyestani A., Mohammadi H., and Jalilian Rostami Sh. 2011. Application of wavelet analysis to investigate precipitation variability at western regions of Iran. *Journal of Iran Geophysics*, (5)4:13-30. (in Persian with English abstract)
- 32- Toufani P., Mosaedi A., and Fakheri Fard A. 2011. Prediction of Precipitation Applying Wavelet Network Model (Case study: Zarringol station, Golestan province, Iran). *Journal of Water and Soil*, (25)5:1217-1226. (in Persian with English abstract)
- 33- Watts R. G. 2013. *Engineering Response to Climate Change*. CRC Press, USA.
- 34- Wilks D. S. 2011. *Statistical methods in the atmospheric sciences*. Academic Press, USA.



Using Discrete Wavelet Transform for Trend Analysis and Oscillatory Patterns Identification of Temperature (Case Study: Mashhad Synoptic Station)

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

Received: 23-11-2013

Accepted: 13-01-2015

Introduction: Studying long-term trend changes of meteorological parameters is one of the routine methods in atmospheric studies, especially in the climate change subject. Among the meteorological parameters, temperature is always considered as one of the most atmospheric elements and studying it in order to gain a better understanding of the climate change phenomenon, has been effective. In addition to identifying trends, extraction of oscillatory patterns in the atmospheric phenomena and parameters occurrence can be an applicable and reliable method to explore the complex relations between atmospheric-oceanic cycles and short term or long term consequences of meteorological parameters.

Materials and Methods: In this paper, monthly average temperature time series in Mashhad synoptic station in 55 years period (from 1956 to 2010) in monthly, seasonal, annual and seasons separately (winter, spring, summer and autumn) have been analyzed. Discrete wavelet transform and Mann-Kendall trend test were the main methods for performing this research. Wavelet transform is a powerful method in signal processing and it is an advanced version of short time Fourier transforms. Moreover, it has many improvements and more capabilities compared with Fourier transform. In the first step, temperature time series in various time scales (which was mentioned above) have been decomposed via discrete wavelet transforms into approximation (A) and detail (D) components. For the second step, Mann-Kendall trend test was applied to the various combinations of these decomposed components. For detecting the most dominant periodic component for each of the time scales datasets, results of Mann-Kendall test for the original time series and the decomposed components were compared to each other. The nearest value indicated the most dominant periodicity based on the D component's level. To detect the similarity between results of the Mann-Kendall test, relative error method was employed. Additionally, it must be noted that before applying Mann-Kendall test, time series has to be assessed for its autocorrelation status. If there are seasonality patterns in the studied time series or lag-1 autocorrelation coefficient of data is significant, then some modified versions of the Mann-Kendall test have to be employed.

Results and Discussion: Results of this study showed that the temperature trend at every time scaled dataset (monthly, seasonal, annual and seasons separately) is positive and significant. Autocorrelation coefficients indicated that only seasonal time series and winter datasets did not have significant ACFs. On the other hand, monthly and seasonal datasets had seasonality pattern. Based on these results, Hirsch and Slack's modified version of Mann-Kendall test was employed for monthly and seasonal time series and for the winter temperature data, the original version of the Mann-Kendall test was applied. For the remaining time series, the Hamed and Rao's modified version of the Mann-Kendall trend test was employed. Dominant periodicities in monthly, seasonal and annual, confirmed the oscillatory behavior of each other. However, in the seasons, it seems that periodic patterns with the same temperature ranges are more similar. On the other hand, due to the greater similarity between the results of the Mann-Kendall test in the warmer seasons and the data with monthly, seasonal and annual time scale, it seems that yearly warm period has more noticeable impacts on the positive and significant trend of temperature in the study area. It must be noted that in any of the studied time series, results of the Mann-Kendall test for detail (D) component was not significant and after adding approximation (A) component, Mann-Kendall statistics turned to a significant value. This happens because the long term variations or trends appear in approximation components in most of the time series.

Conclusion: In this study, a powerful signal processing method called wavelet transform was employed to detect the most dominant periodic components in temperature time series in various time scales, in Mashhad synoptic station. Results showed that using frequency-time analysis methods has more benefits compared with the use of only classic statistical methods, since one can explore any time series with more accuracy. Because

1,2,3- PhD Student, Professor and Lecture, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Respectively

(*-Corresponding Author Email: alireza_araghi@yahoo.com)

most of the meteorological variables have periodic structures, it seems that using advanced signal processing methods like wavelet for analysis of these variables can have many advantages compared with linear-based methods. It can be suggested for future studies to use and employ signal processing methods for exploring the large scaled phenomena (e.g. ENSO, NAO, etc.) and discovering the relationship between these phenomena and climate change in recent decades.

Keywords: Discrete wavelet transforms, Mann-Kendall test, Oscillatory pattern, Trend