

بررسی ارتباط بارش و دمای ایران با چرخه لکه‌های خورشیدی با استفاده از پالایش موجک

محمود خسروی*، شیما رستمی جلیلیان^۲

۱- دانشیار اقلیم‌شناسی دانشگاه سیستان و بلوچستان

۲- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد اقلیم‌شناسی دانشگاه تهران

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۱/۹/۲۸

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۳/۸/۳

چکیده

منبع اولیه انرژی برای جو زمین خورشید است، تغییرات میزان انرژی خروجی از خورشید و یا نوسانات دمایی سطح آن، می‌تواند نوسانات و تغییراتی را در جو زمین ایجاد نماید. لکه‌های خورشیدی به عنوان یکی از فعالیت‌های خورشید از جمله مولفه‌هایی است که می‌تواند بر سامانه اقلیم زمین در مقیاس‌های زمانی متفاوت اثر گذاشته و در نهایت نوسانات و تغییرات اقلیمی را به دنبال داشته باشد. در این مطالعه تحلیل طیفی سری‌های زمانی دما و بارش با استفاده از نظریه موجک‌ها برای شناخت تاثیر لکه‌های خورشیدی بر رفتار طیفی دما و بارش ایران در یک دوره آماری ۴۳ ساله (۱۹۶۶-۲۰۰۹) در ۴۱ ایستگاه همدیدی انجام شده است. با جداسازی محتوای طیفی سری‌های زمانی بارش و دما در باند فرکانسی ۹ تا ۱۲ ساله با استفاده از تبدیل موجک معکوس و مقایسه آن با داده‌های تعداد لکه‌های خورشیدی در سال‌های مختلف، میزان همبستگی این نوسانات در ایستگاه‌های مختلف محاسبه شد. نتایج نشان می‌دهد میزان تغییرپذیری بارش و دما ناشی از مولفه ۱۱ ساله و ارتباط آن با لکه‌های خورشیدی در ایستگاه‌های مختلف، متفاوت است. نوسانات دما و بارش در برخی ایستگاه‌ها نسبت به نوسانات چرخه لکه‌های خورشیدی در طول زمان دارای رفتار معکوس و برخی دیگر دارای رفتار مشابهی است. در رابطه با بارش، هر چه از عرض‌های جغرافیایی پایین‌تر به سمت عرض‌های بالاتر می‌رویم، ارتباط بین چرخه لکه‌های خورشیدی و چرخه تغییرپذیری بارش از مقادیر زیاد منفی به سمت مقادیر مثبت می‌رود، در نتیجه در عرض‌های پایین تغییرپذیری ۱۱ ساله بارش و تعداد لکه‌های خورشیدی رفتار معکوس و در عرض‌های بالا رفتار مشابه پیدا می‌کند. در رابطه با دما، بیشترین تاثیر چرخه خورشیدی در جنوب شرق، شرق و بخش‌هایی از مرکز و سواحل جنوبی کشور است و از سمت جنوب شرق به سمت شمال غرب کشور ارتباط مستقیم بین دما و چرخه لکه‌های خورشیدی کمتر می‌شود.

واژگان کلیدی: لکه‌های خورشیدی، پالایش موجک، دما، بارش، ایران

مقدمه

دمایی سطح آن، می‌تواند نوسانات و تغییراتی را در جو زمین ایجاد نماید (Marsden & Lingenfelter, 2003). لکه‌های خورشیدی به عنوان یکی از فعالیت‌های خورشید از جمله پدیده‌هایی است که در دهه‌های اخیر توجه اقلیم‌شناسان را به خود معطوف ساخته و به عنوان یکی از مولفه‌هایی که می‌

منبع اولیه انرژی برای جو زمین خورشید است، بنابراین منطقی است که تغییرات آب و هوایی را در اقلیم کره زمین به عنوان نتیجه‌ای از تغییرپذیری خورشید در نظر بگیریم. تغییرات میزان انرژی خروجی از خورشید و یا نوسانات

* Email: Khosravi@Gep.usb.ac.ir

به نظر می‌رسد رابطه ای غیر مستقیم بین تغییر پذیری خورشید و اقلیم زمین وجود داشته باشد، مخصوصاً کشف یک رابطه بین شار پرتوهای کادمیک کیهانی و ابرناکی کره زمین (Svensmark & Friis-Christensen, 1997) در پروژه اقلیم شناسی بین المللی ماهواره ابر کشف شده است. دانشمندان زیادی نشان دادند که شواهدی از وجود همبستگی مثبت بین ابرناکی و پرتوهای کیهانی فقط برای ابرهای پایین (زیر ۳ کیلومتر) در میزان ابرناکی کره زمین در عرض های جغرافیای پایین تا وسط وجود دارد. واداشت های میانگین گیری شده به واسطه افزایش در ابرهای پایین در ارتباط با تغییرات پرتوهای کادمیک کیهانی ناشی از تغییر پذیری فعالیت خورشید تقریباً ۱/۲ وات بر متر مربع تخمین زده می شود که برای تغییر دمای سطح دریا کافی است (Marsden & Lingenfelter, 2003).

در سال‌های اخیر محققین با استفاده از مدل های گردش عمومی جو (GCM) ارتباطی را بین چرخه های ۱۱ ساله لکه های خورشیدی و الگوهای هوا در نیمکره شمالی یافته اند. بدین ترتیب که گرم شدن زمستانی در نیمکره شمالی ممکن است با تغییر در تعداد لکه‌های خورشیدی و با الگوی تغییرات جهت بادهای پوش سپهری در مناطق حاره در ارتباط باشد (Haigh, 1996 & Ahrens, 1998). همچنین مطالعاتی که با دوره های نسبتاً طولانی انجام شده است، نشان می‌دهند که دوره هایی که سطح خورشید لکه های کمی داشته است، همزمانی نزدیکی با دوره های سرد در اروپا و آمریکای شمالی دارد. متقابلاً دوره های دیگری که با لکه های بسیار فراوان بر سطح خورشید، همبستگی خوبی با زمان های گرمتر در این مناطق دارند (عزیزی، ۱۳۸۳).

به منظور یافتن رابطه بین تغییرپذیری خورشید و تغییرات متغیرهای اقلیمی، روش‌های آماری گوناگون به کار گرفته می‌شوند. یکی از این روش‌های مطالعاتی برای شناسایی تغییرات به خصوص در زمینه رفتار بارش و دما و مدل‌سازی آن، روش تحلیل طیفی بر اساس تبدیل موجک می‌باشد. استفاده از این روش برای نمایش هر چه بهتر الگوی توزیع

تواند بر سامانه اقلیم زمین در مقیاس های زمانی متفاوت اثر گذاشته و در نهایت نوسانات و تغییرات اقلیمی را به دنبال داشته باشد، در کانون توجه قرار گرفته است. این لکه‌ها مناطق نسبتاً تاریکی روی سطح خورشید هستند که از نظر مغناطیسی دچار اختلال گردیده و سردتر از مناطق مجاور خود می‌باشند و دارای میدان مغناطیسی ۱۰۰ تا ۱۰۰۰ بار قوی تر از مغناطیس متوسط خورشید است (Impey & Hartmann, 2000). از مهمترین ویژگی های این لکه ها، تغییر پذیری نسبتاً منظم تعداد آنها در چرخه های ۱۱ ساله است. هنگامی که سیکل یازده ساله خورشیدی در حداکثر است، سایر فعالیت های خورشیدی شدیدتر هستند. بدین جهت مقدار تابش کلی خورشید افزایش یافته و خورشید جریانات بزرگتری از ذرات انرژی‌زیک را توسط باد خورشیدی به فضا منتقل می‌کند (Lean, 2001).

رخداد دوره یخبندان کوچک در طی سال های ۱۶۴۵ تا ۱۷۱۵ با حداقل تعداد لکه های خورشیدی (Eddy, 1976)، همبستگی بین تغییرات چرخه لکه های خورشیدی و دمای سطح دریای مناطق حاره (Reid, 1987) و دمای منطقه پوش سپهر قطبی (Labitzke, 1987) نمونه ای از مطالعات در ارتباط با فعالیت های خورشید و اقلیم زمین است.

ارتباط مستقیم بین فعالیت خورشید و این پدیده ها ضعیف است، زیرا تغییرات تابش خورشید روی چرخه خورشیدی ۱۱ ساله خیلی کوچک است. برای مثال در طی چرخه خورشیدی ۱۹۷۹ تا ۱۹۹۰، تغییرات در تابش دریافتی از خورشید فقط ۰/۰۱ درصد یا ۰/۰۳ وات بر متر مربع بوده که این مقدار به طور کروی در بالای جو میانگین گیری شده است (Fröhlich, 2000). این مقدار به طور با اهمیتی کوچکتر از واداشت های میانگین گیری شده کروی به واسطه ابرها (۲۸ وات بر متر مربع) (Hartmann, 1993)، گازهای گلخانه ای ایجاد شده توسط انسان (۲ وات بر متر مربع) (Wigley & Raper, 1992) و هواویزهای ایجاد شده توسط انسان (۰/۰۳ تا ۲ وات بر متر مربع) (Charlson & et al, 1992) می‌باشد.

پرداختند. نتایج حاکی از ارتباط غیر خطی بین تغییر پذیری خورشیدی و تغییرپذیری نوسانات شبه دوساله و انسو است. سلواراج و همکاران (۲۰۰۹)، تاثیر فعالیت های خورشیدی روی بارش سالانه در شهر تامیل هند را بررسی نمودند. آنها همبستگی خطی ۰/۲۱ را بین بارش سالانه تامیل و فعالیت خورشیدی به دست آوردند. ما و همکاران (۲۰۱۰)، تاثیر احتمالی چرخه ۱۱ ساله خورشیدی بر بارش رشته کوه هوشان در چین را در ۳۰۰ سال گذشته با استفاده از تبدیل موجک و تبدیل موجک متقابل مورد تحقیق قرار دادند. آنها دریافتند که فعالیت خورشیدی تا حدودی بر بارش مناطق جغرافیایی چین در یک چرخه ۱۱ ساله، تاثیرگذار است. روی و های (۲۰۱۲)، سیگنال چرخه خورشیدی در داده های فشار سطح دریا و پیامدهای زمانی آن را بررسی کردند و نتیجه گرفتند که تاثیر سیگنال چرخه خورشیدی در دوره ۱۹۵۶ تا ۱۹۹۷ ممکن است به واسطه تغییر پذیری قوی انسو، ضعیف تر باشد. در داخل کشور نیز پژوهش های در رابطه با لکه های خورشیدی انجام پذیرفته، به عنوان نمونه: زرین و مفیدی (۱۳۸۴)، تغییرپذیری فعالیت خورشیدی و اثر آن بر اقلیم خاورمیانه و ایران را مورد بررسی قرار داده است. یافته های آنها همبستگی ضعیفی را بین تعداد لکه های خورشیدی با مجموع بارش زمستانه و میانگین دمای حدی ایستگاه های منتخب ایران و مناطق همجوار نشان می دهد. این همبستگی های ضعیف به دست آمده نشانگر آن است که در سال های که فعالیت خورشیدی به حداکثر خود می رسد، دمای میانگین فصل زمستان در منطقه خاورمیانه و ایران به طور نسبی کاهش می یابد. جهانبخش و عدالت دوست (۱۳۸۷)، به بررسی تاثیر فعالیت های خورشیدی بر تغییرات بارندگی های سالانه ایران با استفاده از روش تحلیل موجک، فوریه و تحلیل های آماری پرداختند. نتایج حاصل بیانگر وجود ارتباط متوسط تا قوی بین لکه های خورشیدی و بارندگی ها ایران است؛ به طوری که میانگین بارندگی های سالانه در نواحی بارشی متناسب با چرخه لکه های خورشیدی (۵، ۸، ۱۱ و

زمانی و فرکانسی متغیرهای اقلیمی در مناطق مختلف حائز اهمیت است (تقوی و همکاران، ۱۳۹۰). تحقیقات زیادی در زمینه به کارگیری روش های آماری و طیفی در تحلیل داده های بارش صورت گرفته است. فلیر (۱۹۸۲) به بررسی تغییرپذیری لکه های خورشیدی و نوسانات بارش با استفاده از تحلیل طیفی و پالایش^۲ طیفی پرداخت. او با استفاده از طیف توان و پالایه های نوار گذر فرکانسی نشان داد که مولفه های واریانس چرخه ای قابل ملاحظه در مقیاس زمانی فعالیت خورشیدی در بعضی از ایستگاه ها وجود دارد. پریرازا و همکاران (۱۹۹۹) به مطالعه تاثیر فعالیت های خورشیدی بر روی تغییرات تناوبی بارش در منطقه بالتیک پرداخته اند. آنها با کمک روش های طیفی برای سری های زمانی ماهانه و سالانه چرخه های با اهمیتی را برای فرآیندهای زمینی و خورشیدی با دوره های ۶ و ۱۲ ماه، ۲/۵ و ۱۱ سال یافتند. هایرمت و ماندی (۲۰۰۴)، اثر فعالیت خورشیدی بر بارش مانسون هند را بررسی نموده و نتیجه گرفتند که در طول فصل مانسون، همبستگی مثبت قوی بین داده های لکه های خورشیدی و بارش در دوره مشابه وجود دارد. بنابراین آنها پیشنهاد دادند که چرخه لکه های خورشیدی بایستی یک عامل موثر در مدل سازی بارش ناشی از مانسون در هند باشد. بتاچریا و نراسیما (۲۰۰۴) با استفاده از تحلیل موجک متقابل نشان دادند که بارش میانگین مانسون هند در دوره اوج فعالیت خورشیدی بیشتر است و در آزمون Z، سطح اطمینان آماری ۹۵٪ یا بیشتر برای سه ایستگاه به دست آمد. ژو و همکاران (۲۰۰۴) با استفاده از تبدیل موجک پیوسته به بررسی اثر فعالیت خورشیدی بر بارش سالانه در منطقه بینجینگ چین پرداخته و نتایج آنها ارتباط قوی بین تغییرات تعداد لکه های خورشیدی و بارش سالانه را نشان داد. همچنین سوزا اچر و همکاران (۲۰۰۸) با استفاده از تحلیل طیفی و موجک به تحلیل سری زمانی بارش جنوب برزیل، تعداد لکه های خورشیدی، شاخص انسو و نوسانات شبه دوساله در طی صد سال گذشته

سالانه ایستگاه‌های گرگان و گنبد به ترتیب سیکل ۱۱، ۵ و ۱۰ ساله را نشان داد.

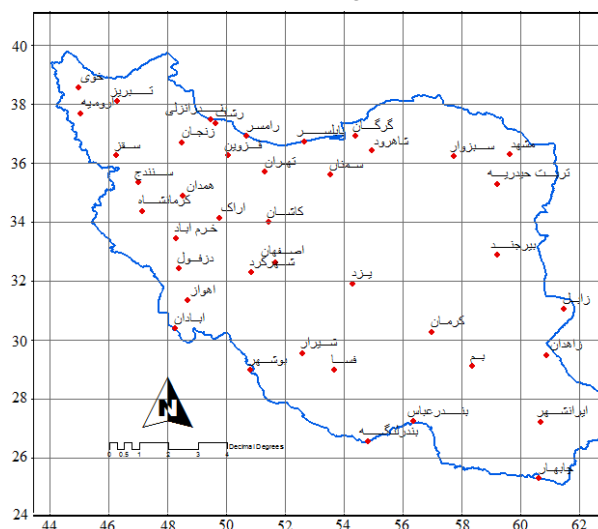
در این تحقیق با به کارگیری داده‌های ماهانه دما و بارش ۴۱ ایستگاه‌های همدیدی که توزیع مناسبی در سطح کشور دارند و داده‌های تعداد لکه‌های خورشیدی در دهه‌های اخیر، همبستگی بین چرخه ۱۱ ساله لکه‌های خورشیدی و همین چرخه در سری‌های زمانی دما و بارش ایستگاه‌های مختلف بررسی شده است.

داده‌ها و روش‌ها

داده‌ها

در این مطالعه داده‌های بارش و دمای ماهانه ۴۱ ایستگاه همدیدی ایران در طی دوره آماری ۴۳ ساله از ۱۹۶۶-۲۰۰۹ در محدوده جغرافیایی ۴۵-۶۲ شرقی و ۲۵-۳۹ شمالی (شکل ۱)، به منظور بررسی تاثیر تغییرپذیری لکه‌های خورشیدی بر تغییرات طیفی دما و بارش مورد استفاده قرار گرفته است. داده‌های مورد بررسی با تقسیم شدن بر میانگین بلند مدت ماهانه نرمال و سپس برای تحلیل طیفی و مقایسه بین ایستگاه‌ها به کار گرفته شده است.

۲۲ نوسان‌های زمانی مشخصی را نشان می‌دهند. طی این بررسی مشخص گردید که همبستگی بین تغییرات بارندگی‌ها و لکه‌های خورشیدی در تمام نقاط ایران ثابت نبوده بدین ترتیب که تغییرات بارندگی‌ها در نواحی ساحلی ایران با فعالیت این لکه‌ها رابطه مستقیم و در نواحی خشک و نیمه خشک دارای رابطه معکوس است. در تحقیق دیگری جهانبخش و عدالت دوست (۱۳۸۷) به ارزیابی تغییرات درازمدت نوسان‌های سطح آب دریاچه ارومیه و پارامترهای موثر در این نوسان‌ها در ارتباط با فعالیت لکه‌های خورشیدی پرداختند که براساس این تحقیق همبستگی منفی معنی‌دار بین این نوسان‌ها در ارتباط با لکه‌های خورشیدی وجود دارد. خسروی و میردیلیمی (۱۳۹۲) با استفاده از تحلیل موجک به بررسی رابطه خشکسالی‌های استان گلستان و لکه‌های خورشیدی پرداختند. نتایج نشان داد که ارتباط و همبستگی متوسط تا قوی بین لکه‌های خورشیدی و تغییرات بارش استان گلستان وجود دارد. میزان همبستگی بین تغییرات بارش و لکه‌های خورشیدی در تمام نقاط استان ثابت نمی‌باشد. با وجود اینکه تغییرات بارش نواحی غرب استان از چرخه فعالیت‌های خورشیدی تبعیت می‌نماید. بررسی تحلیل موجک بر روی داده‌های لکه‌های خورشیدی، بارش



شکل ۱- موقعیت ایستگاه‌های همدید مورد مطالعه

اساس همه روش‌های طیفی از جمله تحلیل موجک بر پایه تعریف سری‌های فوریه است. در این روش‌ها سری زمانی

روش تحلیل موجک

$$\psi(t) = \frac{1}{\pi^{\frac{1}{4}}} e^{i2\pi f_0 t} e^{-\frac{t^2}{2}} \quad (1)$$

که t زمان، f_0 فرکانس بی بعد و

$\frac{1}{\pi^{\frac{1}{4}}}$ عاملی برای نرمال نمودن است تا موجک مادر انرژی واحدی داشته باشد. رابطه تبدیل موجک برای سری زمانی پیوسته نسبت به موجک مادر می‌تواند به صورت ذیل بیان شود (Addison, 2002):

$$T(a, b) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \psi_{a,b}^*(t) dt \quad (2)$$

(t) سری زمانی ورودی و $\psi_{a,b}^*(t)$ مزدوج مختلط تابع موجک مادر نرمال شده، انتقال یافته و مقیاس شده است که این تابع به صورت ذیل تعریف می‌شود (Addison, 2002):

$$\psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad (3)$$

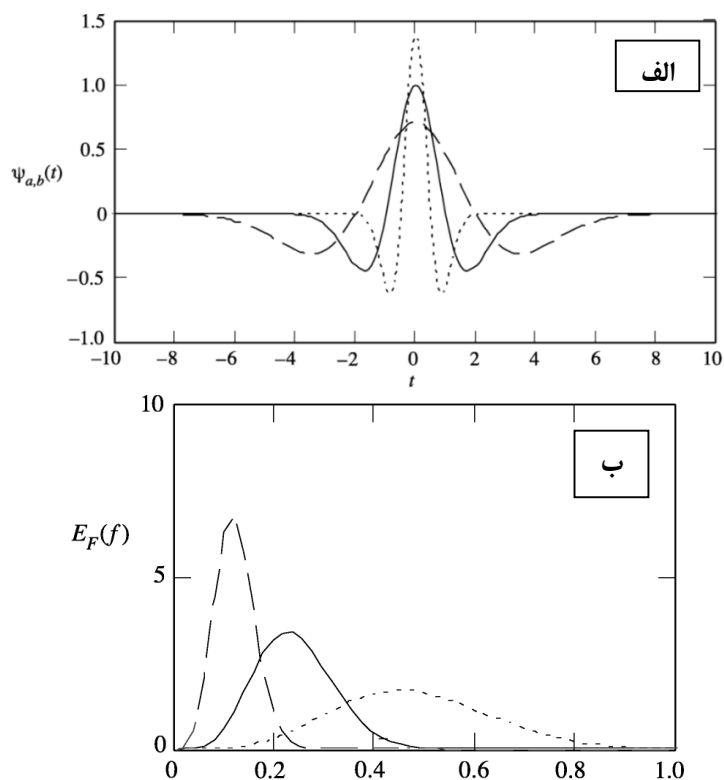
رابطه تبدیل موجک در

واقع یک رابطه انتگرالی از حاصلضرب یک سری زمانی در مزدوج تابع موجک مادر است که این عمل در اصطلاح ریاضیات، هم‌میخت دو تابع نامیده می‌شود. اگر از حوزه زمان به حوزه فرکانس برویم هم‌میخت در حوزه زمان معادل با ضرب محتوای فرکانسی سری زمانی و تابع موجک مادر در حوزه فرکانس است که مفهوم یک پالایه میان‌گذر را دارد که نوار گذر فرکانسی آن با تغییر پارامتر مقیاس موجک مادر (a) تعیین می‌شود. نحوه تغییر نوار گذر فرکانسی یک موجک خاص در شکل (۲) نشان داده شده است.

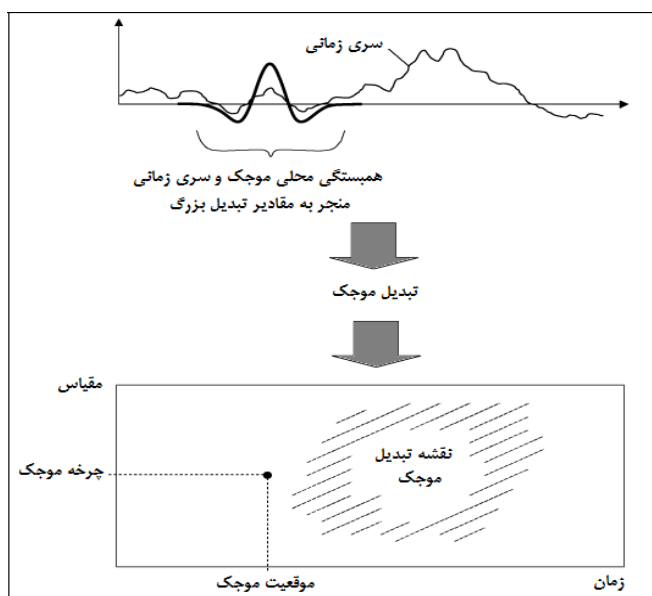
رابطه تبدیل موجک به ازای همه زمان‌های سری زمانی و همه پارامترهای مقیاس (a) و پارامترهای انتقال (b) محاسبه و نقشه مقیاس‌نما سری زمانی مربوطه به دست می‌آید که این فرآیند در شکل (۳) نشان داده شده است.

شامل تعداد زیادی چرخه (سینوسی یا کسینوسی) است. چرخه‌های موجود در سری زمانی دارای اهمیت‌های متفاوتی هستند (Brilinger, 1993). روش تبدیل موجک که از جمله این روش‌های طیفی می‌باشد به منظور تحلیل طیفی سری-های زمانی که شامل توان‌های غیر ایستا (دارای روند) در فرکانس‌های مختلف هستند، به کار می‌رود (Daubechies, 1990).

در روش تحلیل موجک بر خلاف روش تحلیل طیفی کلی، یک تصویر از تغییرات چرخه‌ها نسبت به زمان و توان آنها در سری زمانی مشاهده می‌شود. از دیدگاه ریاضی، تبدیل موجک هم‌میخت^۱ توابع موجک مادر با سری زمانی اصلی می‌باشد. موجک‌های مادر می‌توانند به مکان‌های مختلف سری زمانی حرکت کنند و همچنین آنها می‌توانند کشیده و فشرده شوند؛ در نتیجه امکان جداسازی چرخه‌های مختلف سری زمانی و شدت و ضعف آنها میسر می‌شود. نقشه تبدیل موجک که مقیاس‌نما^۲ نامیده می‌شود، همبستگی بین سری زمانی و موجک در مقیاس‌های مختلف (چرخه‌ها) و در مکان‌های مختلف و در نتیجه ساختارهای همسان در سری زمانی را نشان می‌دهد. اگر موجک و سری زمانی در یک چرخه خاص به خوبی همبسته باشند مقدار تبدیل موجک بزرگ و در غیر این صورت کوچک خواهد بود. برای مطالعات اقلیمی جهت شناسایی ساختارهای همسان در سری زمانی، معمولاً موجک مادر مورلت^۳ به کار می‌رود. این موجک که برای تحلیل زمانی-فرکانسی به کار می‌رود در واقع ضرب یک موج سینوسی مختلط در یک پوش گوسی است (Goupillaud & et al, 1984):



شکل ۲- الف) نمایش یک تابع موجک مادر خاص در حوزه زمان به ازای سه مقدار مختلف پارامتر مقیاس **a** (ب) نوار فرکانسی گذر همان موجک مادر (Addison, 2002).



شکل ۳- نمایش نحوه عمل تابع موجک مادر روی سری زمانی به ازای یک پارامتر مقیاس خاص جهت نمایش محتوای واریانس سری زمانی در نقشه مقیاس نما، جهتکامل شدن کل نقشه مقیاس نما، باید این عمل با مقادیر مختلف پارامتر مقیاس انجام شود (Addison, 2002).

پالایش سری های زمانی

برای بازیابی سری زمانی اولیه از نقشه تبدیل موجک از

$$x(t) = \frac{1}{C_g} \int_{-\infty}^{\infty} \int_0^{\infty} T(a,b) \psi_{a,b}(t) \frac{dad b}{a^2}$$

تبدیل

موجک معکوس استفاده می‌شود. رابطه تبدیل موجک معکوس به صورت زیر تعریف می‌شود (Addison, 2002):

(۴)

این رابطه امکان بازیابی سری زمانی اصلی با انتگرال‌گیری روی همه مقیاس‌ها و همه مکان‌ها را به ما می‌دهد. در این رابطه مزدوج تابع موجک مادر به کار نمی‌رود بلکه خود موجک استفاده می‌شود. در اینجا C_g با توجه به تبدیل فوریه تابع موجک مادر به دست می‌آید. اگر $\hat{\psi}(t)$ تبدیل فوریه تابع موجک مادر باشد، در این صورت مقدار C_g از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$C_g = \int_0^{\infty} \frac{|\hat{\psi}(f)|^2}{f} df$$

(۵)

اگر انتگرال‌گیری روی مجموعه‌ای از مقادیر پارامتر مقیاس محدود شود در واقع یک پالایش اساسی روی سری زمانی اصلی انجام شده است. در حالت ایجاد یک پالایه پایین‌گذر رابطه به صورت زیر است که a^* مقیاس قطع است،

$$x(t) = \frac{1}{C_g} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{a^*}^{\infty} T(a,b) \psi_{a,b}(t) \frac{dad b}{a^2}$$

(۶)

علاوه بر این می‌توان توسط تبدیل معکوس، عملیات پالایه کردن را جهت بازسازی سری زمانی در مقیاس‌های (چرخه‌ها) انتخابی انجام داد. با این روش امکان جداسازی چرخه‌های انتخابی و مقایسه محتوای طیفی این چرخه‌ها در سری های زمانی مختلف امکان پذیر می‌شود.

رابطه همبستگی

روابط آماری متعددی در شناخت رابطه بین دو متغیر وجود دارد که مهمترین آنها ضریب همبستگی است که ارزش محاسبه شده این ضریب مقداری بین +۱ تا -۱ را خواهد داشت. علامت مثبت نشان دهنده ارتباط مستقیم و علامت منفی نشان دهنده ارتباط معکوس بین دو متغیر است. ضریب همبستگی با رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (۷)$$

محاسبه ضریب همبستگی بین سری های زمانی در چرخه های مختلف، امکان پذیری وجود رابطه‌ای بین این سری های زمانی را خواهد داد. در این مطالعه ارتباط بین سری های زمانی دما و بارش با تغییر پذیری تعداد لکه های خورشیدی در چرخه ۱۱ ساله، با استفاده از ضریب همبستگی مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

نتایج و بحث

مطالعه موردی

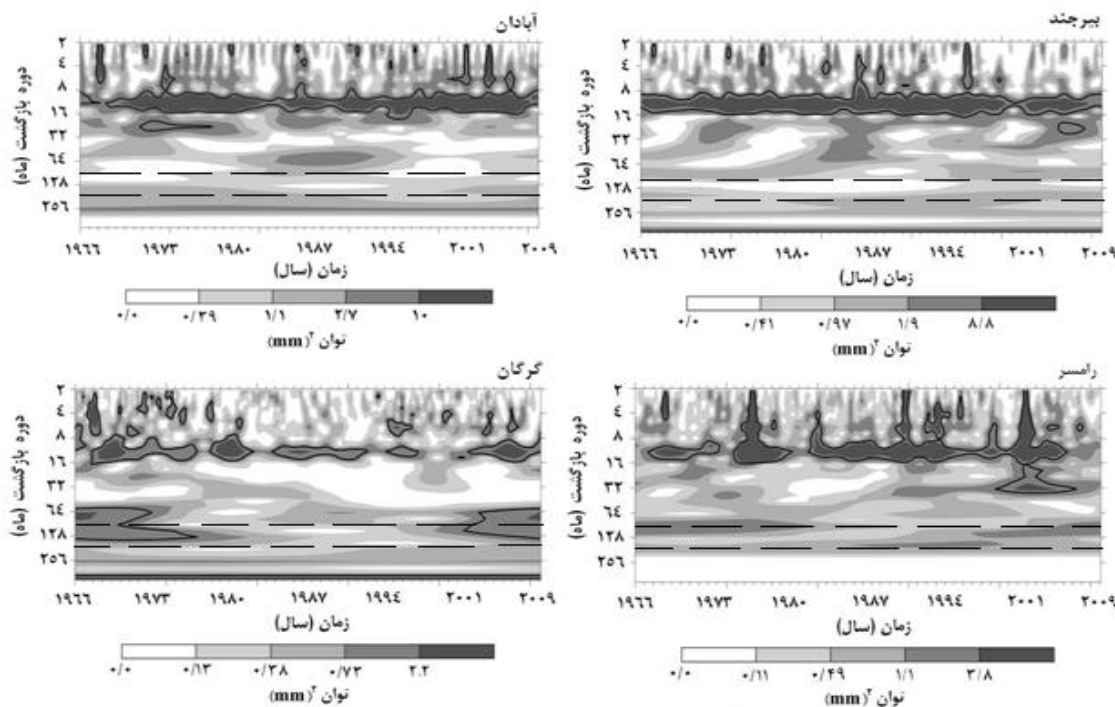
با بکارگیری موجک مادر مورلت و محاسبه تبدیل موجک، چرخه‌های مختلف در سری های زمانی دما و بارش و شدت و ضعف آنها مشخص خواهد شد. به منظور جداسازی این چرخه‌ها در داده‌های دما و بارش، مقیاس‌نما برای چند ایستگاه منتخب در سطح کشور به دست آمد. مقیاس‌نما، دامنه موجک‌ها و نوسانات آنها را در سری زمانی نشان می‌دهد که بیانگر تصویری کامل از تغییرپذیری دما و بارش است. در مقیاس‌نما، پنج سطح پربندی^۶ توان نشان داده شده است که رنگ مشکی مشخصه بیشترین توان موجک و رنگ سفید مشخصه کمترین توان موجک می‌باشد. خط مشکی تیره که بعضی از نواحی داخل مقیاس‌نما را احاطه کرده، سطح اطمینان آماری ۹۰ درصد را در طیف مورد نظر نشان می‌دهد.

سال که ناشی از واداشت‌های بزرگ مقیاس نظیر لکه‌های خورشیدی می‌باشد، پرداخته شده است. محدوده این تغییرپذیری‌ها در شکل ۴ با خطوط چین مشخص شده است. با توجه به این شکل مشاهده می‌شود که میزان تغییرپذیری ناشی از لکه‌های خورشیدی در ایستگاه‌های ذکر شده دارای توان‌های متفاوتی در طول زمان می‌باشند.

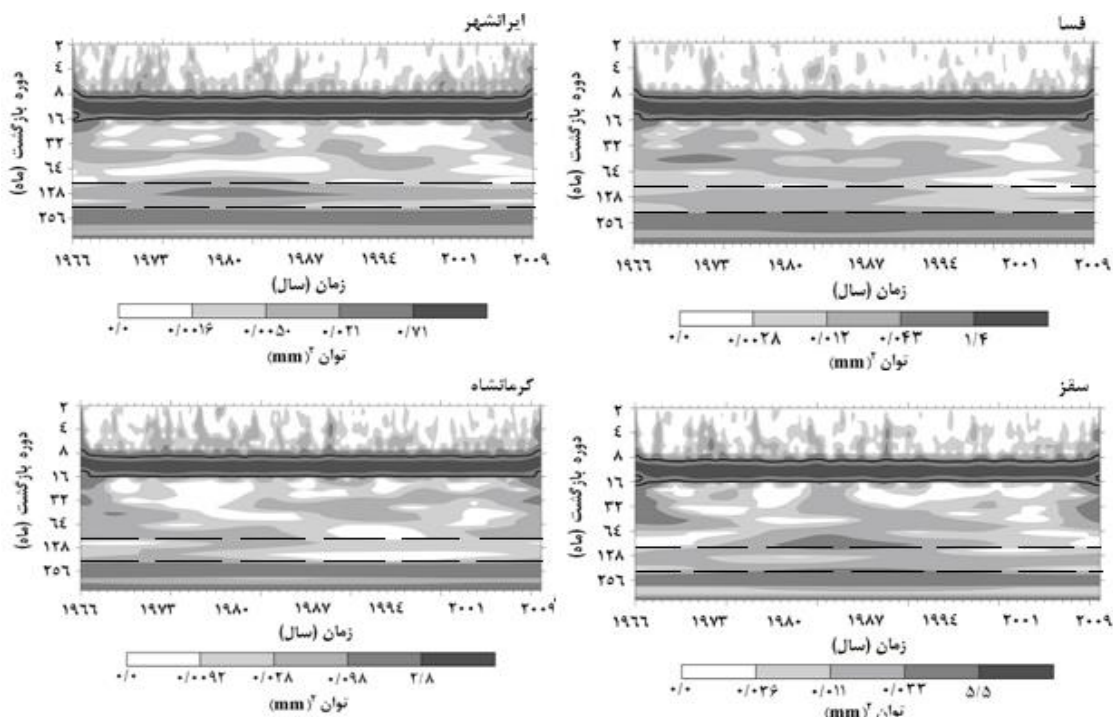
مقیاس نما برآیداده‌های دمای ۴ ایستگاه منتخب در شکل ۵ نشان داده شده است. چرخه سالیانه در سری‌های زمانی دمای هر ۴ ایستگاه از نظم و توان قابل توجهی با سطح اطمینان آماری ۹۰ درصد برخوردار است. علاوه بر چرخه سالانه، چرخه‌های با دوره بازگشت فصلی و بین سالی نیز نمایش داده شده که محدوده تغییرپذیری‌های بین ۹ تا ۱۲ سال در شکل ۵ با خطوط چین مشخص شده و تغییرات شدت این چرخه در ایستگاه‌های ذکر شده در طول زمان مشاهده می‌گردد.

هدف از تحلیل مقیاس‌نماها یافتن چرخه‌ها در سری زمانی دما و بارش است. به طور کلی هر چه تغییرپذیری دارای دوره بازگشت کوتاه‌تری باشد، نشان می‌دهد که آن واداشت جوی دارای مقیاس منطقه‌ای و هر چه تغییرپذیری دارای دوره بازگشت طولانی‌تری باشد، واداشت جوی دارای مقیاس بزرگتری می‌باشد. با انتخاب موجک مادر مورلت جهت تحلیل، ضرایب موجک در چرخه‌ها و زمان‌های مختلف برای سری‌های زمانی انتخاب شده، محاسبه گردید.

مقیاس نما برای داده‌های بارش ۴ ایستگاه منتخب در شکل ۴ نشان داده شده است. توان بالایی برای همه ایستگاه‌ها بین مقیاس ۸ تا ۱۶ ماهه وضوح مشخص است که نشانگر چرخه سالانه قوی در این سری‌های زمانی است، که این چرخه در ایستگاه‌های بیرجند و آبادان از نظم بیشتری برخوردار است. علاوه بر چرخه سالانه، چرخه‌های با دوره بازگشت فصلی و بین سالی نیز در این شکل نمایش داده شده است. در این بررسی به تغییرپذیری‌های بین سالی ۹ تا ۱۲



شکل ۴- نقشه تبدیل موجک (مقیاس نما) برای داده‌های بارش ایستگاه‌های منتخب طی دوره آماری ۱۹۶۶-۲۰۰۹



شکل ۵- نقشه تبدیل موجک (مقیاس نما) برای داده های دمای ایستگاه های منتخب طی دوره آماری ۱۹۶۶-۲۰۰۹

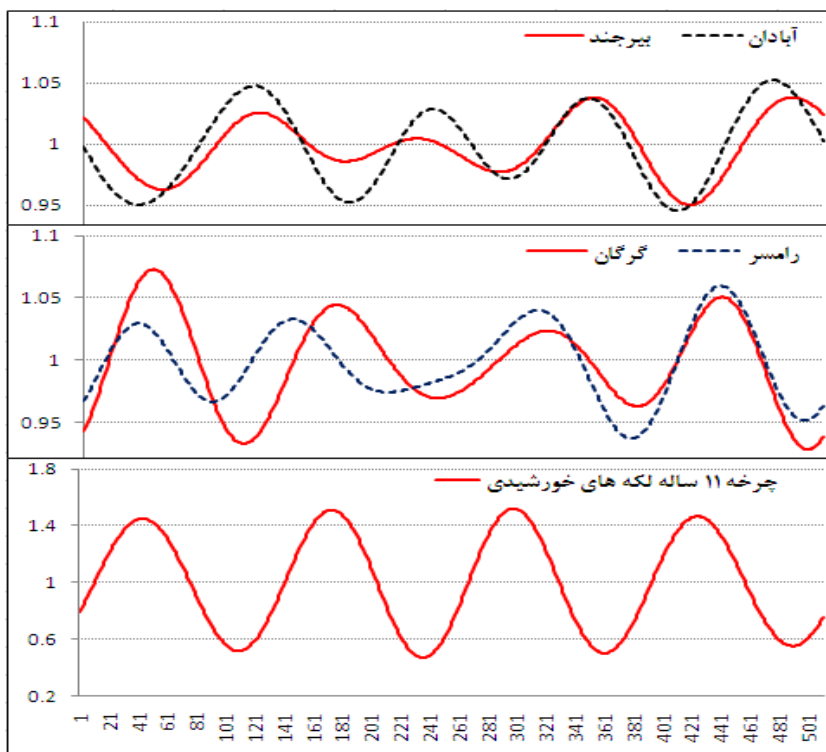
رفتار معکوس و در ایستگاه های رامسر و گرگان دارای رفتار مشابهی است. رفتار معکوس بدین معناست که هنگامی که نوسان لکه خورشیدی در بیشترین مقدار خود است، نوسان بارش در کمترین میزان خود می باشد. رفتار مشابه نیز بدین معناست که نوسان بارش و لکه خورشیدی در یک زمان مقادیر آن کاهش یا افزایش می یابد. علاوه بر این دامنه (توان) نوسان ۱۱ ساله بارش در ایستگاه های مورد نظر متفاوت می باشد.

شکل ۷ نوسانات چرخه ۱۱ ساله خورشیدی و دمای ایستگاه های انزلی، رامسر، ایرانشهر و فسا را نشان می دهد. این نوسانات در ایستگاه های انزلی و رامساز چرخه لکه های خورشیدی در طول زمان تبعیت نمی کند و در ایستگاه های ایرانشهر و فسا دارای رفتار مشابه بوده و دامنه (توان) نوسانات ۱۱ ساله ایستگاه های مورد نظر متفاوت می باشد.

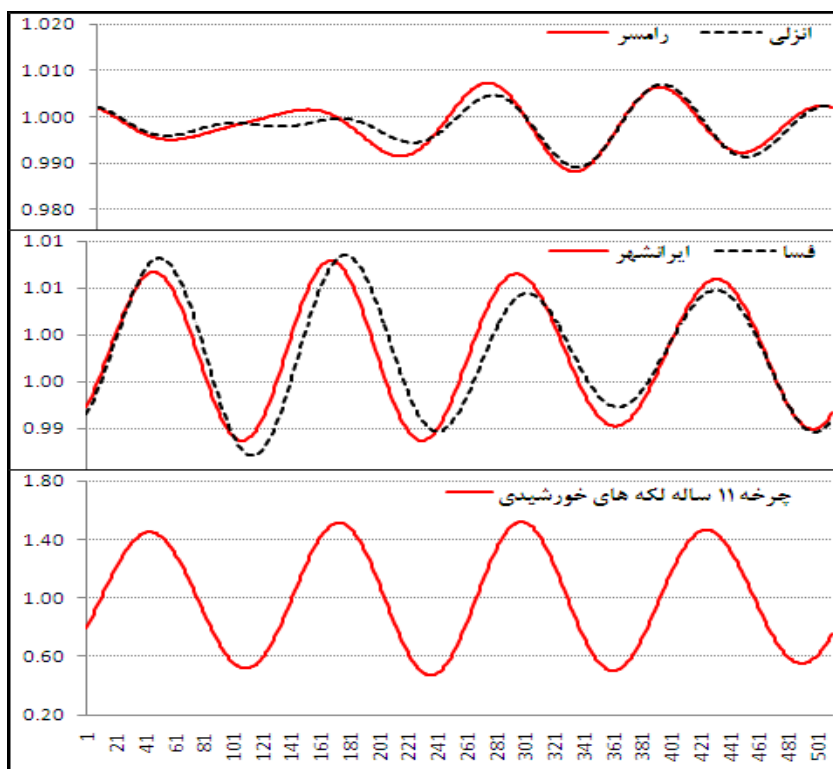
جداسازی چرخه های زمانی خاص با استفاده از تبدیل موجک معکوس

در بخش قبل مشاهده شد که با استفاده از تبدیل موجک می توان چرخه های مختلف با توان های مختلف در طول زمان را از سری های زمانی دما و بارش جداسازی نمود. در این بخش تنها به تغییرپذیری چرخه ۱۱ ساله دما و بارش برای ایستگاه های منتخب و مقایسه آنها با هم و با چرخه لکه های خورشیدی پرداخته شده است. این ایستگاه ها بر اساس پیشینه همبستگی مثبت یا منفی در چرخه های دما و بارش انتخاب شده اند.

شکل ۶ نوسانات چرخه ۱۱ ساله خورشیدی و بارش برای ایستگاه های آبادان، بیرجند، رامسر و گرگان را نشان می دهد. این نوسانات در ایستگاه های آبادان و بیرجند نسبت به نوسانات چرخه لکه های خورشیدی در طول زمان دارای



شکل ۶- نوسانات چرخه ۱۱ ساله خورشیدی و بارش برای ایستگاه‌های منتخب



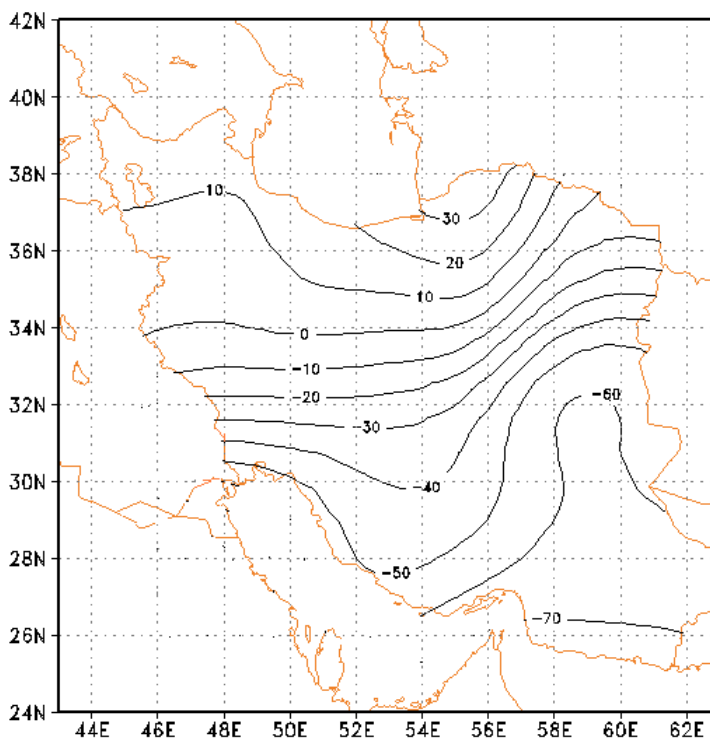
شکل ۷- نوسانات چرخه ۱۱ ساله خورشیدی و دما برای ایستگاه‌های منتخب

الگوی همبستگی

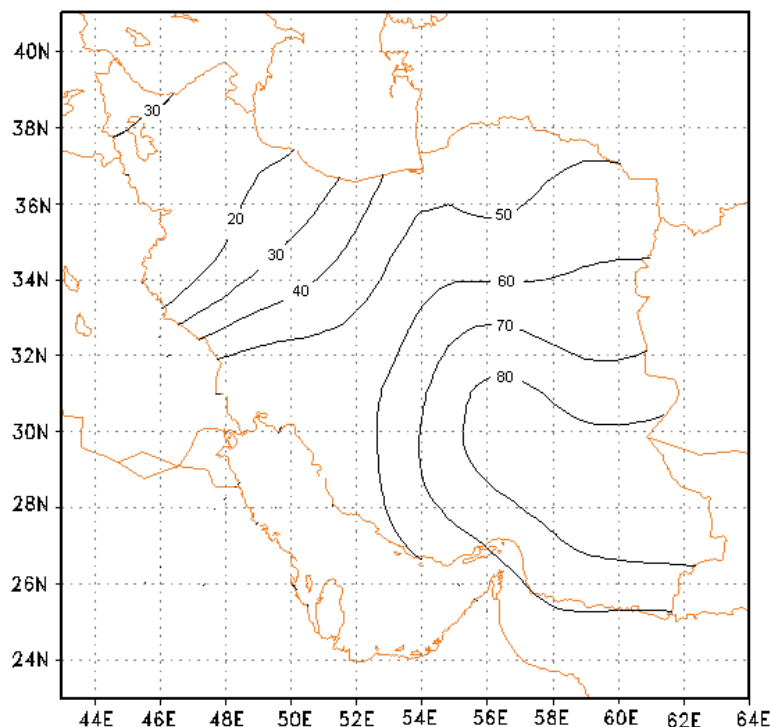
به منظور بررسی تطابق بین چرخه های ۱۱ ساله دما و بارش ایستگاه‌های مختلف با چرخه لکه‌های خورشیدی، ضریب همبستگی پیرسون برای ایستگاه‌های مختلف در منطقه به دست آمد. نتایج به صورت پربندهای الگوی همبستگی بر روی کشور در شکل‌های ۸ و ۹ نشان داده شده است. شکل ۸، پربندهای همبستگی بین چرخه ۱۱ ساله تغییرپذیری بارش و لکه های خورشیدی را نشان می دهد. در منطقه جنوب شرق، شرق و سواحل جنوبی کشور بیشترین مقادیر همبستگی معکوس (بین ۵۰ تا ۷۰ درصد) و در جنوب شرق دریای خزر بیشترین مقادیر همبستگی مثبت (بین ۲۰ تا ۳۰ درصد) وجود دارد. در بخش هایی از غرب، مرکز و شمال شرق کشور مقدار همبستگی صفر است و هیچگونه ارتباطی بین چرخه لکه‌های خورشیدی و چرخه تغییرپذیری ۱۱ ساله بارش وجود ندارد. به طور کلی از عرض‌های جغرافیایی

پایین‌تر به سمت عرض‌های بالاتر ارتباط بین چرخه لکه‌های خورشیدی و چرخه تغییرپذیری بارش از مقادیر زیاد منفی به سمت مقادیر مثبت می رود، در نتیجه در عرض‌های پایین تغییرپذیری ۱۱ ساله بارش و تعداد لکه های خورشیدی رفتار معکوس و در عرض‌های بالا رفتار مشابه پیدا می کند.

شکل ۹ پربندهای الگوی همبستگی بین تغییرپذیری های ۱۱ ساله دما و چرخه لکه‌های خورشیدی را نشان می دهد. بیشترین مقادیر همبستگی در جنوب شرق کشور بیش از ۸۰٪ است و از جنوب شرق به سمت شمال غرب همبستگی کاهش یافته و در منتهای شمال غرب کشور دوباره افزایش یافته و به ۳۰٪ می رسد. بنابراین بیشترین تاثیر چرخه خورشیدی بر چرخه تغییرپذیری ۱۱ ساله دما در جنوب شرق، شرق و بخش هایی از مرکز و سواحل جنوبی کشور است. در بخش هایی از غرب و سواحل جنوبی دریای خزر نیز رابطه بین چرخه‌ها نسبتاً کم است.



شکل ۸- پربندهای همبستگی بین چرخه ۱۱ ساله تغییرپذیری بارش و لکه های خورشیدی



شکل ۹- پربندهای همبستگی بین چرخه ۱۱ ساله تغییرپذیری دما و لکه های خورشیدی

نتیجه گیری

تحلیل موجک ایزاری مناسب برای بررسی چرخه‌های مختلف و شدت و ضعف آنها و جداسازی چرخه‌های مختلف در سری زمانی دما و بارش می‌باشد. هر چه تغییرپذیری دارای دوره بازگشت کوتاه‌تری باشد، نشان می‌دهد که آن واداشت جوی دارای مقیاس منطقه‌ای و هر چه تغییرپذیری دارای دوره بازگشت طولانی‌تری باشد، واداشت جوی دارای مقیاس بزرگتری می‌باشد.

با توجه به محاسبات انجام شده در همه ایستگاه‌های کشور توان بالایی بین مقیاس ۸ تا ۱۶ ماهه بوضوح مشخص است که نشانگر چرخه سالانه قوی در این سری‌های زمانی است. چرخه‌های با دوره بازگشت فصلی و بین سالی در ایستگاه‌های مختلف دارای توان‌های متفاوتی بودند. از جمله چرخه‌های بین سالی، چرخه ۱۱ ساله دما و بارش و لکه‌های خورشیدی می‌باشد. نوسانات دما و بارش در برخی ایستگاه‌ها نسبت به نوسانات چرخه لکه‌های خورشیدی در طول

زمان دارای رفتار معکوس و برخی دیگر دارای رفتار مشابهی است. نتایج ضریب همبستگی بین چرخه‌های ۱۱ ساله دما و بارش ایستگاه‌های مختلف با چرخه لکه‌های خورشیدی به منظور بررسی تطابق آنها با هم، نشان داد که در رابطه با بارش، از عرض‌های جغرافیایی پایین‌تر به سمت عرض‌های بالاتر ارتباط بین چرخه لکه‌های خورشیدی و چرخه تغییرپذیری بارش از همبستگی زیاد منفی به سمت مقادیر مثبت می‌رود، در نتیجه در عرض‌های پایین تغییرپذیری ۱۱ ساله بارش و تعداد لکه‌های خورشیدی رفتار معکوس و در عرض‌های بالا رفتار مشابه پیدا می‌کند. نتایج تحقیقات دیگران نیز همگی گویای وجود چرخه‌های مشابه با چرخه لکه‌های خورشیدی در بارش و نیز همبستگی بین بارش و چرخه لکه‌های خورشیدی می‌باشد که البته میزان این همبستگی در مکان‌های مختلف متفاوت است. در رابطه با دما، بیشترین تاثیر چرخه خورشیدی بر چرخه تغییرپذیری ۱۱ ساله دما در جنوب شرق، شرق و بخش‌هایی از مرکز و سواحل جنوبی کشور

- Academic Press, 151–155.
14. Hiremath, K.M., Mandi, P.I., 2004, Influence of the solar activity on the Indian Monsoon rainfall, *New Astronomy* 9, 651–662.
 15. Impey, C., Hartmann, W. K., 2000, *The Universe Revealed*. Brooks/Cole, pp.310-320.
 16. Jahanbakhsh, S., edalatdoost, M., 2008, Impact of solar activity on annual rainfall variability of Iran, *Journal of Geographical Research*, Vol 88, pp 3-24.
 17. Jahanbakhsh, S., edalatdoost, M., tadauni, M., 2011, Orumieh lake, index of relationship between sunspots and climate of northwest Iran, *Journal of Geographical Research*, Vol 99, pp 49-75.
 18. Labitzke, K., 1987, Sunspots, the QBO, and the stratospheric temperature in the north polar region, *Geophys. Res. Lett.*, 14, 535–537.
 19. Lean, J., 2001, Sunspots, *Encyclopedia of Global Environmental Change*, Vol.1, (The Earth System), pp.704-707.
 20. Khosravi, M., Mirdailami, S., 2013, The Impact of Sun activities on the Precipitation of Golestan Province (1961-2005), *Journal of Geography and Environmental Planning*, Vol 24 (4) :pp 33-46
 21. Ma, L. H., Han, Y.B., Yin, Z.Q., 2010, Possible Influence of the 11-year Solar Cycle on Precipitation in Huashan Mountain of China over the Last 300 Years, *Earth, Moon, and Planets*, Volume 107, Numbers 2-4, 219-224.
 22. Marsden D., Lingenfelter, R. E., 2003, Solar Activity and Cloud Opacity Variations: A modulated Cosmic Ray Ionization Model, *Journal of the Atmospheric Sciences*, Vol 60, 626-636.
 23. Pérez-Peraza, J., Leyva-Contreras, A., Valdéz-Barrón, M., Bravo-Cabrera, J.L., Libin I. Ya., and Jaani, A., 1999, Influence of solar activity on the cyclic variations of precipitation in the Baltic region, *Geofísica Internacional*, Vol. 38, Num. 2, pp. 73-81.
 24. Reid, G. C., 1987, Influence of solar variability on global sea surface temperatures, *Nature*, 329, 142–143.
 25. Roy, I., Haigh, J.D., 2012, Solar Cycle Signals in the Pacific and the Issue of Timings, *Atmosphere Science*, 69, 1446-1451.
 26. Seleshi, Y., Demaree, G. R., Delleur, J.W., 1994, Sunspot numbers as Possible Indicator of Annual Rainfall at Addis Ababa, Ethiopia, *International of Climatology*, vol .14, 911-923
 27. Selvaraj, R.S., Muthuchami, A., است. در بخش هایی از غرب و سواحل جنوبی دریای خزر نیز رابطه بین چرخه ها نسبتا کم می باشد. به طور کلی، از سمت جنوب شرق به سمت شمال غرب کشور ارتباط بین دما و چرخه لکه های خورشیدی کمتر می شود.

منابع

1. Addison, P.S., 2002, *The Illustrated Wavelet Transform Handbook*. IOP Publishing Ltd; 351pp.
2. Ahrens, C.D., 1998, *Essentials of Meteorology; An Invitation to the Atmosphere*. 2nd edition, Wadsworth Publishing Company, pp.323-345.
3. Azizi, G.H., 2004, *Climate change*, Published by Ghoomes, pp 270.
4. Bhattacharyya, S., Narasimha, R., 2004, Indian monsoon rainfall is higher in epochs of higher solar activity: a wavelet cross-spectral analysis, *Geophysical Research Letters*.
5. Brillinger, D.R., 1993, *The Digital Rainbow, Some History and Applications of Numerical Spectrum Analysis*. Canadian Journal of Statistics 21(1), 1-19.
6. Charlson, R. J., Schwartz, S.E., Hales, J. M., Cess, R. D., Coakley Jr. J. A., Hansen, J. E., and Hofmann, D., 1992, Climate forcing by anthropogenic aerosols. *Science*, 255, 423–429.
7. Daubechies, I., 1990: The wavelet transform time-frequency localization and signal analysis. *IEEE Trans. Inform. Theory*, 36, 961–1004
8. Eddy, J. A., 1976, The Maunder Minimum, *Science*, Vol. 192, No.4245, pp.1189-1202.
9. Fleer, H.E., 1982, Rainfall fluctuations and sunspot variability, *Meteorology Geophysics and Bioclimatology*, Volume 30, Numbers 1-2, 73-85.
10. Fröhlich, C., 2000, Observations of irradiance variations. *Space Sci.Rev.*, 94, 15–24.
11. Goupillaud, P, A. Grossman, J. Morlet, 1984, *Cycle-Octave and Related Transforms in Seismic Signal Analysis*. *Geoexploration* 23:85-102
12. Haigh, J. D., 1996, The Impact of Solar Variability on Climate. *Science.*, Vol.272 ,pp.98-984.
13. Hartmann, D. L., 1993, Radiative effects of clouds on earth's climate. *Aerosol-Cloud-Climate Interactions*, P. V. Hobbs, Ed.,

- wavelet analysis to investigate precipitation variability at western region of Iran, IRAN Journal of Geophysics, Vol 4, pp 49-76.
31. Wigley, T. M. L., and S. C. B. Raper, 1992: Implications for climate and sea level of revised IPCC emission scenarios, *Nature*, 357, 293-300.
 32. Zarrin, A., Mofidi, A., 2005, Variability of Solar Activity and it's Influence on the Earth's Climate, Case Study: Climate of Middle East and Iran, Vol. 2, No. 8, pp 83-104.
 33. Zhao, J., Han, Y.B., Li, Z.A., 2004, The Effect of Solar Activity on the Annual Precipitation in the Beijing Area, *Chinese Journal of Astronomy and Astrophysics*, Vol. 4, No. 2, 189-197.
 - Nancharaiah, M., 2009, Influence of sunspot activity on the annual rainfall of Tamil Nadu, India, *Indian Journal of Physics*, Vol 83, N 9, 1251-1258
 28. Souza Echer, M.P., Echer, E., Nordemann, D. J., Rigozo, N. R., Prestes, A., 2007, Wavelet analysis of a centennial (1895-1994) southern Brazil rainfall series (Pelotas, 31 ° 46' 19" S 52°20' 33" W), *Climatic Change*, Volume 87, Numbers 3-4 (2008), 489-497.
 29. Svensmark, H., and E. Friis-Christensen, 1997, Variation of cosmic ray flux and global cloud coverage-A missing link in solarclimate relationships, *J. Atmos. Sol.-Terr. Phys.*, 59, 1225-1232.
 30. Taghavi, F., Neyestani, A., Mohammadi, H., Rostami Jalilian, S.H., 2012, Application of