

ارتباط‌سنجی فعالیت لکه‌های خورشیدی و دمای حداقل استان اصفهان

هوشمند عطایی*؛ دانشیار اقلیم‌شناسی دانشگاه پیام نور، گروه جغرافیا، تهران، ایران

راضیه فنایی؛ کارشناسی ارشد اقلیم‌شناسی دانشگاه پیام نور

وصول: ۱۳۹۳/۴/۴ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۰/۱۴، صص ۴۸-۳۵

چکیده

خورشید منبع بنیادی انرژی در سامانه اقلیمی زمین است و تغییرات آن نوساناتی را در جو زمین ایجاد می‌کند. شرایط آب و هوایی مناطق مختلف در ارتباط با فعالیت‌های خورشیدی است و این فعالیت‌ها یکی از دلایل رخدادهایی مانند خشکسالی‌ها و سیلاب‌هاست. پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر فعالیت لکه‌های خورشیدی بر دمای حداقل ماهانه استان اصفهان و به شیوه پیکسلی صورت پذیرفته است. در این راستا از آمار دمای حداقل ۲۱ ایستگاه همدید و آب و هواشناسی در داخل و خارج استان طی مقطع زمانی ۲۰۱۰-۱۹۶۱ و همچنین آمار تعداد لکه‌های خورشیدی طی همان دوره بهره گرفته شد. پس از اطمینان از همگن بودن داده‌های مورد مطالعه با آزمون *Runs Test*، داده‌های ایستگاهی با میان‌یابی به داده‌های پیکسلی با ابعاد ۵×۵ کیلومتر مربع تبدیل شد. سپس ارتباط‌سنجی عناصر مورد مطالعه با روش تحلیل موجک پیوسته مورلت و تحلیل موجک متقاطع انجام گرفت. نتایج حاصل از این پژوهش بیانگر آن است که دمای حداقل استان اصفهان از چرخه‌های زمانی ۱-۴ و ۸-۱۱ ساله برخوردار بوده است که همزمان با فعالیت لکه‌های خورشیدی است. به‌خصوص در ماه دسامبر که چرخه‌های زمانی ۸-۱۱ ساله رخ داده و از نمود بیشتری برخوردار است. همچنین بجز ماه فوریه که ارتباط و همبستگی عناصر مورد مطالعه از نوع منفی است، در سایر ماه‌ها همبستگی مشاهده‌شده از نوع هم‌فاز و مثبت معنادار بوده است.

واژه‌های کلیدی: استان اصفهان، تحلیل موجک پیوسته مورلت، تحلیل موجک متقاطع، لکه‌های خورشیدی

مقدمه

خورشید منبع اصلی تمام انرژی است که سامانه اقلیمی از آن منشأ می‌گیرد و بنابراین واضح است که تغییرات در میزان خروجی خورشید یا نوسانات دمایی سطح آن تغییراتی را در جو زمین ایجاد می‌کند و بر اقلیم زمین تأثیر می‌گذارد. مهمترین و مسلم‌ترین شاخصی که بیان‌کنندهٔ وردش‌پذیری خورشید است، تعداد متغیر لکه‌های سیاه سطح آن است (فریس کریستنسن، ۲۰۰۰). لکه‌های خورشیدی نشانهٔ شدت فعالیت خورشیدی در زمان‌های مختلف و از جمله پدیده‌هایی است که در دهه‌های اخیر ذهن پژوهشگران زیادی را به خود مشغول داشته است. این پدیده با تأثیرگذاری بر اقلیم کره زمین، نقش بسزایی در تغییرات اقلیمی دارد و به این لحاظ همواره مورد توجه پژوهشگران و به‌خصوص اقلیم‌شناسان قرار گرفته است. در پژوهش‌های اخیر برای سنجش میزان فعالیت خورشیدی از شاخص‌هایی مانند تعداد لکه‌های خورشیدی، نسبت مساحت و وسعت لکه‌های خورشیدی (هویت، ۱۹۷۹) و طول سیکل لکه‌های خورشیدی (کریستنسن و لاسن، ۱۹۹۱) استفاده شده است. این امر نقش و اهمیت این پدیده را در مطالعه وردش‌پذیری سطح خورشید و تأثیر آن بر پدیده‌های جوی و اقلیم زمین بیان می‌کند (عزیزی، ۱۳۸۳: ۶۴). این لکه‌ها به دلیل گردش خورشید دور محور خودش طی روزها بر سطح خورشید جابه‌جا می‌شوند. علت گرمای زیاد اطراف این لکه‌ها این است که در مجاورت این لکه‌ها انفجارهایی رخ می‌دهد و انرژی زیادی تولید می‌کند. این انفجارها شراره نامیده می‌شوند و با نور بسیار می‌درخشند. وقتی امواج این انفجارها با زمین برخورد می‌کند، حتی قطب نماهای

هواپیماها و کشتی‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهند. از میان مؤلفه‌های تغییرپذیری خورشیدی، سیکل تعداد لکه‌های خورشیدی به دلیل سهولت اندازه‌گیری و ثبت داده‌های طولانی در دسترس، بیش از همه استفاده شده است (سیسکو، ۱۹۷۸). در زمینهٔ فعالیت لکه‌های خورشیدی تاکنون مطالعات زیادی صورت پذیرفته است؛ از جمله بیبر و همکاران (۲۰۰۰) نقش فعالیت‌های خورشیدی را بر شاخص‌های اقلیمی مختلف بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که خورشید عامل هدایت‌کننده اصلی در سیستم اقلیم است و هر تغییر در تابش منجر به تغییر در اقلیم می‌شود. کارین و همکاران (۲۰۰۲: ۲۰۳)، چرخه‌های ۱۱ سالهٔ خورشیدی در اتمسفر را بررسی کردند. نتایج بررسی‌های مدل گردش عمومی جو نشان داد، اختلاف بین حداقل و حداکثر چرخه‌های خورشیدی با دما و ازن به‌طور معمول کوچکتر از مقداری است که مشاهده شده است. همچنین در استراتوسفر میانی و پایینی مدل‌ها موافق با دماهای مشاهده‌شده هستند، اما دماهای معنادار در نزدیک سطح ۱۰۰ هکتوپاسکال مشاهده نمی‌شود. آن‌لی و همکاران (۲۰۰۳) ارتباط بین فعالیت‌های خورشیدی و بارش سالانهٔ پکن را بررسی کردند و دریافتند همبستگی بسیار بالایی بین چرخهٔ ۱۱ سالهٔ لکه‌های خورشیدی و بارش پکن وجود دارد. ژائو و همکاران (۲۰۰۴: ۱۸۹)، ارتباط بین فعالیت‌های خورشیدی و بارش سالانه در ناحیهٔ بیجینگ را بررسی کردند. نتایج نشان داد، بارش سالانه با تعداد لکه‌های خورشیدی ارتباط دارد و فعالیت‌های خورشیدی نقش مهمی را در نوسانات بارش بازی می‌کند. هیرمس (۲۰۰۶) تأثیر فعالیت خورشیدی را بر بارش‌های موسمی هند بررسی کرد و دریافت

طی دوره ۲۰۰۸-۱۹۱۲ بررسی کردند. نتایج تحلیل آنها بیانگر چرخه‌های کوتاه بین ۸-۲ سال و ۱۲/۳-۱۱/۸ و ۲۱-۱۹/۱ و ۸۲/۵-۶۴/۳ سال است. ارتباط بین بارش و درجه حرارت در مقابل شاخص نوسان جنوبی در کل دوره ۸-۲ سال است. همچنین ارتباط بارش و دما با لکه‌های خورشیدی در چرخه‌های ۱۱ ساله مشاهده شده است. در مجموع نتایج گویای آن است که تغییرات بارش و دما در ارتباط با تغییرات نوسان جنوبی و لکه‌های خورشیدی است و همچنین النینو، شاخص نوسان جنوبی و لکه‌های خورشیدی نقش مهمی را در اقلیم جنوب برزیل بازی می‌کند. اسکافتا (۲۰۱۴) دمای جهان و تعداد لکه‌های خورشیدی را بررسی کرد و به این نتیجه دست یافت که تعداد لکه‌های خورشیدی و دمای جهان با یکدیگر مرتبط بوده‌اند، ولی یک فرایند غیرخطی داشته‌اند. زرین و مفیدی (۱۳۸۴)، وردش‌پذیری فعالیت خورشیدی و اثر آن را بر اقلیم ایران بررسی کردند. نتایج پژوهش گویای عدم ارتباط معنا دار بین تعداد لکه‌های خورشیدی و شار پرتو رادیویی خورشیدی با مجموع بارش زمستانه و میانگین دمای فصول حدی ایستگاه‌های منتخب ایران و مناطق همجوار است. همبستگی‌های ضعیف به دست آمده نشان می‌دهد، در سال‌هایی که فعالیت خورشیدی به حداکثر خود می‌رسد، دمای میانگین فصل زمستان در منطقه خاورمیانه و ایران به‌طور نسبی کاهش می‌یابد. جهانبخش و عدالت‌دوست (۱۳۸۷: ۳)، تأثیر فعالیت‌های خورشیدی را بر تغییرات بارندگی‌های سالانه ایران بررسی کردند. نتایج حاصل بیانگر وجود ارتباط و همبستگی متوسط تا قوی بین لکه‌های خورشیدی و تغییرات بارندگی‌ها در ایران است.

همبستگی متوسط و بالایی بین آنها وجود دارد. تورگی و مورات (۲۰۰۶: ۱۱۸۹)، روند بارش سالانه ناحیه مارمارا (ترکیه) را با روش تحلیل موجک و آزمون من-کندال تحلیل کردند. نتایج نشان داد طبق آزمون من-کندال روندهای کاهشی و در سطح معناداری ۵٪ در ایستگاه بالیکزیر مشاهده شده است. پری (۲۰۰۷) بارش سالانه ۳۴۴ ایستگاه در ایالت متحده و داده‌های تابش خورشیدی را ارتباط‌سنجی کرد و دریافت ارتباط معناداری بین آنها وجود دارد. کلود و همکاران (۲۰۰۸: ۲۰۳۱)، تأثیرات چرخه‌های ۱۱ ساله خورشید را بر دمای استراتوسفر پایینی بررسی کردند. نتایج پژوهش آنها نشان داد، افزایش چرخه‌ها در نیمکره شمالی در ماه فوریه منجر به گرم شدن بی‌دررو در عرض‌های جغرافیایی بالا و سرمایش آدیاباتیک بیشتر در عرض‌های پایین می‌شود. میمت و همکاران (۲۰۱۰: ۲۷۹)، خصوصیات داده‌های بارش در کونجاشن را با استفاده از تحلیل موجک سنجش کردند. نتایج ارتباط بین داده‌های بارش و چرخه‌های سالانه نشان داد، چرخه‌های سالانه ممکن است به توالی دوره‌های خشک و مرطوب کمک کند. والر و همکاران (۲۰۱۱: ۳۳۶۰)، تغییرات مکانی نوسانات اطلس شمالی را با مجموع ستون ازن در سطح اروپا، با استفاده از تحلیل موجک بررسی کردند و بیان داشتند تغییرات نوسانات اطلس شمالی با تغییرات ستون ازن در ارتباط هستند و بدون فاصله بعد از تغییرات الگوهای آب و هوایی به‌شمار می‌شود. رامپلوتو^۱ و همکاران (۲۰۱۲: ۱۵۲)، تغییرات دما و بارش و ارتباط آنها را با انسو و لکه‌های خورشیدی

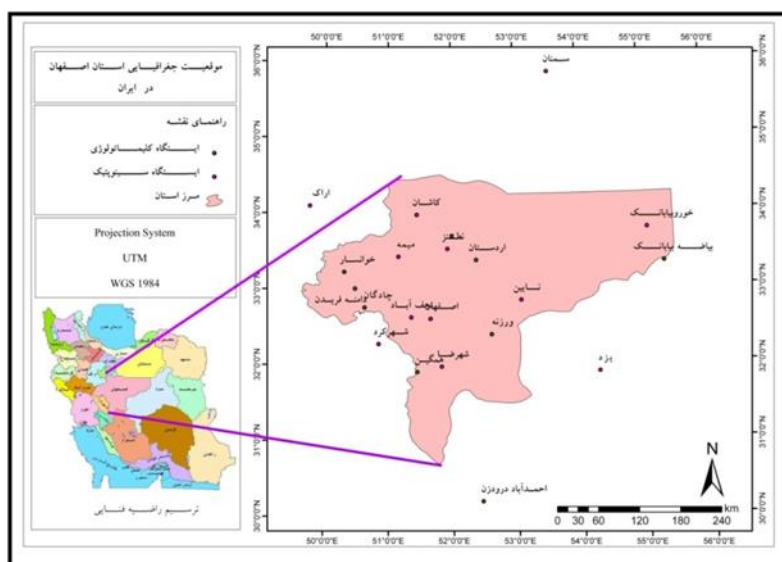
^۱ Rampelotto

خورشیدی و ارتباط آن با عناصر اقلیمی در کشور صورت گرفته، اما آشکارسازی بین فعالیت‌های خورشیدی و دمای حداقل در مقیاس استانی و با به‌کارگیری روش‌های پیکسلی و تحلیل موجک کمتر انجام شده است. با توجه به اینکه احتمال وقوع ارتباط بین فعالیت‌های خورشیدی و عناصر مختلف اقلیم‌شناسی وجود دارد، بنابراین پژوهش حاضر با هدف آشکارسازی فعالیت‌های خورشیدی و دمای حداقل در پهنه استان اصفهان صورت گرفته است.

موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

استان اصفهان با مساحت ۱۰۷۰۴۴/۲۹۱ کیلومتر مربع حدود ۶/۲۵ از مساحت کل کشور را به خود اختصاص داده است و بین ۳۰ درجه و ۴ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۲۷ دقیقه شمالی و ۴۹ درجه و ۳۶ دقیقه تا ۵۵ درجه و ۳۱ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ قرار گرفته است (شکل ۱).

جهانبخش و همکاران (۱۳۸۹: ۴۹)، ارتباط بین لکه‌های خورشیدی و اقلیم در شمال غرب ایران را بررسی کردند و نتایج پژوهش آنها نشان داد، سطح آب دریاچه ارومیه دارای نوسان‌های دوره‌ای معنادار و منفی ۸-۱۱ ساله است و این نوسانات در ارتباط با لکه‌های خورشیدی است. کلیم و همکاران (۱۳۹۲: ۱۹۱)، تأثیر لکه‌های خورشیدی را بر بارش ایستگاه‌های منتخب جنوب ایران بررسی و بیان کردند، همبستگی منفی معنادار بین تأخیرهای ۳ ساله خورشیدی سالانه و مجموع بارش در ایستگاه‌های بوشهر و جاسک وجود دارد؛ اما رابطه معناداری برای ایستگاه شیراز به دست نیامده است. خسروی و میردیلمی (۱۳۹۲) تأثیر لکه‌های خورشیدی بر بارش استان گلستان را بررسی کردند و به این نتیجه دست یافتند که بین بارش استان گلستان و لکه‌های خورشیدی همبستگی متوسط تا قوی وجود دارد و البته این همبستگی در تمام نقاط استان یکسان نیست. اگرچه مطالعات متعددی در زمینه روابط بین لکه‌های



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی استان اصفهان و ایستگاه‌های مورد مطالعه

داده‌ها و روش‌ها

به منظور دستیابی به تأثیر فعالیت لکه‌های خورشیدی بر دمای حداقل استان اصفهان، داده‌های دمای حداقل ماهانه در سطح استان و داده‌های تعداد لکه‌های خورشیدی مورد نیاز است. در این راستا از آمار دمای حداقل ۱۶ ایستگاه همدید و آب و هواشناسی در داخل استان و ۵ ایستگاه، برای پوشش بهتر مطالعات در خارج استان طی مقطع زمانی ۲۰۱۰-۱۹۶۱ استفاده شد. داده‌های مربوط به تعداد لکه‌های خورشیدی نیز از سازمان هوا و اقیانوس‌شناسی ملی آمریکا تهیه گردید. در بحث تجزیه و تحلیل داده‌های دمای حداقل، ابتدا همگنی داده‌های مورد مطالعه با استفاده از آزمون *Runs test* بررسی شد. سپس با توجه به هدف پژوهش، داده‌های ایستگاهی با نرم‌افزار سرفر و با میان‌یابی به روش کریگینگ به داده‌های پیکسلی با ابعاد ۵×۵ کیلومتر تبدیل شد. لازم به ذکر است، برای سنجش اندازه پیکسل‌ها نیز آزمون گرافیکی صورت پذیرفت. برای ارزیابی این آزمون، داده‌های سال ۱۹۹۳ مبنای قرار داده شد و هر بار نقشه‌ای با اندازه یاخته متفاوت بین ۲/۵ تا ۹۰ کیلومتر برآورد گردید. سپس میانگین مکانی یاخته‌های درون مرز استان اصفهان محاسبه و نسبت به اندازه یاخته‌ها ترسیم شد. از این بررسی آشکار گردید که یاخته‌های بزرگتر از حدود ۵ کیلومتر، توان نمایش رفتار مکانی دما را در استان اصفهان ندارند و موجب ناپایداری میانگین می‌شوند، بنابراین ابعاد ۵×۵ کیلومتر به عنوان مناسب‌ترین ابعاد شناخته شد. سپس پیکسل‌های خارج از مرز استان حذف شد و در نهایت ۴۲۶۰ پیکسل که محدوده داخل استان را پوشش می‌دادند، به منظور ادامه مطالعات باقی ماندند. در ادامه پیکسل‌های حاصل شده به تفکیک هر ماه جداسازی و میانگین‌های پیکسلی هر

ماه برای ارتباطسنجی با لکه‌های خورشیدی به دست آمد. سپس در نرم‌افزار مت‌لب ارتباطسنجی بین پیکسل‌های دمای حداقل استان اصفهان و لکه‌های خورشیدی با روش تحلیل موجک پیوسته مورلت و تحلیل موجک متقاطع صورت پذیرفت.

روش تحلیل موجک

تحلیل موجک، یکی از روش‌های پیشرفته اخیر برای پردازش سیگنال‌ها بوده است، مفهوم نظری آن را در سال ۱۹۸۴، گروسمن و مورلت توسعه دادند. موجک‌ها الگوریتم‌هایی هستند که داده‌ها را در مقیاس‌های زمانی متفاوت با قدرت مختلف پردازش می‌کنند (جهانبخش و همکاران، ۱۳۸۹). بنابراین این روش برای آنالیز پدیده‌ها و وقایع پراکنده و نامنظم و سری‌های زمانی که آثار و توان‌های غیرثابتی را در فرکانس‌های مختلف دارند، بسیار مناسب است. با استفاده از تحلیل موجک نشان‌دادن جزئیات محلی علائم در هر دو حالت (زمان و فرکانس)، امکان‌پذیر می‌شود (سانتوس و همکاران، ۲۰۰۱). تحلیل موجک به روش‌های متعددی تقسیم‌بندی می‌شود. در این پژوهش از روش تحلیل موجک پیوسته مورلت و تحلیل موجک متقاطع استفاده شده است.

تحلیل موجک پیوسته، روش مناسبی برای مطالعه نوسان‌های زمانی زودگذر و معین در سری‌های زمانی مرتبط با هم است (گرینستد و همکاران، ۲۰۰۴). یکی از مهمترین روش‌های تحلیل موجک پیوسته، تحلیل موجک مورلت است که به صورت زیر محاسبه می‌شود (جهانبخش و همکاران، ۱۳۸۹):

$$\Psi_{0=(\eta)} = \pi^{-1/4} e^{i\omega_0 \eta} e^{-\frac{1}{2}\eta^2} \quad \text{رابطه (۱)}$$

در رابطه فوق w_0 فرکانس بی بعد و η زمان بی بعد است.

ایده‌ای که پشت تحلیل موجک پیوسته نهفته است، بر مبنای به کارگیری موجک‌ها به عنوان فیلترهای میان‌گذر در سری‌های زمانی مختلف استوار شده است. موجک‌ها هم‌زمان با تغییر در مقیاس پدیده‌ها (s) در محدوده زمان (t) کشیده شده، باعث بازتر شدن تغییرات موجود در پدیده‌ها می‌شوند؛ پس:

$$s = \sqrt{2 \ln \left(\frac{R}{n} \right)} \quad \text{رابطه (۴)}$$

به طوری که R برابر است با:

$$R = \sqrt{(x^2 + y^2)}$$

چرخش استاندارد مشابه انحراف معیار خطی استاندارد است که میزان آن بین صفر تا بی نهایت تغییر می‌کند. زمانی که توزیع زوایا در محدوده نزدیک به میانگین قرار گرفته باشد، نتایج این روش با نتایج حاصل از انحراف معیار خطی استاندارد یکسان خواهد بود. محاسبه میانگین زوایای فازی برای هر مقیاسی با هدف و منظور معینی صورت می‌گیرد، به طوری که حتی می‌توان زوایای فازی را به عنوان تعداد سال‌های مورد بررسی در نظر گرفت (گرینستد و همکاران، ۲۰۰۴).

بحث

با توجه به نتایج حاصل از تحلیل موجک پیوسته در شکل (۲)، طی ماه ژانویه چرخه بارز ۸ تا ۱۱ ساله لکه‌های خورشیدی در کلیه سال‌های مورد مطالعه قابل مشاهده است؛ در حالی که چرخه بارز ۲ تا ۵ ساله تغییرات دمایی طی سال‌های ۱۹۶۸-۱۹۶۱ وجود دارد. چرخه فرعی ۲ تا ۳ ساله‌ای نیز طی سال‌های ۲۰۱۰-۲۰۰۸ به وقوع پیوسته است. در این تصاویر خطوط ضخیم نشان‌دهنده سطح معناداری بیش از ۵ درصد و محدوده تأثیرگذاری اصلی آن نیز با رنگ قرمز از سایر نواحی جدا شده است. در شکل (۳) تبدیل موجک متقاطع نمایش داده شده است. طبق این شکل، تشابه زمانی بین دو متغیر در محدوده تأثیر بالاتر از ۵ درصد

در رابطه فوق w_0 فرکانس بی بعد و η زمان بی بعد است.

ایده‌ای که پشت تحلیل موجک پیوسته نهفته است، بر مبنای به کارگیری موجک‌ها به عنوان فیلترهای میان‌گذر در سری‌های زمانی مختلف استوار شده است. موجک‌ها هم‌زمان با تغییر در مقیاس پدیده‌ها (s) در محدوده زمان (t) کشیده شده، باعث بازتر شدن تغییرات موجود در پدیده‌ها می‌شوند؛ پس:

$$\eta = s \cdot t$$

آنالیز موجک متقاطع بین دو سری زمانی x_n و y_n و با استفاده از رابطه (۲) محاسبه می‌شود:

$$W_n^{xy}(s) = W_n^x(s) W_n^{y*}(s) \quad \text{رابطه (۲)}$$

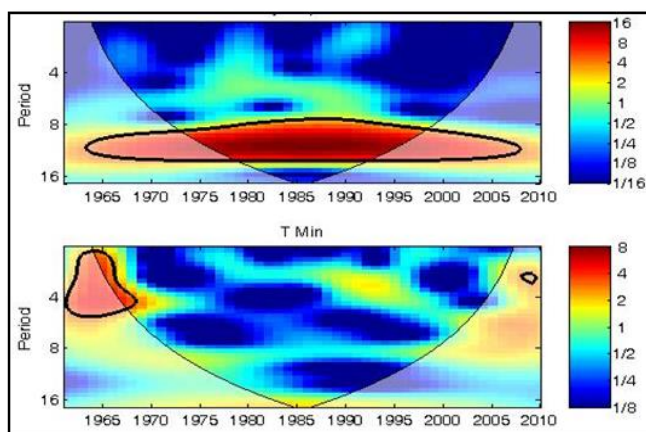
در رابطه فوق y و x به عنوان سری‌های زمانی مورد نظر هستند. $W_n^x(s)$ و $W_n^y(s)$ تبدیل موجک سری‌های زمانی مورد نظر و $W_n^{y*}(s)$ به عنوان تبدیل موجک مرکب تبدیل $W_n^y(s)$ محسوب می‌شود. قدرت همبستگی بین دو متغیر نیز به صورت $|W_n^{xy}(s)|$ مشخص و تعریف می‌شود (همان منبع).

قابل ذکر است که آنالیز موجک متقاطع بیشترین کوواریانس موجود بین دو سری زمانی را نشان می‌دهد (تورنس و کمبو، ۱۹۹۸). در این روش تعیین زاویه تفاوت فازی (میزان همبستگی) بین مؤلفه‌های دو سری زمانی، مستلزم تشخیص میانگین زاویه فازی موجک متقاطع و تخمین فواصل معناداری از تفاوت فازی است. به همین منظور از میانگین چرخشی فازها برای شناسایی و تعیین چگونگی ارتباط فازی استفاده می‌شود. میانگین چرخشی مجموعه‌ای از زوایا ($a_{i,i=1 \dots n}$) از رابطه (۳) قابل محاسبه است:

$$a_m = \arg(x, y) \quad \text{رابطه (۳)}$$

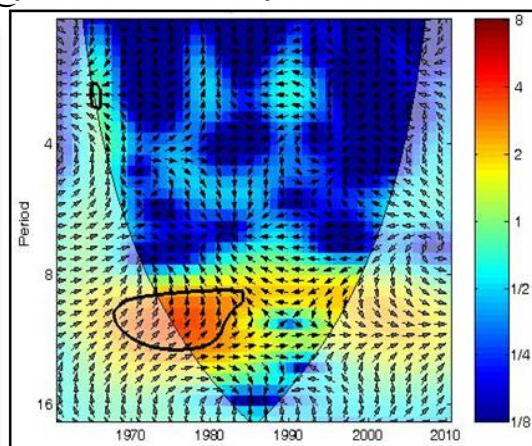
در رابطه فوق مقدار x از رابطه (a_i)

معنادار و دارای فاز (همبستگی) مثبت هستند؛ به طوری که همزمان با افزایش تعداد لکه‌های خورشیدی، دمای شبانه استان نیز افزایش می‌یابد.



شکل ۳- تحلیل موجک متقاطع ماه ژانویه

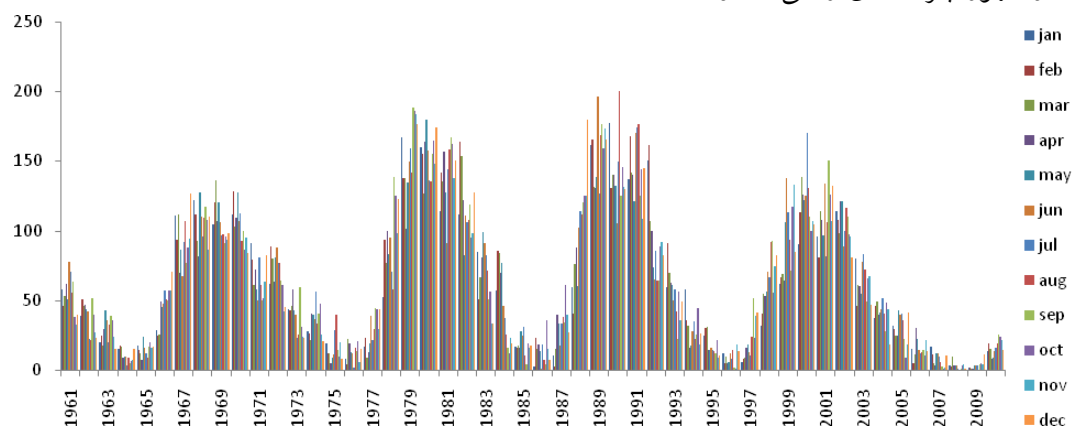
سطح معناداری و طی سال‌های ۱۹۶۵-۱۹۸۵ از چرخه ۸ تا ۱۱ ساله برخوردار است. جهت پیکان‌ها نیز نشان‌دهنده این است که تغییرات دمایی ماه ژانویه استان اصفهان و لکه‌های خورشیدی در کلیه سطوح



شکل ۲- تحلیل موجک پیوسته ماه ژانویه

آشکار است. در واقع تغییر در میدان‌های مغناطیسی خورشید سبب بروز چرخه‌های لکه‌های خورشیدی است.

تغییرات زمانی ماهانه تعداد لکه‌های خورشیدی طی دوره آماری مورد مطالعه در شکل (۴) نشان داده شده است. بر این اساس برخی از چرخه‌ها شدت بیشتری دارند و ظهور چرخه‌های زمانی ۱۰ و ۱۱ ساله کاملاً

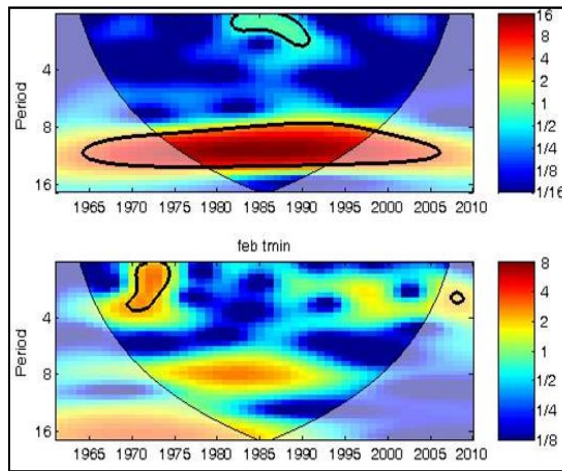


شکل ۴- تغییرات زمانی لکه‌های خورشیدی طی دوره آماری مورد مطالعه

ماه فوریه نیز چرخه ای ۱ تا ۴ ساله در سال‌های ۱۹۷۵-۱۹۷۰ و چرخه فرعی ۲ تا ۳ ساله‌ای طی سال‌های ۲۰۱۰-۲۰۰۸ داشته است. با توجه به تحلیل موجک متقاطع در شکل (۶) ویژگی‌های مشترک و تشابه زمانی

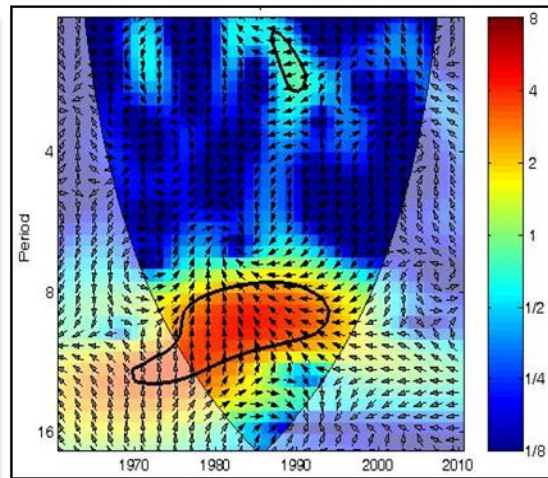
همان‌گونه که از شکل (۵) استنباط می‌شود، در ماه فوریه چرخه بارز ۸ تا ۱۱ ساله در کلیه سالهای مورد مطالعه و چرخه فرعی ۱ تا ۳ ساله طی سال‌های ۱۹۹۰-۱۹۸۰ در لکه‌های خورشیدی وجود داشته است.

طی ماه فوریه همبستگی منفی بین این دو شاخص وجود داشته است.



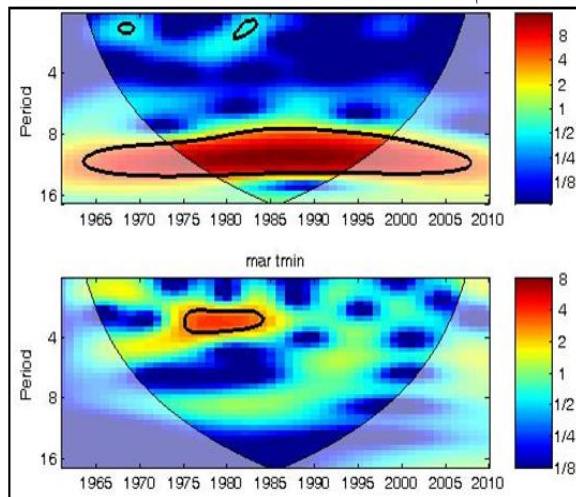
شکل ۶- تحلیل موجک متقاطع ماه فوریه

در چرخه ۸ تا ۱۱ ساله طی سال‌های ۱۹۹۵-۱۹۷۰ مشاهده شده است. جهت پیکان‌ها نیز بیانگر آن است که



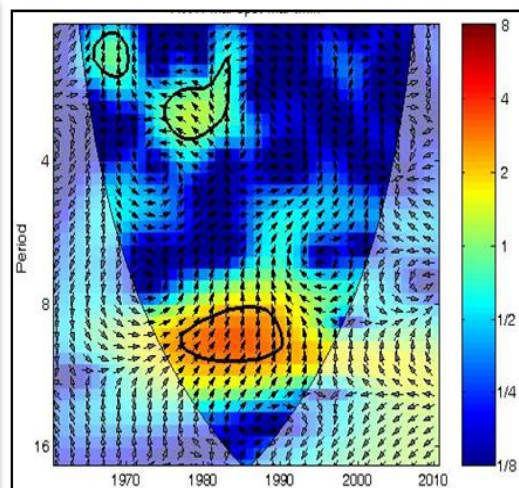
شکل ۵- تحلیل موجک پیوسته ماه فوریه

تحلیل موجک متقاطع نیز در شکل (۸) بیانگر آن است که بارزترین سطح معناداری در چرخه‌ای ۸ تا ۱۲ ساله طی سال‌های ۱۹۹۰-۱۹۷۸ و چرخه‌های فرعی ۱ تا ۳ ساله و ۱ تا ۴ ساله طی سال‌های ۱۹۷۰-۱۹۶۵ و ۱۹۸۵-۱۹۷۵ ظاهر شده است. چنانچه از بررسی نحوه ارتباط دو متغیر بر می‌آید، همبستگی آنها مثبت و هم‌فاز بوده است.



شکل ۸- تحلیل موجک متقاطع ماه مارس

شکل (۷) گویای آن است که طی ماه مارس چرخه بارز ۸ تا ۱۱ ساله‌ای در لکه‌های خورشیدی طی دوره آماری مورد مطالعه و ۲ چرخه فرعی دیگر ۱ تا ۲ ساله طی سال‌های ۱۹۷۰-۱۹۶۷ و ۱۹۸۵-۱۹۸۰ وجود داشته است. در دمای شبانه استان اصفهان، نیز چرخه‌ای ۲ تا ۴ ساله طی سال‌های ۱۹۸۵-۱۹۷۵ مشاهده شده است. نتایج بررسی‌های

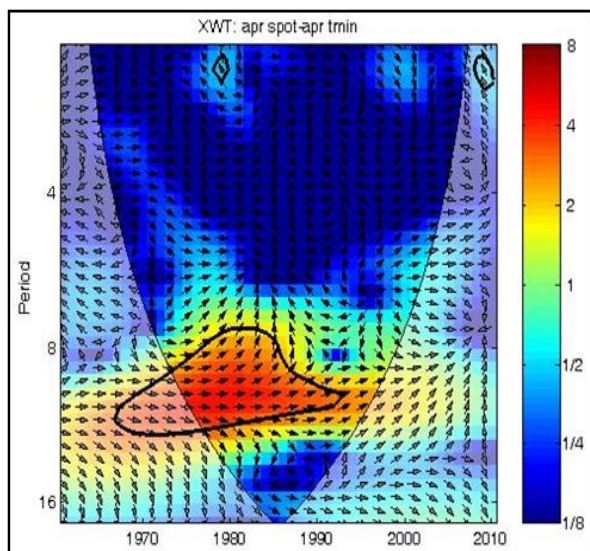


شکل ۷- تحلیل موجک پیوسته ماه مارس

پیوسته، طی ماه‌های آوریل و مه، چرخه بارزی در

با توجه به بررسی‌های حاصل از تحلیل موجک

است که ارتباط و همبستگی بین دو متغیر در سطح معناداری بیش از ۵ درصد در حوالی چرخه‌های زمانی ۸ تا ۱۲ ساله و طی سال‌های ۱۹۶۵-۱۹۹۵ وجود داشته است. جهت پیکان‌ها نیز بیانگر همبستگی و ارتباط هم‌فاز و مثبت بین متغیرهای مورد مطالعه است. شکل (۱۰) نشان می‌دهد که طبق تحلیل موجک متقاطع در ماه مه چرخه بارز ۸ تا ۱۱ ساله‌ای طی سال‌های ۱۹۸۵-۲۰۰۵ بیشترین تأثیرگذاری را داشته و همبستگی و ارتباط متغیرها هم‌فاز و مثبت بوده است.

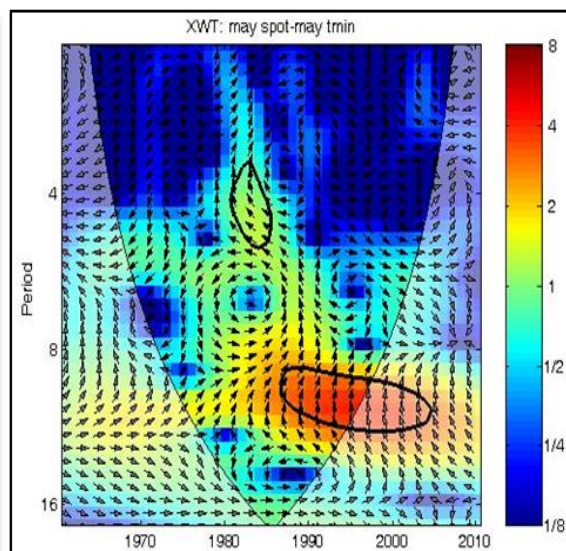


شکل ۱۰- تحلیل موجک متقاطع ماه مه

همچنان که در شکل (۱۲) مشهود است، تعداد لکه‌های خورشیدی چرخه بارز ۸ تا ۱۱ ساله‌ای را در کل دوره آماری مورد مطالعه داشته است. در دمای شبانه نیز طی سال‌های ۱۹۶۲-۱۹۷۰ در چرخه زمانی ۱ تا ۴ ساله همبستگی معناداری قابل مشاهده است. شایان ذکر است، با توجه به نتایج حاصل از تحلیل موجک متقاطع در ماه‌های ژوئن و ژولای، همبستگی بین شاخص‌های مورد مطالعه مشاهده نشد؛ بنابراین از ارائه تصاویر آن خودداری شد.

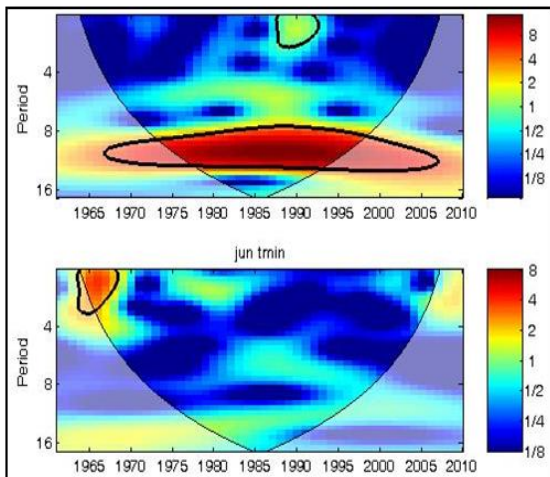
دمای شبانه استان اصفهان به وقوع پیوسته است. در ماه آوریل چرخه ۱ ساله‌ای در سال ۱۳۸۱ و چرخه ۱ تا ۲ ساله‌ای طی سال‌های ۲۰۱۰-۲۰۰۷ مشاهده شده است. در ماه مه نیز سه چرخه ۱ ساله طی سال‌های ۱۹۸۰، ۱۹۸۵ و ۱۹۹۰ وجود داشته است؛ بنابراین به دلیل بارز نبودن چرخه‌ها و جلوگیری از حجیم شدن مقاله از ارائه تصاویر آنها خودداری می‌شود.

بررسی‌های صورت گرفته بر روی تحلیل موجک متقاطع در ماه آوریل در شکل (۹) نیز گویای آن

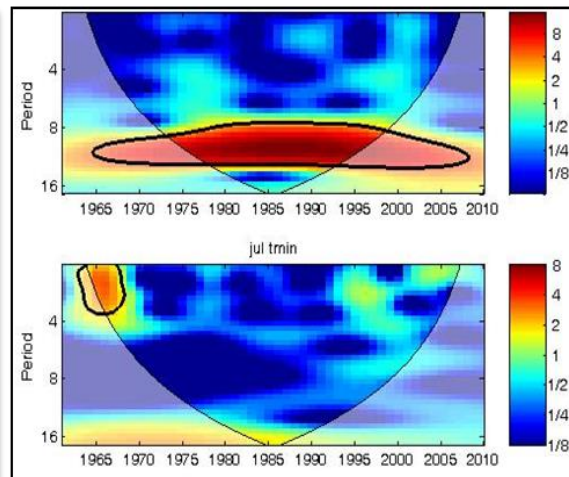


شکل ۹- تحلیل موجک متقاطع ماه آوریل

تحلیل موجک پیوسته لکه‌های خورشیدی و دمای شبانه استان اصفهان طی ماه ژوئن در شکل (۱۱) ارائه شده است. طبق این شکل چرخه بارز ۸ تا ۱۱ ساله‌ای در لکه‌های خورشیدی در تمام دوره آماری مورد مطالعه و چرخه فرعی ۱ تا ۳ ساله‌ای طی دوره آماری ۱۹۸۷-۱۹۹۵ به وقوع پیوسته است. در مقابل در دمای شبانه استان اصفهان، چرخه ۱ تا ۴ ساله‌ای و طی دوره ۱۹۶۵-۱۹۷۰ قابل مشاهده است.



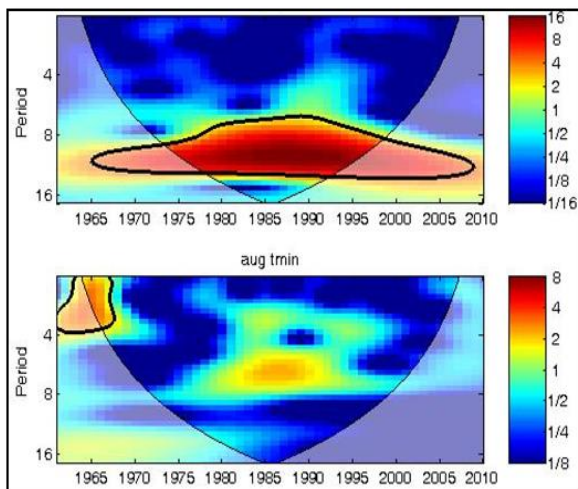
شکل ۱۲- تحلیل موجک پیوسته ماه ژولای



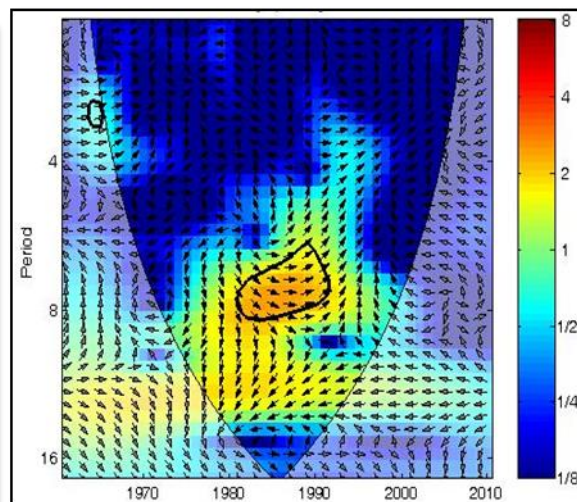
شکل ۱۱- تحلیل موجک پیوسته ماه ژوئن

(۱۴) نیز تأیید می‌کند، طی سال‌های ۱۹۹۰-۱۹۸۰ در چرخه ۶ تا ۸ ساله ارتباط معناداری بین دو متغیر مورد مطالعه وجود دارد و همبستگی آنها نیز از نوع هم‌فاز و مثبت بوده است.

طبق نتایج تحلیل موجک پیوسته ماه آگوست در شکل (۱۳)، دمای شبانه طی سال‌های ۱۹۷۰-۱۹۶۰ چرخه ۱ تا ۴ ساله‌ای و در سطح معناداری بالاتر از ۵ درصد داشته است. تحلیل موجک متقاطع در شکل



شکل ۱۴- تحلیل موجک متقاطع ماه آگوست

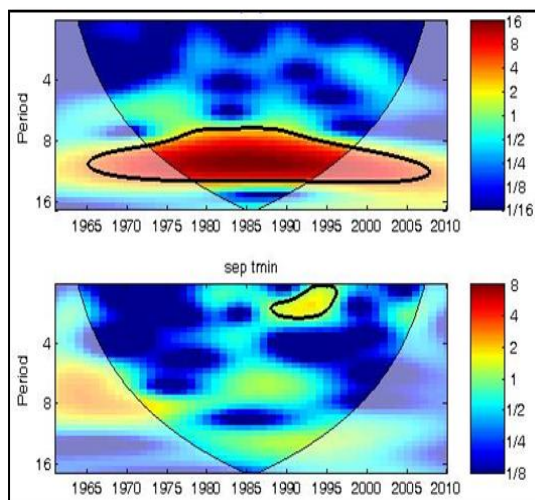


شکل ۱۳- تحلیل موجک پیوسته ماه آگوست

(۱۶) نیز گویای ارتباط و همبستگی بین دو متغیر مورد مطالعه است. به طوری که بارزترین ارتباط آن در دو چرخه زمانی ۸ تا ۱۱ ساله و ۱۱ تا ۱۴ ساله طی سال‌های ۱۹۸۰-۱۹۷۰ و ۱۹۹۵-۱۹۸۵ ظاهر شده است. همچنین چرخه فرعی ۲ تا ۳ ساله‌ای نیز طی

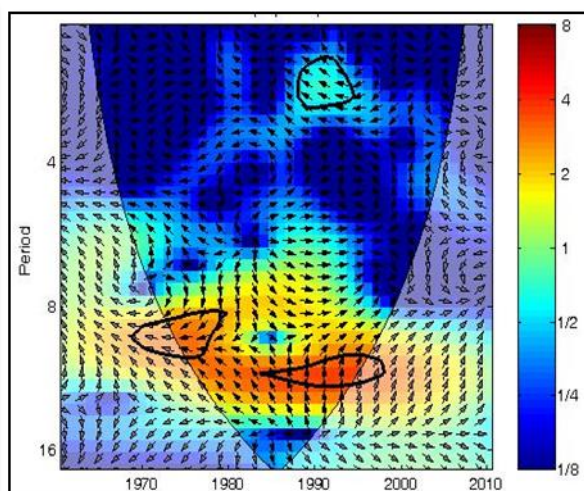
تحلیل موجک پیوسته در ماه سپتامبر بیانگر آن است که تغییرات دما در استان اصفهان و لکه‌های خورشیدی طی سال‌های ۱۹۹۵-۱۹۸۸ در چرخه زمانی ۱ تا ۴ ساله همبستگی معناداری داشته است (شکل ۱۵).

همبستگی از نوع منفی و در چرخه دوم از نوع هم‌فاز و مثبت است.



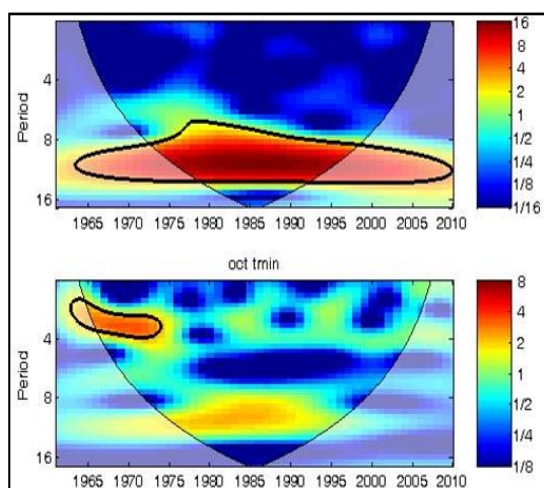
شکل ۱۶- تحلیل موجک متقاطع ماه سپتامبر

سال‌های ۱۹۹۵-۱۹۹۰ نمایان شده است. چنانکه از نحوه ارتباط بین دو متغیر بر می‌آید، در چرخه اول



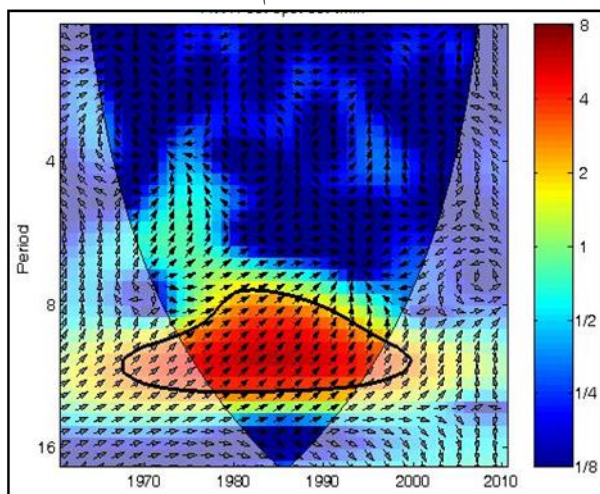
شکل ۱۵- تحلیل موجک پیوسته ماه سپتامبر

شاخص در چرخه ۸ تا ۱۱ ساله و طی سال‌های ۱۹۷۰-۲۰۰۰ است. بدین ترتیب با افزایش فعالیت لکه‌های خورشیدی در این ماه، دمای شبانه استان نیز افزایش داشته است.



شکل ۱۸- تحلیل موجک متقاطع ماه اکتبر

در ماه اکتبر چرخه ۱ تا ۴ ساله‌ای طی دوره آماری ۱۹۶۱-۱۹۷۵ در تغییرات دمایی استان اصفهان مشاهده شده است (شکل ۱۷). تحلیل موجک متقاطع در شکل (۱۸) نیز نشان‌دهنده تغییرات هم‌فاز و مثبت دو



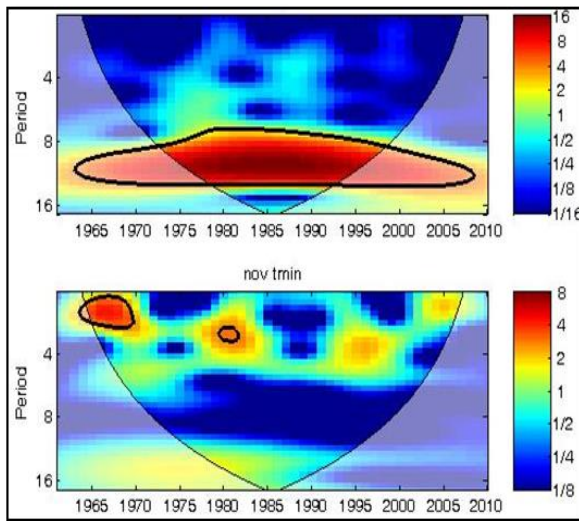
شکل ۱۷- تحلیل موجک پیوسته ماه اکتبر

دمای شبانه استان اصفهان به وقوع پیوسته است. بررسی‌های حاصل از تحلیل موجک متقاطع در شکل (۲۰)، نیز گویای ارتباط متغیرهای مورد مطالعه همزمان با فعالیت لکه‌های خورشیدی در چرخه ۸ تا

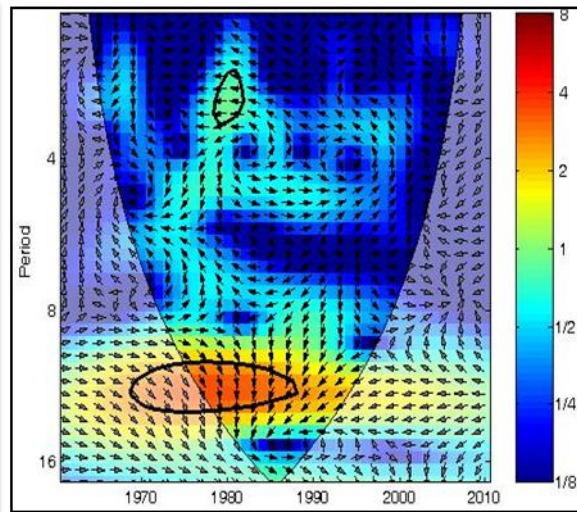
چنانکه در شکل (۱۹) مشاهده می‌شود، طی ماه نوامبر چرخه بارز ۱ تا ۴ ساله‌ای طی سال‌های ۱۹۷۰-۱۹۶۲ در سطح معناداری بالای ۵ درصد و چرخه فرعی ۲ تا ۴ ساله‌ای طی سال‌های ۱۹۸۲-۱۹۸۰ در

مثبت است.

۱۱ ساله و طی سال‌های ۱۹۷۰-۱۹۹۰ است. لازم به ذکر است همبستگی‌های مشاهده‌شده از نوع هم‌فاز و



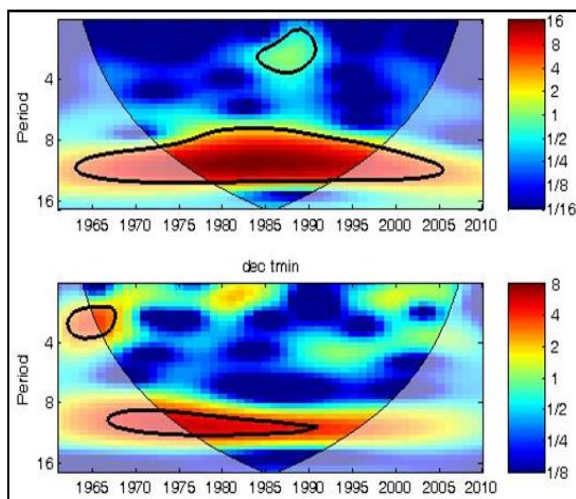
شکل ۲۰- تحلیل موجک متقاطع ماه نوامبر



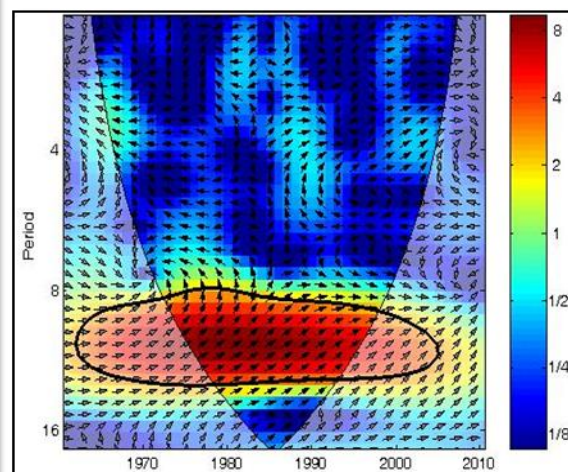
شکل ۱۹- تحلیل موجک پیوسته ماه نوامبر

۱۹۶۵ و چرخه فرعی ۱ تا ۴ ساله‌ای طی سال‌های ۱۹۶۷-۱۹۶۱ رخ داده است. بررسی‌های حاصل از تحلیل موجک متقاطع در شکل (۲۲)، نیز نمایانگر همبستگی مثبت و هم‌فاز شاخص‌های مورد مطالعه در چرخه زمانی ۸ تا ۱۱ ساله و در طول دوره آماری مورد مطالعه است.

در شکل (۲۱) نتایج تحلیل موجک پیوسته طی ماه دسامبر ارائه شده است. طبق این شکل لکه‌های خورشیدی، چرخه بارز ۸ تا ۱۱ ساله‌ای را در طول دوره آماری مورد مطالعه و چرخه فرعی ۱ تا ۴ ساله‌ای را طی سال‌های ۱۹۸۵-۱۹۹۰ داشته است. در دمای شبانه نیز همزمان با فعالیت لکه‌های خورشیدی چرخه بارز ۸ تا ۱۱ ساله‌ای طی سال‌های ۱۹۹۰-



شکل ۲۲- تحلیل موجک متقاطع ماه دسامبر



شکل ۲۱- تحلیل موجک پیوسته ماه دسامبر

نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر ارتباط بین دمای حداقل ماهانه استان اصفهان و لکه‌های خورشیدی را طی مقطع زمانی ۲۰۱۰-۱۹۶۱ آشکار می‌سازد. بررسی‌های صورت گرفته بر روی داده‌های لکه‌های خورشیدی و دمای حداقل استان اصفهان، به روش تحلیل موجک پیوسته مورلت گویای ارتباط و همبستگی بین آنهاست. به بیان دیگر، نوسانات چرخه‌ای مثبت و معنادار ۱ تا ۴ ساله دمای حداقل استان اصفهان با فعالیت لکه‌های خورشیدی هم‌آهنگ است. چرخه‌های مذکور، عموماً بین سال‌های ۱۹۷۰-۱۹۶۵، ۱۹۷۵-۱۹۷۰ و ۱۹۷۰-۱۹۸۰ مشاهده شده است. شایان ذکر است، این چرخه‌ها طی ماه‌های سرد سال نمود بیشتری دارد تا جایی که طی ماه دسامبر دو چرخه زمانی ۱ تا ۴ ساله و ۸ تا ۱۱ ساله، طی مقطع زمانی ۱۹۹۰-۱۹۶۱ به وقوع پیوسته است. با استفاده از تحلیل موجک متقاطع ارتباط و همبستگی بین شاخص‌های مورد مطالعه بیشتر آشکار شد. نتایج حاصل از این تحلیل‌ها نیز بیانگر ارتباط و همبستگی مثبت و معنادار بین دمای حداقل و لکه‌های خورشیدی است. طبق این روش نیز در ماه‌های سرد همبستگی بیشتری بین شاخص‌های مورد مطالعه مشاهده شده است. به عبارت دیگر در ماه‌های سرد سال با افزایش لکه‌های خورشیدی، دمای حداقل استان اصفهان نیز رو به افزایش رفته است. با توجه به اینکه نتایج حاصل از این پژوهش با نتایج مطالعات مشابهی که در سایر نقاط انجام گرفته است از جمله جهانبخش و همکاران (۱۳۸۹) و جهانبخش و عدالت‌دوست (۱۳۸۷) می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که افزایش دمای حداقل در استان اصفهان از فعالیت لکه‌های خورشیدی مستقل نبوده

است و رابطه و همبستگی بالایی بین شاخص‌های مذکور وجود دارد. بنابراین فرض وجود رابطه و تأثیر فعالیت لکه‌های خورشیدی در افزایش دمای حداقل استان اصفهان با اطمینان ۹۵ درصد پذیرفته می‌شود. افزایش دمای رخ داده منجر به آسیب‌های زیادی می‌شود و وضعیت زیست‌محیطی این استان را با بحران روبه‌رو می‌سازد. علاوه بر این، افزایش دمای این استان به خصوص دمای حداقل باعث بروز مشکلاتی در مناطق شهری می‌شود. از پیامدهای این افزایش دما، کاهش رطوبت خاک، کاهش منابع آب، کاهش کیفیت محصولات کشاورزی، کاهش منابع آب زیرزمینی، افزایش طول دوره رشد، افزایش تبخیر، افزایش بیماری‌های گیاهی و جانوری را می‌توان نام برد. لازم به ذکر است با وجود ارتباط مشاهده‌شده بین شاخص‌های مورد مطالعه، به دلیل سازوکار پیچیده اقلیم و رخداد پدیده تغییر اقلیم و گرمایش جهانی نمی‌توان اذعان داشت که تنها دلیل افزایش دمای حداقل استان اصفهان، فعالیت لکه‌های خورشیدی بوده است و قطعاً عوامل تأثیرگذار دیگری نیز در این تغییرات سهم بوده‌اند. بنابراین در این پژوهش از بین عوامل تأثیرگذار تنها به آشکار ساختن نقش لکه‌های خورشیدی پرداخته شده است و مطالعات بیشتر و استفاده از متغیرها و روش‌های دیگر در این زمینه برای دستیابی به نتایج مطلوب و دقیق ضروری و اجتناب‌ناپذیر است.

منابع

جهانبخش، سعید، عدالت‌دوست، معصومه، (۱۳۸۷). تأثیر فعالیت‌های خورشیدی بر تغییرات بارندگی‌های سالانه ایران، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال بیست و سوم، ش ۱، ۲۳-۳.

- transform and wavelet coherence to geophysical time series, *Nonlinear Processes in Geophysics*, 11:561-566.
- Hiremath, K. M. 2006, The influence of solar Activity on the rainfall over India: cycle-to-cycle variations, *J Astrophys Astr*, 27, 367-372.
- Hoyt, D, V, 1379, Variation in sunspot structure and climate, *Climatic change*, Oxford university presss, pp 279.
- Juan Zhao , Yan-Ben Han and Zhi-An Li, 2004, The Effect of Solar Activity on the Annual Precipitation in the Beijing Area, *Chin. J. Astron. Astrophys. Vol. 4 (2004), No. 2*, 189-197.
- Karin Labitzke, John Austin; Neal Butchart, Je0 Knight, Masaaki Takahashi, Miwa Nakamoto, Tatsuya Nagashima, Jo Haigh, Vic Williams, 2002, The global signal of the 15-year solar cycle in the stratosphere: observations and models, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics* 64 , 203 – 210.
- Mehmet ozger, Ashok K. Mishra, Vijay P. Singh, 2010, Scaling characteristics of precipitation data in conjunction with wavelet analysis, *Journal of Hydrology* 395 , 279-288.
- Perry, C, A, 2007, Solar-Irradiation and regional precipitation in the western united states, water resources division, U. S-Geological survey, Lawrence, Kansas USA.
- Scafetta, Nicola, 2014, Global temperatures and sunspot numbers. Are they related? Yes, but non linearly. A reply to Gil-Alana et al. (2014), *Physica A* 413, 329-342.
- Turgay Partal, Murat Ku"ç, u"çk, 2006, Long-term trend analysis using discrete wavelet components of annual precipitations measurements in Marmara region (Turkey), *Physics and Chemistry of the Earth* 31 (2006) 1189-1200.
- Valeriy N. Khokhlov, Anna V. Romanova, 2011, NAO-induced spatial variations of total ozone column over Europe at near-synoptic time scale, *Atmospheric Environment* 45 , 3360-3365.
- Torrence, C., Compo, G.P., (1998): A practical guide to wavelet analysis, *Bull. AM.Meteorol.Soc.* 79, PP: 61-78.
- جهانبخش، سعید، عدالت‌دوست، معصومه، تدینی، معصومه، (۱۳۸۹). دریاچه ارومیه شاخصی کلاسیک از ارتباط بین لکه‌های خورشیدی و اقلیم در شمال غرب ایران، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ش ۹۹، ص ۷۶-۴۹.
- خسروی، محمود، میردیلمی، سمیرا، (۱۳۹۲). تأثیر فعالیت لکه‌های خورشیدی بر بارش استان گلستان (دوره آماری ۲۰۰۵-۱۹۶۱)، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، شماره ۴، ص ۴۶-۲۳.
- زرین، آذر، مفیدی، عباس، (۱۳۸۴). وردش‌پذیری فعالیت خورشیدی و اثر آن بر اقلیم زمین، فصلنامه جغرافیایی سرزمین، سال دوم، شماره ۸، ص ۱۰۴-۸۳.
- عزیزی، قاسم، (۱۳۸۳). تغییر اقلیم، نشر قومس، ص ۲۶۴.
- کلیم، دوست‌محمد، پیشوایی، محمدرضا، محمودی، پیمان، (۱۳۹۲). مطالعه امکان تأثیر لکه‌های خورشیدی بر بارش در ایستگاه‌های منتخب جنوب ایران، فصلنامه فضای جغرافیایی، سال سیزدهم، شماره ۴۲، ص ۲۰۸-۱۹۱.
- Alfred M.PowellJr., JianjunXu, 2012, Assessment of the relationship between the combined solar cycle/ENSO forcings and the tropopause temperature, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics* 80 , 21-27.
- Anli, Z, Zhao, J, Ben Han Y, 2004, The effect of solar activity on the annual precipitation in the Beijing Area Chin, *J Astron Astrophys*, vol 4, No 2, 180-197.
- Beer J., Mender W., Stellmacher R. (2000): The Role of the Sun in Climate Forcing, (QSR) *Quaternary Science Reviews* 19, 403-415.
- C. Claud, C.Cagnazzo, P.Keckhut , 2008, The effect of the 11-year solar cycle on the temperature in the lower stratosphere, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics* 70 , 2031-2040.
- Friis-Christensen, E, 2000, Solar variability and climate, *Space Science Review*, vol 94, pp 411-421.
- Grinsted, A., Moore, J.C., and Jevrejeva, S., (2004): Application of the cross wavelet