

وردش پذیری فعالیت خورشیدی و اثر آن بر اقلیم زمین (مطالعه موردی: اقلیم خاورمیانه و ایران)

آذر زرین

عضو هیأت علمی گروه جغرافیای مؤسسه آموزش عالی طبرستان

عباس مفیدی

عضو هیأت علمی گروه جغرافیای مؤسسه آموزش عالی طبرستان

چکیده

به منظور درک ساز و کار حاکم بر فعالیت خورشیدی و نحوه ارتباط آن با اقلیم زمین، خصوصیات فیزیکی و فعالیت های خورشید، ساختار و ویژگی های لکه های خورشیدی، سیکل فعالیت لکه های خورشیدی و ارتباط بین وردش پذیری فعالیت خورشیدی به ویژه تأثیر سیکل لکه های خورشیدی بر اقلیم زمین مورد توجه قرار گرفت. جهت درک و فهم ارتباط بین وردش فعالیت خورشیدی و اقلیم زمین، منطقه ایران-خاورمیانه، شمال آفریقا و مدیترانه به عنوان یک منطقه جنب حاره ای نمونه انتخاب گردید. بررسی در دو مرحله انجام شد. در مرحله اول تعدادی از ایستگاه های ایران و مناطق جنب حاره ای همجوار بررسی شد و داده های بارش و دمای تعداد ۱۶ ایستگاه هواشناسی در منطقه خاورمیانه و ایران به ترتیب با طول دوره آماری مشترک ۶۱ ساله (۱۹۹۰-۱۹۳۰) و ۵۰ ساله (۲۰۰۰-۱۹۵۱) انتخاب گردید. در این مرحله داده های میانگین دمای فصل تابستان (ژوئیه، اوت و سپتامبر) و مجموع بارش و میانگین دمای فصل زمستان (ژانویه، فوریه و مارس) استفاده گردید. در مرحله دوم به منظور بررسی رابطه بین مؤلفه های اصلی گردش جو در مناطق جنب حاره ای و سیکل فعالیت خورشیدی، منطقه ایران-خاورمیانه، شمال آفریقا و مدیترانه به چهار قطاع تقسیم گردید و با بررسی نقشه های تراز ۵۰۰ و ۵۰ هکتوپاسکال برای هریک از قطاع ها متوسط ارتفاع ژئوپتانسیل برای یک دوره ۵۳ ساله (۲۰۰۰-۱۹۴۸) به ترتیب برای فصول زمستان و تابستان محاسبه شد. همچنین موقعیت و سرعت متوسط هسته جت جنب حاره در تراز ۲۰۰ هکتوپاسکال در منطقه شمال آفریقا، خاورمیانه و مدیترانه برای دوره و فصول یاد شده استخراج و ارتباط آن با سیکل فعالیت خورشیدی بررسی شد. جهت تعیین ارتباط بین وردش پذیری فعالیت خورشیدی و متغیرهای اقلیمی و مؤلفه های منطقه ای گردش جو، تعداد لکه های خورشیدی، شار پرتو رادیویی خورشیدی و یک شاخص فعالیت ژئومغناطیسی موسوم به شاخص AA مورد استفاده قرار گرفت.

یافته های تحقیق ارتباط معنادار قابل توجهی را بین تعداد لکه های خورشیدی و شار پرتو رادیویی خورشیدی با مجموع بارش زمستانه و میانگین دمای فصول حدی ایستگاه های منتخب ایران و مناطق همجوار نشان نمی دهد. با وجود این همبستگی های ضعیف به دست آمده نشانگر آن است که در سال هایی که فعالیت خورشیدی به حداکثر خود می رسد، دمای میانگین فصل زمستان در منطقه خاورمیانه و ایران به طور نسبی کاهش می یابد. در مطالعه تغییرات متوسط ارتفاع ژئوپتانسیل ترازهای ۵۰۰ و ۵۰ هکتوپاسکال در ارتباط با شاخص های مربوط به سیکل فعالیت خورشیدی برای فصول حدی این نتیجه حاصل شد که به طور کلی تغییر فعالیت خورشید با ارتفاع ژئوپتانسیل در مناطق ایران-خاورمیانه، شمال آفریقا و مدیترانه (قطاع های تعریف شده) همبستگی مثبت دارد. بالاترین میزان همبستگی در تراز ۵۰ هکتوپاسکال (پوش سپهر تحتانی) مشاهده گردیده است. به طوری که در بررسی تغییرات ارتفاع متوسط تراز ۵۰ هکتوپاسکال در تابستان تمامی شاخص های فعالیت خورشیدی با قطاع های چهارگانه همبستگی مثبت معناداری را نشان داده اند. در بررسی سرعت و موقعیت هسته جت جنب حاره و ارتباط آن با تعداد لکه ها و سایر شاخص های فعالیت خورشیدی برای دو فصل زمستان و تابستان همبستگی منفی ضعیفی مشاهده گردید.

واژگان کلیدی: فعالیت های خورشیدی، وردش های اقلیمی، سیکل لکه های خورشیدی، اقلیم زمین، اقلیم ایران.

«از آن جایی که تجارب قبلی ما را متقاعد کرده است که فصل‌ها در برخی از مواقع بسیار نابهنجار و در برخی مواقع به‌طور قابل ملاحظه‌ای نرمال هستند، بلافاصله این فکر به ذهن می‌رسد که آیا ما باید این نابهنجاری را به یک خروج کم و بیش گسترده و زیاد پرتوهای خورشیدی نسبت دهیم.» («ویلیام هرشل، ۱۷۹۵» به نقل از Meadows, 1975)

۱- مقدمه

درک قانونمندی‌های سامانه‌ی اقلیمی زمین نیازمند شناخت مؤلفه‌های مؤثر بر این سامانه می‌باشد. بی‌گمان خورشید به‌عنوان منبع اصلی انرژی زمین و ایجادکننده‌ی تفاوت اقلیمی آن، یکی از مهم‌ترین و مؤثرترین این مؤلفه‌هاست. تغییرات میزان انرژی خروجی از خورشید و یا نوسانات دمایی سطح آن، می‌تواند نوسانات و تغییراتی را در جو زمین ایجاد نماید. لکه‌های خورشیدی^۱ به‌عنوان یکی از فعالیت‌های خورشید از جمله پدیده‌هایی است که در دهه‌های اخیر توجه اقلیم‌شناسان را به خود معطوف کرده و به‌عنوان یکی از مؤلفه‌هایی که می‌تواند بر سامانه‌ی اقلیمی زمین در مقیاس‌های زمانی متفاوت اثر گذاشته و در نهایت نوسانات و تغییرات اقلیمی را به دنبال داشته باشد، در کانون توجه قرار گرفته است.

برخلاف ادبیات اقلیمی بسیار حجیم جهانی در رابطه با فعالیت‌های خورشیدی و تأثیر آن‌ها بر اقلیم زمین [Pittok 1983; HS, 1997*, Waple, 1999; Benestad, 2002]، ادبیات اقلیمی موجود در کشور در این زمینه بسیار فقیر و نارساست. به‌همین جهت هدف اصلی مقاله حاضر درک ساز و کار حاکم بر فعالیت خورشیدی و نحوه ارتباط آن با اقلیم زمین می‌باشد. بدین منظور در ابتدا خصوصیات فیزیکی و فعالیت‌های خورشید مورد مطالعه قرار گرفت. سپس ساختار و ویژگی‌های لکه‌های خورشیدی و سیکل فعالیت آن، به‌عنوان یکی از بارزترین فعالیت‌های خورشیدی بررسی شد. در ادامه ارتباط بین وردش‌پذیری فعالیت خورشیدی به‌خصوص تأثیر سیکل لکه‌های خورشیدی بر اقلیم زمین مورد توجه قرار گرفت. در نهایت با فراهم نمودن داده‌هایی از منطقه‌ی ایران - خاورمیانه، مدیترانه و شمال آفریقا ارتباط بین سیکل فعالیت لکه‌های خورشیدی و پارامترها و مؤلفه‌های اقلیمی در مقیاس منطقه‌ای مورد بررسی قرار گرفت. در واقع سؤالاتی که تحقیق حاضر درصدد پاسخگویی به آن‌هاست عبارتند از:

۱- مفهوم فعالیت خورشیدی چیست و ساز و کار حاکم بر آن چگونه است؟ ۲- آیا تغییر در تعداد لکه‌های خورشیدی با وردش‌های اقلیمی زمین از جمله وردش‌پذیری^۲ مقادیر بارش و دما و مؤلفه‌های اصلی گردش جو در ارتباط است؟ ۳- آیا ارتباط معناداری بین اقلیم ایران - خاورمیانه، مدیترانه و شمال آفریقا و سیکل فعالیت خورشیدی وجود دارد؟

۲- فعالیت خورشیدی

خورشید منبع بنیادی تمامی انرژی در سامانه‌ی اقلیمی زمین است. به‌همین دلیل منطقی به نظر می‌رسد که وردش‌های موجود در انرژی خروجی خورشید را بر وردش‌پذیری اقلیمی مؤثر بدانیم (Haigh, 2000). تغییر در انرژی خروجی خورشید شامل تابش الکترو مغناطیس و ذرات بارداری است که درگستره‌ی وسیعی از مقیاس‌های زمانی و ناشی از درجات متفاوتی از فعالیت ظاهر می‌شود (Reid, 2000). اصطلاح «فعالیت خورشیدی»^۳ شامل کلیه‌ی پدیده‌هایی است که در سطح خورشید (فتوسفر) و یا جو آن (کروموسفر)

به وقوع می پیوندد، (Benestad, 2002). وقوع چنین پدیده‌هایی در مقیاس‌های زمانی متفاوت، منعکس کننده‌ی پخش (گسیل) ناهمگن تابش ناشی از حضور یا عدم حضور مناطق فعال بر روی سطح خورشید است. اساساً فعالیت‌های خورشیدی دارای بردش‌های کوتاه مدت، میان مدت و بلندمدت می‌باشد. بردش‌های کوتاه مدت شامل دوره‌های زودگذری از فعالیت خورشیدی مانند شراره‌ها^۱ و خروج جرم کرونایی^۲ است که ناشی از دوره‌ی چرخش ظاهری ۲۷ روزه‌ی خورشید و یک سیکل ۱۵۴ تا ۱۵۸ روزه‌ای است که در بسیاری از پدیده‌های خورشیدی وجود دارد. بردش‌های میان مدت شامل سیکل ۱۶ ماهه‌ای است که اخیراً کشف شده است و بردش‌های بلند مدت شامل سیکل ۱۱ ساله‌ی لکه‌های خورشیدی همراه با سیکل ۲۲ ساله هیل^۳ و سیکل ۸۰ تا ۹۰ ساله گلیسبرگ^۴ و سیکل تقریباً ۱۸۰ تا ۲۰۰ ساله دی وریس^۵ می‌باشد (Tsiropoula, 2003). به طور کلی دو علت اصلی برای بردش پذیری خورشید وجود دارد: عامل اول در رابطه با تکامل خورشید است که ناشی از شرایط موجود در هسته‌ی آن می‌باشد و عامل دوم به میدان مغناطیسی خورشید باز می‌گردد. در حال حاضر خورشید در مقطع میانی از یک دوره‌ی زندگی ۱۰ بیلیون ساله قرار دارد. بر اساس مطالعات موجود، خورشید روند تکاملی خود را به سوی درخشش و روشنایی بیشتر و شعاع بزرگ‌تر طی می‌کند (البته همین امر می‌تواند بیانگر قسمتی از تغییرات حاصله در مسیر تکاملی زمین باشد). عاملی که به بردش در میزان خروجی خورشید منجر می‌شود به میدان مغناطیسی خورشید بر می‌گردد. منشأ میدان مغناطیسی، عمدتاً منطقه‌ای در قعر منطقه‌ی همرفت خورشیدی (دارای فاصله‌ای حدود ۳۰ درصد از سطح خورشید به سمت هسته) است (Solanki, 2002).

عناصر اصلی تعیین کننده‌ی شدت و ساختار میدان مغناطیسی خورشید، ترکیبی از چرخش وضعی متفاوت و همرفت در داخل و زیر سطح خورشید می‌باشند که به نوبه‌ی خود درجات متفاوتی از فعالیت خورشیدی را ایجاد می‌نمایند (Tsiropoula, 2003). چرخش وضعی متفاوت^{*}، میدان مغناطیسی قوی‌ای را در نزدیک پایه‌ی منطقه‌ی همرفت تولید می‌کند که در طی زمان بر میزان شدت آن افزوده می‌شود. اگر میزان شدت میدان مغناطیسی از حد معینی بیشتر شود ناپایدار شده و به صورت حلقه‌هایی خاص شروع به بالا آمدن به سمت سطح خورشید می‌نماید که در نهایت پس از عبور از منطقه‌ی همرفت به سطح خورشید رسیده و از آن عبور می‌کند. قسمت اعظم خطوط میدان مغناطیسی که خود را به سطح خورشید رسانیده است پس از تشکیل حلقه‌هایی مجدداً به داخل خورشید برمی‌گردند. این خطوط میدان مغناطیسی به جریان مغناطیسی بسته معروف‌اند. شکل ۱a نمونه‌ای از چنین خطوط جریانی را نشان می‌دهد. کسر کوچکی از آن‌ها به وسیله‌ی باد خورشیدی به فضای بین سیاره‌ای حمل می‌شوند که به جریان مغناطیسی باز معروف‌اند. جریان‌های مغناطیسی بسته موجب به وجود آمدن پدیده‌های متعددی روی سطح خورشید می‌شوند. از آن جمله لکه‌های خورشیدی، فوکولاً^۶، حلقه‌های داغ کرونایی^۷، برجستگی‌ها و رشته‌ها^۸، شراره‌ها و تابش انرژی بالای مرتبط با پدیده‌های فوق (شکل ۱b) و خروج جرم کرونا همگی تحت عنوان کلی فعالیت خورشیدی توصیف می‌شوند (Solanki, 2002). برهم کنش میدان مغناطیسی و همرفت منجر به تمرکز میدان مغناطیسی به صورت رشته‌ها و یا دسته‌هایی از خطوط میدان می‌شود که به «مجاری جریان»^۹ موسوم هستند. در میان بزرگ‌ترین مجاری جریان لکه‌های خورشیدی می‌باشند (شکل ۱a،) (Solanki, 2002).

1- Solar Flares

2- Coronal Mass Ejections

3- Hale Cycle

4- Gleissberg

5- De Vries

6- Faculae

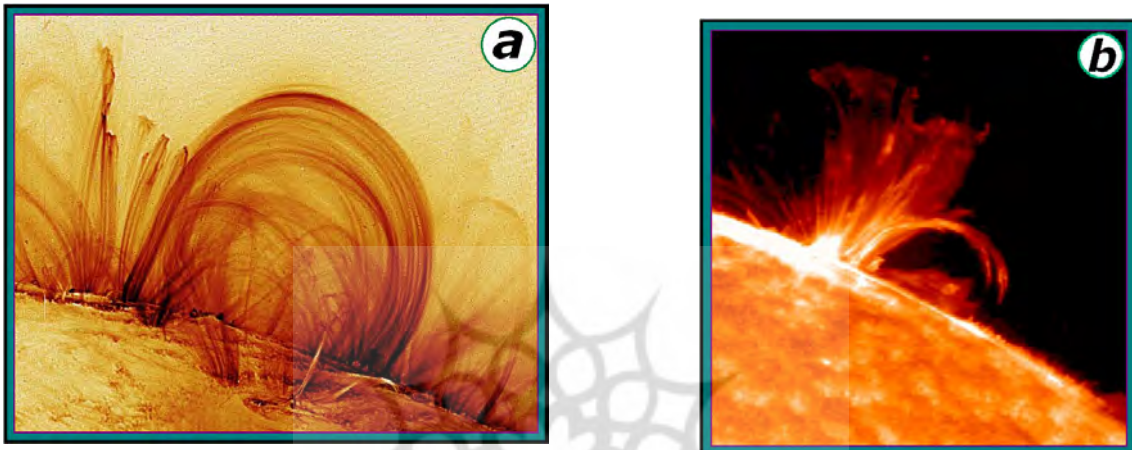
7- Hot Coronal Loops

8- Prominences & Filaments

9- Flux Tubes

* بین منطقه استوایی و قطبین خورشید حدود ۱۱ روز اختلاف چرخش وجود دارد. بدین ترتیب که مناطق استوایی طی ۲۵ روز و مناطق قطبی در طول ۳۶ روز یک دور کامل را طی می‌کنند.

مناطق فعال خورشیدی در نتیجه‌ی وردش‌های حاصل از تغییرات میدان مغناطیسی منشأ تابش الکترومغناطیسی ذرات بارداری هستند که توسط جو بیرونی خورشید (موسوم به کرونای خورشیدی) به فضا منتشر می‌شوند (Tsiropoula, 2003). کرونای خورشیدی حاوی انرژی و تکانه‌ای است که موجب تداوم باد خورشیدی می‌شود. به عبارتی دیگر وردش‌های موجود در اقلیم زمین به واسطه‌ی تأثیر مستقیم «باد خورشیدی»، با فعالیت‌های خورشیدی ارتباط پیدا می‌کند. لذا جهت تبیین نحوه‌ی تأثیر خورشید بر وضعیت جوی و اقلیم زمین تعیین نقش کرونا و باد خورشیدی لازم است.



شکل ۱- شکل‌های ۱a و ۱b به ترتیب خطوط میدان مغناطیسی بسته و شراره خورشیدی را در یک منطقه‌ی فعال از خورشید نشان می‌دهند. (منبع: <http://www.gsfc.nasa.gov/gsfsc/spacesci/pictures/>)

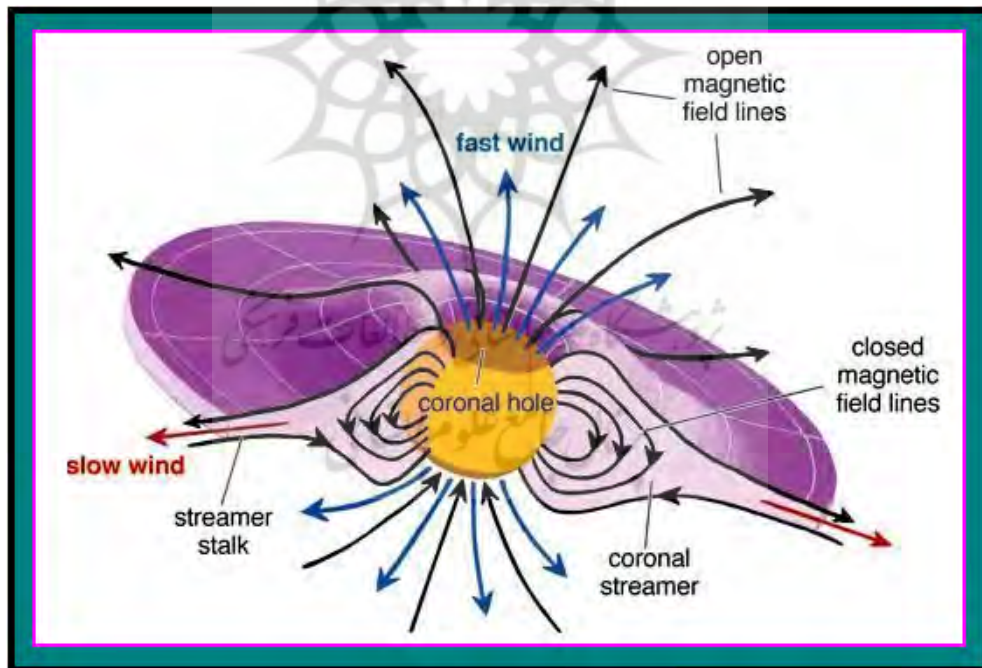
سطح خورشید دارای لکه‌های متعددی است که فعالیت‌های متغیری دارند. این مناطق فعال خورشیدی از طریق سیستم پیچیده‌ای از میدان‌های مغناطیسی و گاز داغ و یونیزه شده‌ی با چگالی متفاوت (موسوم به پلاسما)، با کرونای خورشید برهم کنش دارند. الکترون‌ها و یون‌های آزاد که تشکیل دهنده‌ی پلاسما می‌باشند، به واسطه‌ی حرکت گازها جریان‌های الکتریکی را به وجود می‌آورند (Markson & Muir, 1980). این گازهای داغ در بالای کروموسفر (که جو تحتانی خورشید محسوب می‌شود) یک لایه‌ی فوق‌العاده گرمی را که دمایی بیش از ۱ میلیون درجه کلوین دارد به وجود می‌آورند که به «کرونای خورشیدی» موسوم است (Hudson & Kosugi, 1999). پژوهش‌های موجود نشان می‌دهند که کرونای خورشید دارای ساختار پیچیده‌ای است. بدین ترتیب که در مناطق قطبی دارای چگالی کم‌تری بوده و سردتر و تاریک‌تر می‌باشد. این مناطق که به «حفره‌های کرونایی»^۲ مشهور هستند، به وسیله مناطق روشن‌تر که در مجموع «خورشید آرام»^۳ نامیده می‌شود محصور گردیده‌اند (Woo & Habbal, 2002). لازم به ذکر است که مناطق فعال خورشید از جمله لکه‌های خورشیدی در قسمت خورشید آرام قرار دارند. به جز مناطق قطبی، سایر قسمت‌های کرونای خورشیدی داغ و متراکم است که به «پرچم‌های کرونایی»^۴ مشهور شده است. در واقع پرچم‌های کرونایی از قسمت خورشید آرام و مناطق فعال منشأ می‌گیرند (شکل ۲)، (Woo & Habbal, 2002). نکته‌ی جالب این که هر یک از مناطق کرونایی دارای بادهای خورشیدی مخصوص به خود هستند. بدین ترتیب که حفره‌های کرونایی دارای نوعی باد خورشیدی سرد و کم ضخامت موسوم به «باد تند»^۵ می‌باشند که با سرعتی معادل ۸۰۰ کیلومتر در ثانیه منتشر می‌شوند. در حالی که پرچم‌های خورشیدی دارای نوعی باد خورشیدی داغ و متراکم موسوم به «باد کند»^۶ می‌باشند.

1- Solar Wind
3- Quiet Sun
5- Fast Wind

2- Coronal Holes
4- Coronal Streamers
6- Slow Wind

در بیان علت تفاوت سرعت باد خورشیدی باید به خطوط جریان و شکل میدان مغناطیسی در مناطق مختلف خورشید اشاره کرد. بدین ترتیب که باد تند در حفره‌های کرونایی از یک خطوط جریان مغناطیسی باز تبعیت می‌کند. در حالی که باد کند از میدان‌های مغناطیسی بسته در عرض‌های میانی و استوایی خورشید تبعیت می‌کند. به طوری که میدان‌های مغناطیسی بسته موجب تأخیر و عقب افتادگی بادهای عرض‌های میانی و استوایی می‌گردند (شکل ۲).

بدین ترتیب باد خورشیدی که حاوی ذرات الکترون و پروتون باردار می‌باشد، از جرم کرونایی خورشید یعنی جایی که دما آنقدر بالاست که نیروی جاذبه‌ی خورشیدی برای گیر انداختن این ذرات کافی نیست، به سمت فضای بین سیاره‌ای خارج می‌شود و تا ورای مدار پلوتون را در بر می‌گیرد. در این بین تغییر مقادیر انرژی الکترومغناطیس خارج شده از سطح خورشید، موجب تغییر سرعت و شدت باد خورشیدی می‌شود. برای مثال در زمان وقوع حداکثر لکه‌های خورشیدی، باد خورشیدی سرعتی بالای ۶۰۰ کیلومتر در ثانیه خواهد داشت (سرعت متوسط باد خورشیدی در منطقه‌ی استوایی آن حدود ۴۰۰ کیلومتر در ثانیه است) که به «رخداد پروتون» مشهور است. همین امر اثر اشعه‌های کیهانی با منشأ بین ستاره‌ای را که حاوی انرژی بالایی هستند در جو زمین به حداقل مقدار خود می‌رساند، (Tsiropoula, 2003) در حالی که وقوع پدیده‌های جوی همچون شفق‌های قطبی، توفان‌های تندی و صاعقه را افزایش داده و بر روی بسیاری از پارامترهای جوی تأثیر می‌گذارد (Schlegel, et al, 2001; Markson and Muir, 1980).



شکل ۲- در این شکل نگرش موجود از منشأ باد خورشیدی تشریح گردیده است. همان طوری که در شکل مشاهده می‌شود باد تند از حفره‌های کرونایی و در امتداد خطوط میدان مغناطیسی باز می‌وزد. در حالی که باد کند از انتهای پرچم‌های کرونایی یعنی جایی که خطوط میدان مغناطیسی بسته است خارج می‌شود (Woo&Habbal, 2002).

۳- ساختار و ویژگی های لکه های خورشیدی

مهم ترین و مسلّم ترین شاخصی که بیان کننده ی وردش پذیری خورشید می باشد، تعداد متغیر لکه های سیاه سطح آن است (Friis-Christensen, 2000).

در پژوهش های اخیر برای سنجش میزان فعالیت خورشیدی از پارامترهایی مثل: تعداد لکه های خورشیدی، نسبت مساحت و وسعت لکه های خورشیدی (Hoyt, 1979) و طول سیکل لکه های خورشیدی (Friis-Christensen & Lassen, 1991) استفاده شده است. این امر نقش و اهمیت این پدیده را در مطالعه ی وردش پذیری سطح خورشید و تأثیر آن بر پدیده های جوی و اقلیم زمین بیان می کند.

قدیمی ترین اسناد موجود که دلالت بر مشاهده ی تغییرات در ظاهر خورشید دارد، مربوط به سلسله «شانگ»^۱ در چین در حدود سال ۱۲۰۰ ق.م. می باشد. پس از آن یکی از شاگردان ارسطو به نام «تئوفراستوس»^۲ (۲۹۰-۳۷۰ ق.م.) نخستین منبع شناخته شده در رابطه با لکه های خورشیدی را به نگارش در آورد. در ابتدای قرن هفدهم (سال ۱۶۱۰) و با اختراع تلسکوپ شاید گالیله نخستین کسی بود که با استفاده از آن لکه های خورشیدی را مشاهده کرد (Waple, 1999) و به این نتیجه رسید که لکه ها با چرخش خورشید جابه جا می شوند (Impey & Hartmann, 2000) به فاصله یک سال بعد از آن، «جوآن فابریکوس»^۳ در مقاله ای وجود لکه های خورشیدی را مورد توجه قرار داد (Hoyt & Schatten, 1997).

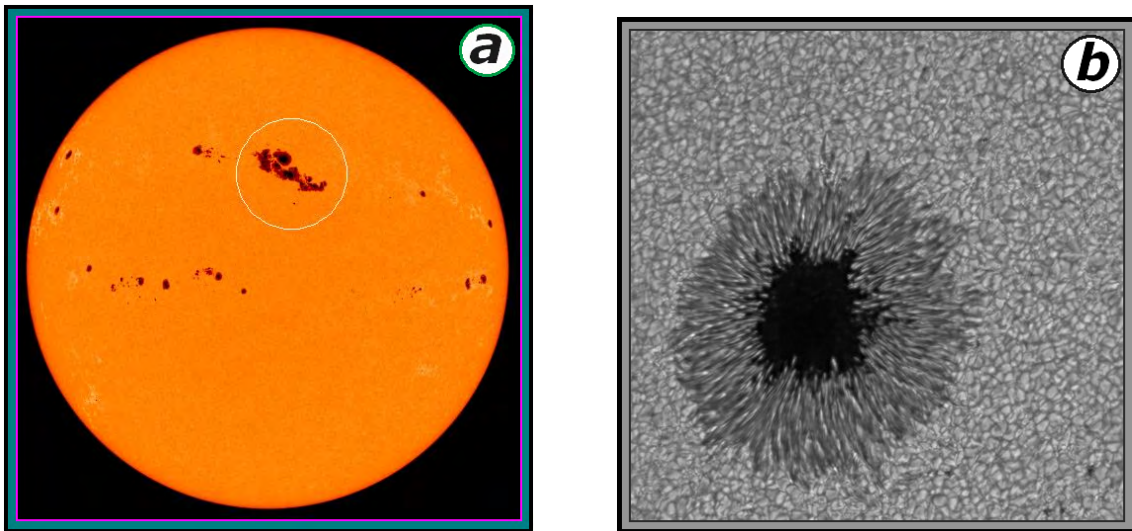
لکه های خورشیدی مناطق نسبتاً تاریکی روی سطح خورشید هستند که شامل یک منطقه تیره تر در مرکز (موسوم به منطقه سایه یا Umbra) و یک منطقه ی با تیرگی کم تر (موسوم به نیم سایه یا Penumbra) در اطراف می باشند (شکل ۳a).

همان طور که در شکل ۳b دیده می شود، منطقه ی «نیم سایه» حفاصل منطقه تیره ی مرکزی و سطح روشن خورشید (فتوسفر) است. براساس مطالعات «شولن»^۴ و «ویلسون»^۵ منطقه ی «سایه» گودالی راتشکیل می دهد که توسط دیواره های شبیدار «نیم سایه» محصور گردیده است (Kippenhahn, 1994) میزان روشنایی سایه ۲۵٪ فتوسفری است که آن را محصور کرده است، در حالی که این میزان برای نیم سایه حدود ۷۵٪ فتوسفر محصورکننده آن می باشد. از طرفی نسبت مساحت سایه به نیم سایه از حدود ۱۵٪ تا ۲۷٪ متغیر است (Hoyt, 1979).

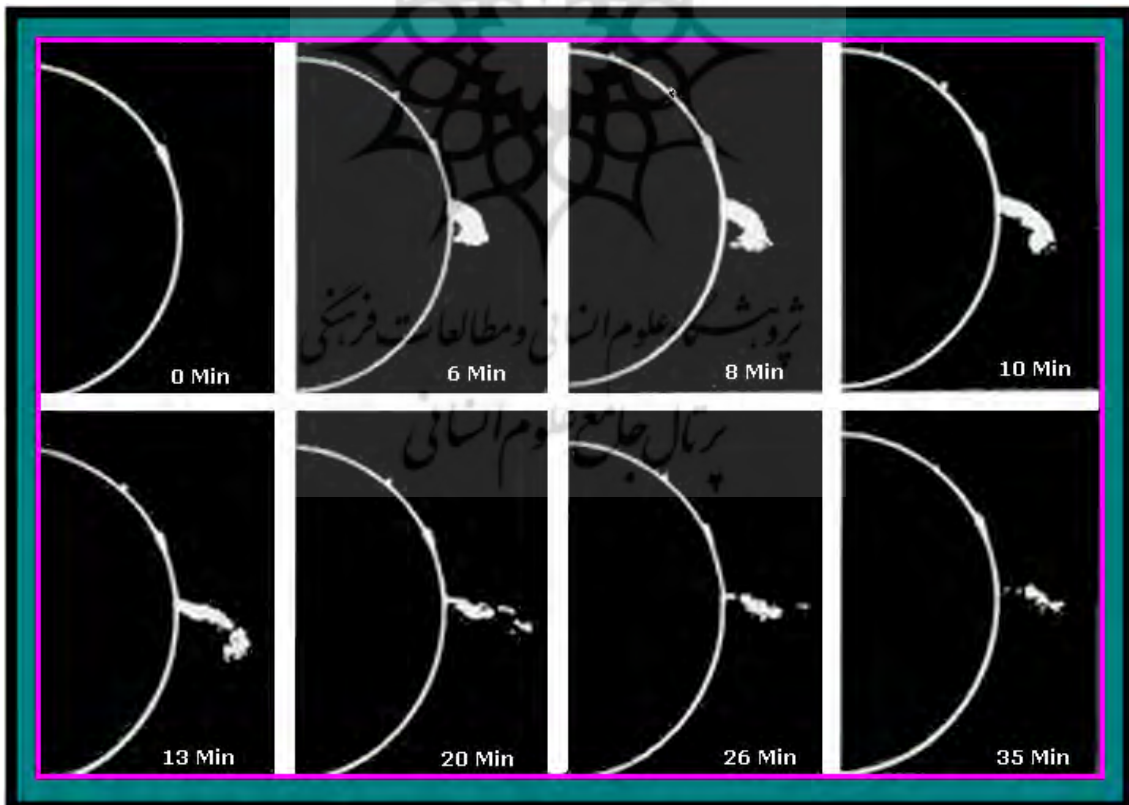
میزان حرکات همرفتی در نسبت منطقه ی سایه به نیم سایه و وسعت لکه های خورشیدی تأثیرگذار است. به طوری که در مواقعی که حرکات همرفتی در فتوسفر خورشید شدیدتر است، مساحت لکه ها به ویژه منطقه ی تیره مرکزی آن بیشتر است (Hoyt, 1979).

لکه های خورشیدی معمولاً به صورت دوتایی با قطب های مغناطیسی مخالف مشاهده می گردند و دوره ی زندگی آن ها از چند روز تا چندین ماه در نوسان است. لکه های بزرگ تر به واسطه ی حرکت وضعی خورشید تقریباً از چپ به راست (بر روی بخش مرئی خورشید) حرکت می کنند. این لکه ها در لبه ی راست خورشید ناپدید می شوند و پس از حدود ۱۳ روز مجدداً بر لبه ی چپ آن ظاهر می شوند (چرا که چرخش وضعی خورشید حدود ۲۷ روز به طول می انجامد) (Labitzke & Vanloon, 1999).

قطر متوسط لکه ها در حدود ۳۷۰۰ Km است که البته گاهی به ۲۴۵۰۰۰ Km هم ممکن است برسد ، (Maunder, 1994) و بالغ بر ۱ تا ۲ درصد از سطح خورشید را اشغال نماید (Bryant, 1997). به همین دلیل بعضی وقت ها لکه های خورشیدی را حتی با چشمان غیر مسلح می توان در سطح خورشید دید. یک لکه خورشیدی منطقه ای در سطح خورشید است که از نظر مغناطیسی دچار اختلال گردیده و سردتر



شکل ۳- در شکل ۳a لکه های خورشیدی به صورت گروهی بر روی فتوسفر خورشید و در شکل ۳b مناطق سایه (Umbra) و نیم سایه (Penumbra) یک لکه خورشیدی مشاهده می شوند (منبع: <http://www.gsfc.nasa.gov/gsfsc/spacesci/pictures/f>).



شکل ۴- عکس های متوالی که در حد فاصل زمانی ۳۵ دقیقه تهیه گردیده است، نحوه خروج توده های گاز از محل لکه های خورشیدی را نشان می دهد. (Impey & Hartmann, 2000)

از نواحی مجاور خود می‌باشد و دارای میدان مغناطیسی ۱۰۰ تا ۱۰۰۰ بار قوی‌تر از متوسط مغناطیس خورشید است. توده‌های بزرگی از گاز که مقدار آن‌ها بسیار بزرگ‌تر از اندازه کره زمین است از مناطق دچار اختلال مغناطیسی لکه‌ها فوران می‌کنند (شکل ۴)، (Impey & Hartmann, 2000). گازهای درون این لکه‌ها دمایی بین ۴۰۰۰ تا ۴۵۰۰ درجه کلوین دارند. در حالی که دمای گازهای نواحی مجاور حدود ۵۷۷۰ درجه کلوین (حدود ۵۵۰۰ درجه سانتی‌گراد) می‌باشد. به همین دلیل محل لکه‌ها تیره‌تر به نظر می‌رسد. حرکت این گازها در نزدیکی لکه‌ها برخلاف طوفان‌هایی که در سطح کره‌ی زمین مشاهده می‌شوند، توسط نیروهای جوی قابل کنترل نیست و آن‌ها تحت تأثیر میدان‌های مغناطیسی خورشید، حرکت می‌کنند. (Impey & Hartmann, 2000).

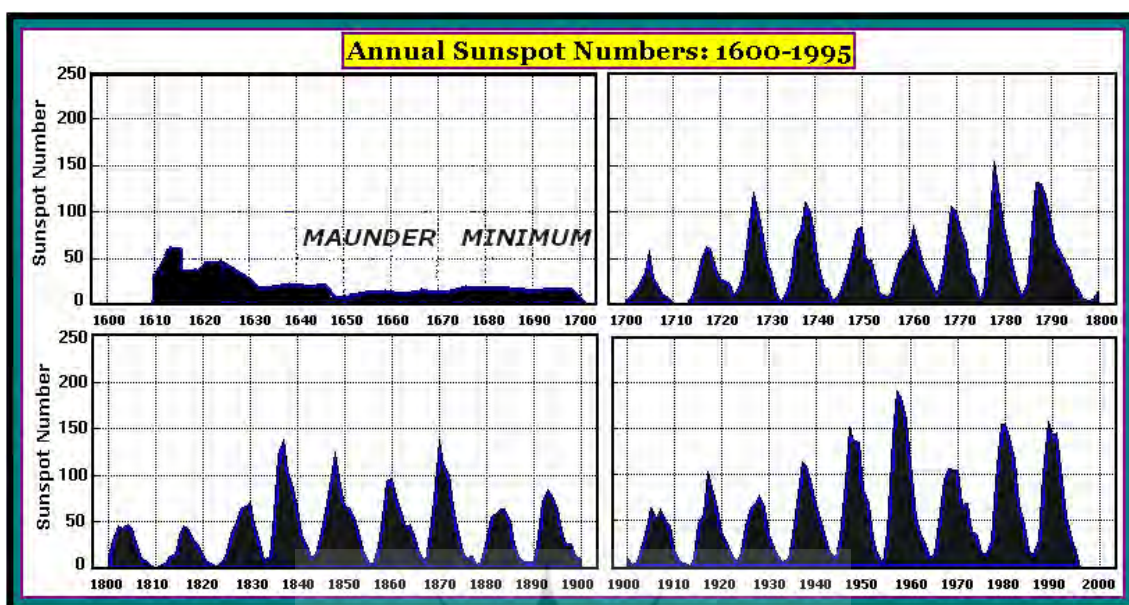
۱-۳- سیکل لکه‌های خورشیدی

در سال ۱۸۲۹ میلادی «هنریش شووب»^۱ پس از فروش داروخانه‌ای که از پدر بزرگش به او به ارث رسیده بود «زندگی واقعی‌اش» را شروع کرد و وقت خود را صرف مطالعات مورد علاقه‌اش یعنی نجوم و گیاه‌شناسی نمود. شووب واقعاً امیدوار بود به‌تواند سیاره جدیدی را در داخل مدار زحل، در حال گردش به دور خورشید کشف نماید. شووب نام این سیاره فرضی را ولکان نامید. اگر چه این اخترشناس آماتور آلمانی هیچ‌گاه موفق به کشف این سیاره نشد (امروزه همه می‌دانیم که چنین سیاره‌ای وجود خارجی ندارد) ولی در طی سالیان متمادی موفق به ثبت تعداد و موقعیت لکه‌های خورشیدی شد و متوجه وجود یک الگوی منظم از تعداد و موقعیت لکه‌ها گردید. شووب در سال ۱۸۴۳ نتایج مشاهدات خود را در مقاله‌ای کوتاه که در یک مجله اخترشناسی آلمانی به چاپ رسید بیان نمود. او در جمع‌بندی مطالعات خود به این نتیجه دست یافت که لکه‌های خورشیدی در حد فاصل‌های زمانی حدود ۱۰ تا ۱۱ سال به حداکثر فراوانی خود می‌رسند. البته در ابتدا توجهی به کشف شووب نشد، تا این‌که در سال ۱۸۵۰ الکساندر فون همبولت در جلد سوم کتاب معروف اش «کیهان» به تشریح کار شووب پرداخت. از آن پس دنیا با سیکل ۱۱ ساله شووب موسوم به «سیکل ۱۱ ساله لکه‌های خورشیدی» آشنا شد (در شکل ۵ تعداد سالانه و سیکل ۱۱ ساله‌ی لکه‌های خورشیدی شووب از ابتدای قرن هفدهم تا سال ۱۹۹۵ نشان داده شده است)، (Kippenhahn, 1994).

آنچه در مطالعه شکل ۵ بدیهی می‌نماید، این است که برخی از سیکل‌ها از بقیه شدیدتر بوده و همچنین برخی سیکل‌ها در مقایسه با سایرین طولانی‌تر می‌باشند. در برخی دوره‌ها میزان فعالیت خورشیدی و به تبع آن تعداد لکه‌های خورشیدی بسیار کاهش یافته است. نمونه آن دوره «حداقل مئاندر»^۲ در نیمه دوم قرن هفدهم می‌باشد که با عصر یخ کوچک در اروپا منطبق است. دماهای پایین در این دوره علاوه بر گسترش یخچال‌های آلپ به داخل دره‌ها، موجب یخ بستن رودخانه تایمز گردیده است. یک سال بعد از کشف شووب و در مطالعه میدان مغناطیسی خورشید ارتباط نزدیکی بین تغییر قطب‌های مغناطیسی خورشید و تعداد لکه‌ها پیدا شد. در واقع تغییر میدان‌های مغناطیسی خورشید سیکل‌های مختلف لکه‌های خورشیدی را به دنبال دارد. این کشف یکی از گام‌های کلیدی در شناخت خورشید و تأثیر آن روی زمین بود (Kippenhahn, 1994).

مدت زمان یک سیکل کامل مغناطیسی به‌طور متوسط ۲۲ سال است که به «سیکل هیل» معروف است و شامل ۲ سیکل ۱۱ ساله می‌باشد که در شکل ۶ مشاهده می‌شود.

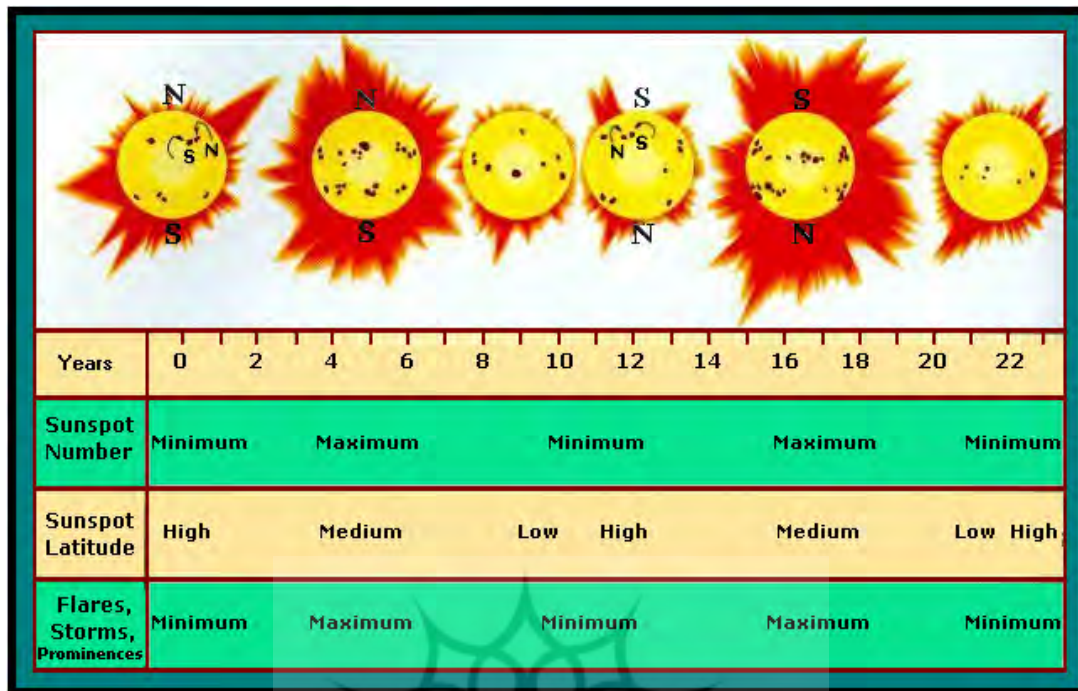
در دوره حداقل لکه‌های خورشیدی، کم‌ترین لکه‌های قابل مشاهده در حدود ۱۰ درجه از استوای خورشید جمع می‌شوند (مطابق شکل ۶). وقتی که بعد از حدود یک‌سال سیکل جدیدی شروع می‌شود، گروه‌هایی از لکه‌های جدید در عرض‌های بالا در حدود ۳۰ درجه از استوای خورشید ظاهر می‌شوند. بعد از چند سال لکه‌ها به حداکثر تعداد خود می‌رسند و در عرض‌های میانی در حدود ۲۰ درجه از استوای خورشید جمع می‌شوند (حدود



شکل ۵- تعداد سالانه و سیکل لکه‌های خورشیدی از ابتدای قرن هفدهم (Barry&Chorley,2003)

سال پنجم تا ششم). تقریباً بعد از یازده سال لکه‌ها به طور متوسط در حدود ۱۰ درجه از استوا ظاهر می‌شوند و در این حالت دوباره کم‌ترین تعداد لکه‌ها وجود دارند. لازم به ذکر است که در حد فاصل سال‌های ۱۰ تا ۱۱ قطب‌های مغناطیسی شمال و جنوب خورشید کاملاً عکس می‌شوند و از آن پس سیکل ۱۱ ساله دوم آغاز می‌گردد. معمولاً سیکل ۱۱ ساله دوم شدیدتر از سیکل ۱۱ ساله اول بوده و دارای تعداد لکه‌های بیشتری است (شکل ۶). نکته قابل توجه آن است که میدان مغناطیسی خورشید در هر سیکل ۱۱ ساله‌ی لکه‌های خورشیدی معکوس می‌شود. بدین ترتیب می‌توان تصور نمود که بر روی خورشید عقربه‌ی قطب نماها به مدت ۱۱ سال شمال را نشان خواهند داد (تحت تأثیر اغتشاشات ناشی از طوفان‌های مغناطیسی مکرر) و در ۱۱ سال بعدی دقیقاً جهت عکس خواهند داشت. این رفتار کاملاً ناشناخته نیست چرا که میدان مغناطیسی زمین هم هر چند صد هزار تا چند میلیون سال حالت عکس پیدا می‌کند (Impey&Hartmann, 2000).

در اواسط قرن نوزدهم «ریچارد کریستوفر کارینگتون»^۱ منجم آماتور انگلیسی، قانونمندی‌های دیگری از لکه‌های خورشیدی را کشف کرد. کارینگتون با مطالعه حرکت لکه‌ها در امتداد سطح خورشید برای نخستین بار کشف کرد که خورشید همچون سایر اجرام جامد نیست. برای مثال هنگامی که یک لکه در نزدیکی استوا کم‌تر از ۲۵ تا ۲۶ روز برای کامل کردن یک دور چرخش وضعی زمان لازم دارد، لکه‌ای در عرض ۳۰ درجه حدود ۲۷ روز زمان می‌برد. در عرض‌های بالاتر، برای نمونه در عرض ۸۰ درجه شمالی (یا جنوبی) یک نقطه بر سطح خورشید برای کامل کردن یک دور چرخش بیش از ۳۰ روز زمان لازم دارد. بدین ترتیب کارینگتون با اندازه‌گیری موقعیت لکه‌های خاص، قانونمندی حاکم بر چرخش وضعی خورشید را تعیین نمود. او همچنین کشف کرد که لکه‌ها در طول مسیر یک سیکل خورشیدی در مناطق متفاوتی ظاهر می‌شوند. در زمانی که لکه‌های خورشیدی به حداکثر تعداد خود در طول یک سیکل می‌رسند معمولاً در دو نوار به موازات استوا در حدود عرض‌های ۱۵ درجه شمالی و جنوبی مشاهده می‌شوند (شکل ۶) (Kippenhahn, 1994; Hoyt&Schatten, 1997).



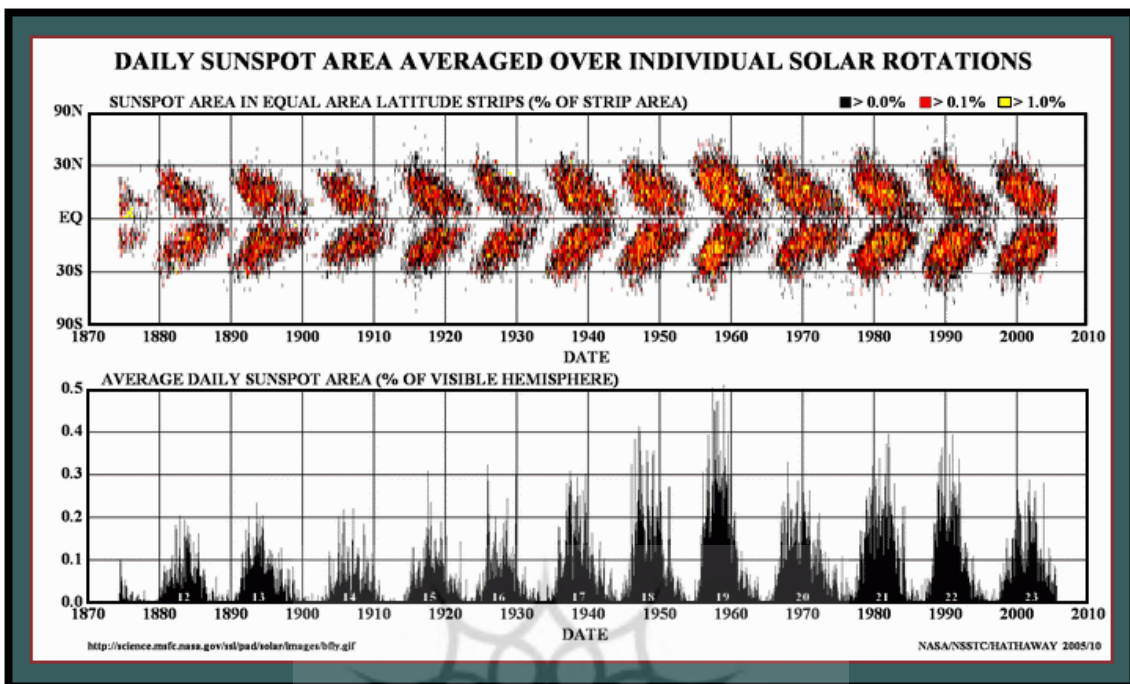
شکل ۶- میزان فعالیت لکه‌های خورشیدی به همراه عرض جغرافیایی استقرار آن‌ها در سیکل مغناطیسی ۲۲ ساله خورشیدی نشان داده شده است. جهت مقایسه میزان فعالیت شراره‌ها، توفان‌ها و رشته‌های خورشیدی نیز ذکر گردیده است (Impey & Hartmann, 2000).

در طی سال‌های بعد به موازات کاهش تعداد لکه‌ها، آن‌ها در عرض‌های پایین دیده می‌شوند. بدین ترتیب در زمان وقوع حداقل فعالیت خورشیدی، لکه‌ها نزدیک‌ترین فاصله را با استوا خواهند داشت. در همین زمان لکه‌های سیکل جدید در عرض‌های حدود 35° شمالی و جنوبی در دو نواری که به طور قابل ملاحظه ای از استوا دورند، ظاهر می‌شوند (شکل ۷). بنابراین موقعیت لکه‌هایی که در آغاز یک سیکل (یعنی درست بعد از حداقل فعالیت خورشیدی) ایجاد می‌شوند، در مقایسه با لکه‌هایی که در پایان یک سیکل شکل می‌گیرند، بسیار دورتر از استوا می‌باشد. طی یک سیکل ۱۱ ساله، مناطق وقوع لکه‌ها به تدریج به سمت استوا جابه‌جا می‌شود و هنگامی که یک سیکل ۱۱ ساله به انتهای خود می‌رسد لکه‌ها (در دو نیمکره) در نزدیک استوا قرار گرفته‌اند. به خاطر شکل ظهور لکه‌های خورشیدی به چنین دیاگرامی اصطلاحاً «دیاگرام پروانه‌ای»^۱ گفته می‌شود. (Hoyt & Schatten, 1997).

لکه‌های خورشیدی تیره‌تر هستند. چرا که میدان مغناطیسی قوی آن‌ها مانع از وقوع همرفت^۲ می‌شود. به عبارتی با افزایش فعالیت خورشیدی، میدان مغناطیسی قوی موجود در منطقه‌ی لکه‌های خورشیدی، از انتقال همرفتی به سطح خورشید به شدت جلوگیری نموده و همین امر موجب تیره‌تر شدن منطقه‌ی استقرار لکه‌های خورشیدی می‌شود. در این جا شاید این سؤال مطرح شود، زمانی که در نتیجه‌ی وجود لکه‌های خورشیدی سطح فتوسفر خورشید تاریک‌تر است، چرا در طول حداکثر فعالیت خورشیدی که بیشترین تعداد لکه‌ها را دارد، به طور متوسط خورشید روشن‌تر می‌شود؟ جوابی که عمده‌تاً بیان می‌شود این است که میدان مغناطیسی همرفت و سایر فرایندها را در داخل خورشید به اندازه‌ی کافی تحت تأثیر خود قرار می‌دهد که در نهایت موجب افزایش جریان انرژی در دوره‌هایی با حداکثر فعالیت خورشیدی می‌شود. اما فرضیه‌ی دومی نیز وجود دارد.

1- Butterfly Diagram

۲- همرفت شکل غالب انتقال انرژی در زیر فتوسفر خورشید است.



شکل ۷- دیاگرام پروانه‌ای لکه‌ها و میزان فاصله‌ی آن‌ها از استوای خورشید را در طی سیکل‌های ۱۱ ساله خورشیدی نشان می‌دهد. لکه‌ها در هر دو نیمکره شمالی و جنوبی در ابتدای هر سیکل ۱۱ ساله در عرض‌های حدود ۳۵ درجه ظاهر می‌شوند (قسمت بالای شکل). در طی هر سیکل، لکه‌ها به تدریج نزدیک‌تر به استوا ظاهر شده و تعدادشان نیز با پیشروی سیکل کاهش می‌یابد. در پایان هر سیکل ۱۱ ساله، لکه‌های جدیدی در عرض‌های بالاتر ظاهر می‌شوند که آغاز تشکیل دو بال پروانه‌ی سیکل ۱۱ ساله جدید هستند. قسمت پایین شکل، متوسط روزانه مساحت لکه‌ها را در جانب قابل مشاهده خورشید در هر سیکل ۱۱ ساله به درصد نشان می‌دهد (Benestad, 2002).

اساس این فرضیه بر این حقیقت استوار است که لکه‌های خورشیدی بزرگ‌ترین و استثنای‌ترین ویژگی‌های مغناطیسی یا مجاری جریان مغناطیسی در فتوسفر خورشید هستند. در کنار لکه‌های خورشیدی مجاری کوچک‌تری نیز بر سطح خورشید مشاهده می‌شود که فوکولا نام دارد. از تمرکز تعداد زیادی از فوکولاها- که به عناصر مغناطیسی معروف‌اند- در مناطق فعال سطح خورشید، میزان روشنایی فتوسفر در حاشیه‌ی لکه‌های خورشیدی به طور قابل توجهی افزایش می‌یابد. فوکولاها نیز همانند لکه‌های خورشیدی موجب تضعیف همرفت در منطقه‌ی تسلط خود می‌شوند. اما اندازه‌ی آن‌ها آنقدر کوچک است که تابش در محیط اطراف آن‌ها به واسطه‌ی مجاری خروجی بالنسبه قوی‌تر بر تضعیف انتقال ناشی از فوکولاها غلبه پیدا می‌کند. تعداد فوکولاها نیز شبیه لکه‌های خورشیدی با افزایش فعالیت خورشید افزوده می‌شود. علاوه بر این منطقه‌ی پوشیده شده توسط فوکولاها به مراتب بیشتر از مساحت تحت پوشش لکه‌های خورشیدی است، (Solanki, 2002). بنابراین هنگامی که سیکل ۱۱ ساله‌ی لکه‌های خورشیدی حداکثر تعداد لکه‌ها را نشان می‌دهد (برای مثال سال‌های ۱۹۹۰، ۱۹۸۰ و ۲۰۰۰) سایر فعالیت‌های خورشیدی همچون فوکولا و حلقه‌های داغ کرونا فراوان‌تر و شدیدتر هستند. بدین جهت مقادیر تابش کلی خورشید افزایش یافته و رخدادهای انفجاری همچون شراره‌ها و خروج جرم کرونایی بیشتر اتفاق می‌افتد و خورشید جریان بزرگ‌تری از ذرات انرژی‌زیک را توسط باد خورشیدی به فضا منتقل می‌کند، (Lean, 2001).

۴- تأثیر لکه‌های خورشیدی بر اقلیم زمین

خورشید منبع اصلی تمام انرژی است که سامانه‌ی اقلیمی از آن منشأ می‌گیرد. بنابراین واضح است که تغییرات در میزان خروجی خورشید می‌تواند بر اقلیم زمین تأثیر بگذارد. تاکنون محققین بی‌شماری در مورد تأثیر فعالیت‌های خورشیدی بر اقلیم مطالعه نموده‌اند. اولین کسی که در این مورد مطالعه کرد، «هرشل»^۱ بود که در اوایل سال ۱۷۹۵ امکان تأثیر فعالیت‌های خورشیدی بر اقلیم زمین را مطرح نمود. او سعی کرد که برخی تغییرات سیستماتیک در شرایط جوی را در ارتباط با تعداد لکه‌های خورشیدی پیدا کند. هرشل با استفاده از نوسانات سال به سال نرخ گندم (تنها داده بلند مدتی که در دسترس او بود)، ارتباطی بین شرایط متوسط جوی و وردش‌های خورشیدی برقرار نمود. (Meadows, 1975). از آن زمان تاکنون مطالعات متعددی صورت گرفته که نتیجه آن‌ها همبستگی‌های آماری بین پارامترهای مختلف هواشناسی و وردش‌های فعالیت خورشیدی را نشان داده است (Haigh, 1996). در دهه‌های اخیر پژوهشگران، طیف وسیعی از مؤلفه‌ها و پارامترها را جهت تعیین همبستگی بین فعالیت‌های خورشیدی و شرایط جوی و اقلیم زمین مورد استفاده قرار داده‌اند. این مؤلفه‌ها از یکسو بیانگر وردش‌های خورشیدی و از سوی دیگر تبیین‌کننده‌ی وردش‌های اقلیمی زمین هستند که در زیر به آن‌ها اشاره می‌گردد:

الف) مؤلفه‌های فعالیت خورشیدی که قابل مشاهده و یا اندازه‌گیری بوده و مورد استفاده قرار گرفته‌اند: تعداد لکه‌های خورشیدی (Eddy, 1976; LV, 1988 Tsiropoula, 2003) وسعت یا مساحت لکه‌های خورشیدی (Hoyt, 1979)، نسبت سایه به نیم سایه (Hoyt, 1979)، طول سیکل خورشیدی (F.L, 1991)، قطر خورشیدی (Haigh, 2000) نرخ زوال سیکل خورشیدی (Haigh, 2000)، تابش کلی خورشیدی (High, 2001)؛ Cubasch & Voss, 1999 b; Rottman, 1999 b شاخص ژئو مغناطیسی (مقدار شدت میدان مغناطیسی خورشید بر روی زمین) (Haigh, 2001)؛ Thejll et al., 2000; Palamara, 2000; 2003، 2004. شار اشعه‌های کیهانی (اشعه‌هایی که به زمین می‌رسند و نسبت معکوس با فعالیت خورشیدی دارند) (Schlegel et al., 2001) و شار پرتو رادیویی خورشیدی که در طول موج ۱۰/۷ سانتی‌متر اندازه‌گیری می‌شود (Schlegel et al., 1997; 2000)؛ Labitzke & Vanloon, 2001.

ب) پارامترهای مربوط به شرایط جوی و اقلیمی زمین: بارش، خشکسالی، سیل، دمای سطح دریا، فشار سطح دریا، باد، توفان‌های تندری، صاعقه، سیکلون‌ها، ابرها، میزان ابرناکی، سطح آب دریاچه‌ها، ارتفاع ژئوپتانسیل، ازن و نوسان شبه دو ساله پوش سپهری.

مقالات متعدد و ادبیات بسیار حجیمی در مورد نحوه‌ی ارتباط وردش‌های خورشیدی و شرایط جوی و اقلیم زمین در طی دو قرن گذشته بر جای مانده است (Pittock, 1983)، اما تحلیل‌های آماری ضعیف در برخی از این مقالات و نتایج متفاوت و متناقض، دلایلی بودند که موجب گردید تا کل حوزه از اعتبار علمی خوبی برخوردار نباشد (Tsiropoula, 2003) با وجود این هر از چند گاهی ارائه برخی نتایج جالب توجه و گاهی بحث برانگیز به این حوزه از علم رونق بخشیده و چالش‌هایی را به دنبال داشته است. در ادامه به برخی از موضوعات مربوط به ارتباط فعالیت‌های خورشیدی با اقلیم زمین، که نقش مهم‌تری در روند تکاملی این حوزه داشته‌اند اشاره می‌گردد.

بی‌شک معمول‌ترین پارامترهای هواشناسی که در تبیین اقلیم مورد استفاده قرار می‌گیرند، دو عنصر دما و بارش می‌باشند. همین پارامترها معمول‌ترین عناصر مورد توجه در بررسی ارتباط بین فعالیت‌های خورشیدی و

اقلیم نیز محسوب می‌گردند (Tsiropoula, 2003)، در این بین از میان مؤلفه‌های وردش‌پذیری خورشیدی، سیکل تعداد لکه‌های خورشیدی به جهت سهولت اندازه‌گیری و ثبت داده‌های طولانی در دسترس، بیش از همه مورد استفاده قرار گرفته است (Sisco, 1978)

در طول یک‌صد سال گذشته مطالعات بسیاری سعی در تبیین ارتباط بین دما و فعالیت خورشیدی داشته‌اند. اما گزارشات نتایج متفاوتی را نشان می‌دهند. برای مثال حداکثر دماهای ثبت شده در برخی موارد با حداکثر فعالیت لکه‌های خورشیدی (همبستگی مثبت) و در برخی موارد با حداقل فعالیت لکه‌های خورشیدی (همبستگی منفی) مرتبط بوده و یا در مواردی بدون همبستگی گزارش شده‌اند (Hoyt & Schatten, 1997)، کوپن در آغاز قرن بیستم در مقاله‌ای با استفاده از داده‌های دمای متوسط سالانه برای یک دوره بیش از ۱۰۰ سال (۱۹۱۰-۱۸۰۵) همبستگی منفی بین دمای سطح زمین و سیکل ۱۱ ساله‌ی لکه‌های خورشیدی به دست آورد. در حالی که در اواسط قرن بیستم «لارنس»^۱ با تحلیل داده‌های دمای بالغ بر ۱۳۰ سال در انگلستان، به ترتیب همبستگی‌های مثبت و منفی برای حد فاصل‌های زمانی مختلف محاسبه نمود. نکته جالب دیگر این که «کینگ»^۲ و همکارانش همبستگی مثبت قوی‌ای را بین دمای لندن و تعداد لکه‌های خورشیدی به دست آوردند (Hoyt & Schatten, 1997).

در سال ۱۸۷۰ بیش از ۲۰ مقاله به چاپ رسید که ارتباط بین فعالیت خورشیدی و بارش را مورد توجه قرار داده بودند. عمده‌ی این مقالات مناطق مختلف شبه قاره هند را مورد بررسی قرار داده و در کل به این نتیجه دست یافتند که با افزایش تعداد لکه‌های خورشیدی بارش افزایش خواهد یافت و در عین حال در سال‌های همراه با لکه‌های کم‌تر بارش نیز کاهش خواهد یافت (Hoyt & Schatten, 1997). در سال ۱۹۴۳ «کلیتون»^۳ ارتباط بین سیکل ۱۱ ساله‌ی لکه‌های خورشیدی، بارش و فشار هوا را مورد بررسی قرار داد. او نتیجه‌ی تحقیقات خود را به این صورت بیان کرد که در سال‌هایی که لکه‌های خورشیدی به حداکثر تعداد خود می‌رسند با توجه به تابش شدیدتر، در مناطق استوایی سلول هدلی تقویت شده و در نهایت با کاهش فشار هوا (حدود ۰/۶ میلی بار)، بارش در کمربند همگرایی حاره‌ای افزایش می‌یابد. از طرفی چون جو زمین دارای جرم ثابتی است، در عرض‌های میانی فشار هوا افزایش یافته (حدود ۰/۳ میلی بار) و نتیجه آن کاهش بارش در آن منطقه است (Hoyt & Schatten, 1997). اما در بیشتر تحقیقات بعدی نتایج فوق اثبات نشده، حتی در مواردی شرایط متضادی مشاهده گردیده است.

شاید یکی از جالب‌ترین و در عین حال پر چالش‌ترین موضوعات در ارتباط با سیکل لکه‌های خورشیدی و وردش‌پذیری اقلیم مربوط به خشکسالی‌ها باشد. «هاتچینز»^۴ نخستین کسی است که در سال ۱۸۸۹ مدعی شد که خشکسالی‌های آفریقای جنوبی از سیکل ۱۱ ساله‌ی خورشیدی تبعیت می‌کنند. بعدها محققین با مطالعه‌ی تعداد زیادی سیل و خشکسالی در مناطق مختلف جهان معمول‌ترین سیکل وقوع سیل و خشکسالی را حدود ۱۸-۱۹ سال یا ۲۲-۲۰ سال ذکر نموده‌اند (Pittock, 1983; Bryant, 1997; HS, 1997). در سال ۱۹۷۸ «میشل»^۵ و همکارانش با مطالعه‌ی یک دوره ۲۵۰ ساله براساس حلقه‌های درخت خشکسالی‌های غرب رودخانه می‌سی‌سی‌پی در ایالات متحده آمریکا را مورد بررسی قرار دادند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که خشکسالی‌های غرب آمریکا دارای یک دوره وقوع تقریباً ۲۰ تا ۲۲ ساله می‌باشند. آن‌ها در نهایت به این نتیجه رسیدند که خشکسالی‌ها با سیکل ۲۲ ساله لکه‌های خورشیدی (موسوم به سیکل هیل) مرتبط هستند*. این تحقیق در سطح جهانی توجه بسیاری را به خود جلب کرد و در عین حال بحث‌های علمی زیادی را در سال‌های بعد به دنبال داشت (Hoyt, 1979; Pittock, 1983)، از آن جمله «بهالمه و مولی»^۶ در سال ۱۹۸۱ پس از

1- Lawrence
4- Hutchins

2- King
5- Mitchell

3- Clayton
6- Bhalme and Mooley

* هر چند که برخی از محققین معتقدند که وردش‌های جزرومدی ماه نیز می‌تواند عامل چنین پدیده‌هایی باشد.

مطالعه خشکسالی و سیل در یک دوره ۹۰ ساله در هند، به یک سیکل ۲۲ ساله اما با نتایجی کاملاً متضاد با کار میشل و همکارانش دست یافتند. به طوری که سال‌های وقوع خشکسالی در غرب آمریکا مصادف با سال‌های وقوع سیل در هند شد. پیتوک^۱ در مرور بسیار جامع خود در سال ۱۹۷۸، نتایج ارزیابی خود را از کارهای انجام شده تا آن زمان به این شکل بیان می‌کند: «...علیرغم وجود یک ادبیات حجیم در این رابطه، در حال حاضر شواهد کم یا نامناسبی از همبستگی‌های معنی‌دار و عملاً مفید بین لکه‌های خورشیدی و وضعیت جوی و اقلیم وجود دارد» (Pittock, 1983). به عبارتی شواهد آماری موجود در اواخر دهه ۱۹۷۰ برای متقاعد کردن منتقدین کافی نبوده است (Sisco, 1978).

با وجود این یکی از تحسین برانگیزترین ارتباطات بین فعالیت خورشیدی و اقلیم، همبستگی بین دمای سطح زمین و سیکل لکه‌های خورشیدی برای ۱۰۰۰ سال گذشته است که «ادی^۲» (۱۹۷۶) آن را ارائه کرده است. او در این تحقیق تأثیر مستقیم تغییر تعداد لکه‌های خورشیدی را در ایجاد دوره گرم موسوم به «حداکثرگراند^۳» و دوره سرد موسوم به «حداقل مئاندر^۴» به اثبات رساند (Eddy, 1976; Tsiropula, 2003). در سال‌های اخیر دو یافته مهم مجدداً این حوزه از مطالعه را احیا کرده است. نخست آن که با وجود وردش‌پذیری کم تابش خورشیدی در سیکل ۱۱ ساله (حدود ۱/۰ درصد)، تغییرات در طیف ماوراء بنفش بسیار قابل ملاحظه بوده و به طور مستقیم روی جو میانی (میان سپهر و پوش سپهر) اثر می‌گذارد. لذا افزایش فعالیت لکه‌های خورشیدی موجب تابش طیف ماوراء بنفش بیشتری می‌شود. جو میانی به این تغییرات واکنش نشان داده و ساختار باد پوش سپهری تغییر قابل ملاحظه‌ای می‌یابد. این امر موجب تغییرات دما و مقدار ازن در پوش سپهر تحتانی می‌گردد (Haigh, 1999a). با توجه به چنین قانونمندی، «لایبتزکه و ونلون^۵» (۱۹۸۸) همبستگی قابل توجهی بین سیکل ۱۱ ساله لکه‌های خورشیدی و گستره وسیعی از پارامترهای پوش سپهری از آن جمله ازن، ارتفاع ژئو پتانسیل و دما ارائه نمودند. یافته دوم به کار «فریس کریستنسن و لاسن^۶» (۱۹۹۱) مربوط می‌شود. آن‌ها پس از مطالعه یک دوره ۱۳۰ ساله دما در نیمکره شمالی، همبستگی بالایی بین دما و تغییر طول سیکل خورشیدی پیدا کردند. بدین ترتیب که هرچه طول سیکل لکه‌های خورشیدی کوتاه‌تر باشد، تعداد لکه‌ها و شدت انرژی تابیده شده از خورشید نیز بیشتر خواهد بود و به تبع آن دمای سطحی افزایش خواهد یافت و برعکس.

در سال‌های اخیر محققین با استفاده از مدل‌های گردش عمومی جو (GCM) ارتباطی را بین سیکل‌های ۱۱ ساله لکه‌های خورشیدی و الگوهای هوا در نیمکره شمالی یافته‌اند. 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; Ahren, 1998).

۵- تأثیر سیکل فعالیت خورشیدی بر اقلیم ایران و مناطق جنب حاره‌ای همجوار ۱-۵- مواد و روش

مطالعات پیشین بیانگر آن است که بالاترین همبستگی‌ها بین سیکل ۱۱ ساله‌ی فعالیت خورشید و اقلیم زمین در مناطق جنب حاره‌ای مشاهده می‌شود (Labitzke & Vanloon 1997; 2000; Vanloon & Shea, 1999; 2000). بر این اساس و جهت درک و فهم ارتباط بین وردش فعالیت خورشیدی و اقلیم زمین، منطقه خاورمیانه، شمال آفریقا و مدیترانه به عنوان یک منطقه جنب حاره‌ای نمونه انتخاب گردید. بررسی در دو مرحله به ترتیب زیر انجام شد:

1- Pittock

2- Eddy

3- Grand Maximum

4- Maunder Minimum

5- Labitzke and Vanloon

الف) در بررسی مقدماتی تعدادی از ایستگاه‌های ایران و مناطق جنب حاره‌ای همجوار بررسی شد. در ابتدا داده‌های بارش و دمای درازمدت ۳۰ ایستگاه جنب حاره‌ای از انستیتو مطالعات جوئی و اقیانوسی دانشگاه واشنگتن اخذ گردید. اما به لحاظ نقص قابل ملاحظه آماری فقط تعداد ۹ ایستگاه مناسب تشخیص داده شد (جدول ۱).

جدول ۱- موقعیت ایستگاه‌های منتخب جنب حاره‌ای (خاورمیانه و مدیترانه‌ی شرقی)

نام ایستگاه	تفلیس	بیت المقدس	امان	آتن	استانبول	آنکارا	ازمیر	دیاربکر	آنتالیا
طول جغرافیایی	۴۵°	۳۵°، ۲'	۳۶°	۳۳°، ۷'	۲۹°، ۱'	۳۳°، ۹'	۲۷°، ۳'	۴۰°، ۲'	۳۰°، ۷'
عرض جغرافیایی	۴۱°، ۷'	۳۱°، ۸'	۳۲°	۳۸°	۴۱°	۴۰°	۳۸°، ۴'	۳۷°، ۹'	۳۶°، ۹'

از آن جایی که ایستگاه‌های منتخب فوق نیز در برخی سال‌ها فاقد آمار بودند، به همین دلیل از کل آمار موجود در هر ایستگاه ۶۱ سال مشترک (۱۹۹۰-۱۹۳۰) به عنوان سال‌های مورد بررسی انتخاب گردید و سایر سال‌های آماری کنار گذاشته شد. از ایران نیز داده‌های بارش و دمای تعداد ۷ ایستگاه سینوپتیک که دارای آمار دراز مدت بوده و از پراکندگی جغرافیایی مناسبی در سطح کشور برخوردار هستند، از سازمان هواشناسی کشور اخذ گردید (جدول ۲)، داده‌های مذکور دارای دوره آماری ۵۰ ساله (۲۰۰۰-۱۹۵۱) می‌باشد.

جدول ۲- موقعیت ایستگاه‌های منتخب ایران

نام ایستگاه	انزلی	اصفهان	بوشهر	تبریز	زاهدان	شیراز	مشهد
طول جغرافیایی	۴۹°، ۲۸'	۵۱°، ۵۲'	۵۰°، ۵۰'	۴۶°، ۱۷'	۶۰°، ۵۳'	۵۲°، ۳۶'	۵۹°، ۳۸'
عرض جغرافیایی	۳۷°، ۲۸'	۳۲°، ۴۰'	۲۸°، ۲۹'	۳۸°، ۵'	۲۹°، ۲۸'	۲۹°، ۳۳'	۳۶°، ۱۶'

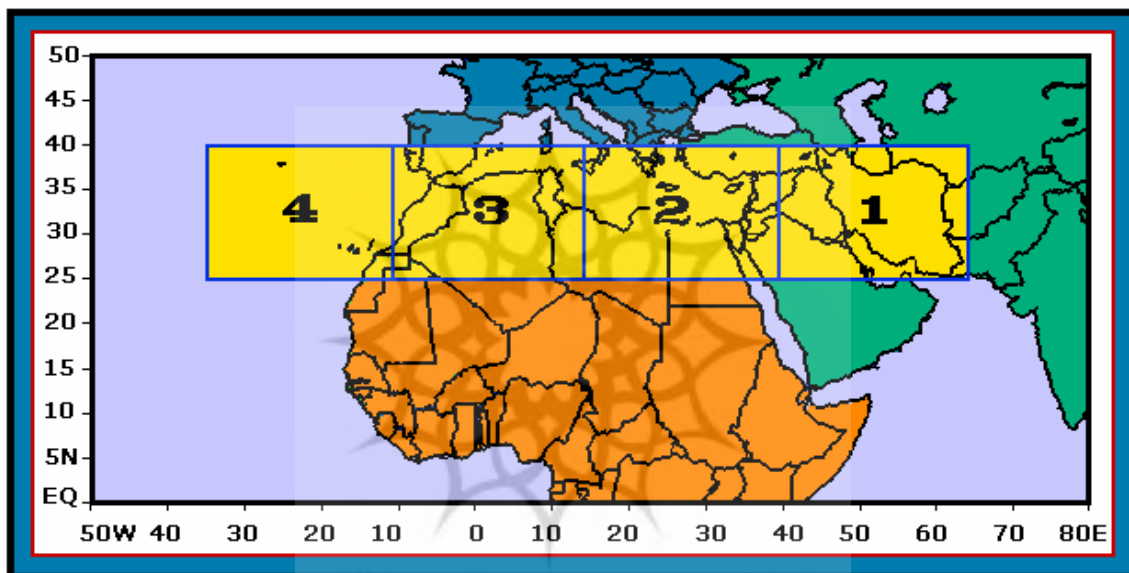
تحقیقات پیشین نشان می‌دهند که بیشترین ارتباط بین فعالیت‌های خورشیدی و پارامترهای اقلیمی زمین در فصول حدی (تابستان و زمستان) می‌باشد (LV, 1997; VL, 2000; VS, 200) از این رو در پژوهش حاضر از داده‌های میانگین دمای فصل تابستان (ژوئیه، اوت و سپتامبر) و میانگین دمای فصل زمستان (ژانویه، فوریه و مارس) استفاده گردید. در استفاده از عنصر بارش، از آن جا که رژیم بارش در این مناطق زمستانی است و ایستگاه‌های مورد مطالعه عمدتاً در فصل تابستان کمترین بارش را دارند، از بررسی داده‌های بارش تابستانی صرف نظر شد.

از میان مؤلفه‌های وردش پذیری فعالیت خورشیدی، به جهت سهولت دسترسی و وجود داده‌های دراز مدت، ابتدا از تعداد لکه‌های خورشیدی استفاده شد. اما از آن جایی که تعداد لکه‌ها عمدتاً به عنوان نشانه‌ی ظاهری از میزان فعالیت خورشید در سطح آن محسوب می‌شوند (Waple, 1997) از یک مؤلفه‌ی فیزیکی تحت عنوان «شار پرتو رادیویی خورشیدی»^۱ که برای طول موج ۱۰،۷ سانتی‌متر محاسبه می‌گردد نیز جهت تعیین میزان وردش پذیری خورشید استفاده شد. تعداد لکه‌های خورشیدی برای یک دوره ۷۱ ساله (۲۰۰۰-۱۹۳۰) به ترتیب از هویت و شاتن (HS, 1997) و اداره ملی اقیانوس‌شناسی و هواشناسی آمریکا (NOAA) اخذ گردید. داده‌های مربوط به شار پرتو رادیویی خورشیدی نیز برای یک دوره آماری ۵۳ ساله* (۲۰۰۰-۱۹۴۸) از همان مرکز (نوآ) تهیه شد.

ب) به منظور پاسخگویی به سؤال اصلی تحقیق و مطالعه رابطه بین مؤلفه‌های اصلی گردش جو در مناطق

جنب حاره‌ای و سیکل فعالیت خورشیدی، نقشه‌های تراز ۵۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال از داده‌های دوباره تحلیل شده مرکز ملی پیش بینی محیطی^۱ آمریکا تهیه شد. (Kalnay et al,1996 ; Kristler et al,2001) جهت کشف رابطه آماری بین تغییرات متوسط ارتفاع ژئوپتانسیل در ترازهای ۵۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال و سیکل فعالیت خورشیدی، منطقه خاورمیانه، شمال آفریقا و مدیترانه در محدوده 65° طول شرقی الی 35° طول غربی و 25° الی 40° عرض شمالی به چهار قطاع تقسیم گردید (شکل ۸). با بررسی نقشه‌های ترازهای فوق برای هر یک از قطاع‌ها متوسط ارتفاع ژئوپتانسیل برای یک دوره ۵۳ ساله (۲۰۰۰-۱۹۴۸) به ترتیب برای فصول زمستان و تابستان محاسبه شد.

از طرفی جت جنب حاره به‌عنوان مهم‌ترین مؤلفه گردش جو در ترازهای فوقانی و ردسپهر در مناطق جنب حاره‌ای در ارتباط با سیکل فعالیت خورشیدی مورد بررسی قرار گرفت. در این رابطه موقعیت و سرعت متوسط



شکل ۸- منطقه مورد مطالعه همراه با مشخصات قطاع‌ها

هسته جت جنب حاره در تراز ۲۰۰ هکتوپاسکال در منطقه شمال آفریقا، خاورمیانه و مدیترانه برای دوره یاد شده از نقشه‌های مرکز پیش‌بینی اقلیمی آمریکا استخراج گردیده و ارتباط آن با سیکل فعالیت خورشیدی بررسی شد. جهت تعیین ارتباط بین وردش پذیری فعالیت خورشیدی و مؤلفه‌های گردش جو، از تعداد لکه‌های خورشیدی، شار پرتو رادیویی خورشیدی و یک شاخص فعالیت ژئومغناطیسی موسوم به شاخص AA استفاده گردید. دلیل استفاده از شاخص AA به این خاطر می‌باشد که بین سیکل فعالیت خورشیدی با فعالیت ژئومغناطیسی زمین ارتباط نزدیکی وجود دارد. شاخص AA در سال‌های اخیر به جهت ارتباط آن با بسیاری از پدیده‌های خورشیدی از جمله فعالیت شراره‌ها، فوکولاه‌ها، باد خورشیدی و به‌طور کلی تغییرات تابش خورشیدی استفاده گسترده‌ای پیدا نموده است. (Palamara,2003;Thejll et al,2003)

به منظور تعیین ارتباط بین مقادیر بارش، دما، ارتفاع ژئوپتانسیل، موقعیت و سرعت جت جنب حاره و تعداد لکه‌ها، شار پرتو رادیویی خورشیدی و شاخص AA در سیکل ۱۱ ساله فعالیت خورشیدی، ماتریس‌های متعددی در نرم افزار Spss تشکیل شد و همبستگی آن‌ها محاسبه گردید. در رابطه با داده‌های نقطه‌ای

1- National Center for Environment Prediction/National Center for Atmospheric Research (NCEP/NCAR)

داده‌های ایستگاه‌ها) با توجه به فاصله نسبتاً زیاد ایستگاه‌های هواشناسی، از ترسیم نقشه همبستگی صرف‌نظر شد.

۲-۵- بحث

برای درک ارتباط فعالیت خورشیدی و اقلیم منطقه‌ای میانگین دمای فصول حدی و مجموع بارش زمستانه تعداد ۱۶ ایستگاه منتخب ایران و مناطق همجوار- به‌عنوان مناطق جنب حاره‌ای نمونه- برای مدت ۶۱ سال مورد بررسی قرار گرفت. همانطوری که جدول ۳ نشان می‌دهند، در مورد مقادیر بارش زمستانی و ارتباط آن با فعالیت خورشیدی به‌طور کلی یک ارتباط منطقی و معنادار قابل توجهی وجود ندارد. در این بین ایستگاه‌های انزلی، تبریز و آتن همبستگی معنادار ضعیف و در عین حال متضادی را در سطح (۰/۰۵) نشان می‌دهند که با توجه به علامت همبستگی ایستگاه‌ها، نمی‌توان ارتباط مناسبی بین آن‌ها برقرار کرد.

در بررسی میزان ارتباط میانگین دمای فصل تابستان با تعداد لکه‌ها و شار پرتو رادیویی خورشیدی، همانطوری که جدول ۳ نشان می‌دهد، ارتباط معناداری بین دمای فصل تابستان و وردش‌های فعالیت خورشیدی مشاهده نمی‌گردد. نکته‌ی جالب توجهی که از مطالعه جدول ۳ در رابطه با میانگین دمای فصل زمستان حاصل می‌شود، آن است که تقریباً تمامی ایستگاه‌ها (به جز آتن) همبستگی منفی ضعیفی را با شار پرتو رادیویی خورشیدی نشان می‌دهند. تنها در این بین ایستگاه بیت‌المقدس همبستگی معناداری را نشان داده است. به عبارتی هر چند همبستگی به دست آمده بسیار ضعیف می‌باشد، اما همبستگی‌های موجود نشانگر آن است که در سال‌هایی که فعالیت خورشیدی به حداکثر خود می‌رسد، دمای میانگین فصل زمستان در منطقه خاورمیانه و ایران به طور نسبی کاهش می‌یابد.

جدول ۴ ارتباط بین تغییرات ارتفاع ژئوپتانسیل در ترازهای ۵۰۰ و ۵۰ هکتوپاسکال و موقعیت و سرعت هسته جت جنب حاره با شاخص‌های مربوط به فعالیت خورشیدی در یک دوره آماری ۵۳ ساله (۲۰۰۰-۱۹۴۸) را نشان می‌دهد. در بررسی ارتباط بین تغییرات متوسط ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و شاخص‌های فعالیت خورشیدی در فصل زمستان (ژانویه، فوریه و مارس) به استثنای قطاع اول (منطقه ایران) سایر قطاع‌ها همبستگی مثبتی را با فعالیت خورشیدی نشان می‌دهند.

میزان همبستگی در قطاع دوم و سوم از سایر قطاع‌ها بالاتر بوده و در قطاع سوم با تعداد متوسط لکه‌های خورشیدی زمستانه در سطح (۰/۰۱) معنادار می‌باشد. در این بین قطاع چهارم تنها با شاخص AA همبستگی مناسب و معناداری را نشان می‌دهد.

بررسی ارتباط بین تغییرات متوسط ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و شاخص‌های فعالیت خورشیدی در فصل تابستان (ژوئیه، اوت و سپتامبر) همبستگی مثبتی را در قطاع‌های چهارگانه نشان می‌دهد، اما میزان همبستگی در هیچ یک از قطاع‌ها معنی‌دار نیست. در مقایسه‌ی بین فصول زمستان و تابستان پایین‌ترین میزان همبستگی در هر دو فصل مربوط به قطاع اول می‌باشد. قطاع‌های دوم و سوم بر خلاف قطاع چهارم در تابستان همبستگی پایین‌تری را با شاخص‌های فعالیت خورشیدی نشان می‌دهند.

در بررسی ارتباط بین تغییرات متوسط ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰ هکتوپاسکال و شاخص‌های فعالیت خورشیدی در فصل زمستان، به‌طور کلی تمامی قطاع‌ها دارای همبستگی مثبتی با سیکل فعالیت خورشیدی می‌باشند. در این بین قطاع سوم با تمامی شاخص‌ها همبستگی مثبت معناداری را نشان می‌دهد که در این رابطه شار پرتو رادیویی خورشیدی همبستگی بالاتری را در سطح (۰/۰۱) نشان داده است. به استثنای قطاع اول سایر قطاع‌ها با یک یا چند شاخص حداقل در سطح (۰/۰۵) دارای همبستگی معنادار هستند.

بررسی تغییرات ارتفاع متوسط تراز ۵۰ هکتوپاسکال در تابستان بالاترین همبستگی‌ها را با سیکل فعالیت خورشیدی نشان می‌دهد. به طوری که تمامی شاخص‌ها با قطاع‌های چهارگانه همبستگی مثبت معناداری را نشان می‌دهند. در این بین قطاع چهارم بالاترین میزان همبستگی با تمامی شاخص‌های فعالیت خورشیدی را از آن خود نموده است.

بررسی سرعت و موقعیت متوسط هسته جت جنب حاره در فصول زمستان و تابستان ارتباط معناداری را بین شاخص‌های فعالیت خورشیدی و جت جنب حاره نشان نداده است. همان طوری که در جدول ۴ مشاهده می‌شود تقریباً تمامی قطاع‌ها همبستگی منفی ضعیفی را با شاخص‌های فعالیت خورشیدی نشان می‌دهند.

جدول ۳- همبستگی مجموع بارش فصل زمستان، میانگین دمای فصل تابستان و فصل زمستان با تعداد لکه‌های خورشیدی و شار پرتو رادیویی خورشیدی (cm²/۷) در ایستگاه‌های منتخب جنب حاره‌ای.

میانگین دمای زمستان		میانگین دمای تابستان		مجموع بارش زمستان		مؤلفه ایستگاه
شارپرتو رادیویی خورشیدی	تعداد لکه‌های خورشیدی	شارپرتو رادیویی خورشیدی	تعداد لکه‌های خورشیدی	شارپرتو رادیویی خورشیدی	تعداد لکه‌های خورشیدی	
-۰,۱۲۵	-۰,۱۷۲	-۰,۱۲۷	-۰,۰۹۴	۰,۰۳۴	۰,۰۹۲	تفلیس
-۰,۳۱۲*	-۰,۲۸۰	-۰,۱۳۸	-۰,۱۳۲	۰,۰۳۱	۰,۰۶۶	بیت المقدس
-۰,۲۶۷	-۰,۲۰۴	۰,۲۱۲	۰,۱۸۱	۰,۰۶۹	۰,۰۵۶	امان
۰,۱۵۴	۰,۱۲۳	-۰,۱۴۵	-۰,۱۱۹	-۰,۳۵۲*	-۰,۳۶۸*	آن
-۰,۰۱۸	-۰,۰۲۴	۰,۱۰۲	۰,۱۰۶	-۰,۰۲۳	-۰,۰۱۱	استانبول
-۰,۰۵۱	-۰,۰۴۷	۰,۱۱۱	۰,۱۱۱	-۰,۰۵۸	-۰,۰۳۲	آنکارا
-۰,۰۳۵	-۰,۰۳۹	۰,۱۰۴	۰,۱۱۰	-۰,۱۶۹	-۰,۱۸۸	ازمیر
-۰,۰۶۸	-۰,۰۶۶	۰,۱۰۰	۰,۱۰۵	-۰,۱۳۳	-۰,۰۴۰	دیاربکر
-۰,۰۵۶	-۰,۰۶۵	۰,۰۳۹	۰,۰۵۱	۰,۳۰۰	۰,۲۰۴	آنتالیا
-۰,۰۰۲	۰,۰۲۰	-۰,۱۱۹	-۰,۱۸۲	۰,۳۱۲*	۰,۳۴۹*	انزلی
-۰,۰۰۱	۰,۰۲۵	۰,۱۰۱	۰,۰۶۶	۰,۰۷۲	۰,۰۸۹	اصفهان
-۰,۰۳۳	۰,۰۴۶	۰,۰۶۵	-۰,۰۰۸	۰,۱۴۰	۰,۲۱۷	بوشهر
-۰,۰۲۵	۰,۰۲۴	-۰,۰۴۳	-۰,۰۷۳	-۰,۳۶۹*	-۰,۲۹۲*	تبریز
-۰,۱۹۱	-۰,۱۲۲	-۰,۰۰۲	-۰,۰۵۰	۰,۱۰۳	۰,۱۱۲	زاهدان
-۰,۱۳۹	-۰,۰۸۵	-۰,۰۰۱	-۰,۰۶۲	۰,۱۱۷	۰,۱۶۰	شیراز
-۰,۰۰۲	-۰,۰۳۹	۰,۰۱۸	-۰,۰۴۸	۰,۱۱۸	۰,۱۰۲	مشهد

* در سطح (۰/۰۵) معنادار است ** در سطح (۰/۰۱) معنادار است

جدول ۴- همبستگی مؤلفه‌های گردش جو به ترتیب با متوسط سالانه و فصلی تعداد لکه‌های خورشیدی، شار پرتو رادیویی خورشیدی و شاخص ژئومغناطیسی AA. در هر ردیف از جدول، داده‌های مربوط به شاخص‌های فعالیت خورشیدی و مؤلفه‌ها تنها برای فصل مورد نظر استخراج و برای یک دوره ۵۳ ساله (۲۰۰۰-۱۹۴۸) محاسبه گردیده است.

مؤلفه‌ها	مشخصه	تعداد متوسط لکه‌ها / سالانه	تعداد متوسط لکه‌ها زمستانه / تابستانه	شارفصلی پرتو رادیویی خورشیدی (۷/۱۰cm)	شاخص AA زمستانه / تابستانه
تراز ۵۰۰ پ فصل زمستان JFM	قطاع اول	-۰,۰۰۱	-۰,۱۲۶	-۰,۱۴۳	-۰,۰۸۴
	قطاع دوم	۰,۲۶	۰,۲۵۵	۰,۲۴۵	۰,۱۶۳
	قطاع سوم	۰,۲۳۶	۰,۲۶۵*	۰,۲۵۹	۰,۱۳۸
	قطاع چهارم	۰,۰۲۰	۰,۰۸۴	۰,۱۲۴	۰,۳۱۶*
تراز ۵۰۰ پ فصل تابستان JAS	قطاع اول	۰,۱۰	۰,۰۳۵	۰,۰۲۲	۰,۰۴۴
	قطاع دوم	۰,۱۸۰	۰,۱۹۷	۰,۱۹۰	۰,۱۷۵
	قطاع سوم	۰,۰۴۵	۰,۰۷۶	۰,۰۴۱	۰,۱۸۲
	قطاع چهارم	۰,۲۱۲	۰,۲۳۹	۰,۲۱۳	۰,۱۳۴
تراز ۵۰۰ پ فصل زمستان JFM	قطاع اول	۰,۱۱۵	۰,۱۶۸	۰,۲۱۰	۰,۲۵۸
	قطاع دوم	۰,۱۸۹	۰,۲۴۱	۰,۲۸۳*	۰,۳۳۶*
	قطاع سوم	۰,۲۸۳*	۰,۳۴۰*	۰,۳۷۳**	۰,۳۳۵*
	قطاع چهارم	۰,۱۴۸	۰,۲۲۲	۰,۲۶۵	۰,۳۶۶**
تراز ۵۰۰ پ فصل تابستان JAS	قطاع اول	۰,۳۲۸*	۰,۳۲۷*	۰,۳۶۴**	۰,۲۸۶*
	قطاع دوم	۰,۲۸۳*	۰,۲۹۸*	۰,۲۷۳*	۰,۲۷۸*
	قطاع سوم	۰,۳۰۲*	۰,۳۰۱*	۰,۳۱۵*	۰,۲۸۱*
	قطاع چهارم	۰,۴۴۵**	۰,۴۷۵**	۰,۴۷۶**	۰,۳۹۴**
تراز ۲۰۰ پ فصل زمستان	سرعت هسته جت	-۰,۱۶۶	-۰,۱۴۱	-۰,۱۰۶	۰,۱۳۶
	عرض هسته جت	-۰,۰۵۰	-۰,۰۸۶	-۰,۰۷۶	-۰,۰۳۹
تراز ۲۰۰ پ فصل تابستان	سرعت هسته جت	-۰,۰۰۳	-۰,۰۱۹	-۰,۰۴۹	۰,۱۹۸
	عرض هسته جت	-۰,۱۲۲	-۰,۱۵۰	-۰,۱۲۶	۰,۰۸۵

* در سطح (۰/۰۵) معنادار است ** در سطح (۰/۰۱) معنادار است

۶- نتیجه گیری

نتایج به دست آمده از تحقیق حاضر همچون برخی مطالعاتی که با داده‌های اقلیمی مناطق مختلف جهان انجام شده است (Bryant, 1997) ارتباط معنادار قابل توجهی را بین فعالیت‌های خورشیدی و متغیرهای اقلیمی همچون دما و بارش نشان نمی‌دهد. با وجود این همبستگی‌های ضعیف به دست آمده نشانگر آن است که در سال‌هایی که فعالیت خورشیدی به حداکثر خود می‌رسد، دمای میانگین فصل زمستان در منطقه خاورمیانه و ایران به طور نسبی کاهش می‌یابد.

در مطالعه تغییرات متوسط ارتفاع ژئوپتانسیل ترازهای ۵۰ و ۵۰۰ هکتوپاسکال در ارتباط با شاخص‌های مربوط به سیکل فعالیت خورشیدی برای فصول حدی این نتیجه حاصل شد که به‌طور کلی تغییر فعالیت خورشید با ارتفاع ژئوپتانسیل در مناطق ایران- خاورمیانه، شمال آفریقا و مدیترانه (قطاع‌های تعریف شده) همبستگی مثبت دارد. بدین ترتیب که در زمان حداکثر فعالیت خورشیدی (و زمان افزایش تعداد لکه‌ها)، افزایش ارتفاع ژئوپتانسیل در تمامی ترازهای جو از وردسپهر میانی تا پوش سپهر تحتانی به وقوع خواهد پیوست. وقوع حداقل فعالیت خورشیدی با کاهش ارتفاع ژئوپتانسیل در ترازهای فوق همراه خواهد بود. در این بین بالاترین میزان همبستگی در تراز ۵۰ هکتوپاسکال (پوش سپهر تحتانی) مشاهده گردیده است. به‌طوری‌که در بررسی تغییرات ارتفاع متوسط تراز ۵۰ هکتوپاسکال در تابستان تمامی شاخص‌های فعالیت خورشیدی با قطاع‌های چهارگانه همبستگی مثبت معناداری را نشان داده‌اند. از طرفی قطاع چهارم بالاترین میزان همبستگی را با تمامی شاخص‌ها دارا بوده است. نتایج فوق با یافته‌های اخیر محققین مبنی بر وجود حداکثر همبستگی بین مؤلفه‌های گردش پوش سپهری و سیکل فعالیت خورشیدی در مناطق جنب حاره‌ای نیمکره شمالی در تابستان مطابقت دارد (LV, 1997; 2000; VS, 1999; 2000). تحقیقات اخیر نشان می‌دهد که تغییرات مؤلفه‌های گردش پوش سپهری نتیجه دینامیکی غیرمستقیم برهم کنش اشعه ماوراء بنفش خورشید و از پوش سپهری است (LV, 1997; VL, 2000). در واقع همبستگی آماری بالای ارتفاع ژئوپتانسیل با فعالیت خورشیدی در پوش سپهر تحتانی را می‌توان چنین توضیح داد که با وجود وردش پذیری کم تابش خورشیدی در سیکل ۱۱ ساله (حدود ۱/۰ درصد)، تغییرات در طیف ماوراء بنفش بسیار قابل ملاحظه بوده و به‌طور مستقیم بر روی جو میانی (میان سپهر و پوش سپهر) اثر می‌گذارد. لذا افزایش فعالیت خورشیدی و ظهور حداکثر تعداد لکه‌ها بر سطح خورشید موجب تابش طیف ماوراء بنفش بیشتری می‌شود. ساختار حرارتی پوش سپهر به واسطه جذب بیشتر طیف ماوراء بنفش توسط ازن به این تغییرات واکنش نشان داده و ساختار باد پوش سپهری تغییر قابل ملاحظه‌ای می‌یابد. این امر موجب تغییرات مقدار ازن، دما و ارتفاع ژئوپتانسیل در پوش سپهر تحتانی می‌گردد.

در بررسی سرعت و موقعیت هسته جت جنب حاره و ارتباط آن با سیکل فعالیت خورشیدی برای دو فصل زمستان و تابستان همبستگی معناداری بین جت جنب حاره و شاخص‌های فعالیت خورشیدی مشاهده نگردید. اما به‌طور کلی میزان سرعت و موقعیت هسته جت جنب حاره با تعداد لکه‌ها و سایر شاخص‌های فعالیت خورشیدی دارای همبستگی منفی می‌باشد.

در سال‌های اخیر ابهامات و گاهی تضادهایی که به‌خصوص در بررسی مؤلفه‌ها و متغیرهای وردسپهری این حوزه از مطالعه به چشم می‌خورد، دانشمندان را بر آن داشته است تا بیشتر به دنبال درک عوامل و مکانیسم‌های فیزیکی مؤثر بر فعالیت‌های خورشیدی و وردش پذیری اقلیم باشند. با وجود این هنوز هیچ مکانیسم فیزیکی قابل اندازه‌گیری که بتواند این اثر را توجیه کند وجود ندارد و هنوز هیچ مکانیسم

متقاعدکننده‌ای که بتواند به طرز موشکافانه وردش‌های اقلیمی را به فعالیت‌های خورشیدی مربوط کند، کشف نشده است. چنان‌که در یکی از آخرین کنفرانس‌های جهانی برگزار شده در این رابطه تحت عنوان «وردش‌پذیری خورشیدی چقدر بر روی تغییر اقلیم مؤثر است؟» به این نکته اشاره گردیده که اهمیت همبستگی‌های به دست آمده قابل ارزیابی نیست؛ مگر آن‌که مکانیسم‌های فیزیکی دقیقی برای بررسی‌های بیشتر ارائه شود، (Friis-Christensen, 2000).

در واقع برای کشف تأثیر خورشید بر اقلیم زمین با دو چالش کلیدی مواجه هستیم: نخست آن‌که باید شاخص‌های بلندمدت مناسب و معتبری از پارامترهای خورشیدی و اقلیمی فراهم گردد. به‌همین جهت یکی از مهم‌ترین علل ضعف نتایج بسیاری از بررسی‌های موجود در این حوزه را می‌توان کوتاه بودن دوره‌ی ثبت داده‌های جوی دانست. دوم آن‌که نقش خورشید به‌عنوان یکی از عوامل تأثیرگذار بر اقلیم زمین باید از سایر عوامل جدا گردد؛ زیرا سامانه‌ی اقلیمی ذاتاً به نسبت بالایی متغیر، غیرخطی و پیچیده عمل می‌کند و بنابراین توصیف وردش‌پذیری اقلیم نیازمند آن است که مکانیسم‌های طبیعی واداشت اقلیم را از عوامل انسان ساخت جدا کنیم.

آن‌چه که در سال‌های اخیر موجب گردیده تا بسیاری از پژوهشگران در این حوزه به مطالعه جوی میانی-به‌ویژه پوش سپهر-روی آورند، شاید این نکته باشد که افت و خیزهای انرژی خروجی خورشید نسبتاً کوچک بوده و ممکن است که اثرات بالقوه‌اش بر جو تحتانی زمین به واسطه‌ی وردش‌پذیری ذاتی کوتاه مدت سامانه‌های جوی به آسانی پنهان شود.

تشکر و قدردانی

از خانم پرفسور کارین لایتزکه، سرپرست گروه تحقیقاتی پوش سپهر دانشگاه برلین به خاطر ارسال کتاب «پوش سپهر» و مقالاتشان و نیز از دکتر راسموس بنشتید از مؤسسه هواشناسی نروژ بخاطر ارسال کتاب «فعالیت خورشیدی و اقلیم زمین» کمال تشکر را داریم. همچنین از جناب آقای بیستونی، مسئول تکثیر مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران به جهت مساعدت لازم برای تکثیر مقالات بسیار متشکریم.

منابع:

- 1- Ahrens, C. D., 1998, Essentials of Meteorology; An Invitation to the Atmosphere. 2nd edition, Wadsworth Publishing Company, pp.323-345.
- 2- Barry, R.G., and Chorley, R. J., 2003, Atmosphere, Weather and Climate. 7th edition. Routledge, pp. 20-24.
- 3- Benestad, R. E, 2002, Solar Activity and Earth Climate. Springer-Praxis publishing, 288p.
- 4- Bryant, E., 1997, Climate Process and Change. Cambridge University Press, 209p.
- 5- Cubasch, U., and Voss, R., 2000, The influence of total solar irradiance on climate, Space Science Review, Vol. 94, pp. 185-198.
- 6- Eddy, J. A., 1976, The Maunder Minimum, Science, Vol. 192, No.4245, pp.1189-1202.
- 7- Friis-Christensen, E. and Lassen, K., 1991, Length of the solar cycle: An indicator of solar activity closely associated with climate, Science, Vol. 254, pp. 698-700.
- 8- Friis-Christensen, E., 2000, Solar variability and climate, Space Science Review, Vol.94, pp.411-421.
- 9- ftp://ftp.ngdc.noaa.gov/STP/SOLAR_DATA or http://www.ngdc.noaa.gov/STP/SOLAR_DATA/RELATED_INDICES/AA_INDEX [Sunspot and AA index Data].
- 10- Haigh, J. D., 1996, The Impact of Solar Variability on Climate. Science., Vol.272, pp.981-984.
- 11- Haigh, J. D., 1999a, A GCM Study of Climate Change in Response to the 11-years Solar Cycle, Q.J.R.Meteorol.Soc., Vol.125, pp.871-892.
- 12- Haigh, J.D., 1999b, Modelling the impact of solar variability on Climate, J.Atmos.Solar-Terr.Phys., Vol.61, pp.63-72.

- 13- Haigh, J.D., 2000, Solar variability and climate, *Weather*, Vol.55, No.11, pp.399-407.
- 14- Haigh, J.D., 2001, Climate variability and the influence of the sun, *Science*, Vol.294, pp.2109-2111.
- 15- Hoyt, D.V., 1979, Variations in sunspot structure and climate, *Climatic Change*, Vol.2, pp.79-92.
- 16- Hoyt, D.V., and Schatten, K.H., 1997, *The Role of the Sun in Climate change*, Oxford university Press, 279p.
- 17- http://tao.atmos.washington.edu/data_sets/wmssc.html] Precipitation and Temperature Data-Global].
- 18- <http://www.gsfc.nasa.gov/gsfsc/spacesci/pictures/f>] Data and Pictures].
- 19- <http://www.irimo.ir/english/index.asp>] Precipitation and Temperature Data-Iran].
- 20- Hudson, H.S. and Kosugi, T., 1999, How the sun's corona gets hot, *Science*, Vol.285, pp.849.
- 21- Impey, C. and Hartmann, W. K., 2000, *The Universe Revealed*. Brooks/Cole, pp.310-320.
- 22- Kalnay, E., and 21 Co-authors, 1996, The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project, *Bull. Amr. Met. Soc.*, Vol.77, pp.437-471.
- 23- Kippenhahn, R., 1994, *Discovering the Secret of the Sun*. John Wiley and Sons, pp.12-230.
- 24- Kristler, R., and 13 Co-authors, 2001, The NCEP/NCAR 50-Year Reanalysis Project, *Bull. Amr. Met. Soc.*, Vol.82, pp.246-267.
- 25- Labitzke, K. and Van Loon, H., 1988, Associations between the 11-year solar cycle, the QBO and the atmosphere, part I: the troposphere and stratosphere in the northern hemisphere in winter, *J. Atmos. Solar -Terr. Phys.*, Vol.50, No.3, pp.197-206.
- 26- Labitzke, K. and Van Loon, H., 1997, Total ozone and the 11-yr Sunspot cycle, *J. Atmos. Solar-Terr. Phys.*, Vol.59, No.1, pp.9-19.
- 27- Labitzke, K. and Van Loon, H., 1999, *The Stratosphere*. Springer verlag, 180p.
- 28- Labitzke, K. and Van Loon, H., 2000, The influence of the 11-year solar cycle on the stratosphere below 30 km: A Review, *Space Science Reviews*, Vol.94, pp.259-278.
- 29- Lean, J., 2001, Sunspots, In: *Encyclopedia of Global Environmental Change*, Vol.1, (The Earth System), pp.704-707.
- 30- Lutgens, F.K., and Tarbuck, E.J., 1998, *The Atmosphere; An Introduction to Meteorology*, 7th edition. Prentice-Hall International, Inc., 434p.
- 31- Markson, R. and Muir, M., 1980, Solar wind control of the Earth's electric field, *Science*, Vol.208, No. 4447, pp.979-990.
- 32- Maunder, W.J., 1994, *Dictionary of Global Climate Change*. 2nd edition. UCL press, 257p.
- 33- Meadows, A., 1975, A hundred years of controversy over sunspots and weather, *Nature*, Vol.256, pp.95-97.
- 34- Palamara, D.R., 2003, *Solar Activity and recent climate change: Evaluating the impact of geomagnetic activity on the atmosphere circulation*, Ph.D. Thesis, University of Wollongong, 252p.
- 35- Palamara, D.R., 2004, An interhemispheric comparison of the geomagnetic activity signature in the lower atmosphere, *Earth Planets Space*, Vol.56, pp.25-28.
- 36- Pittock, A.B., 1983, Solar variability, weather and climate: An update, *Q.J.R. Met. Soc.*, Vol.109, pp.23-55.
- 37- Reid, G.C., 2000, Solar variability and the Earth's climate: introduction and overview, *Space Science Reviews*, Vol.94, No.1-2, pp.1-11.
- 38- Rottman, G., 2000, Variations of solar ultraviolet irradiance observed by the URAS solstice-1991 to 1999, *Space Science Reviews*, Vol.94, No.1-2, pp.83-91.
- 39- Schlegel, K., et al., 2001, Thunderstorm, lightning and solar activity-middle Europe, *J. Atmos. Solar-Terr. Phys.*, Vol.63, pp.1705-1713.
- 40- Sisco, G., 1978, Solar-Terrestrial influences on weather and climate, *Nature*, Vol.276, pp.348-352.
- 41- Solanki, S.K., 2002, *Solar Variability and Climate Change*, A&G., Vol.43, pp.5,9-5,13.
- 42- Tsiropoula, G., 2003, Signatures of solar activity variability in meteorological parameters, *J. Atmos. Solar-Terr. Phys.*, Vol.65, pp.469-482.
- 43- Thejll, P., et al., 2003, On Correlations between the North Atlantic Oscillation, geopotential heights, and geomagnetic activity, *Geoph. Res. Lett.*, Vol.30, pp.81-84 (doi:10.1029/2002GL016598).
- 44- VanLoon, H. and Labitzke, K., 2000, The influence of the 11-Year solar cycle on the stratosphere below 30 Km: A review, *Space Science Reviews*, Vol.94, No.1-2, pp.259-278.
- 45- Van loon, H. and Shea, D.J., 1999, A probable signal of the 11-year solar cycle in the troposphere of the northern hemisphere, *Geoph. Res. Lett.*, Vol.26, No. 18, pp.2893-2896.
- 46- Van loon, H. and Shea, D.J., 2000, The global 11-Year solar signal in July-August, *Geoph. Res. Lett.*, Vol.27, No.18, pp.2965-2968.
- 47- Waple, A., 1999, The sun-climate relationship in recent centuries: A Review, *Prog. Phys. Geog.*, Vol.23, No.3, pp.309-328.
- 48- Woo, R. and Habbal, S.R., 2002, The origion of the solar wind, *American Scientist*, Vol.90., pp.532 -539.