سعید جهانبخش: استاد دانشگاه تبریز
معصومه عدالت دوست: دانشجوی دوره دکتری دانشگاه تبریز
شهاب الدین واثق ملکی: کارشناس ارشد ژئوفیزیک
شماره مقاله: ۷۹۲

S. Jahanbakhsh
M. Edalatdoust
Sh. Vasegh malaki

E.mail:jahanbakhshsaeed@yahoo.com

شماره صفحه پیاپی ۱۶۴۶۶-۱۶۴۳۸

ارزیابی تغییرات زمانی وقوع زلزله‌های ایران و آذربایجان در ارتباط با فعالیت‌های خورشیدی

چکیده

تاثیر فعالیت‌های خورشیدی در وقوع زلزله‌ها، یکی از مهمترین موضوع‌های است که در سال‌های اخیر برای پیش بینی درازمدت زلزله‌ها مد نظر دانشمندان قرار گرفته است.

در این پژوهش، چگونگی رفتار زمانی وقوع زلزله‌های ایران و آذربایجان و همچنین، میزان ارتباط و همبستگی آنها با تغییرات زمانی فعالیت‌های خورشیدی با استفاده از داده‌های میانگین سالانه زلزله‌های بزرگ با مقیاس بیش از ۳ الی ۴ ریشتر و داده‌های لکه‌های خورشیدی بررسی شد. ابتدا به منظور شناسایی الگوی رفتار زمانی وقوع زلزله‌های ایران و آذربایجان، چرخه‌های زمانی غالب در وقوع آنها با استفاده از روش آنالیز موجک و خطوط همبستگی محاسبه و مشخص گردید. سپس، با بهره گیری از انواع روشهای آنالیز طیفی و همچنین، محاسبات آماری (همبستگی) میزان ارتباط و همبستگی بین چرخه‌های غالب موجود در رفتار زلزله‌ها ی منطقه و چرخه فعالیت‌های خورشیدی بررسی گردید.

بر اساس این تحلیل‌ها، مشخص گردید که دوره‌های غالب وقوع زلزله‌های ایران و آذربایجان حوالی چرخه‌های زمانی ۴، ۶، ۸ و ۹ الی ۱۵ ساله ارتباط و همبستگی بسیار

نزدیکی با چرخه‌های زمانی اصلی و فرعی لکه‌های خورشیدی دارند. یافته‌های این پژوهش نشان داد که ظهور چرخه‌های اصلی (۱۱-۲۲ ساله) و چرخه‌های فرعی (۳-۴، ۶، ۸، ۱۱-۱۴ ساله) در زمان وقوع زلزله‌های ایران و آذربایجان، احتمالا با تاثیر فعالیت لکه‌های خورشیدی در ارتباط‌اند.

واژه‌های کلیدی: فعالیت‌های خورشیدی، تغییرات زمانی زلزله‌ها، آنالیز موجک ،آنالیز طیفی، زلزله‌های ایران و آذربایجان.

۱- مقدمه

یکی از مهمترین سوانح طبیعی، زلزله است که بیشترین آسیب پذیری ساختمانی و تلفات انسانی را به بار می آورد. زلزله به عنوان پدیده‌ای طبیعی به خودی خود نتایج نامطلوبی در پی ندارد. آنچه از این پدیده فاجعه می سازد، عدم پیشگیری از تاثیر آن و عدم آمادگی برای مقابله با عواقب آن است (امینی،۱۳۸۴ :۱۰). لذا شناخت ویژگیهای رفتاری پدیده‌های طبیعی، از جمله زلزله از اهمیت زیادی در زندگی انسانها برخوردار است (زونگرویی و همکاران[1]، ۲۰۰۳ : ۹۳۴). زلزله در طول دوران حیات کره زمین وجود داشته و خواهد داشت. علی‌رغم پیشرفتهای علمی و به‌کارگیری تکنولوژی‌های گسترده در پیش بینی حوادث، از جمله زلزله، وقوع این پدیده هنوز هم هزینه‌ها و خسارات سنگینی را به جوامع انسانی وارد می سازد. در دهه‌های اخیر تلاش دانشمندان علوم مختلف، بیشتر در جهت یافتن فاکتورهای قابل پیش بینی و مؤثر در وقوع زلزله‌ها بوده است، تا بر اساس آن تغییرات زمانی وقوع زلزله‌ها را در درازمدت ارزیابی و پیش بینی نمایند(امینی،۱۳۸۴ :۱۱).

اخیرا بر اساس مطالعات انجام یافته در زمینهٔ عوامل مؤثر در وقوع زلزله‌ها، محققان به این نتیجه رسیده اند که خورشید و فعالیت‌های خورشیدی نقش اساسی، ولی نه چندان

[1] - Zhongrui ,et al.

آشکاری در وقوع زلزله‌ها ایفا می کند. لذا توجه به نقش فعالیت‌های خورشیدی به عنوان عامل مؤثر بر وقوع زلزله‌ها که خود دارای تغییرات زمانی مشخص و قابل پیش بینی است، به عنوان یکی از فناوریهای جدید و اساسی در پیش بینی دراز مدت زلزله‌ها مطرح می شود (شالتوت و همکاران[۲]،۱۹۹۸ : ۵۰۶). بر اساس این تئوری، تغییرات چرخه ای و مشخص موجود در فعالیت‌های خورشیدی، بویژه فعالیت لکه‌های خورشیدی ، مبنای اصلی پیش بینی زمان وقوع زلزله‌ها و همچنین بررسی و پیش بینی تغییرات سایر پدیده‌های طبیعی بویژه تغییرات اقلیمی (جهانبخش و همکار، ۱۳۸۷ :۴) محسوب می گردد: بدین ترتیب که هرگونه تغییر در خروجی خورشید، احتمالا از طریق تاثیر بر میدان مغناطیسی کره زمین می تواند سبب ایجاد تغییرات درلایه‌های مختلف آتمسفر و نهایتا در لایه لیتوسفر زمین و وقوع زلزله گردد. بسیاری از پژوهشگران از وجود ارتباط و همبستگی بین لکه‌های خورشیدی و وقوع زلزله‌ها آگاهند، اما مکانیزم این تاثیرگذاری و ارتباط چندان آشکار نیست (فوجی ناوا و تاکاهاشی[۳]، ۱۹۹۶ :۲۴۹؛ دوما و رزهین[۴]، ۲۰۰۲ :۱۷۱؛ چن و همکاران[۵]، ۲۰۰۴ : ۳۸۵). لذا بررسی و شناسایی تغییرات سیستم کره زمین، بویژه تغییرات زمانی وقوع زلزله‌ها از دیدگاهی جدید و بر مبنای تغییرات فعالیت لکه‌های خورشیدی و کشف ارتباط بین تغییرات این دو پارامتر، شناخت و آگاهی بیشتر و دقیقتری از شرایط وقوع زلزله و قانونمندی‌های این پدیده بدست می‌دهد. کشور ایران از نظر زمین ساختی در قلمروی ناپایدار واقع گردیده است (علایی طالقانی،۱۳۸۴ :۴۵). تنوع تشکیلات زمین شناسی و قرار گرفتن آن در یکی از فعالترین مناطق تکتونیکی جهان و در امتداد کمربند فعال زلزله خیز آلپ- هیمالیا باعث بروز پدیده‌های مهم زمین ساختی، از جمله زلزله در کشور می‌گردد. اهمیت این مسأله بویژه در منطقه آذربایجان که در

---

[2] - Shaltout , et al.

[3] -Fujinawa and Takahashi

[4] - Duma and Ruzhin

[5] - Chen, et al.

محل اتصال دو پهنه فعال زلزله خیز کشور واقع شده و از شرایط زلزله خیزی پیچیده‌ای برخوردار است، دو چندان می‌گردد (انزابی، ۱۳۸۴ :۱۱).

در پژوهش حاضر سعی شد زلزله‌های ایران و آذربایجان (تغییرات زمانی، فرکانس وقوع و شدت زلزله‌ها) از دیدگاهی تازه بررسی کردند. خورشید و فعالیت‌های خورشیدی به طور مستقیم و غیر مستقیم، مهمترین عامل تاثیرگذار در کلیه فرایندهای سیستم کره زمین محسوب می‌گردد (بییر و همکاران[۶]، ۲۰۰۶ : ۱). لذا در این بررسی نیز توزیع زمانی، شدت و فرکانس وقوع زلزله‌های ایران و منطقه آذربایجان در رابطه با این عامل ارزیابی شده است. بدیهی است که شناخت تغییرات زمانی وقوع زلزله‌ها از دیدگاه فعالیت‌های خورشیدی، راهی تازه برای پیش بینی درازمدت زلزله‌ها بوده و بر مبنای آن می‌توان برنامه ریزی‌هایی را به انجام رسانید.

۲- تحلیل مکانیزم تاثیرگذاری فعالیت لکه‌های خورشیدی بر وقوع زلزله‌ها

کلیه فرایندهای دینامیکی در سیستم کره زمین، انرژی مورد نیاز خود را از یک سیستم خارجی، که همان سیستم خورشید است، دریافت می کنند (رجائی،۱۳۸۲ :۸۷). خورشید و فعالیت‌های آن دست کم از دو لحاظ نقش حیاتی و عمده ای را برای کره زمین ایفا می نماید: اولا، خورشید به عنوان مرکز جاذبه اصلی برای گردش زمین در مدار بیضی شکل خودش به شمار می آید؛ ثانیا، خورشید منبع اصلی و بنیادی کلیه اشکال انرژی در سیستم کره زمین است (بییر و همکاران، ۲۰۰۶: ۱) .

مقدار انرژی خورشیدی در نتیجه فعالیت‌های دوره ای معین که عمدتا شامل فعالیت لکه‌های خورشیدی[۷]، شراره‌ها[۸]، خروج جرم کرونایی[۹] و فوکولاها[۱۰] است، دستخوش

---

[6] - Beer ,et al.
[7] - Sunspots
[8] - Flares
[9] -Coronal mass ejection
[10] -Faculae

تغییر قرار مـی گیـرد (عزیـزی،۱۳۸۳ :۶۰). فراینـدهای دینـامیکی (شـامل فراینـدهای دینامیکی درونی و بیرونی) کره زمین بر اثر وقوع این تغییرات؛ یعنی کاهش یا افـزایش انرژی، شدت و ضعف می‌یابند و بدین ترتیب، سبب بروز اختلال در محیط طبیعـی کـره زمین و زندگی بشر می‌شوند. در این میان، یکی از فرایندهای دینامیکی درونی کره زمین که در مقیاس گسترده ای تعادل محیط را مختل می کند و طبیعتا تحـت تـاثیر تغییـرات فعالیت‌های خورشیدی قرار می گیرد، پدیده زلزله است.

زلزله حاصل ارتعاشاتی است که در پوسته زمـین بـه وقـوع مـی‌پیونـدد. منشـأ ایـن ارتعاشات، بسیار متنوع و شامل نیروهای درونی و بیرونی اسـت. عـواملی کـه از بیـرون موجب تکان‌ها و ارتعاشات می شوند اهمیت چندان زیادی ندارند، ولی نیروهای درونـی، بنا به بزرگی و شدتی که دارند، عمده ترین و اساسی ترین منشأ وقـوع زلزلـه بـه شـمار می‌روند (رجائی،۱۳۸۲ : ۲۷۲). در دهه‌های اخیر، بسیاری از محققان به این نتیجه رسیده‌اند که فعالیت‌های خورشیدی نقش بسیار اساسـی و عمـده، امـا نـه چنـدان آشـکاری را در تحریک زلزله‌ها ایفا می کنند (شالتوت و همکـاران، ۱۹۹۸ : ۵۰۰)؛ بـدین ترتیـب کـه لکه‌های خورشیدی. شراره‌ها وخروج جرم کرونایی، از جمله فعالیت‌های خورشیدی مؤثر در تشدید میدان مغناطیسی خورشید و کره زمین محسوب می گردند و کلیه این تغییرات درست قبل از وقوع زلزله‌ها و توفانها در مناطق مختلف کره زمین مشـاهده شـده اسـت (موخرجی و کورتولیسی[11]،۲۰۰۵: ۲۳۳).

مقدار انرژی که در دوره فعالیت‌های خورشیدی، بویژه شراره‌های خورشیدی تولید می شود، معمولا حدود ۱۰۲۷ ارگ در ثانیه است. شراره‌های خیلی بزرگتر حتی قادرند مقدار انرژی بیش از ۱۰۳۲ ارگ در ثانیه را نیز تولید نمایند. این مقدار انرژی ده میلیـون برابـر بزرگتر از مقدار انرژی است که هنگام وقوع فعالیت‌های آتشفشانی تولید می‌گردد (بییر و همکاران، ۲۰۰۶ : ۴). هنگام افزایش فعالیت‌های خورشیدی، وقوع پدیده‌های انفجـاری شدید سبب تخلیه آنی حجم عظیمی از انرژی در ماگنتوسفر زمین و وقوع توفان‌های شدید

[11] - Mukherjee and Kortvelyssy

مغناطیسی در این محدوده می‌گردند که ممکن است همانند جرقه‌ای سبب فعال شدن مناطق گسلی فعال در کره زمین و وقوع زلزله گردد. مطالعات اخیر نشان می‌دهند که شراره‌های خورشیدی نیز در بخش‌های درونی خورشید، امواجی شبیه امواج زلزله ایجاد می‌کنند (کوسویچو[۱۲]،۲۰۰۶ : ۱ و آرکانگلس و همکاران[۱۳]،۲۰۰۶ : ۲۶۵).

یافته‌های موجود حاکی از تاثیرگذاری فعالیت‌های خورشیدی در تغییر فرایندهای تکتونیکی(زمین ساختی) زمین و وقوع زلزله‌ها هستند. اما آنچه در این میان، قابل توجه است عدم مکانیزم مشخص در تبیین این همبستگی‌ها است. هم اکنون، اکثر محققان مکانیزم تاثیرگذاری فعالیت‌های خورشیدی بر وقوع زلزله‌ها را به ۷ عامل عمده نسبت می دهند که عبارتند از:

۱- افزایش ناگهانی سرعت روزانه چرخش زاویه ای کره زمین؛ ۲- انتشار امواجی از جریان‌های باردار الکتریکی در پوسته زمین؛ ۳- انفجارات آتشفشانی.- تغییرات نیم دوره ای نیروی جاذبه زمین؛ ۴- وقوع تغییرات در لایه یونوسفر کره زمین؛ ۵- وقوع تغییرات در فرایندهای اتمسفری کره زمین؛ ۶- وقوع تغییرات در پارامترهای باد خورشیدی(شالتوت و همکاران،۱۹۹۸: ۵۰۵).

نتایج فوق، حاکی از این است که فعالیت‌های خورشیدی احتمالا از طریق یکی از هفت عامل فوق، بر سیستم کره زمین و نهایتا وقوع زلزله‌ها تاثیر می گذارند و هنوز شناخت کافی از نحوه این تاثیرگذاری وجود ندارد. بر اساس مباحث فوق، شناخت دقیق مکانیزم تاثیرگذاری فعالیت‌های خورشیدی بر وقوع زلزله‌ها مستلزم انجام مطالعات گسترده تری است.

---

[12] - Kosovichev
[13] - Arcangelis, et al.

۳- پیشینه تحقیق

مطالعات عمده در رابطه با تغییرات منطقه‌ای میدان مغناطیسی کره زمین و ارتباط آن با وقوع زلزله‌ها و تئوری "تکتونیک مغناطیسی" از جمله موضوع‌های است که از دهه ۱۹۵۰ مورد توجه بسیاری از محققان بوده است (دوما و رزهین، ۲۰۰۲ :۱۷۱). در زمینه تاثیر فعالیت‌های خورشیدی و همچنین تاثیر پدیده‌های متاثر از فعالیت‌های خورشیدی در وقوع زلزله‌ها، مطالعات متعددی صورت گرفته است که به چند مورد از آنها اشاره می شود:

فوجی ناوا و تاکاهاشی (۱۹۹۶)، به بررسی تغییرات الکترومغناطیسی و ارتباط آن با وقوع زلزله‌های بزرگ پرداختند. طی این بررسی مشخص گردید که وقوع تغییرات عمده در میدان الکترومغناطیسی کره زمین (که عمدتا هنگام افزایش فعالیت‌های خورشیدی رخ می دهد)، با وقوع زلزله‌های بزرگ، همزمان بوده است. نتایج حاصل در واقع مدرکی آشکار از وجود ارتباط بین این دو پدیده بوده، نشان می دهند که جابجایی گسل‌ها با تغییرات میدان مغناطیسی کره زمین مرتبط‌اند. انسکو و انسکو[۱۴](۱۹۹۸)، احتمال وجود ارتباط مؤثر بین زلزله‌های منطقه ورانسا، واقع در رومانی با برخی پدیده‌های ژئوفیزیک از جمله لکه‌های خورشیدی را بررسی نمودند. نتیجه این بررسی‌ها نشان داد که ارتباط و همبستگی زیادی بین این دو متغیر وجود دارد. شالتوت و همکاران(۱۹۹۸)، در مطالعه خود با استفاده از روش خودهمبستگی و آنالیز طیفی، تغییرات زمانی فعالیت زلزله‌ها و لکه‌های خورشیدی را ارزیابی کردند. در این بررسی، داده‌های زلزله‌های سطح جهان با مقیاس بیش از ۵ درجه ریشتر و تعداد لکه‌های خورشیدی طی دوره آماری ۱۹۸۵-۱۹۰۳ و همچنین داده‌ها زلزله در ناحیه آفریقای شمالی با شدت بیش از ۴ درجه ریشتر، طی دوره آماری ۱۹۸۶-۱۹۰۰ همراه با دو ایستگاه واقع در کایرو(مصر) و الجزایر ارزیابی شده است. نتایج حاصل نشان دهندهٔ وجود چرخه ۱۱ ساله درزمان وقوع زلزله‌های

[14] - Enescu and Enescu

آفریقای شمالی است. همچنین دوره‌های زمانی فرعی بین ۱ تا ۵ ساله در زلزله‌های سطح جهان و آفریقای شمالی یافت گردید که مطابق با چرخه‌های فرعی لکه‌های خورشیدی مطابق است. این نتایج حاکی از وجود ارتباط بین زلزله‌ها و فعالیت‌های خورشیدی است.

موخرجی و موخرجی[۱۵](۲۰۰۲)، در مطالعه خود به بررسی تغییرات میدان مغناطیسی پرداخته، نشان دادند که وقوع تغییرات در میدان مغناطیسی کره زمین عمدتا متاثر از افزایش ناگهانی جریان اشعهx و ذرات باردار طی دوره حداکثر فعالیت‌های خورشیدی است. در نتیجه این بررسی مشخص گردید که در ژانویه سال ۲۰۰۱، همزمان با وقوع طغیان‌های خورشیدی و خروج جرم کرونایی از سطح آن که پس از طی ۲ روز به سطح زمین برخورد نمودند، زلزله شدیدی با شدت ۷/۹ درجه ریشتر در منطقه گجرات واقع در سواحل شرقی هند، اتفاق افتاد. از طرفی، همزمان با وقوع زلزله بزرگ در گجرات، حدود ۶۵ درصد از کل زلزله‌های ثبت شده در سطح جهان، در همین روز رخ داده اند.

زونگروئی و همکاران(۲۰۰۳)، ارتباط و همبستگی بین فعالیت‌های خورشیدی و فرکانس وقوع بلایای طبیعی را در چین بررسی نموده و مشخص کردند که طول چرخه‌های خورشیدی شاخصی مناسب برای بررسی و پیش بینی تغییرات درازمدت خود خورشید و همچنین بلایای طبیعی(خشکسالی‌ها، سیلاب‌ها و از جمله وقوع زلزله‌های شدید) در ۱۰۸ سال گذشته، محسوب می گردد. یافته‌های این بررسی نشان می دهند که درهنگام وقوع فعالیت‌های خورشیدی شدیدتر و طولانی تر، طول چرخه‌های خورشیدی کوتاهتر شده، همزمان با این تغییرات، فرکانس وقوع سیلاب‌ها و زلزله‌های شدید در بخشهای جنوبی چین و فلات تبت افزایش می‌یابند. عکس این شرایط نیز هنگام کاهش فعالیت‌های خورشیدی مشاهده می شود. ساغاتلیان و همکاران[۱۶](۲۰۰۶)، در مطالعه‌ای ارتباط بین فعالیت‌های خورشیدی و زلزله‌ها را بررسی نموده و نشان دادند حدود یک و نیم ماه بعد از وقوع انفجارهای شدید در سطح خورشید؛ که از ۲۹ اکتبر تا ۴ نوامبر سال

---

[15] -Mukherjee S. and Mukherjee A.

[16] - Saghatelyan, et al.

۲۰۰۳ ادامه داشت، زلزله‌های شدیدی در سانفرانسیسکو، ایران، ترکیه و ارمنستان به وقوع پیوستند. وقوع زلزله‌های همزمان با افزایش فعالیت‌های خورشیدی در این مناطق، دلیلی آشکار از وجود ارتباط بین فعالیت‌های خورشیدی و وقوع زلزله‌هاست. آرکانگلس و همکاران(۲۰۰۶)، میزان هماهنگی در وقوع شراره‌های خورشیدی و زلزله‌ها را با استفاده از قانون توزیع هم شکل، مورد ارزیابی قرار داده و نتایج قابل توجهی را در رابطه با نحوه توزیع این دو پدیده پیدا کردند. ایشان مشخص کردند که زلزله‌ها و شراره‌های خورشیدی ، هر دو از لحاظ آزاد سازی مقادیر عظیمی از انرژی در زمان کم، دارای ویژگی‌های مشابهی هستند؛ بطوری که بررسی نحوه توزیع هر دو پدیده و تبعیت هر دوی آنها از روش توزیع همشکل، حقایق قابل توجه دیگری را در زمینه ارتباط بین فعالیت‌های خورشیدی و زلزله‌ها آشکار می سازد.

مورسولا و زیگر[17](۲۰۰۱)، سیلینا و همکاران (۲۰۰۱)، موخرجی و کورتولیسی (۲۰۰۵)، لیو و همکاران[18](۲۰۰۶)، لیپروفسکیا و همکاران[19](۲۰۰۶)، مانکاوا و همکاران[20] (۲۰۰۶)، نووپاشینا و همکاران[21](۲۰۰۷)، لیپروفسکی و همکاران[22](۲۰۰۷)، از جمله دیگر پژوهشگرانی هستند که در این زمینه به مطالعاتی پرداخته‌اند. در ایران نیز تاکنون مطالعات متعددی در خصوص زلزله ، ارزیابی خطر زلزله‌ها و پیش بینی آنها صورت گرفته است و در کلیه این تحقیقات، توجه اصلی محققان معطوف پدیده‌های زمین شناسی و نقش آنها در وقوع زلزله‌ها بوده است، اما در پژوهش حاضر، ارزیابی وقوع زلزله‌ها از دیدگاهی دیگر بررسی گردیده است.

---

17 - Mursula and Zieger
18 - Liu, et al.
19 - Liperovskaya, et al.
20 - Maekawa , et al.
21 - Novopashina , et al.
22 - Liperovsky , et al.

۴- مواد و روشها

۴-۱- مواد

در پژوهش حاضر از دو سری داده استفاده شده است که شامل:

۱- میانگین سالانه داده‌های زلزله‌های بزرگ مقیاس (مقیاس بیش از ۴ ریشتر در ایران) و (مقیاس بیش از ۳ ریشتر در منطقه آذربایجان) و ۲- میانگین سالانه داده‌های لکه‌های خورشیدی.

داده‌های مربوط به زلزله‌ها در ایران و آذربایجان از سایت سازمان زمین شناسی[۲۳] و همچنین سایت اینترنتی[۲۴] تهیه و استفاده شد.

در مورد داده‌های فعالیت‌های خورشیدی شایستهٔ ذکر است که شراره‌های خورشیدی، حلقه‌های داغ کرونایی، خروج جرم کرونایی و لکه‌های خورشیدی، همه جزو فعالیت‌های خورشیدی محسوب می گردند. در واقع، استفاده از داده‌های شراره‌های خورشیدی مناسب‌تر از لکه‌های خورشیدی است؛ اما با توجه به اینکه فعالیت‌های مذکور غالبا با فرکانس‌های مشابه و یکسان با چرخه ۱۱ ساله لکه‌های خورشیدی اتفاق می افتند و از طرفی داده‌های ثبت شده از لکه‌های خورشیدی بسیار طولانی تر از داده‌های موجود از شراره‌های خورشیدی بوده و دسترسی به داده‌های لکه‌های خورشیدی آسان تر می باشد، لذا، لکه‌های خورشیدی و داده‌های مربوط به آن، شاخص مناسبی برای تبیین کلیه فعالیت‌های خورشیدی به شمار می رود و در اغلب تحقیقات از داده‌های مذکور استفاده می شود (آرایا و همکاران[۲۵]،۱۹۹۹). بدین ترتیب، در پژوهش حاضر داده‌های سالانه لکه‌های خورشیدی از سازمان NOAA و سایت اینترنتی[۲۶] تهیه و پس از استاندارد سازی از آنها استفاده شد.

---

[23]- http://www.ngdir.com
[24] - http://earthquake.usgs.gov/regional
[25] - Araya ,et al.
[26] - http://www.ngdc.noaa.gov/stp/solar

به منظور تعیین چرخه‌های زمانی درازمدت در وقوع زلزله‌های شدید نیاز بود که از داده‌های سالانه زلزله‌ها استفاده گردد. لذا پس از تهیه داده‌های ماهانه زلزله، میانگین سالانه تعداد دفعات وقوع زلزله‌های بیش از ۴ ریشتر در ایران و زلزله‌های بیش از ۳ ریشتر در آذربایجان (ایستگاه‌های منتخب) محاسبه شد. سپس کیفیت داده‌های زلزله برای هر یک از ایستگاه‌های فوق به طور جداگانه مورد آزمونهای همگنی و نرمال بودن قرار گرفته، از همگن و نرمال بودن آنها اطمینان حاصل گردید.

ناحیه مورد مطالعه شامل کل ایران و محدوده منطقه آذربایجان شامل(آذربایجان غربی، آذربایجان شرقی و اردبیل) است. طول دوره آماری مورد استفاده برای تجزیه و تحلیل داده‌های زلزله برای کل ایران از سال ۱۹۰۸-۲۰۰۷ ، برای آذربایجان غربی از سال ۱۹۳۰-۲۰۰۷ ، برای آذربایجان شرقی ۱۹۰۸-۲۰۰۷ و برای اردبیل از سال ۱۹۰۲-۲۰۰۷ انتخاب و استفاده گردید.

۴-۲- روش‌ها

۴-۲-۱- آنالیز موجک

در پژوهش حاضر، برای تجزیه و تحلیل داده‌های زلزله و شناسایی چرخه‌های غالب موجود در آنها از تبدیل موجک پیوسته (CWT) و سپس برای بررسی ارتباط بین این دو متغیر، از انواع روش‌های آنالیز طیفی و محاسبات همبستگی استفاده گردید. امروزه استفاده از تکنیک آنالیز موجک به عنوان روشی معمول و اساسی در تجزیه و تحلیل چرخه‌های لکه‌های خورشیدی ، پارامترهای اقلیمی و پارامترهای ژئوفیزیکی زمین مطرح بوده، در ارزیابی ارتباط بین این متغیرها نیز کاربرد دارد.

کومار و فئوفئولا[۲۷](۱۹۹۷) ، تورنس و کمبو[۲۸](۱۹۹۸) از جمله پژوهشگرانی هستند که تحقیقات جامعی را در زمینه کاربرد روش تبدیل موجک و انواع آن انجام داده‌اند.

---

[27]- Kumar& foufoula-Georgio
[28]- Torrence and Compo

آنالیز موجک با واسطه تجزیه سری‌های زمانی غیرخطی به فرکانس‌های زمـانی، ابـزاری توانمند و کارامد در یافتن فرکانس غالب تغییرات پدیـده‌هـا در طـول زمـان محسـوب می‌گردد.

آنالیز موجک پیوسته، روش مناسب برای مطالعه نوسان‌های زمانی زودگذر و معین در سری‌های زمانی مرتبط با هم مطرح است (گرینستد و همکاران[۲۹]، ۲۰۰۴ : ۵۶۲). یکی از مهمترین روش‌های آنالیز موجک پیوسته، آنالیز موجک مورلت است که به صورت زیر محاسبه می گردد:

(۱)

$$\psi_0(\eta) = \pi^{-1/4} e^{i\omega_0\eta} e^{-\frac{1}{2}\eta^2}$$

در رابطه فوق ω_0 فرکانس بی بعد و η زمان بی بعد هستند.

ایده‌ای که پشت تحلیل موجک پیوسته نهفته است بر مبنای بکارگیری موجک‌ها بـه عنوان فیلترهای میان گذر در سری‌های زمانی مختلف اسـتوار شـده اسـت. موجـک‌هـا همزمان با تغییر در مقیاس پدیده‌ها (s) در محدوده زمان (t) کشیده شده، باعـث بـارزتر شدن تغییرات موجود در پدیده‌ها می گردند.

پس: $\eta = s.t$. آنالیز موجک مورلت تناسب بسیار خوبی بین زمان و فرکانس ایجـاد می کند و بدین ترتیب، استخراج تغییرات موجود در پدیده‌ها بـه سـهولت امکـان پـذیر می‌شود (مور و همکاران[۳۰]،۲۰۰۶).

۴-۲-۲- آنالیز طیفی

در روش آنالیز طیفی مطالعه سری‌های زمانی در دو حالت پراکنش طیفی و پـراکنش طیفی متقاطع (چندمتغیره) امکان پذیر می گردد. آنالیز طیفـی داده‌هـا، تکنیـک بسـیار

---

[29] - Grinsted and et al

[30]- Moore and et al

مناسبی هم از جهت تعیین دقیق الگوهای چرخه ای موجود در یک متغیر و هم از لحاظ برآورد میزان ارتباط و همبستگی دو یا چند متغیر به شمار می رود.

در این روش، با استفاده از تبدیل فوریه، داده‌های سری‌های زمانی به مجموعه ای از امواج سینوسی و کسینوسی شکل با شدت و طول موج‌های مختلف تجزیه می شوند. مراحل انجام آنالیز طیفی و آنالیز تراکم طیفی به ترتیب ذیل است (کری[۳۱]، ۱۹۹۹):

۱- تعیین چرخه غالب داده‌ها بر اساس فرکانس(فراوانی) $\frac{FREQ}{2\pi}$ یا بر اساس دوره (طول موج) $\frac{2\pi}{FREQ}$:

در پژوهش حاضر، چرخهٔ غالب داده‌های زلزله و لکه‌های خورشیدی بر اساس دوره (طول موج) محاسبه گردید.

۲- تبدیل داده‌ها به امواج کسینوسی و سینوسی شکل :

تبدیل کسینوس: رابطه (۱)

$$.x = a_k^x = \frac{2}{n}\sum_{t=1}^{n} x_t \cos(\omega_k (t-1))$$

تبدیل سینوس: رابطه (۲)

$$x = b_k^x = \frac{2}{n}\sum_{t=1}^{n} x_t \sin(\omega_k (t-1))$$

۳- محاسبه دوره نگار داده‌ها:

رابطه (۳)

$$J_k^x = \frac{n}{2}\left[(a_k^x)^2 + (b_k^x)^2\right]$$

در رابطه فوق a و b به ترتیب ضرایب سینوسی و کسینوسی و n طول دوره آماری مورد استفاده است.

۴- محاسبه تراکم طیفی داده‌ها: رابطه (۴)

$$X = F_k^x = \sum_{j=-p}^{p} W_j J_{k+j}^x$$

---

[31]- Cary

تخمین طیفی داده‌ها از طریق نرمال سازی مقادیر عددی دوره نگارهـا بـا اسـتفاده از تبدیل میانگین متحرک وزنی محاسبه می گردد. در آنالیز طیفی معادلـه تبـدیل میـانگین متحرک وزنی با عنوان ویندوز طیفی یا ویندوز پایه شناخته می شـود. در آنـالیز طیفـی انواع ویندوزهای طیفی موجود هستند که در این پژوهش از ویندوز توکی- همینگ (۵) استفاده شده است:

در این ویندوز، برای هر فرکانس، وزن‌های مربوط به میانگین متحرک وزنی مقـادیر یک دوره نگار با استفاده از رابطه ذیل برآورد می گردد:

رابطه (۵)

در صورتی که

$$W_j = 0.5 + 0.5 * \cos(\pi * j / p) \quad j = 0$$

$W_{-j} = W_j$ در صورتی که $0 \neq j$

۵- محاسبه تراکم طیفی متقاطع(دو متغیره) از داده‌های مورد نظر(xو y):

رابطه (۵)

$$A_k^{xy} = \sqrt{(C_k^{xy})^2 + (Q_k^{xy})^2}$$

۶- محاسبه میزان ارتباط و پیوستگی بین دو متغیرx و y :

رابطه (۶)

$$K_k^{xy} = (A_k^{xy})^2 / (F_k^x F_k^y)$$

۴-۲-۳- روشهای آماری

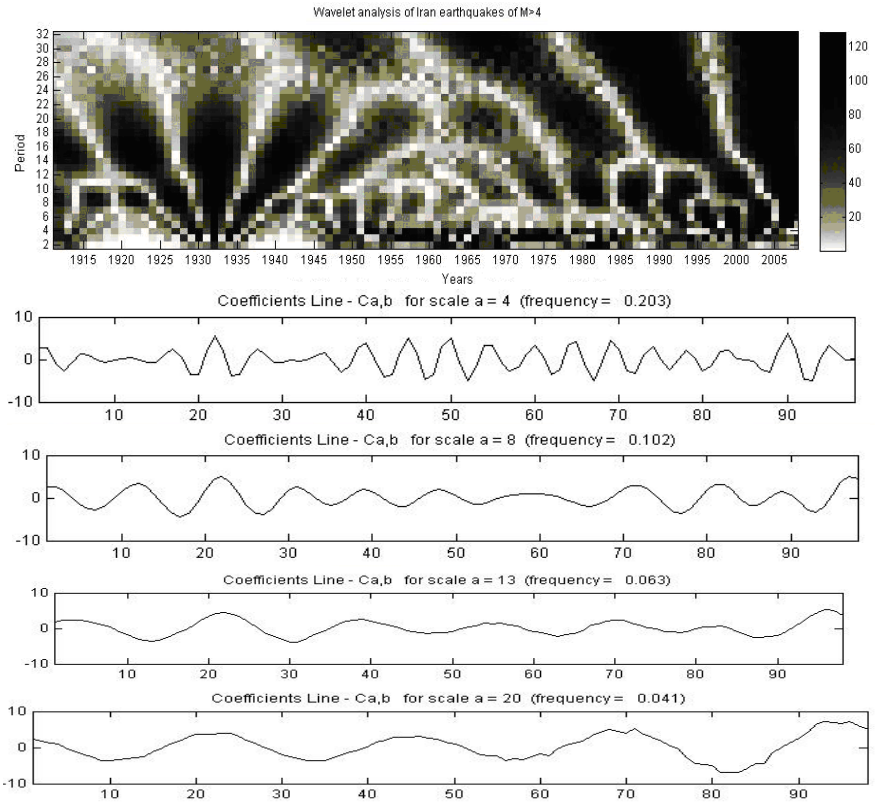
در ادامه بررسی‌ها به منظور دستیابی به مقادیر دقیق میزان ارتبـاط بـین زمـان وقـوع زلزله‌ها و لکه‌های خورشیدی، محاسبات آماری(همبستگی پیرسون) بر روی داده‌ها اعمال گردید.

نرم افزارهایی که در تجزیه و تحلیل داده‌ها از آنها بهره گیـری شـده اسـت، شـامل EXCEL، SPSS وMATLAB هستند.

۶- بحث و نتایج

۶-۱- ارزیابی الگوی زمانی رفتار زلزله‌های ایران و آذربایجان:

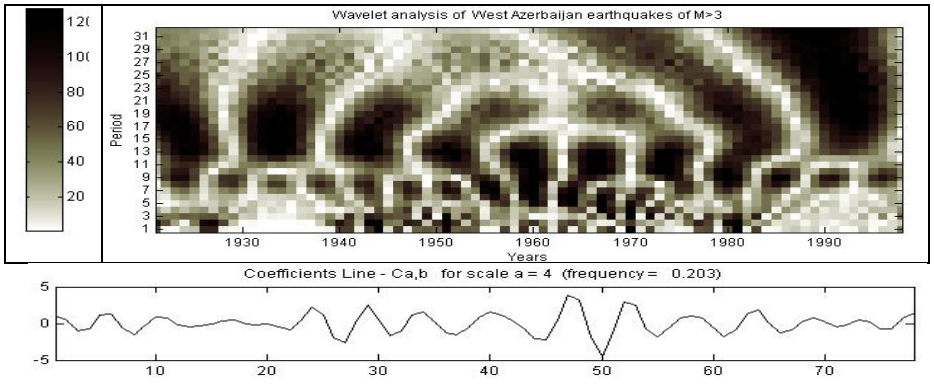
با استفاده از آنالیز موجک و خطوط همبستگی حاصل، فرکانس‌های زمانی غالب موجود در زلزله‌های ایران و آذربایجان، طی دوره‌های زمانی معین به دست آمد. شکل شماره ۱ آنالیز موجک و نمودارهای همبستگی حاصله از داده‌های زلزله‌های بزرگ با مقیاس بیش از ۴ ریشتر را در کل ایران و در دوره‌های مؤثر نشان می دهد.

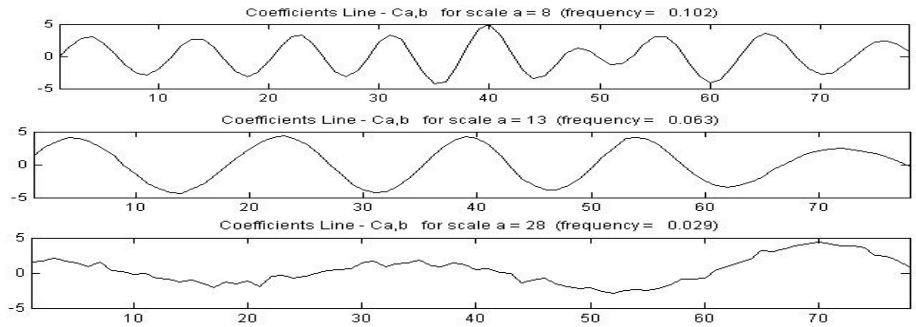


شکل(۱): آنالیز موجک و نمودارهای همبستگی حاصله از داده زلزله‌های بزرگ مقیاس در ایران

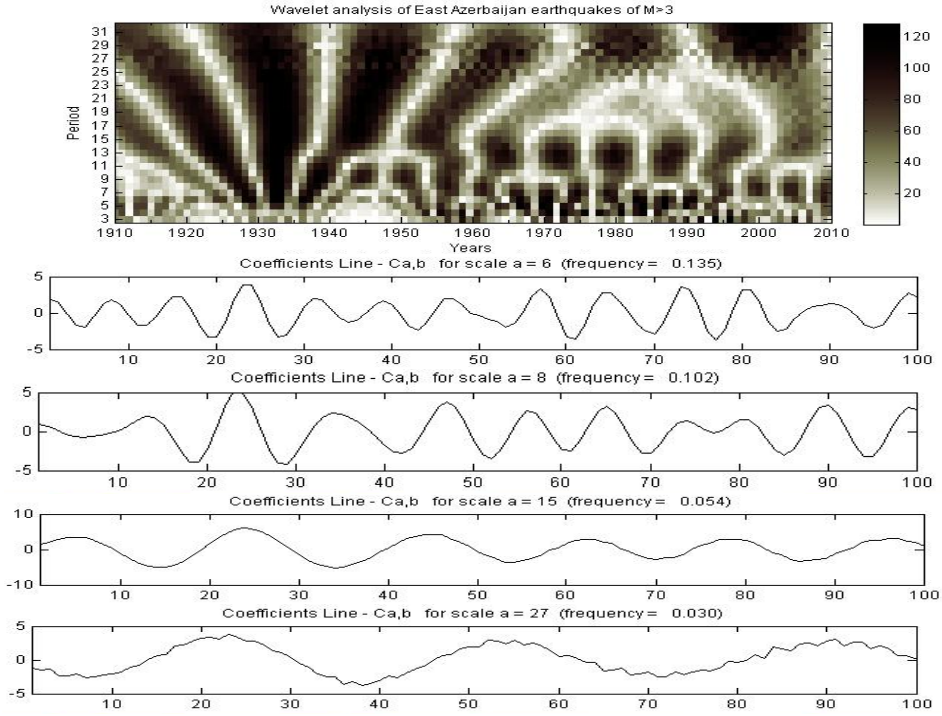
تکرار رنگ تیره نشان دهنده تشدید فراوانی وقوع زلزله‌های بزرگ مقیاس و تکرار رنگ روشن مبین تضعیف فراوانی وقوع زلزله‌ها در کل ایران است. بالاترین فراوانی موجود در دوره زمانی وقوع زلزله‌های ایران برابر با دوره ۱۹-۲۲ ساله است که با چرخه زمانی کاملا آشکار هر ۱۹-۲۲ سال تکرار می شوند. در مجموع، بررسی خطوط همبستگی مربوط به دوره‌هایی که دارای چرخه زمانی منظم هستند نشان دهندهٔ ظهور چرخه‌های زمانی کوچک و فرعی دیگر طی دوره‌های زمانی ۳، ۴ و ۱۳ ساله در الگوی رفتاری زلزله‌های ایران است. با اینکه تغییرات مکانی وقوع این پدیده قابل شناسایی نیست، به نظر می رسد تعداد زلزله‌های شدیدی که در نقاط مختلف ایران رخ داده اند، از چرخه‌های زمانی معینی تبعیت می کنند. به منظور ارائه شواهد بیشتر بر این مسأله، در ادامه به بررسی الگوی رفتاری زلزله‌های بزرگ با مقیاس بیش از ۳ ریشتر در منطقه آذربایجان شامل آذربایجان غربی، آذربایجان شرقی و اردبیل پرداخته می شود.

منطقه آذربایجان به عنوان بخشی از مناطق زلزله خیز کشور محسوب می گردد. با این بینش، انتظار می‌رود تغییرات زمانی زلزله‌های بزرگ مقیاس در این منطقه نیز در چرخه‌های زمانی مشابه با چرخه‌های زمانی زلزله‌های کل ایران رخ دهند. شکل‌های شماره ۲، ۳ و۴ به ترتیب آنالیز موجک و خطوط همبستگی مربوط به زلزله‌های منطقه آذربایجان غربی، شرقی و اردبیل را نشان می‌دهند.

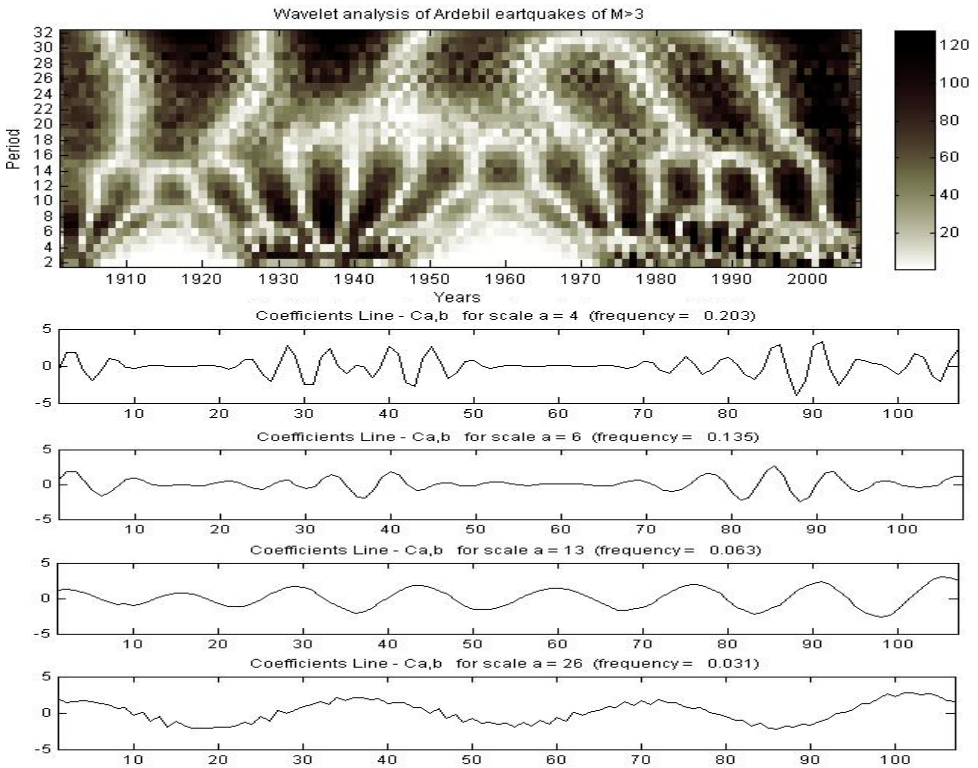




شکل(۲): آنالیز موجک و نمودارهای همبستگی حاصله از داده زلزله‌های بزرگ مقیاس در آذربایجان غربی



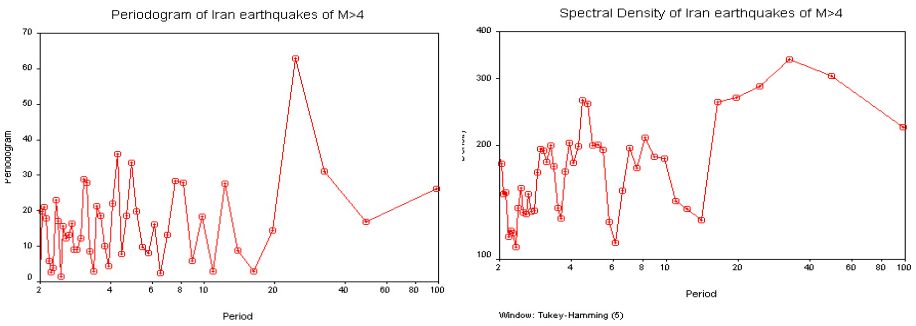
شکل(۳): آنالیز موجک و نمودارهای همبستگی حاصله از داده زلزله‌های بزرگ مقیاس در آذربایجان شرقی



شکل(۴): آنالیز موجک و نمودارهای همبستگی حاصله از داده زلزله‌های بزرگ مقیاس در اردبیل

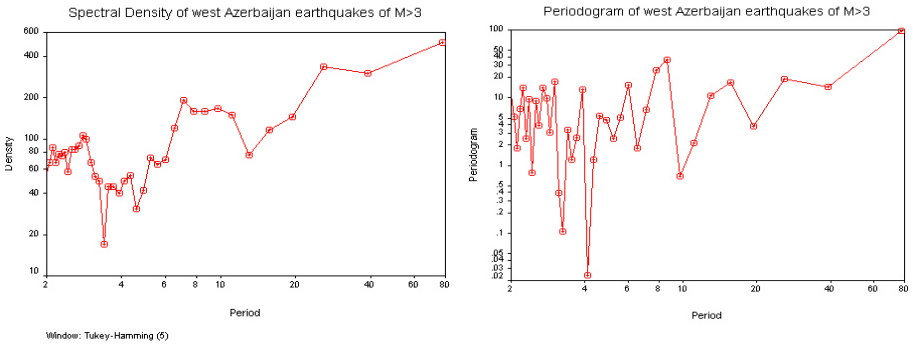
بررسی آنالیز موجک و خطوط همبستگی حاصل در هر سه منطقه گویای وجود چرخه‌های زمانی مشابه با چرخه‌های زمانی وقوع زلزله‌های کل ایران است؛ بدین ترتیب که شدت و فراوانی زلزله‌های شدید در هر سه منطقه از چرخه‌های ۴، ۶، ۱۳-۱۵ و ۲۶-۲۷ ساله برخوردارند. ظهور این چرخه‌ها نشان می دهد که وقوع زلزله‌ها، چه در مقیاس بزرگ مانند کل ایران و چه در مقیاس منطقه ای مانند آذربایجان، کم و بیش تابع الگوی رفتاری معینی است. به عبارت دیگر، طبق این بررسی مشخص گردید که تغییرات زمانی زلزله‌های شدید جدا از تغییرات مکانی، ویژگی‌های رفتاری مشترکی را به خود اختصاص می دهند. به منظور تشخیص دقیق فرکانس‌های اصلی و فرعی در زمان وقوع زلزله‌های ایران و آذربایجان و همچنین شدت وقوع آنها طی این دوره‌های زمانی، از آنالیز طیفی و

انواع آن استفاده شده است. شکل شماره ۵ دوره نگار(دوره غالب) و تراکم طیفی(شدت) زلزله‌های ایران را نشان می دهد.

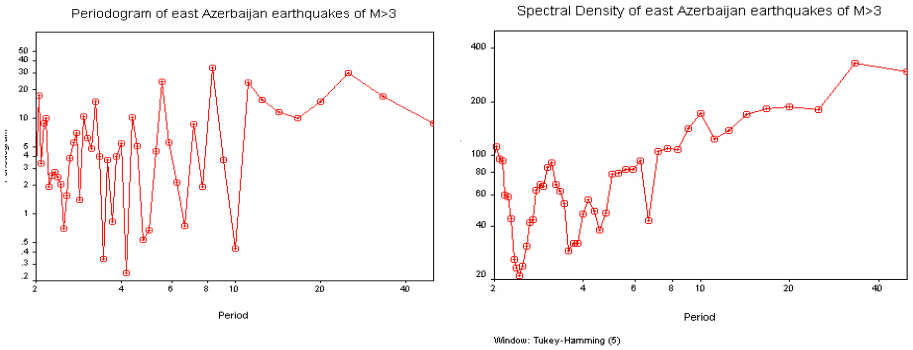


شکل (۵): دوره نگار و تراکم طیفی زلزله‌های بزرگ مقیاس در ایران

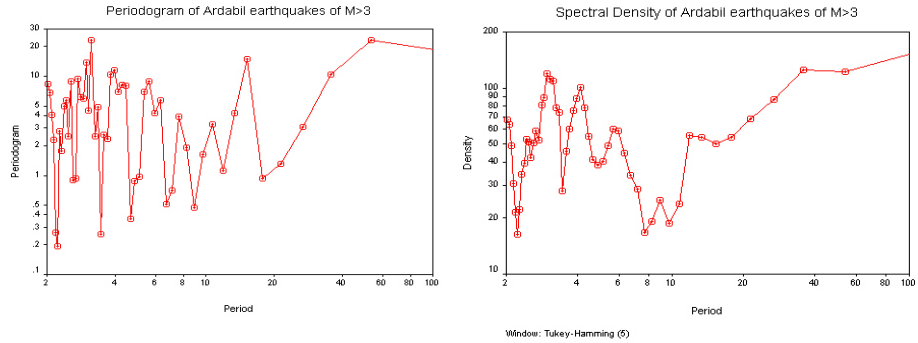
آنالیز طیفی زلزله‌ها در ایران نشان داد که زلزله‌های بزرگ عمدتا طی دوره ۲۰-۲۷ رخ می دهند. البته دوره‌های فرعی دیگر نیز طی دوره‌های ۴، ۸، ۱۰ و ۳۳ ساله در وقوع زلزله‌ها قابل تشخیص هستند که از شدت کمتری برخوردارند. به همین ترتیب شکل ۵ نشان دهنده دوره نگار و تراکم طیفی زلزله‌ها آنالیز طیفی زلزله‌ها در ایران نشان داد که زلزله‌های بزرگ عمدتا طی دوره ۲۰-۲۷ رخ می‌دهند. البته دوره‌های فرعی دیگر نیز طی دوره‌های ۴، ۸، ۱۰ و ۳۳ ساله در وقوع زلزله‌ها قابل تشخیص هستند که از شدت کمتری برخوردارند. شکل ۶ نتیز نشان دهنده دوره نگار و تراکم طیفی زلزله‌ها در آذربایجان غربی، شکل ۷ نشان دهنده دوره نگار و تراکم طیفی زلزله‌ها در آذربایجان شرقی و شکل ۸ نشان دهنده دوره نگار و تراکم طیفی زلزله‌ها در اردبیل هستند.



شکل(۶): دوره نگار و تراکم طیفی زلزله‌های بزرگ مقیاس در آذربایجان غربی



شکل(۷): دوره نگار و تراکم طیفی زلزله‌های بزرگ مقیاس در آذربایجان شرقی



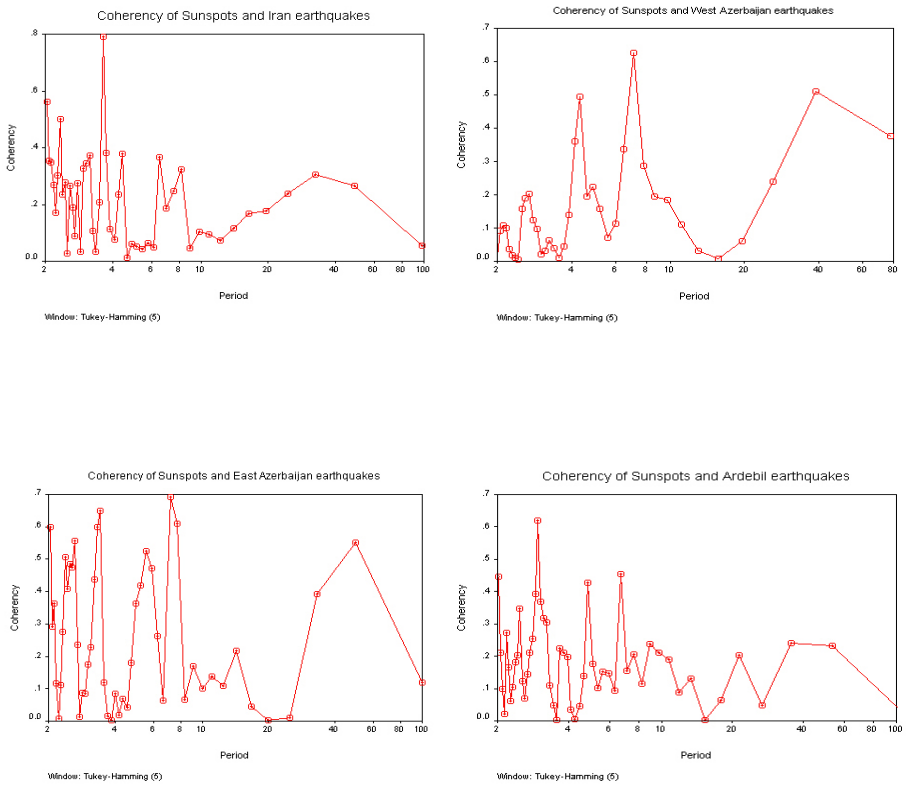
شکل(۸): دوره نگار و تراکم طیفی زلزله‌های بزرگ مقیاس در اردبیل

۶-۲- ارزیابی تغییرات زمانی زلزله‌های ایران و آذربایجان در ارتباط با تغییر فعالیت لکه‌های خورشیدی:

وجود ویژگی مشترک در تغییرات زمانی پدیده‌ها، از جمله وقوع زلزله‌ها در مکانهای مختلف، گویای وجود حداقل یک عامل تاثیرگذار مشترک در تغییرات آنهاست. شواهد نشان می دهند تغییر فعالیت‌های خورشیدی به عنوان تنها عامل تاثیرگذار مشترک محسوب می گردد که قادر است در مقیاس بزرگ و جهانی، تغییرات زمانی مشخص و منظمی را در وقوع زلزله‌ها و همچنین سایر پدیده‌های طبیعی پدید آورد. به منظور دستیابی به هدف نهایی این پژوهش - که همانا بررسی چگونگی رفتارهای زمانی زلزله‌های بزرگ ایران و آذربایجان نسبت به فعالیت لکه‌های خورشیدی است - در این بخش از روش آنالیز طیفی متقاطع(دو متغیره) و انواع مختلف آن استفاده گردید. شکل ۹ نمودار پیوستگی این دو متغیر را به ترتیب از چپ به راست در سطح کل ایران، آذربایجان غربی، شرقی و اردبیل نشان می دهد.

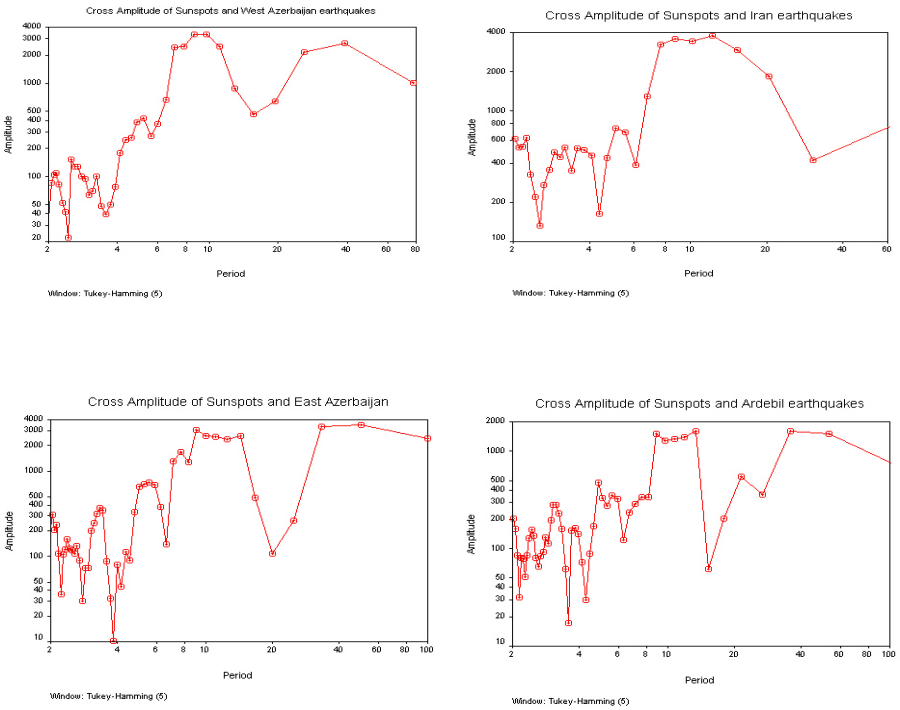
در این نمودارها، دوره زمانی غالب و مشترک در تغییرات دو متغیر به طور بارزی نشان داده شده است. منظور از دوره زمانی غالب و مشترک، دوره‌های همزمانی (پیوستگی) فعالیت لکه‌های خورشیدی و وقوع زلزله‌ها در ایران است. بر این اساس، الگوی وقوع زلزله‌ها و لکه‌های خورشیدی از نظر زمانی مصادف با دوره‌های ۴، ۶-۷، ۸ و ۱۹-۲۰ ساله است؛ که در واقع طیف وسیعی از دوره‌های زمانی را از دوره ۴ ساله گرفته تا دوره‌های ۱۹-۲۰ ساله در بر می گیرد. دوره‌های مزبور با دوره‌های اصلی و فرعی موجود در چرخه لکه‌های خورشیدی منطبق و همزمان هستند. بررسی الگوی رفتاری زلزله‌های منطقه آذربایجان در ارتباط با فعالیت لکه‌های خورشیدی نشان داد که وقوع زلزله‌ها در این بخش از کشور نیز از چرخه زمانی مشابه با چرخه زمانی زلزله‌های کل ایران تبعیت می کند. با استناد به نمودارهای حاصل، دوره‌های غالب و مشترک بین دو متغیر در منطقه آذربایجان غربی، شامل دوره‌های ۳، ۴، ۷، ۱۰-۱۳ و ۲۶ ساله، در آذربایجان شرقی، شامل دوره‌های ۳-۴، ۵-۶، ۷-۸ و ۱۰-۱۵ ساله و در اردبیل شامل

دوره‌های ۳-۴، ۶، ۹-۱۰ و ۲۲ ساله می باشند. مقایسه این الگوهای همزمانی در وقوع زلزله‌های منطقه آذربایجان، حاکی از تبعیت آشکار این تغییرات از الگوی زمانی زلزله‌های کل ایران و نهایتا چرخه لکه‌های خورشیدی است.



شکل(۹): دوره زمانی مشترک بین لکه‌های خورشیدی و زلزله‌های بزرگ مقیاس در ایران، آذربایجان غربی، شرقی و اردبیل(به ترتیب از چپ به راست)

میزان و شدت همبستگی بین دوره‌های زمانی مذکور در وقوع زلزله‌ها و لکه‌ها با استفاده از روش آنالیز طیفی(شدت همبستگی) برای کل ایران و منطقه آذربایجان در شکل ۱۰ نشان داده شده است.



شکل(۱۰): آنالیز طیفی شدت همبستگی بین لکه و زلزله‌های بزرگ مقیاس در ایران، آذربایجان غربی، شرقی و اردبیل(به ترتیب از چپ به راست)

بر این اساس، به سهولت می توان میـزان و شـدت همبسـتگی بـین دو متغیـر را در دوره‌های زمانی غالب شناسایی کرد. در مجموع، کلیه نمودارها گویای افزایش شـدت و میزان همبستگی بین دو متغیر طی دوره‌های زمانی ۸-۱۵ ساله به طـور مشـترک در کـل ایران و منطقه آذربایجان هستند.

محاسبات آماری همبستگی بین لکه‌های خورشیدی و زلزله‌ها طی دوره‌های زمـانی ۰، ۴، ۶، ۸ و ۱۳ ساله که در کلیه ایستگاه‌ها مشـترک هسـتند، در جـدول شـماره ۱ ارائـه می‌گردد. نتایج مذکور تاییدی دیگر بر این همزمانی و معنی دار بودن همبستگی‌هاست.

جدول (۱): میزان ضریب همبستگی و سطح معنی داری بین دو متغیر زلزله‌ها و تعداد لکه‌های خورشیدی در ایران و منطقه آذربایجان

نواحی مورد مطالعه	متغیر وابسته	متغیر مستقل	ضریب همبستگی	سطح معنی‌داری
کل ایران	زلزله‌ها(۴)	لکه‌ها(۴)	۰/۷۹۶	۰/۰۱
	زلزله‌ها (۶)	لکه‌ها(۶)	۰/۸۹۱	۰/۰۱
	زلزله‌ها (۸)	لکه‌ها(۸)	۰/۹۲۵	۰/۰۱
	زلزله‌ها (۱۳)	لکه‌ها(۱۳)	۰/۹۴۲	۰/۰۱
آذربایجان غربی	زلزله‌ها (۴)	لکه‌ها(۴)	۰/۴۷۵	۰/۰۵
	زلزله‌ها (۶)	لکه‌ها(۶)	۰/۷۲۱	۰/۰۱
	زلزله‌ها (۸)	لکه‌ها(۸)	۰/۷۸۰	۰/۰۱
	زلزله‌ها (۱۳)	لکه‌ها(۱۳)	۰/۸۳۶	۰/۰۱
آذربایجان شرقی	زلزله‌ها (۴)	لکه‌ها(۴)	۰/۲۷۱	۰/۰۰
	زلزله‌ها (۶)	لکه‌ها(۶)	۰/۴۱۲	۰/۰۵
	زلزله‌ها (۸)	لکه‌ها(۸)	۰/۵۷۴	۰/۰۱
	زلزله‌ها (۱۳)	لکه‌ها(۱۳)	۰/۷۰۷	۰/۰۱
اردبیل	زلزله‌ها (۴)	لکه‌ها(۴)	۰/۹۷۴	۰/۰۱
	زلزله‌ها (۶)	لکه‌ها(۶)	۰/۳۸۲	۰/۰۰
	زلزله‌ها(۸)	لکه‌ها(۸)	۰/۴۹۷	۰/۰۵
	زلزله‌ها(۱۳)	لکه‌ها(۱۳)	۰/۷۷۸	۰/۰۱

نتایج محاسبات همبستگی نشان داد که مقادیر همبستگی در دوره‌های غالب و مشترک بین دو متغیر به حداکثر مقدار خود می‌رسد؛ بدین مفهوم که بین افزایش تعداد لکه‌های خورشیدی طی دوره‌های زمانی مذکور با افزایش فراوانی وقوع زلزله‌های شدید در کل ایران و منطقه آذربایجان رابطه تنگاتنگ و مثبت معنی داری با ضرایب همبستگی بالا وجود دارد. لذا همزمانی بین این دو متغیر از لحاظ آماری نیز کاملاً تایید می‌گردد.

۷- نتیجه گیری

یافته‌های این تحقیق اطلاعاتی را در ارتباط با احتمال تاثیرگذاری فعالیت‌های خورشیدی بر وقوع زلزله‌های بزرگ مقیاس در ایران و آذربایجان به دست داد. این یافته‌ها بیانگر تاثیرگذاری عامل مشترکی به نام فعالیت‌های خورشیدی در وقوع زلزله‌هاست که در راستای نتایج سایر پژوهشهای انجام شده در مناطق دیگر کره زمین است. با پذیرفتن تعمیم یافته‌های سایر پژوهشهایی که در این زمینه انجام گرفته اند، در مطالعه حاضر نیز به ارزیابی احتمال این تاثیرگذاری در وقوع زلزله‌های ایران و آذربایجان پرداخته شد. با شناسایی الگوی زمانی غالب در وقوع زلزله‌ها در ایران و آذربایجان و همچنین الگوی این تغییرات در ارتباط با چرخه فعالیت لکه‌های خورشیدی، یافته‌های پژوهشهای موجود در این زمینه با آنچه در پژوهش حاضر به دست آمد، مغایرتی نشان نمی دهند.

نتایج حاصل نشان می‌دهند که تغییرات زمانی وقوع زلزله‌های ایران و آذربایجان از یک الگوی زمانی مشخص و منظم و تا حدودی یکسان تبعیت می کنند. این تغییرات زمانی منظم با چرخه فعالیت لکه‌های خورشیدی نیز هماهنگی زیادی دارند. شایان ذکر است که هرچند زمان وقوع زلزله‌ها و لکه‌های خورشیدی در نواحی مورد مطالعه دارای همبستگی بسیار بالایی هستند، اما به دلیل ناشناخته بودن مکانیزم این تاثیرگذاری به هیچ وجه نمی توان فرض کرد که چون رابطه بین دو متغیر زیاد است علت وجودی یکی از متغیرها دلیلی بر وقوع متغیر دیگری باشد. روشن است که فرایند وقوع زلزله‌ها و پارامترهای مؤثر بر وقوع آنها، بسیار پیچیده تر از آن است که بتوان با تکیه بر این نتایج و اطمینان کامل ادعا کرد که فعالیت‌های خورشیدی تنها عامل مؤثر بر وقوع زلزله‌ها هستند. پس فعالیت‌های خورشیدی به عنوان یکی از عوامل مؤثر بر وقوع زلزله‌ها منظور می شوند که قادرند در درازمدت و در تلفیق با سایر عوامل، سبب بروز زلزله‌های شدید در نقاط مختلف کره زمین گردند. با توجه به اینکه نتایج بدست آمده از بررسی الگوی رفتاری زلزله‌ها در ایران و آذربایجان نسبت به فعالیت‌های خورشیدی، مطابق با نتایج

حاصل از مطالعات مشابهی هستند که در نقاط مختلف انجام گرفته اند، مـی تـوان چنـین نتیجه گیری کرد که رخداد زلزله‌ها، چه در ایران و آذربایجان و چه در کل کره زمـین، مستقل از تاثیر فعالیت‌های خورشیدی نبوده و به عبارتی، بـین ایـن دو پدیـده رابطـه ای هرچند ناشناخته وجود دارد. بنابراین، تاثیر فعالیت‌های خورشیدی در تغییرات زمانی وقوع زلزله‌های بزرگ مقیاس ایران و آذربایجان هر چند در سطح اطمینان بالا رد نمی شود، اما از سوی دیگر، به دلیل عدم شناخت کامل عملکرد بین این دو متغیـر، بـه صـورت ۱۰۰ درصد نیز نمی توان آن را پذیرفت، بلکه باید به این نتایج به عنوان یک احتمال (احتمـال بالا) توجه کرد. پژوهش حاضر، تنها به بررسی تغییرات زمـانی و الگـوی رفتـاری ایـن تغییرات نسبت به فعالیت لکه‌های خورشیدی پرداختـه اسـت. بـدیهی اسـت کـه انجـام مطالعات بیشتر، وارد کردن سایر متغیرهای ژئوفیزیک در مطالعات و همچنـین، بررسـی این موضوع از دیدگاه‌های مختلف و با استفاده از تکنیک‌های متعـدد و مناسـب، جهـت دستیابی به نتایج مطلوب و دقیق بسیار ضروری و اجتناب ناپذیر است.

منابع

۱- امینی، الهام. (۱۳۸۴). «تبیین مفهوم بافت شهری و نقش آن درکاهش خطرات ناشی از زلزله»، **مجموعه مقالات کنفرانس بین المللی مخاطرات زمین**، بلایای طبیعی و راهکارهای مقابله با آنها، دانشگاه تبریز، ۵ تا ۷ مهرماه ۱۳۸۴.

۲- انزابی، علی. (۱۳۸۴). «نگرشی بر زلزله خیزی شمال‌غرب ایران»، **مجموعه مقالات کنفرانس بین المللی مخاطرات زمین، بلایای طبیعی و راه کارهای مقابله با آنها**، دانشگاه تبریز، ۵ تا ۷ مهرماه ۱۳۸۴.

۳- جهانبخش، سعید و معصومه عدالت دوست. (۱۳۸۷). «تاثیر فعالیت‌های خورشیدی بر تغییرات بارندگی‌هـای سـالانه ایران»، **فصلنامه تحقیقات جغرافیایی**، سال بیست و سوم، شماره ۱.

۴- رجائی، عبدالحمید. (۱۳۸۲). **کاربرد جغرافیای طبیعی در برنامه ریزی شهری و روستائی، تهران**، انتشارات سمت.

۵- عزیزی، قاسم. (۱۳۸۳). تغییر اقلیم، تهران، نشر قومس.

۶- علائی طالقانی، محمود. (۱۳۸۴). **ژئومورفولوژی ایران**، تهران، نشر قومس.

7-Arcangelis,L.de.,Godano,C.,Lippiello,E.,Nicodemi,M.(2006): Universality in Solar Flare and Earthquake Occurrence, Physical Review Letters,96.

8- Araya E., Bonatti J. and Fernandez W. (2000): Solar activity and climate in Central America, Geofisica Internacional, vol.39,Num.1,pp.97-101.

9- Beer,J., Vonmoos,M.,Muschler,R.(2006): Solar Variability over the Past Several Millenna, Space Science Reviews, Springer Ltd.

10- Chen,Yuh-ing.,Liu,Jann-Yeng.,Tsai,Yi-Ben. and Chen,Chun-Shu (2004): Statistical Tests for Pre-earthquake Ionospheric Anomaly, TAO,Vol.15,No.3,pp.385-396.

11- Cary (1999): SAS/ETS User's Guide, version 8, NC; SAS Institute Inc.,1999, 1546 PP

12- Duma,G.,and Ruzhin,Y. (2002): Diurnal Changes of Earthquake Activity and Geomagnetic sq-Variations, Natural Hazards and Earth Systems Sciences, 3:pp.171-177.

13- Enescu,D.,and Enescu,B.D. (1998): Possible Cause-effect Relationships Between Vrancea(Romania) Earthquakes and Some Global Geophysical Phenomena, Natural Hazards,19:pp.233-245.

14- Fujinawa,Yukio., Takahashi, Kozo. (1996): Electromagnetic Radiations Associated with Major Earthquakes, Physics of the Earth and Planetary Interios, Elsevier Science,pp. 249-259.

15-Grinsted, A., Moore, J.C., and Jevrejeva, S., (2004): Application of the cross wavelet transform and wavelet coherence to geophysical time series, Nonlinear Processes in Geophysicsw, 11:561-566.

16-Kumar, P., and Foufoula-Georgiou, E., (1997): Wavelet analysis for geophysical applications, Ameroican Geophysical Union, 35(4):385-412.

17- Kosovichev,A.G. (2006): Properties of Flares-Generated Seismic Waves on the Sun, Solar Physics, Springer Ltd,238:pp.1-11.

18- Liu, J.Y., Chen, C.H., Chen, Y.I., Yen,H.Y., Hattori,K., Yumoto, K. (2006): Seismo-Geomagnetic Anomalies and M>5.0 Earthquakes Observed in Taiwan During 1988-2001,Physics and Chemistry of the Earth, Elsevier Science, 31:pp.215-222.

19- Liperovskaya,E.V., Meister, C.V., Pokhotelov, O.A., Parrot,M., Bogdanov, V.V., and Vasileva,N.E. (2006): On Es-Spread Effects in the Ionosphere Connected to Earthquakes, Nat.Hazards Earth Syst.Sci.,6:pp.741-44.

20- Liperovsky, V.A., Pokhotelov, O.A. Meister, C.V., and Liperovskaya,E.V. (2007): On Recent physical Models of Lithosphere-Atmosphere-Ionosphere Coupling before Earthquakes, Nat.Hazards Earth Syst.Sci., 2007.

21- Mukherjee,S. and Mukherjee,A. (2002): Change in Magnetic Field: An Early Warning System to Understand Seismotectonics, Potsdam thinkshop poster proceeding, pp:139-142.

22- Mursula,K. and Zieger, B. (2001): Long-term North-South Asymmetry in Solar Wind Speed Inferred from Geomagnetic Activity: A New Type of Century-Scale Solar Oscillation, Geophysical Research Letters,Vol.28, No.1,pp. 95-98.

23-Moore, J., Grinsted, A., and Jevrejeva, S., (2006): Is there evidence of sunspot forcing of climate of multi-year and decadal periods?, Geophyysical Research Letters, Vol.33.

24-Maekawa, S., Horie, T., Yamauchi, T., Sawaya, T., Ishikawa, M., Hayakawa, M., and Sasaki, H. (2006): A statistical study on the Effect of Earthquakes on the Ionosphere, Based on the Subionospheric LF Propagation Data in Japan, Ann.Geophys., 24:pp.2219-2225.

25- Mukherjee, S., and Kortvelyessy,L. (2005): Sudden Fluctuation in Kp Triggers Earthquakes and Tectonics, Geophysical Research Science, Vol.7.

26- Novopashina, A.V., Sunkev, V.A., and Buddo, V.Yu (2007): Spatio-Temporal variations of Earthquake Epicentral Field of the Baikal Rift System, 50^{th} Anniversary Earthquake Conference Commemorating the 1957 Gobi-Altay Earthquake.

27- Shaltout, M.A.M., Tadros, M.T.Y., Mesiha, S.L. (1998): Power Spectra Analysis for World-Wide and North Africa Historical Earthquakes Data in Relation to Sunspots Periodicities, Renewable Energy 17, Elsevier Science Ltd.

28- Silina, A.S., Liperovskaya, E.V., Liperovsky, V.A., and Meister, C.V. (2001): Ionospheric Phenomena before Strong Earthquakes, Nat.Hazards Earth Syst.Sci. 1:pp.113-118.

29- Saghatelyan, E.A., Aghbalyan, Yu.G., Baburyan, M.G., Asmaryan, H.G. (2006): Solar Eruption as Triggers of Earthquakes, Geophysical Research Science, Vol.8.

30- Santos Celso A. G., de.Galvo Carlos, Suzuki Koichi and TriGo Ricardo M. (2001): Mastsuyama City Rainfall Data Analysis Using Wavelet Transform, Annual Journal of the Hydraulic Engineering, Vol. 45.

31- SAS/ETS User's Guide, version 8, Cary, NC; SAS Institute Inc.,1999, 1546 PP.

32- Zhongrui, W., Feng, s., Maocang, T. (2003): A Relationship Between Solar Activity and Frequency of Natural Disasters in China, Advances in Atmospheric Science, Vol.20, No.6, pp:934-939.

33-Torrence, C., Compo, G.P., (1998): A practical guide to wavelet analysis, Bull, AM.Meteorol.Soc. 79, PP: 61-78.