



دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده علوم زمین

پایان نامه کارشناسی ارشد زمین شناسی

گرایش زیست ممیطی

پیش بینی زلزله با استفاده از پیش نشانگر های

هواشناسی و سنجش از دور در ایران

نگارش:

قاسم عسگری

اساتید راهنما:

دکتر ناصر مافظی مقدس

دکتر محمد رضا رمیمی تبار

اساتید مشاور:

دکتر احمد ادیب

مهندس پرویز رضا زاده

بهار ۱۳۸۵



تقدیم به

آنانکه دست یاری به من دادند تا از کودکی سرد به جوانی گرم و بی منتها هدایت شوم و تقدیمی ناچیز به سرمای گرم **پدر** و به گرمای گرم **مادر** که بود و نبود این حقیر از دعا‌های خیر این دو بزرگوار و خانواده دلسوزم بوده است.

و

تقدیمی سبز به بازماندگان ۱۶۰۰۰۰ نفر جانباخته زلزله در ۱۰۰ سال اخیر در کشور و کودکان بی سرپرست زلزله بم.

و

پیشکش به هواداران محیط زیست.

پس از اتمام این دوره سفت و طاقت فرسا اما سرافراز، بر فود لازم میدانم همت بلند دارم تا رفع غم از چهره ای غمناک کنم و به بلندای وجود دست یابم تا شاید زیستن فود را جشن بگیرم.

تقدیر و تشکر

سپاس خدای را که لطف بی کران دریای محبتش بر این حقیر جاری داشت و از گنجینه صبر خود مرا تحفه فرستاد تا نور هدایتش در سختی ها مرا دستگیری نماید.

بی شک در این مسیر سخت و طاقت فرسا، لطف عزیزانی که هرکدام باری از سنگینی کار را از دوش این حقیر برداشته اند، مورد قبول حق تعالی قرار خواهد گرفت. بنده هم در قالب کلماتی ناچیز برخاسته از جان، زحمات این بزرگواران را که به ذکر نام اکتفا شده است، ارج می نهیم.

جناب آقای دکتر ناصر حافظی مقدس از لحظه شروع تا انتها، راهنمایی اول علمی و عملی کار را بر عهده داشته اند. بی شک کمک و خلاقیت های فردی ایشان بر نقاط قوت پایان نامه حاضر افزوده است.

جناب آقای دکتر محمدرضا رحیمی تبار راهنمایی دوم تحقیق را با استقبال گرم پذیرا شدند و تا سرانجام، کمک های ارزنده ای را در تسریع روند کار ارائه داشتند.

آقایان دکتر احمد ادیب و مهندس پرویز رضازاده مشاوره های ارزنده ای برای ارتقای سطح علمی پایان نامه حاضر ارائه نموده اند و از هیچ کمکی فروگذار نکرده اند

اساتید بزرگوار آقایان دکتر پرویز امیدی و دکتر سید کاظم علوی پناه، داوری این تحقیق را بر عهده داشتند و نکات علمی ارزنده ای را به این حقیر گوشزد نمودند که راهگشای آینده کار خواهد بود.

آقایان دکتر آزادی، مهندس انصاری، مهندس صالح فرد، دکتر فردوست، دکتر سراجیان، دکتر سلیمانی، هر کدام به نوبه خود برای رفع مشکلات علمی و اجرایی مسیر کار تلاش پر اجری را ارائه داشته اند. همچنین مهندس اکبری مقدم، مهندس اشراقی، مهندس امیری دلویی، مهندس صابونی، مهندس خانعلی زاده، مهندس اکبری شمسی خان و مهندس حاجی زاده، مهندس درختی و مهندس اسماعیلی و مهندس آریافر هر کدام در ابعاد علمی و عملی به اینجانب کمک های شایان توجهی تقدیم داشته اند. آقای شاه حسینی و خانم سعیدی مسائل آموزشی پایان نامه را عهده دار بودند.

معاونت پژوهشی سازمان هواشناسی کشور برخی از هزینه های سنگین مالی پایان نامه حاضر را تقبل نمودند.

سازمان فضایی ایران نیز بخش عمده تصاویر ماهواره ای مورد نیاز طرح تحقیق را به صورت رایگان در اختیار ما قرار دادند. بی شک همکاری دیگر ارگانهای دولتی بخشی دیگر از مشکلات مسیر کار را حل نموده است.

با تشکر سبز
قاسم عسکری
بهار ۱۳۸۵

چکیده

یژوهش حاضر، تحت عنوان « پیش بینی زلزله با استفاده از پیش نشانگر های هواشناسی و سنجش از دور در ایران» به بررسی محدودیت ها و قابلیت های پیش بینی زلزله با استفاده از پیش نشانگر های هواشناسی و سنجش از دور در ایران پرداخته است. هدف اصلی از مطالعه حاضر، کاربرد اطلاعات سنجده های حرارتی (تغییرات تشعشعی) برای پیش بینی زلزله می باشد. بر اساس بررسی های انجام شده، زلزله $ML=5.1$ ریشتری ۲۳ مهر ماه ۱۳۸۳ راور کرمان جهت مطالعه انتخاب گردید. مطالعات ثبت تغییرات تشعشعی با سه مدل آرایه مربعی، آرایه مستطیلی و آرایه مربعی زمین شناسی انجام پذیرفته است

نتایج تحقیق حاضر نشان می دهد که (۱) داده های شب هنگام باند ۴ ماهواره (سنجنده NOAA AVHRR)، به منظور ثبت تشعشعات غیر عادی مناسب می باشد. (۲) مدل آرایه مربعی زمین شناسی (GeoROI) نسبت به دو مدل آرایه مربعی و مستطیلی از قابلیت بهتری در ثبت تغییرات بر خوردار است. (۳) زمین شناسی و تکتونیک منطقه، نقش مهمی در انتقال امواج حرارتی به سطح زمین دارد. بطوریکه سنگهای آذرین (بخصوص سنگهای گرانیتی) موجود در حاشیه گسل ها، بیشترین آنومالی تشعشعی قبل از زلزله ۱۳۸۳ راور را به خود اختصاص می دهند.

فصل اول- کلیات

۱-۱- مقدمه.....	۱
۲-۱- مروری بر لرزه خیزی و اهمیت پیش بینی زلزله در ایران.....	۳
۳-۱- مدیریت بحران زلزله در ایران.....	۱۳
۱-۳-۱- عدم مقاومت سازه ها.....	۱۴
۲-۳-۱- عدم آمادگی سازمانهای مسئول (مدیریت نادرست بحران).....	۱۶
۳-۳-۱- عدم آمادگی مردم در برابر بحران زلزله.....	۱۸
۴-۱- منطقه مطالعاتی.....	۱۹
۵-۱- روش کار.....	۲۱
۶-۱- انواع روشهای پیش بینی زلزله.....	۲۱

فصل دوم- پیش نشانگرهای زلزله و روشهای پیش بینی زلزله

۱-۲- مقدمه.....	۲۵
۲-۲- پیش نشانگرهای زلزله و تئوری های پیش بینی زلزله.....	۲۶
۱-۲-۲- پیش لرزه ها.....	۲۷
۲-۲-۲- تئوری بازگشت زلزله ها.....	۲۸
۳-۲-۲- تئوری نبود لرزه ای.....	۳۱
۴-۲-۲- اتساع پذیری.....	۳۱
۵-۲-۲- تغییر در نسبت سرعت موج P به S.....	۳۲
۶-۲-۲- نسبت پاسخ بارگذاری به بار برداری (LURR).....	۳۳
۷-۲-۲- مشاهدات خزش گسل.....	۳۴
۸-۲-۲- کج شدگی زمینی.....	۳۵
۹-۲-۲- مشاهدات ثقل سنجی (گرانی).....	۳۵
۱۰-۲-۲- تغییر تراز سطح دریا.....	۳۵
۱۱-۲-۲- پیش نشانگرهای آبشناختی.....	۳۶
۱۲-۲-۲- پیش نشانگرهای الکترو مغناطیسی و مغناطیسی.....	۳۷
۱-۱۲-۲-۲- آنومالی های حرارتی.....	۴۴
۲-۱۲-۲-۲- روش Q&D چین.....	۴۸
۳-۱۲-۲-۲- ابرهای زلزله.....	۴۸
۴-۱۲-۲-۲- فوران زمین گرمایی.....	۵۱
۵-۱۲-۲-۲- نورهای زلزله.....	۵۲
۶-۱۲-۲-۲- نويز استاتیک.....	۵۳

۵۳ ۲-۲-۱۲-۷- نور تویی

فصل سوم- روش انجام مطالعات و تهیه بانک اطلاعاتی

۵۴ ۱-۳- مقدمه

۵۴ ۲-۳- انتخاب زلزله

۵۷ ۳-۳- روش انتخاب داده های مناسب ماهواره ای جهت مطالعه

۶۴ ۴-۳- روش تحلیل لایه های قابل پردازش

۶۴ ۱-۴-۳- مدل آرایه مربعی

۶۶ ۲-۴-۳- مدل آرایه مستطیلی

۶۶ ۳-۴-۳- مدل آرایه های مربعی زمین شناسی

فصل چهارم- تجزیه و تحلیل نتایج حاصل از سه مدل آرایه مربعی، آرایه مستطیلی و آرایه مربعی زمین شناسی

۷۲ ۱-۴- مقدمه

۷۳ ۲-۴- نتایج حاصل از تحلیل با استفاده از مدل آرایه مربعی

۷۶ ۳-۴- نتایج حاصل از تحلیل با استفاده از مدل آرایه مستطیلی

۷۶ ۱-۳-۴- بررسی تغییرات مقادیر میانگین تشعشی با فاصله

۷۹ ۲-۳-۴- بررسی تغییرات مقادیر مینیمم تشعشی با فاصله

۸۲ ۳-۳-۴- بررسی تغییرات مقادیر ماگزیمم تشعشی با فاصله

۸۴ ۴-۳-۴- تحلیل مقادیر انحراف معیار با فاصله

۸۵ ۵-۳-۴- تحلیل اختلاف مقادیر میانگین

۸۷ ۶-۳-۴- تحلیل مقادیر میانگین، ماگزیمم و مینیمم در بعد زمان و مکان

۹۱ ۴-۴- تحلیل آرایه های مربعی زمین شناسی (GeoROI)

۹۱ ۱-۴-۴- تحلیل نمودارهای MMMS

۹۷ ۲-۴-۴- تحلیل استک هیستوگرام های فراوانی

۱۰۴ ۳-۴-۴- تحلیل شاخص مقادیر FWHM یا پهنای هیستوگرام در نصف پیک

۱۰۷ ۴-۴-۴- تحلیل تصویر سه بعدی ماتریس همبستگی

۱۱۴ ۵-۴- استخراج مناطق با بیشترین آنومالی تشعشی ناشی از زلزله منطقه مورد مطالعه با استفاده از اصلاح اثر زمین شناسی (سنگ شناسی)

۱۱۸ ۶-۴- بررسی آنومالی های تشعشی تصاویر ماهواره ای اصلاح شده

فصل پنجم- نتیجه گیری

شماره صفحه	فهرست مطالب
۱۲۷.....	۱-۵- چکیده ای از نتایج تحلیل ها
۱۲۸.....	۲-۵- کاربرد نتایج
۱۲۸.....	پیشنهادات
۱۳۰.....	منابع و مراجع

- شکل ۱-۱- نمودار تعداد رخداد زلزله در استانهای مختلف کشور در بازه زمانی ۱۹۰۰ تا ۲۰۰۰..... ۴
- شکل ۱-۲(الف)- تعداد رخداد زلزله مخرب در دهه های اخیر در جهان..... ۶
- شکل ۱-۲(ب)- تعداد زلزله با بیش از ۱۰۰۰ نفر کشته در دهه های اخیر در جهان..... ۷
- شکل ۱-۳- تعداد زلزله مخرب در قرن ۲۰ در کشور های لرزه خیز جهان..... ۷
- شکل ۱-۴- تعداد زلزله با بیش از ۱۰۰۰ نفر کشته در قرن ۲۰ در کشور های لرزه خیز جهان..... ۷
- شکل ۱-۵- تعداد زلزله های با بیش از ۱۰۰۰۰ نفر کشته در قرن ۲۰ در جهان..... ۸
- شکل ۱-۶- کل تلفات انسانی در قرن ۲۰ در کشور های لرزه خیز دنیا..... ۸
- شکل ۱-۷- درصد فراوانی خطر نسبی زلزله در شهرستانهای کشور..... ۸
- شکل ۱-۸- درصد ساکنین کشور که در معرض خطر های نسبی متفاوت قرار دارند..... ۹
- شکل ۱-۹- درصد ساخت و ساز های مختلف در کشور..... ۹
- شکل ۱-۱۰- نقشه گسل های مهم ایران و کانون زلزله مورد مطالعه که با دایره بزرگ نشان داده شده است..... ۲۰
- شکل ۱-۲- تغییر آهنگ تنجیدگی متوسط طی چرخه لرزه ای (میاچکین و همکاران، ۱۹۸۶)..... ۲۶
- شکل ۲-۲- تواتر پیشلرزه ها پیش از زلزله هایچینگ چین (ریکی تاکه، ۱۹۸۵)..... ۲۷
- شکل ۲-۳- نمودار تغییرات $\frac{1}{\%}$ پیش از زلزله لانگ لینگ چین (ریکی تاکه، ۱۹۸۵)..... ۳۲
- شکل ۲-۴- آنومالی LURR قبل از دو زلزله کوبه به بزرگی $\frac{7}{2}$ و توتوری به بزرگی $\frac{7}{3}$ ژاپن..... ۳۴
- شکل ۲-۵- تغییرات گرانی پیش از زلزله هایچینگ (زونگ جین و همکاران، ۱۹۹۰)..... ۳۵
- شکل ۲-۶- هدایت الکتریکی و حرارت آب در منطقه Bled در محدوده های زمانی قبل و بعد از رخداد های لرزه ای موجود در حوالی منطقه..... ۳۷
- شکل ۲-۷- تصاویر آنومالی حرارتی تهیه شده در شبهای قبل و بعد از زلزله بم..... ۴۷
- شکل ۲-۸- سری های زمانی ابر زلزله بم..... ۵۰
- شکل ۲-۹- ابر زلزله بم به همراه کانون زلزله گسل پیش بینی شده AB..... ۵۱
- شکل ۳-۱- مراحل شماتیک تعیین لایه های مناسب ماهواره ای جهت مطالعه رفتار تشعشی قبل از زلزله راور..... ۶۲
- شکل ۳-۲- موقعیت و نحوه قرار گیری ROI شماره ۱ تا ۸..... ۶۶
- شکل ۳-۳- موقعیت و نحوه قرار گیری ROI شماره ۱ تا ۹..... ۶۹
- شکل ۳-۴- موقعیت GeoROI ها بر روی تصویر ماهواره ای ایران..... ۷۱
- شکل ۴-۱- تغییرات مقادیر میانگین در مقابل فاصله از کانون زلزله برای شب های ۱ تا ۸..... ۷۴
- شکل ۴-۲- تغییرات مقادیر میانگین در مقابل فاصله از کانون زلزله برای شب های ۹ تا ۱۴..... ۷۴
- شکل ۴-۳- نمودار تغییرات مقادیر میانگین با فاصله برای منحنی متوسط شب های ۹ تا ۱۴..... ۷۵
- شکل ۴-۴- نمودار تغییرات مقادیر میانگین برای منحنی شب ۱۲..... ۷۵
- شکل ۴-۵- نمودار تغییرات مقادیر میانگین در برابر فاصله..... ۷۷
- شکل ۴-۶- نمودار تغییرات مقادیر میانگین در برابر فاصله..... ۷۷
- شکل ۴-۷- منحنی تغییرات متوسط مقادیر میانگین شب های ۹ تا ۱۴..... ۷۸
- شکل ۴-۸- منحنی تغییرات مقادیر میانگین در شب ۱۲ همراه با تابع لگاریتمی فیت شده بر تغییرات..... ۷۸
- شکل ۴-۹- نمودار تغییرات مقادیر مینیمم با افزایش فاصله از کانون برای شب های ۱ تا ۸..... ۸۰
- شکل ۴-۱۰- نمودار تغییرات مقادیر مینیمم در شب های ۹ تا ۱۴..... ۸۰

- شکل ۴-۱۱- نمودار تغییرات متوسط مقادیر مینیمم با افزایش فاصله..... ۸۱
- شکل ۴-۱۲- نمودار تغییرات مقادیر مینیمم در شب ۱۲ با فاصله..... ۸۱
- شکل ۴-۱۳- نمودار تغییرات مقادیر ماگزیمم در مقابل فاصله از کانون برای شب های ۱ تا ۸..... ۸۲
- شکل ۴-۱۴- نمودار تغییرات مقادیر ماگزیمم در مقابل فاصله از کانون برای شب های ۹ تا ۱۴..... ۸۳
- شکل ۴-۱۵- نمودار تغییرات مقادیر متوسط ماگزیمم در مقابل فاصله..... ۸۳
- شکل ۴-۱۶- نمودار تغییرات مقادیر ماگزیمم در شب ۱۲ با تغییر فاصله از کانون..... ۸۴
- شکل ۴-۱۷- نمودار تغییرات مقادیر انحراف معیار با فاصله برای کل دوره آماری..... ۸۵
- شکل ۴-۱۸- نمودار استوک مرز با لا و پایین مقادیر میانگین در کل دوره آماری..... ۸۶
- شکل ۴-۱۹- نمودار اختلاف مقادیر میانگین برای کل دوره آماری..... ۸۷
- شکل ۴-۲۰- نمودار بررسی پیوستگی تغییرات میانگین در شب های مختلف برای شعاع های متفاوت..... ۸۸
- شکل ۴-۲۱- نمودار تغییرات مقادیر میانگین برای شب های ۹ تا ۱۴ در شعاع های مختلف از کانون..... ۸۹
- شکل ۴-۲۲- نمودار تغییرات مقادیر ماگزیمم در شب های ۱ تا ۸..... ۸۹
- شکل ۴-۲۲- نمودار تغییرات مقادیر مینیمم در شعاع ها و روز های مختلف..... ۹۰
- شکل ۴-۲۳- نمودار تغییرات مقادیر مینیمم، ماگزیمم، میانگین و مثبت و منفی انحراف معیار در GeoROI شماره ۱ در کل دوره آماری..... ۹۲
- شکل ۴-۲۴- نمودار تغییرات مقادیر مینیمم، ماگزیمم، میانگین و مثبت و منفی انحراف معیار در GeoROI شماره ۲ در کل دوره آماری..... ۹۳
- شکل ۴-۲۵- نمودار تغییرات مقادیر مینیمم، ماگزیمم، میانگین و مثبت و منفی انحراف معیار در GeoROI شماره ۳ در کل دوره آماری..... ۹۴
- شکل ۴-۲۶- نمودار تغییرات مقادیر مینیمم، ماگزیمم، میانگین و مثبت و منفی انحراف معیار در GeoROI شماره ۴ در کل دوره آماری..... ۹۵
- شکل ۴-۲۷- نمودار تغییرات مقادیر مینیمم، ماگزیمم، میانگین و مثبت و منفی انحراف معیار در GeoROI شماره ۵ در کل دوره آماری..... ۹۵
- شکل ۴-۲۸- نمودار تغییرات مقادیر مینیمم، ماگزیمم، میانگین و مثبت و منفی انحراف معیار در GeoROI شماره ۶ در کل دوره آماری..... ۹۶
- شکل ۴-۲۹- نمودار تغییرات مقادیر مینیمم، ماگزیمم، میانگین و مثبت و منفی انحراف معیار در GeoROI شماره ۷ در کل دوره آماری..... ۹۶
- شکل ۴-۳۰- نمودار تغییرات مقادیر مینیمم، ماگزیمم، میانگین و مثبت و منفی انحراف معیار در GeoROI شماره ۸ در کل دوره آماری..... ۹۷
- شکل ۴-۳۱- نمودار تغییرات مقادیر مینیمم، ماگزیمم، میانگین و مثبت و منفی انحراف معیار در GeoROI شماره ۹ در کل دوره آماری..... ۹۷
- شکل ۴-۳۲- نمودار استک هیستوگرام فراوانی در GeoROI شماره ۱ در کل دوره آماری مورد مطالعه..... ۹۹
- شکل ۴-۳۳- نمودار استک هیستوگرام فراوانی در GeoROI شماره ۲ در کل دوره آماری مورد مطالعه..... ۹۹
- شکل ۴-۳۴- نمودار استک هیستوگرام فراوانی در GeoROI شماره ۳ در کل دوره آماری مورد مطالعه..... ۱۰۰
- شکل ۴-۳۵- نمودار استک هیستوگرام فراوانی در GeoROI شماره ۴ در کل دوره آماری مورد مطالعه..... ۱۰۱

- شکل ۴-۳۶- نمودار استک هیستوگرام فراوانی در GeoROI شماره ۵ در کل دوره آماری مورد مطالعه..... ۱۰۱
- شکل ۴-۳۷- نمودار استک هیستوگرام فراوانی در GeoROI شماره ۶ در کل دوره آماری مورد مطالعه..... ۱۰۲
- شکل ۴-۳۸- نمودار استک هیستوگرام فراوانی در GeoROI شماره ۷ در کل دوره آماری مورد مطالعه..... ۱۰۲
- شکل ۴-۳۹- نمودار استک هیستوگرام فراوانی در GeoROI شماره ۸ در کل دوره آماری مورد مطالعه..... ۱۰۳
- شکل ۴-۴۰- نمودار استک هیستوگرام فراوانی در GeoROI شماره ۹ در کل دوره آماری مورد مطالعه..... ۱۰۳
- شکل ۴-۴۱- نمودار تغییرات FWHM در مقابل شماره GeoROI در شب های نزدیک به زلزله..... ۱۰۵
- شکل ۴-۴۲- نمودار تغییرات شب ۱۲ در GeoROI های ۱ تا ۹..... ۱۰۶
- شکل ۴-۴۳- نمودار تغییرات FWHM در مقابل کد شب برای GeoROI های ۱ تا ۹..... ۱۰۶
- شکل ۴-۴۴- نمودار تغییرات مقادیر FWHM در برابر کد شب و GeoROI ۱ تا ۹..... ۱۰۷
- شکل ۴-۴۵- تصویر سه بعدی ماتریس همبستگی بین کل دوره آماری در GeoROI شماره ۱..... ۱۰۸
- شکل ۴-۴۶- تصویر سه بعدی ماتریس همبستگی بین کل دوره آماری در GeoROI شماره ۲..... ۱۰۹
- شکل ۴-۴۷- تصویر سه بعدی ماتریس همبستگی بین کل دوره آماری در GeoROI شماره ۳..... ۱۱۰
- شکل ۴-۴۸- تصویر سه بعدی ماتریس همبستگی بین کل دوره آماری در GeoROI شماره ۴..... ۱۱۱
- شکل ۴-۴۹- تصویر سه بعدی ماتریس همبستگی بین کل دوره آماری در GeoROI شماره ۵..... ۱۱۱
- شکل ۴-۵۰- تصویر سه بعدی ماتریس همبستگی بین کل دوره آماری در GeoROI شماره ۶..... ۱۱۲
- شکل ۴-۵۱- تصویر سه بعدی ماتریس همبستگی بین کل دوره آماری در GeoROI شماره ۷..... ۱۱۲
- شکل ۴-۵۲- تصویر سه بعدی ماتریس همبستگی بین کل دوره آماری در GeoROI شماره ۸..... ۱۱۳
- شکل ۴-۵۳- تصویر سه بعدی ماتریس همبستگی بین کل دوره آماری در GeoROI شماره ۹..... ۱۱۳
- شکل ۴-۵۴(الف)- نمودار تغییرات مقادیر میانگین اصلاح شده، در شب های باکد ۹ تا ۱۴ در GeoROI های ۱ تا ۹..... ۱۱۷
- شکل ۴-۵۴(ب)- نمودار تغییرات مقادیر میانگین اصلاح شده، در شب های باکد ۹ تا ۱۴ در GeoROI های ۱ تا ۹..... ۱۱۷
- شکل ۴-۵۵- تصویر اصلاح شده تشعشی شب ۹..... ۱۱۹
- شکل ۴-۵۶- تصویر اصلاح شده تشعشی شب ۱۰..... ۱۱۹
- شکل ۴-۵۷- تصویر اصلاح شده تشعشی شب ۱۱..... ۱۲۰
- شکل ۴-۵۸- تصویر اصلاح شده تشعشی شب ۱۲..... ۱۲۰
- شکل ۴-۵۹- تصویر اصلاح شده تشعشی شب ۱۳..... ۱۲۱
- شکل ۴-۶۰- تصویر اصلاح شده تشعشی شب ۱۴..... ۱۲۱
- شکل ۴-۶۱- تصویر اصلاح شده مناطق با ماگزیم تشعشی شب ۹..... ۱۲۲
- شکل ۴-۶۲- تصویر اصلاح شده مناطق با ماگزیم تشعشی شب ۱۰..... ۱۲۳
- شکل ۴-۶۳- تصویر اصلاح شده مناطق با ماگزیم تشعشی شب ۱۱..... ۱۲۳
- شکل ۴-۶۴- تصویر اصلاح شده مناطق با ماگزیم تشعشی شب ۱۲..... ۱۲۴
- شکل ۴-۶۵- تصویر اصلاح شده مناطق با ماگزیم تشعشی شب ۱۳..... ۱۲۴
- شکل ۴-۶۶- تصویر اصلاح شده مناطق با ماگزیم تشعشی شب ۱۳..... ۱۲۵

شکل ۴-۶۷- نقشه تلفیق ماگزیمم آنومالی تشعشعی زلزله راور به همراه موقعیت توده های آذرین و گسل های اطراف کانون زلزله (تا شعاع ۱۵۰ کیلومتری).....۱۲۶

جدول ۱-۱- توزیع بزرگی های مختلف زلزله بر حسب Ms در کشور بر اساس امار ۱۹۰۰ تا ۲۰۰۰.....	۴
جدول ۱-۲- زلزله های مهم رخ داده در کشور، در بازه ۱۹۰۰ تا ۲۰۰۵ با میزان خسارت.....	۱۰
جدول ۱-۳- دلایل خسارت زلزله در هر گروه سازه ای.....	۱۴
جدول ۱-۴- گسله های مهم منطقه مطالعاتی و برخی ویژگی های سائزموکتونیکي آنها.....	۲۰
جدول ۱-۵- پیش نشانگر ها و روشهای پیش بینی زلزله با ذکر مثال از نقاط مختلف دنیا.....	۲۲
جدول ۱-۲- تغییرات تراز آب دریا، قبل از برخی زلزله های بزرگ ژاپن و چین (ریکی تاکه، ۱۹۷۶؛ زونگ جین، ۱۹۹۰).....	۳۶
جدول ۲-۲- برخی از زلزله های مهم رخ داده در دنیا که قبل از رخداد زلزله، نور زلزله مشاهده شده است.....	۵۲
جدول ۱-۳- برخی مشخصات زلزله های بزرگتر از ۵ ریشتر در چند سال اخیر.....	۵۵
جدول ۲-۳- اطلاعات موجود ماهواره ای NOAA و MODIS در تاریخهای مربوط به زلزله های انتخابی جهت مطالعه.....	۵۶
جدول ۳-۳- مشخصات زلزله راور کرمان.....	۵۷
جدول ۳-۴- مشخصات باند های سنجنده MODIS ماهواره Terra در دو محدوده طیفی تشعشی.....	۵۸
جدول ۳-۵- مشخصات باند های سنجنده AVHRR ماهواره.....	۶۰
جدول ۳-۶- خلاصه ای از نحوه انتخاب تاریخهای مناسب برای مطالعه وضعیت تشعشی در منطقه راور.....	۶۱
جدول ۳-۷- کدهای داده شده به تاریخ های قابل پردازش جهت مطالعه داده های ماهواره ای.....	۶۳
جدول ۳-۸- طول مربع (ROI) بر حسب پیکسل.....	۶۵
جدول ۳-۹- مختصات و طول ارایه های مربعی.....	۶۵
جدول ۳-۱۰- طول هر ROI بر حسب پیکسل.....	۶۷
جدول ۳-۱۱- مختصات ارایه های مستطیلی.....	۶۸
جدول ۳-۱۲- موقعیت جغرافیایی ROI ها.....	۷۰
جدول ۴-۱- محاسبات مربوط به نحوه اصلاح اثر زمین شناسی به طور کامل.....	۱۱۵
جدول ۴-۲- تقسیم بندی کلاسهای بدست آمده بر حسب جنس لایه های زمین شناسی.....	۱۱۶

بررسی‌ها نشان می‌دهد که در ایران مناطق با پتانسیل لرزه خیزی بالا دارای تراکم جمعیتی بالا نیز می‌باشند، بطوریکه ۱/۳۳ درصد از ساکنان کشور در مناطق با خطر پائین زلزله، ۱۶/۱۸ درصد در مناطق با خطر متوسط زلزله، ۵۴/۹۱ درصد در مناطق با خطر بالای زلزله و ۲۷/۵۷ درصد در مناطق با خطر خیلی بالای زلزله اقامت دارند. براساس آخرین آمار، ایران بعنوان یکی از آسیب پذیرترین کشورها در برابر زلزله معرفی گردیده است، که این آسیب پذیری بالا از دو عامل ساخت و سازه های غیر مقاوم در برابر زلزله و جایگیری شهرها و روستاها در مناطق لرزه خیز کشور ناشی می‌شود (Mostafaie et al., 2004). مطمئن ترین راه کار برای مقابله با زلزله، مقاوم سازی ساختمانها و سازه ها می‌باشد اما در شرایط کنونی، مقاوم سازی ساخت و سازه های موجود عملاً به چند ده سال زمان نیاز دارد و هزینه های اقتصادی بسیار زیادی را می‌طلبد که خارج از توان دولت می‌باشد. بطوری که فقط تغییر بافت های فرسوده شهر تهران جدا از هزینه های سنگین اقتصادی به ۲۱ سال وقت نیاز دارد. از طرفی هر لحظه بایستی منتظر وقوع زمین لرزه ای بزرگ در کلان شهرهایی چون تهران، تبریز و زاهدان و همچنین هر نقطه دیگر کشورمان باشیم، لذا به نظر می‌رسد که راهکار مناسب جهت کاهش حجم خسارتهای انسانی و حتی اقتصادی پیش بینی زلزله، آموزش همگانی و مدیریت صحیح بحران باشد.

پایان نامه حاضر تحت عنوان (پیش بینی زلزله بر اساس پیش نشانگرهای هواشناسی و سنجش از دور ایران) در راستای این مهم صورت پذیرفته است. برای این منظور با توجه به اطلاعات در دسترس، زلزله $ML=5.1$ ریشتری ۸۳/۷/۲۳ راور کرمان جهت مطالعه انتخاب گردید.

فصل اول

کلیات

۱-۱- مقدمه

زمین لرزه به عنوان یکی از خطرات مهم طبیعی همواره در طول تاریخ، تمدن بشری را مورد تهدید قرار داده است. امروزه با گسترش شهرها و احداث مجتمع های مسکونی بلند و همچنین توسعه تأسیسات شهری و صنعتی ریسک وقوع زمین لرزه ها به مراتب افزایش یافته است. کشور ایران به خاطر شرایط خاص تکتونیکی و قرارگرفتن بر روی کمربند فعال و لرزه خیز آلپ- هیمالیا از جمله نواحی با پتانسیل بالای لرزه خیزی جهان می باشد و بطور متوسط هر پنج سال یکبار زمین لرزه ای شدید با بزرگی بیش از هفت ریشتر را تجربه می کند (حافظی، ۱۳۸۱).

از طرفی بررسی ها نشان می دهد که در ایران مناطق با پتانسیل لرزه خیزی بالا دارای تراکم جمعیتی بالا نیز می باشند، بطوریکه ۱/۳۳ درصد از ساکنان کشور در مناطق با خطر پائین زلزله، ۱۶/۱۸ درصد در مناطق با خطر متوسط زلزله، ۵۴/۹۱ درصد در مناطق با خطر بالای زلزله و ۲۷/۵۷ درصد در مناطق با خطر خیلی بالای زلزله اقامت دارند. براساس آخرین آمار، ایران بعنوان یکی از آسیب پذیرترین کشورها در برابر زلزله معرفی گردیده است، که این آسیب پذیری بالا از دو عامل ساخت و سازه های غیر مقاوم در برابر زلزله و جایگیری شهرها و روستاها در مناطق لرزه خیز کشور ناشی می شود (Mostafaie et al., 2004).

مطمئن ترین راه کار برای مقابله با زلزله مقاوم سازی ساختمانها و سازه ها می باشد اما در شرایط کنونی، مقاوم سازی ساخت و سازه های موجود عملاً به چند ده سال زمان نیاز دارد و هزینه های اقتصادی بسیار زیادی را می طلبد که خارج از توان دولت می باشد. بطوری که فقط تغییر بافت های فرسوده شهر تهران جدا از هزینه های سنگین اقتصادی به ۲۱ سال وقت نیاز دارد. از طرفی هر لحظه بایستی منتظر وقوع زمین لرزه ای بزرگ در کلان شهرهایی چون تهران، تبریز و زاهدان و همچنین هر نقطه دیگر کشورمان باشیم، لذا به نظر می رسد که راهکار مناسب جهت کاهش حجم خسارتهای انسانی و حتی اقتصادی پیش بینی زلزله، آموزش همگانی و مدیریت صحیح بحران باشد.

پایان نامه حاضر تحت عنوان (پیش بینی زلزله بر اساس پیش نشانگرهای هواشناسی و سنجش از دور ایران) در راستای این مهم صورت پذیرفته است. برای این منظور با توجه به اطلاعات در دسترس، زلزله $ML=5.1$ ریشتری $۸۳/۷/۲۳$ راور کرمان جهت مطالعه انتخاب گردید.

مطالعات انجام شده در راستای پایان نامه حاضر، در قالب ۵ فصل به صورت زیر تدوین گردیده است:

در فصل اول تحت عنوان کلیات جنبه های مختلف لرزه خیزی ایران، اهمیت پیش بینی زلزله در کشور، اهداف و روش کلی کار، روشهای پیش بینی زلزله و پیش نشانگر های زلزله و خصوصیات منطقه مطالعاتی ارائه گردیده است.

در فصل دوم تحت عنوان پیش نشانگر های زلزله و روشهای پیش بینی زلزله، به تئوری های پیش بینی زلزله و پیش نشانگر های زلزله، با تاکید بر روشهای الکترومغناطیسی پرداخته شده است.

در فصل سوم روش انجام مطالعات و تهیه بانک اطلاعاتی، توضیح داده شده و در ادامه سه مدل آرایه مربعی، مستطیلی و زمین شناسی، معرفی گردیده اند.

در فصل چهارم نتایج حاصل از ارزیابی تغییرات تشعشعی با استفاده از سه مدل آرایه مربعی، آرایه مستطیلی و آرایه مربعی زمین شناسی، با بهره گیری از پارامتر های آماری نظیر: مینیمم، ماکزیمم و ... ، گرافهای ترکیبی و نقشه آنومالی تشعشعی توضیح داده شده است.

در فصل پنجم تحت عنوان نتیجه گیری، نتایج حاصل از مطالعه حاضر بیان شده و پیشنهاداتی جهت ادامه مطالعات ارائه شده است.

۲-۱- مروری بر لرزه خیزی و اهمیت پیش بینی زلزله در ایران

ایران زمین بخشی از کمربند عظیم کوهزایی آلپ - هیمالیا می باشد و از نظر موقعیت تکتونیکی بین دو صفحه همگرایی عربستان (در جنوب غرب) و اوراسیا در شمال شرق قرار گرفته است. میزان همگرایی طبق تحلیل های تکتونیکی ۳۵ میلیمتر در سال گزارش شده است (Jackson et al., 1995). بعلاوه شرایط خاص تکتونیکی غالب گسله های ایران دارای پتانسیل لرزه ای با مکانیسم فشاری یا مولفه مهم فشاری می باشند.

نتایج جدید مبتنی بر اندازه گیری GPS که با استفاده از ۲۷ ایستگاه واقع در ایران و عمان در بازه زمانی ۱۹۰۰ تا ۲۰۰۱ به انجام رسیده است، مبین حرکات تکتونیکی نوین زیر در کشور می باشد (Vernant et al., 2004):

۱- میزان همگرایی صفحه عربستان و اوراسیا در غرب و شرق ایران متفاوت است و در راستای N13E می باشد.

۲- این همگرایی در شرق 58E در مکران با بیشترین مقدار مساوی $2 \pm 19.5 \text{ mmyr}^{-1}$ و با کمترین مقدار در کپه داغ مساوی $4 \pm 6.5 \text{ mmyr}^{-1}$ است.

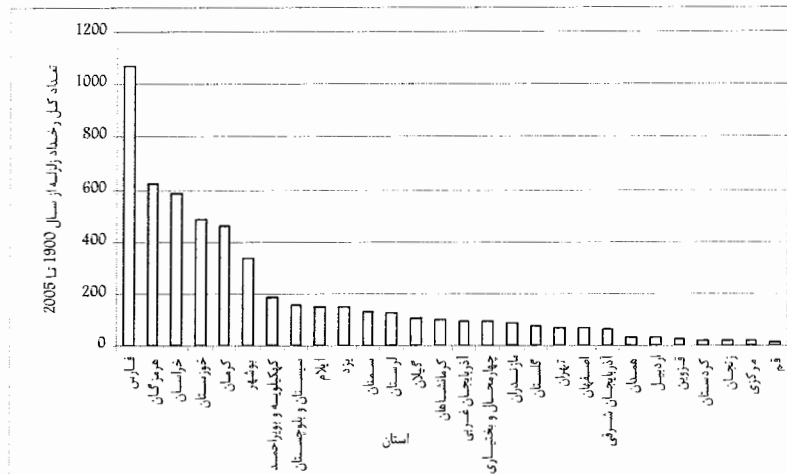
۳- ایران مرکزی یک حرکت درون صفحه ای در حدود 2 mmyr^{-1} دارا می باشد.

۴- قسمت های غرب 61E جابجایی بسیار پایین نسبت به اوراسیا نشان دهد.

۵- اختلاف حرکتی بین قسمت شرقی و غربی ایران بوسیله حرکات امتداد لغز بلوک لوت جبران می شود.

در شکل ۱-۱ وضعیت کلی لرزه خیزی استانهای مختلف کشور براساس تعداد رخداد زلزله نمایش داده شده است (آمار سالهای ۱۹۰۰ تا ۲۰۰۵). همانطور که در این شکل نشان داده شده است، استانهای فارس، هرمزگان، خراسان، خوزستان و کرمان، به ترتیب بیشترین رخداد زلزله را به خود اختصاص می دهند.

جدول ۱-۱ نیز تعداد رخداد زلزله های با بزرگی های متفاوت را در بازه زمانی ۱۹۰۰ تا ۲۰۰۵ نشان می دهد. همانطور که این جدول نشان می دهد ۱۳/۷ درصد از زلزله های بوقوع پیوسته در کشور بزرگتر از ۶ ریشتر می باشند. بعبارتی دیگر هر یکسال، دو زلزله بالای ۶ ریشتر در کشور رخ می دهد.



شکل ۱-۱- نمودار تعداد رخداد زلزله در استان‌های مختلف کشور در بازه زمانی ۱۹۰۰ تا ۲۰۰۵ (برگرفته از: NGDIR, 2004)

جدول ۱-۱- توزیع بزرگی‌های مختلف زلزله بر حسب Ms در کشور بر اساس آمار ۱۹۰۰ تا ۲۰۰۵ (برگرفته از: NGDIR, 2004).

بزرگای امواج سطحی (MS)	تعداد	میزان نسبی رویداد زمین لرزه
3.5-4	121	7.5%
4-5	672	41.8%
5-6	594	37%
6-7	189	11.8%
>7	30	1.9%

در جدول ۱-۲ زلزله‌های مهم رخ داده در کشور، در بازه ۱۹۰۰ تا ۲۰۰۵ با میزان خسارت، ارائه شده است. حاصل این زلزله‌ها بالغ بر ۱۶۰۰۰۰ نفر کشته و ۲۵۰ میلیارد دلار خسارت مالی بوده است که معادل ۴ سال بودجه سالیانه کنونی کشور می‌باشد.

طبق آخرین آمار منتشره ۸۰٪ ساختمانهای کشور در مقابل زلزله های بزرگتر از ۷ ریشتر مقاوم نیستند (گردهمایی ساخت و ساز در دانشگاه صنعتی شریف، ۱۳۸۴) و از طرفی هر پنج سال یکبار زلزله ای بزرگتر از ۷ ریشتر در کشور اتفاق می افتد.

آمار منتشره جهانی از آسیب پذیری بسیار بالای کشور در برابر زلزله حکایت دارد (Mostafaie et al., 2004) و از طرفی بررسی زلزله های قبلی کشور همانطور که در مباحث قبلی بحث شد، مبین این واقعیت است که آمادگی مردم نیز در برابر زلزله در حد مناسبی قرار ندارد. همچنین نتایج آماری نشان دهنده آسیب پذیری بالای ساختمانهای مسکونی در کشور می باشد که به طور خلاصه به این مسئله می پردازیم تا اهمیت پیش بینی زلزله آشکار شود.

برای روشن شدن موضوع کفایت که آمار موجود جهانی اخذ شده از منابع مختلف را مورد تجزیه و تحلیل قرار دهیم تا به دیدگاه درستی از وضعیت بحرانی کشور در برابر زلزله دست یابیم.

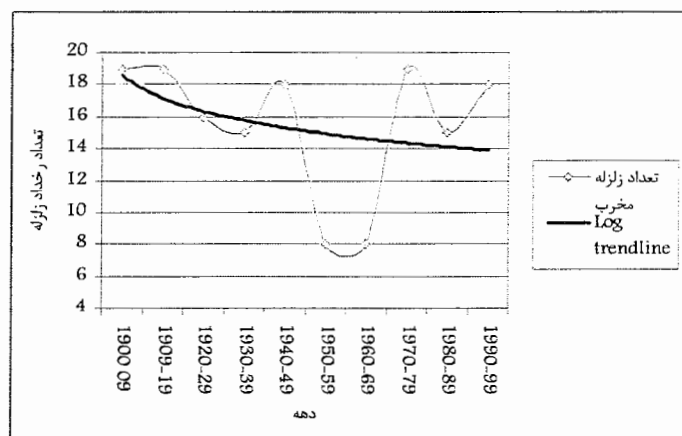
همانطور که شکل های ۱-۲ (الف و ب) نشان می دهند وضعیت آسیب پذیری دنیا در برابر زلزله افزایش یافته است که این مسئله خود را بصورت افزایش لگاریتمی قابل ملاحظه تعداد زلزله های بیش از ۱۰۰۰ نفر کشته نشان می دهد. این درحالیست که تعداد زلزله های مخرب با روند آرام لگاریتمی کاهش یافته است. این کاهش ناشی از توجه جدی کشور های لرزه خیز دنیا به امر مقاوم سازی است. البته باید در نظر داشت که افزایش تعداد زلزله های بیش از ۱۰۰۰ نفر کشته، ناشی از افزایش کلی جمعیت جهانی است.

به منظور مقایسه ایران با دیگر کشورها به بررسی تعداد زلزله های مخرب، تعداد زلزله های با بیش از ۱۰۰۰ نفر کشته، تعداد زلزله های با بیش از ۱۰۰۰۰ کشته، در قرن بیستم پرداخته شده است. همانطور که شکل ۱-۳ و ۱-۴ نشان می دهد، ایران پس از چین و ترکیه بیشترین زلزله مخرب و با بیش از ۱۰۰۰ نفر کشته را به خود اختصاص داده است و کشور ژاپن در رتبه بعدی قرار می گیرد. در شکل ۱-۵ نیز که مبین تعداد زلزله های با بیش از ۱۰۰۰۰ نفر کشته می باشد، ایران پس از چین در رتبه دوم قرار می گیرد و پس از ایران بترتیب کشورهای شوروی سابق، هند، ایتالیا و ترکیه قرار می گیرند. تعداد کل تلفات انسانی نیز در چین بیشترین مقدار و بترتیب کشورهای ترکیه، ایران و ژاپن در رتبه های بعدی قرار می گیرند (شکل ۱-۶).

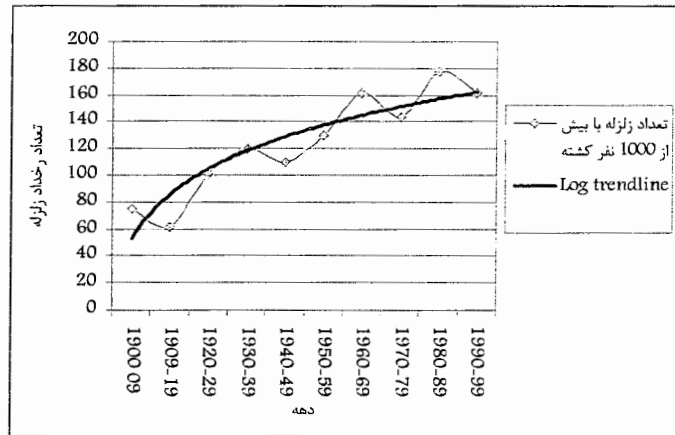
حال وقتی به وضعیت ساخت و ساز و لرزه خیزی کشور پرداخته می‌شود، اولاً بیش از ۶۵ درصد شهرستانها و ساکنین کشور در معرض خطر نسبی زلزله بالا تا خیلی بالا قرار می‌گیرند (شکل‌های ۱-۷ و ۱-۸) و دوم اینکه ۸۵ درصد ساخت و سازهای کشور از نوع مصالح بنایی، خشتی و گلی می‌باشند (شکل ۱-۹) که در برابر زلزله بزرگتر از ۶ ریشتر مقاومت چندانی ندارند. از آنجاییکه هر سال یکبار به طور متوسط زلزله ای بزرگتر از ۶ ریشتر در کشور به وقوع می‌پیوندد، تأکید بر مقاوم سازی و پیش بینی زلزله امری اجتناب ناپذیر است.

با توجه به کلیه مطالبی که در این فصل بیان شد، مشخص می‌شود که دو راهکار اساسی مقاوم سازی و پیش بینی زلزله بایستی به طور توأم به مرحله اجرا درآیند. از آنجاییکه مقاوم سازی به تنهایی نیاز به وقت چندین ساله و حتی چندین دهه دارد، ممکن است که برای جلوگیری از حوادث قریب الوقوع بسیار دیر شده باشد (به عنوان مثال طبق گزارشات منتشره، فقط شهر تهران به ۲۱ سال وقت جهت مقاوم سازی نیاز دارد).

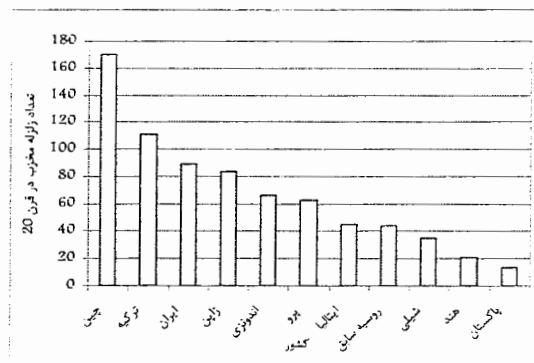
بدیهی است که پیش بینی زلزله چند روزه یا حتی چند ساعته می‌تواند به مقدار زیادی از تلفات انسانی و حتی تلفات مالی ناشی از انفجار، آب گرفتگی، آتش سوزی، از کار افتادن واحدهای نیروگاهی، مخابراتی، آبرسانی، گازرسانی، حمل و نقل و تأسیسات صنعتی بکاهد.



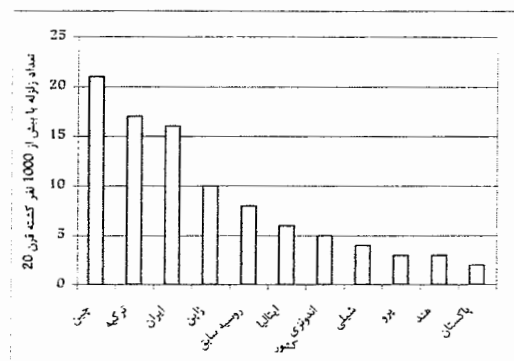
شکل ۱-۲ (الف)- تعداد رخداد زلزله مخرب در دهه های اخیر در جهان (Coburn et al., 2002 همراه با تلفیق داده های جدید).



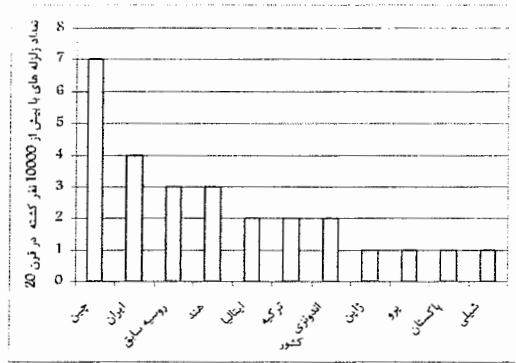
شکل ۱-۲ (ب)- تعداد زلزله با بیش از ۱۰۰۰ نفر کشته در دهه های اخیر در جهان (Coburn et al., 2002 همراه با تلفیق داده های جدید).



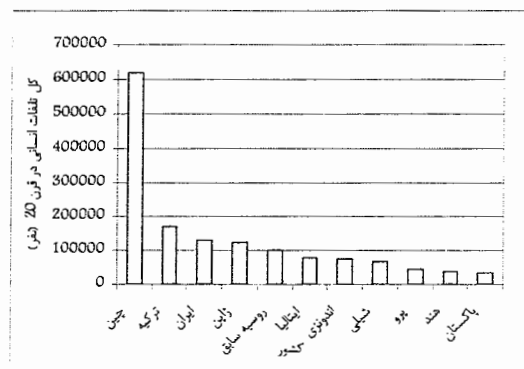
شکل ۱-۳- تعداد زلزله مخرب در قرن ۲۰ در کشورهای لرزه خیز جهان (Coburn et al., 2002 همراه با تلفیق داده های جدید).



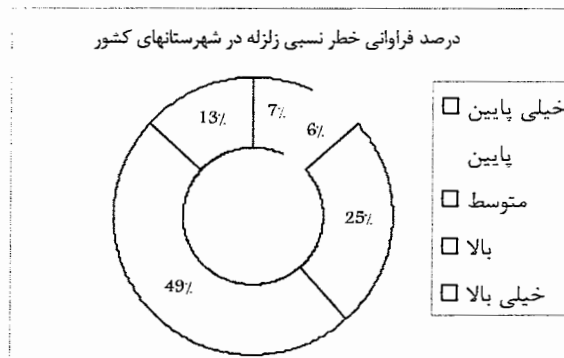
شکل ۱-۴- تعداد زلزله با بیش از ۱۰۰۰ نفر کشته در قرن ۲۰ در کشورهای لرزه خیز جهان (Coburn et al., 2002 همراه با تلفیق داده های جدید).



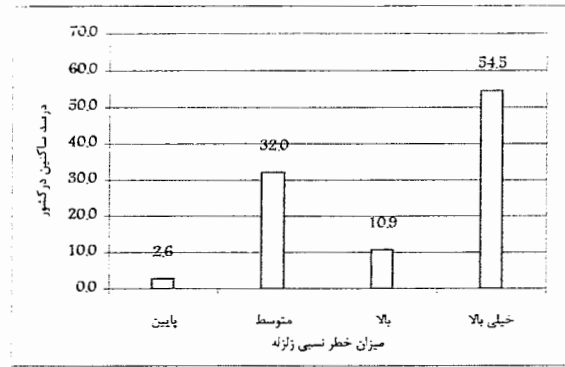
شکل ۱-۵- تعداد زلزله‌های با بیش از ۱۰۰۰۰ نفر گشته در قرن ۲۰ در کشورهای مختلف (Coburn et al., 2002 همراه با تلفیق داده‌های جدید)



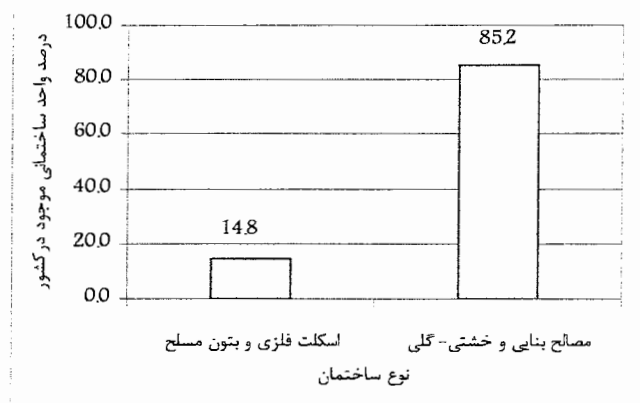
شکل ۱-۶- کل تلفات انسانی در قرن ۲۰ در کشورهای لرزه‌خیز دنیا (Coburn et al., 2002 همراه با تلفیق داده‌های جدید)



شکل ۱-۷- درصد فراوانی خطر نسبی زلزله در شهرستانهای کشور (Coburn et al., 2002 همراه با تلفیق داده‌های جدید)



۸-۱- درصد ساکنین کشور که در معرض خطرهای نسبی متفاوت قرار دارند (Coburn et al., 2002 همراه با تلفیق داده های جدید).



۹-۱- درصد ساخت و سازهای مختلف در کشور (Coburn et al., 2002 همراه با تلفیق داده های جدید).

جدول ۱-۲- زلزله های مهم رخ داده در کشور، در بازه ۱۹۰۰ تا ۲۰۰۵ (بر گرفته از سایت پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، ۲۰۰۴)

ردیف	تاریخ	محل	مختصات جغرافیایی	بزرگی	تعداد کشته ها	توضیحات
۱	۲۳ ژانویه ۱۹۰۹	سیلاخور (جنوب خاور پروچرد)	33.41N-49.13E	7.4	8000	۱۲۸ روستا آسیب دید که از میان آنها ۴ روستا بکلی ویران شدند (امبرسوز مولیل ۱۹۸۲).
۲	۱۹۲۳مه ۲۵	کاخ درخت (تربت حیدریه)	35.19N-59.11E	5.8	2200	۵ روستا در منطقه کاخ درخت بطور کلی ویران شد و ۲۰ روستا به سختی آسیب دید (امبرسوز مولیل ۱۹۸۲).
۳	۱ مه ۱۹۲۹	کبه داغ	37.73N-57.81E	7.3	3300	منطقه کبه داغ منطقه ای در مرز ایران-ترکمنستان می باشد. در مجموع حدود ۳۰۰ روستا آسیب دید که ۸۸ روستا بکلی ویران شد.
۴	۶ مه ۱۹۳۰	سلمان	38.24N-44.60E	7.2	2500	حدود ۶۰ روستا بکلی ویران شد.
۵	۲ ژوئیه ۱۹۵۷	بند بی (مازندران)	36.07N-52.47E	6.8	1500	۱۲۰ روستا بکلی ویران شد.

ادامه جدول ۲-۱

۵	فارسینج از بخشهای شهرستان اسفاد می باشد.	1130	6.7	34.58N-47.82E	فارسینج	۱۳ دسامبر ۱۹۵۷	
>	بیش از ۳۰۰ روستا آسیب دید و یا ویران شدند ۹۱ روستا بکلی ویران شدند.	12230	7.2	35.71N-49.81E	بوئین وهرآ	۱ سپتامبر ۱۹۶۲	
<	تمرکز اصلی آسیب ها در دره نیمه بلوک بوذا(میرسز و مولوی ۱۹۸۲،	10000	7.4	34.02N-58.96E	دشت بیاض	۳۱ اوت ۱۹۶۸	
۳		5054	6.9	28.38N-52.98E	قبر-کارزین	۱۰ آوریل ۱۹۷۲	
۲	۳۰ روستا بکلی ویران شد و در مجموع به ۸۵ روستا آسیب رسید.	18220	7.3	33.40N-57.12E	طیس	۱۶ سپتامبر ۱۹۷۸	
۱	۴۰۰۰ نفر مجروح شدند. پدیده رونگراسی و کوفتست زمین ملاحظه شد.	1071	6.8	29.9N-57.7E	کلیاف (کرمان)	۱۱ ژوئن ۱۹۸۱	

انامه جدول ۲-۱

۹۱۵ نفر مجروح و ۲۵۰۰۰ نفر بی خانمان شدند. ۸۵ درصد خانه ها در سیرج به شدت آسیب دید یا تخریب شدند.	1300	7.1	30N-57.8E	سیرج (کرمان)	۲۸ ژوئیه ۱۹۸۱	۲
۱۰۰ هزار واحد ساختمانی تخریب و ۴۰۰۰۰۰ هزار نفر بی خانمان شد.	50000	7.7	37N-49.4E	رودبار	۲۰ ژوئن ۱۹۹۰	۳
۴۴۰ نفر مجروح و ۶۰۰۰۰ نفر بی خانمان شدند.	1560	7.5	33.9N-59.7E	اردکول قاین	۱۰ مه ۱۹۹۷	۴
۴۰۰۰ نفر مجروح شدند. ۸۵ درصد ساختمانها در منطقه بم و برارات تخریب و با آسیب دیدند.	۴۳۲۰۰	6.6	28.99N-58.31E	بم	۲۶ دسامبر ۲۰۰۳	۵

با فرض متوسط هزینه هفت میلیون تومان برای هر نفر کشته جمع خسارت به $10^{15} \times 400$ ریال خواهد رسید.

۱-۳- مدیریت بحران زلزله در ایران

آمار خسارتهای زلزله در ایران نسبت به سایر مناطق دنیا، حاکی از بالا بودن شدید خسارت زلزله در ایران نسبت به سایر نقاط برای زلزله های با بزرگی یکسان می باشد. برای توضیح این مسأله دلایل زیر را می توان ارائه داد.

۱- بالا بودن شتاب افقی زمین لرزه ها به علت کم عمق بودن زمین لرزه های ایران و بروز پدیده تشدید به علت اینکه غالب شهر های ایران در دشتهای آبرفتی قرار دارند.

۲- عدم آمادگی سازمانهای امدادی و مردم در هنگام وقوع زلزله.

۳- ساخت و ساز های غیر مقاوم در برابر زلزله.

سوانح طبیعی به ویژه زلزله، بخشی از طبیعت محیط زیست ما انسانها می باشد که قابل پیشگیری و چشم پوشی نیست و بایستی به طریقی با آن مقابله گردد. چه بسا توسعه جوامع انسانی بدون توجه به خطر زلزله منجر به بحرانهای فاجعه آمیز انسانی، اقتصادی، اجتماعی و سیاسی شود. اما باید در نظر داشت که یک مدیریت جامع قادر است به مقدار زیادی از حجم خسارتهای وارده بکاهد (سینائیان و صدیق، ۱۳۸۲).

خسارات ناشی از زلزله در دو دسته خسارات مستقیم و خسارات غیرمستقیم دسته بندی می شوند که اجمالاً به بررسی هر کدام می پردازیم (سینائیان و صدیق، ۱۳۸۲).

الف- خسارات مستقیم

خساراتهای ناشی از رویداد و سوانح طبیعی، ایجاد و طبیعت پیچیده و متنوعی دارند. بخشی از این خسارتهای ملموس و قابل رویت است و بخشی نیز غیرملموس که به سادگی قابل تشخیص نیستند. خسارتهای ملموس که به آنها خسارتهای مستقیم نیز گفته می شود، شامل آن بخش از خسارتهاست که مربوط به خرابیها و آسیب بناها، تأسیسات و تجهیزات و مواد و کالاها می شود.

ب- خسارات غیرمستقیم

خسارات غیرمستقیم به مواردی مربوط می شود که همچون خسارتهای ساختمانی، تجهیزاتی و یا مواد و مصالح از دست رفته جنبه فیزیکی ندارند، قابل مشاهده و لمس نمی باشند و در واقع به روابط

عدم استفاده از سنگها به صورت چفت و بست	۶		
استفاده از ملات گل که چسبندگی کافی به مصالح می‌دهد.	۷		
وجود دیوارهای طویل و بلند	۸		
وجود بازشوهای نزدیک به گوشه های دیوار	۹		
داشتن سطح بازشوی وسیع در یک دیوار	۱۰		
کافی نبودن طول تکیه گاه برای سردر بازشوها	۱۱		
قرار دادن سقف بطور مستقیم روی دیوارها	۱۲		
عدم مقاومت کافی در دیوارهای باربر و نبود انسجام در سقف	۱		سازه های مصالح بنایی
اتصال ضعیف دیوارها به سقف و ستونها	۲		
بازشوهای غیر استاندارد	۳		
اتصال نامناسب تیرهای سقف با کلافها	۴		
کامل نبودن مسیر بار و نداشتن بادبند	۱		سازه های فولادی
کافی نبودن سختی جانبی ساختمان	۲		
طبقه نرم	۳		
نامنطمی در پلان و ارتفاع پیچش	۴		
عدم انسجام بین اجزاء و ضعف سیستم ساختمانی	۵		
عدم استفاده از تیرچه بلوک به جای آجر در سقف	۶		
اتصالات ضعیف در ساختمانها	۷		
کیفیت نامناسب بتون	۱	بتنی مسلح	
عدم مقاومت اتصالاتها	۲		
عدم توجه به شرایط آب و هوایی	۳		
عدم اتصال مناسب میانقابها	۱	سازه های خاص	
ضعف اتصال نمای ساختمانها	۲		

بررسی زلزله های بزرگ کشور نشان می‌دهد که سیستم های انتقال آب، برق و گاز از کارایی مناسبی در شرایط بحرانی برخوردار نبوده اند، به عنوان مثال شبکه آبرسانی در زلزله بم تا روز سوم عملاً از کار افتاده بود. سیستم گاز رسانی در زلزله منجیل دچار آسیب جدی و انتشار بوی بد در سطح شهر گردید که به علت وزش باد از انفجارهای احتمالی جلوگیری به عمل آمد. مراکز مخابراتی نیز به خاطر فروریزی آوار منجر به از دست رفتن کارایی این شبکه در اکثر زلزله های بزرگ کشور شده است. بطوریکه در زلزله بم ارتباط تلفنی شهرستانهای بم، کهنوج و جیرفت با دیگر مناطق کشور قطع گردید.

خوشبختانه تاکنون مواردی از قبیل گسیختگی کامل سدها، انفجارات نیروگاهی و آسیب دیدن تأسیسات هسته‌ای رخ نداده است. ولی از آنجاییکه دائم بر تعداد این گونه سازه ها در کشور افزوده می‌شود، بایستی تدابیر لازم جهت کاهش آسیب پذیری آنها اندیشیده شود (ناطق الهی و همکاران، ۱۳۷۰؛ عشقی و همکاران، ۱۳۸۳). لازم به ذکر است که اخیراً در سدهای بزرگ کشور یکسری زلزله های القایی مشاهده شده است که می‌تواند باعث ناپایداری شیبی در این گونه سازه‌ها شود و متعاقب آن در صورت وقوع لغزش بزرگ، فاجعه زیست محیطی روی دهد (حافظی و عسکری، ۱۳۸۳).

۱-۳-۲- عدم آمادگی سازمانهای مسئول (مدیریت نادرست بحران)

در هر زلزله جدا از میزان آسیب های وارده به تأسیسات و ساختمانها، مدیریت صحیح بحران و تلاش در کاهش میزان اثرات و تبعات ناشی از زلزله نقش بسیار مهمی در کنترل خسارات و تلفات ناشی از حادثه ایفا می‌کند. در پدیده همه گیر مانند زلزله که علاوه بر همراه بودن با تبعات مالی و جانی زیاد، در یک سطح گسترده رخ می‌دهد، نقش مدیریت بحران برجسته تر و نمایان تر است. برنامه ریزی مدیریت بحران فرایند جامعی است که تمامی فعالیت های مقابله با پیامدهای یک سانحه؛ هم در مقطع قبل از وقوع و هم در مقطع بعد از وقوع را در برمی‌گیرد. البته بایستی توجه داشته باشیم که این دو مرحله مکمل یکدیگرند (غفوری آشتیانی و همکاران، ۱۳۷۶)

برنامه های پس از وقوع سانحه شامل سه دسته فعالیت به شرح زیر است (ناطاقی الهی و همکاران، ۱۳۷۱)

الف) برنامه ریزی دوره امداد فوری که از لحظه وقوع سانحه تا روز پنجم و حداکثر تا یک هفته ادامه دارد.

ب) برنامه ریزی دوره انتقالی که از روز پنجم تا سه ماه ادامه می یابد.

ج) برنامه ریزی دوره باز سازی که از ماه سوم به بعد شروع می شود.

بررسی مدیریت بحران زلزله های بزرگ براساس گزارشهای تهیه شده توسط پژوهشگاه زلزله نشان می دهد که گروههای امداد داخلی از نظم و انسجام کافی برخوردار نبوده اند. بطوریکه قطعی برق، انسداد یا ترافیک راههای ارتباطی، عدم تجهیز امداد گران (نداشتن تیم کامل پزشکی، سگ های زنده یاب و ابزار و وسایل کاوش)، عدم آموزش نوین گروههای امدادی با شیوه جستجو و نجات و عدم هماهنگی بین گروههای امدادی سازمانهای مختلف در زلزله های بزرگ، همواره کارایی تیم های اعزامی داخلی را کاهش داده است.

عوامل زیر در زلزله های بزرگ گذشته مانع از عملکرد به موقع و موثر گروههای امداد و نجات داخلی شده اند (غفوری آشتیانی و همکاران، ۱۳۷۶).

۱- اطلاع رسانی ضعیف پس از رخداد زلزله که به عنوان مثال در زلزله بم ۱۲ ساعت بعد از رخداد اطلاع رسانی شفاف شروع شد و عملاً تا ۲۴ ساعت پس از وقوع زلزله هیچ کمک موثری به آسیب دیده گان نشد. با توجه به این مسئله که زمان طلایی نجات جان افراد گرفتار شده در زیر آوار تا حداکثر ۲۴ ساعت پس از وقوع زلزله می باشد (در این صورت ۸۱٪ احتمال نجات وجود دارد که می تواند تا یک هفته با احتمال های وقوع پایینتر ادامه یابد) می توان به عمق فاجعه مدیریت بحران زلزله بم پی برد.

۲- مسدود بودن راههای ارتباطی که خود را به دو صورت زیر نمایان می کند.

- ریزش و سقوط قطعات با اندازه های مختلف سنگ به داخل جاده و یا لغزش کلی جاده که این مشکل در زلزله منجیل روند کمک رسانی را دچار اختلال جدی کرد.

- ایجاد ترافیک بخاطر گسیل شدن کنترل نشده افراد غیر ضروری به سمت منطقه آسیب دیده در ساعات اولیه حادثه که می‌تواند از رسیدن کمک‌های امدادی فوری ممانعت به عمل آورد. این مسئله در زلزله بم باعث شد که امدادگران به مدت ۱۰ ساعت در شب دوم بعد از زلزله در ترافیک بمانند.

۳- قطعی آب و برق معمولاً تا روز دوم اکثر زلزله‌های بوقوع پیوسته در کشور مشاهده می‌شود که مانع از انجام عملیات امداد و نجات مخصوصاً هنگامیکه زلزله در شب و در مناطق کم آب رخ می‌دهد، شود.

۴- تجهیز نبودن امدادگران داخلی اعزامی به منطقه.

۵- عدم هماهنگی بین گروه‌های اعزامی از سازمانها و موسسات مختلف.

۱-۳-۳- عدم آمادگی مردم در برابر بحران زلزله

با توجه به لرزه خیزی بالای اکثر مناطق جمعیتی ایران لازم به نظر می‌رسد که یک دوره آموزشی عمومی جهت اقدامات لازم پس از وقوع زلزله انجام پذیرد. زیرا در تجربیات مختلف مشاهده شده است که عدم آگاهی و یا عدم رعایت اصول لازم پس از وقوع زلزله چه به لحاظ امداد رسانی یا نحوه امداد رسانی، باعث افزایش تلفات ناشی از وقوع زلزله گردیده است.

اگرچه حالات روحی و روانی در شرایط فوق قابل بیان نیست، ولی آموزش دادن عمومی جهت اقدامات پس از زلزله امری اجتناب ناپذیر به نظر می‌رسد (ناطق‌الهی و همکاران، ۱۳۷۰).
عدم آمادگی مردم در برابر زلزله می‌تواند از دلایل زیر ناشی شود (غفوری آشتیانی، ۱۳۷۶).

- عدم آگاهی مردم از اهمیت ساخت و ساز مقاوم در برابر زلزله

- عدم آگاهی مردم از نحوه عملکرد بعد از بحران زلزله

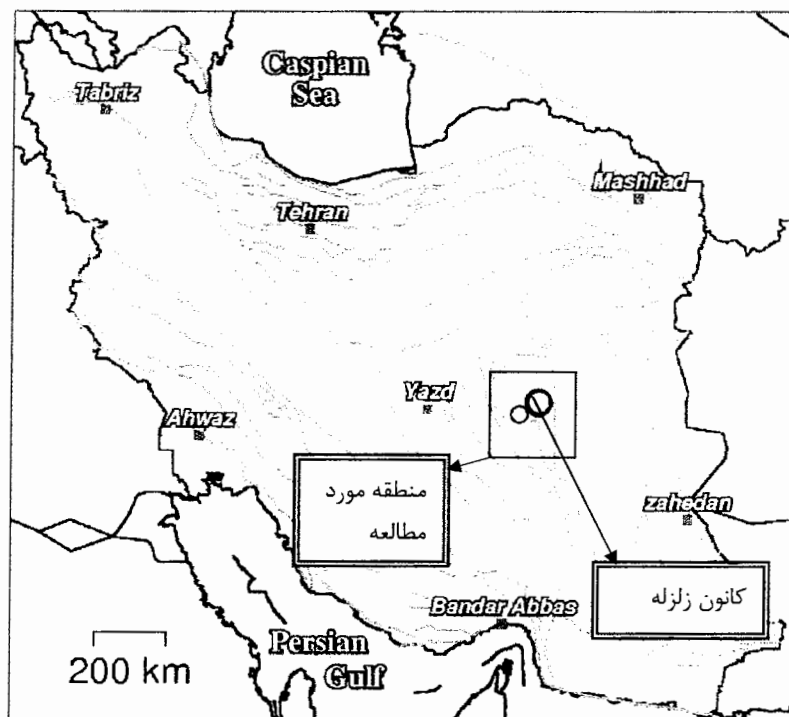
مقایسه آمار و ارقام تلفات و خسارتهای حادثه زلزله در کشورهای پیشرفته و توسعه یافته این هشدار را به ما گوشزد می‌کند که هنوز هوشیاری و آمادگی مردم ما در حد مناسبی نیست. از طرفی تجارب جهانی نشان داده اند که یقیناً آگاه سازی مردم و مسئولین به میزان قابل توجهی غافلگیری آنها را به هنگام وقوع سوانح که عامل مهمی در آسیب پذیری است، را کاهش می‌دهد. لازم به ذکر

است که در کشور هایی که سابقه لرزه خیزی وسیعی داشتند، عمدتاً تحقیقات مربوط به تأثیرات روانی _ اجتماعی پدیده زلزله به موازات بررسی های زمین شناسی و تأثیرات آن بر اقامتگاهها انجام پذیرفته است و با توجه به ویژگی های هر منطقه روشهای مناسبی جهت طراحی این اقامتگاهها و آموزش همگانی توسط محققین ارائه شده است.

خوشبختانه بخشهای مختلف مدیریت بحران در ارگانهای وابسته شروع به تحقیق و بررسی در نحوه عملکرد مردم در هنگام زلزله و ارائه راهکار و روش آموزشی نموده اند که هنوز در شروع کار قرار دارند. پس از این تصمیم گیری فقط دو دوره آموزش در مدارس کشور جهت آمادگی در برابر زلزله با همکاری پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، انجام شده است که آمار مناسبی نمی باشد.

۴-۱- منطقه مطالعاتی

منطقه مطالعاتی در واقع جزئی از بلوک لوت می باشد که در حدفاصل بین گسل نایبند، لکرکوه و کوهبنان قرار می گیرد (۱-۱۰). بلوک لوت از لحاظ پراکندگی زمین لرزه های دستگاهی به سه ناحیه قائن، گلباف و طبس تقسیم می شود (حافظی، ۱۳۸۱). منطقه مورد مطالعه جزئی از پهنه گسلی گلباف- سیرچ بوده که از پهنه های گسلی فعال و لرزه زا در شرق ایران محسوب می شود بطوریکه در دو دهه گذشته ۵ زلزله بزرگتر از ۶/۵ ریشتر را به خود دیده است که نتیجه آن چندین میلیارد دلار خسارت مالی و هزاران نفر کشته و دهها هزار نفر زخمی و بی خانمان است.



شکل ۱-۱- نقشه گسل های مهم ایران و کانون زلزله مورد مطالعه که با دایره بزرگ نشان داده شده است (برگرفته از: IIEES).

گسله های مهم منطقه شامل نایبند، کوهبنان و لکر کوه می باشد که برخی از ویژگی های ساینموتکتونیکی آنها در جدول زیر ارائه شده است.

جدول ۱-۴- گسله های مهم منطقه مطالعاتی و برخی ویژگی های ساینموتکتونیکی آنها (برگرفته از: IIEES).

گسل	طول تقریبی گسل (Km)	ساز و کار گسل	روند گسل	فاصله از کانون زلزله راور (Km)
نایبند	۴۰۰	نرمال و امتداد لغز راستگرد	شمال غربی - جنوب شرقی	۴۰
لکر کوه	۱۳۸	معکوس با مولفه راستا لغز	شمالی - جنوبی	۱۰
کوهبنان	۳۰۰	معکوس راستگرد	شمال غربی - جنوب شرقی	۸۰

زمین‌شناسی منطقه مطالعاتی شامل سنگهای آذرین اسیدی حدواسط دوران سوم در شرق محدوده و رخنمون‌های شیل و ماسه سنگ سازند شمشک و تناوب آن با آهک کرتاسه در بخش مرکزی و غربی است که این توده‌های سنگی در قسمت‌های غربی به علت قرارگیری در حدفاصل گسل نایبند و کوهبنان خرد شده می‌باشند.

۱-۵- روش کار

هدف اصلی این مطالعه کاربرد اطلاعات سنجنده‌های حرارتی ماهواره‌ها، برای پیش‌بینی زلزله می‌باشد که به صورت مختصر به بررسی روش کار می‌پردازیم.

در این مطالعه ابتدا ۶ زلزله بزرگ چند سال اخیر که دستیابی به اطلاعات مورد نیاز در طرح تحقیق مهیا بود با در نظر گرفتن پارامترهایی چون پراکندگی زمانی و مکانی، جایگاه تکتونیکی و وضعیت آب و هوایی انتخاب گردید. برای هر زلزله تلاش گردید تا اطلاعات مورد نیاز لرزه‌ای، ماهواره‌ای، هواشناسی و زمین‌شناسی تهیه شود. از بین زلزله‌های فوق مناسب‌ترین و کامل‌ترین اطلاعات از زلزله ۱۳۸۳ راور در دسترس قرار گرفت. لذا این زلزله جهت مطالعه انتخاب گردید. سپس این اطلاعات در محیط نرم‌هایی از قبیل ENVI 3.6 ، IDL 5.6 ، Idrisi 3.2 ، Arcview GIS 3.2 و... مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

لازم به ذکر است که اطلاعات هواشناسی از سازمان هواشناسی، اطلاعات سنجش از دور از سازمان فضایی ایران و اطلاعات لرزه‌ای از پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله دریافت گردید.

۱-۶- انواع روشهای پیش‌بینی زلزله

پیش‌بینی زلزله از موضوعات مورد علاقه محققین رشته‌های مختلف از زمانی دور بوده است. تاکنون روشهای متعددی برای پیش‌بینی زلزله ارائه شده است. همگام با پیشرفت علم و تکنولوژی، دقت روشهای پیش‌بینی زلزله نیز روز به روز بیشتر می‌شود.

پیش بینی زلزله عبارت از مشخص نمودن گستره بزرگی، ناحیه جغرافیایی و محدوده زمانی که در آن یک زمین لرزه آتی مشخص روی خواهد داد. درصد اطمینان پیش بینی باید در آن گنجانده شده باشد (Wallace et al., 1990).

بطور کلی روشهای پیش بینی زلزله در سه گروه زیر طبقه بندی می‌شوند:

- ۱- پیش بینی بلند مدت که در بازه چند ساله تا چند دهه در تغییر است.
 - ۲- پیش بینی کوتاه مدت که در بازه چند دقیقه تا چند هفته در تغییر است.
 - ۳- پیش بینی میان مدت که از چند هفته تا چند سال در تغییر است.
- روشها و پیش نشانگرهای مورد استفاده در پیش بینی زلزله در جدول ۱-۵ به صورت خلاصه ارائه شده اند. در فصل دوم به صورت مفصل به این پیش نشانگرها پرداخته خواهد شد.

جدول ۱-۵- پیش نشانگر ها و روشهای پیش بینی زلزله با ذکر مثال از نقاط مختلف دنیا (گرد آوری از منابع مختلف).

مشخصات زلزله (بزرگی)	مرجع	روش	گروه پیش نشانگر
۷/۴	سلماس، ایران، ۱۳۰۹	استفاده از پیش لرزه ها	لرزه ای
۶	پارک فیلد، آمریکا، ۲۰۰۴	تئوری بازگشت زلزله ها	
۷/۳	آلاسکا، ۱۹۷۵	تئوری گپ لرزه ای	
		تئوری الگوی اتساع پذیری	
۶	هایچینگ، چین، ۱۹۷۵	روش احتمالاتی چینی ها	
۶/۵	کالیفرنای مرکزی، آمریکا، ۲۰۰۳	روش Tail Wags the Dog	
۷/۶	لاتگ لینگ، چین، ۱۹۷۶	تغییر در نسبت سرعت موج p به s	
۷/۱	لاما پرتا، آمریکا، ۱۹۸۹	خزش زمین	زلزله زمین
		کرنش زمین	

		کج شدگی و تنجیدگی و تنجشهای پوسته	ادامه جدول ۵-۱
۷/۸	تانگ شان، چین، ۱۹۷۶	ثقل سنجی	
۷/۴	بوهایی، چین، ۱۹۶۹	تغییر در تراز سطح دریا	
۷/۲	کوبه، ژاپن، ۱۹۹۵	نسبت پاسخ بارگذاری به بار برداری (LURR)	
۷/۸	تانگ شان، چین، ۱۹۷۶	تغییر پارامترهای هیدرولیکی آب (فشار و جریان)	آشناختی
۳/۱	بلد (سولوانا)، ایتالیا، ۱۹۹۸	تغییر پارامترهای ژئوشیمیایی آب (دما و رنگ)	
		تغییر پارامترهای فیزیکی آب (مزه و بو)	
۷	ایزو اوشیما کینکایی، ژاپن، ۱۹۷۸	تغییر غلظت گاز رادن در آب	
۳/۱	بلد (سولوانا)، ایتالیا، ۱۹۹۸	تغییر هدایت الکتریکی آب	
		پیزوالکتریسیته (Piezoelectricity)	الکترومغناطیسی و مغناطیسی
		پتانسیل های جریان (Streaming potential)	
۷/۷	گوجرات، هند، ۲۰۰۱	تنوری حفرات p (Positive Hole)	
۶/۵	بم، ایران، ۱۳۸۲	آنومالی های حرارتی (Thermal anomaly)	
۵/۱	چانگ شو، چین، ۱۹۹۰	روش Q و D چین	
۵/۲	هولستر، آمریکا، ۱۹۷۴	آنومالیهای میدان مغناطیسی	
۵/۶	یونان، ۲۰۰۱	فوران زمین گرمایی	
		آنومالی های سیگنال الکترو مغناطیسی فرکانس پایین	
		سیگنال های الکتریکی (روش VAN)	

۷/۸	ایزمیت، ترکیه، ۱۹۹۹	نور های زلزله	ادامه جدول ۵-۱
	شیلی، ۱۹۶۰	نویز استاتیک فرکانس بالا	
		نور تویی	
		اغتشاشات یونسفری و تغییرات میزان کل الکترون (TEC)	
		رفتار غیر عادی حیوانات قبل از زلزله	پیش‌نشانگر های زیستی
		افزایش سطح کلروفیل در گیاهان	
۶/۵	بم، ایران، ۱۳۸۲	ابر زلزله	هواشناسی
۷/۷	گوجرات، هند، ۲۰۰۱	محتوی رطوبت هوا	
۶/۵	بم، ایران، ۱۳۸۲	تغییر دمای هوا	
		صدا های زمینی	دیگر پیش‌نشانگر ها
۶/۵	بم، ایران، ۱۳۸۲	طول مارکوف	
		اثر جزر و مد	
		اثر شب و روز	

فصل دوم

پیش‌نشانگرهای زلزله و روشهای پیش‌بینی زلزله

۱-۲- مقدمه

قبل از معرفی پیش‌نشانگرهای زلزله، لازم است دلایل بروز زلزله به اختصار بیان‌گردد. زمین‌لرزه‌ها از لحاظ منشأ، به زمین‌لرزه‌های طبیعی و مصنوعی تقسیم می‌شوند. زمین‌لرزه‌های طبیعی، مرتبط با تکتونیک و فعالیت‌های آتشفشانی هستند. این زمین‌لرزه‌ها، مرتبط با مخازن سدها، انفجارات هسته‌ای، فروریزش سقف معادن و غیره می‌باشند.

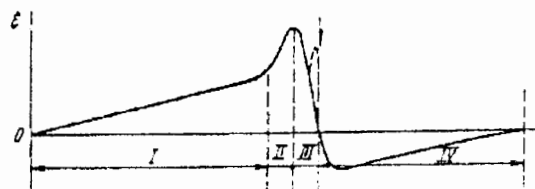
زمین‌لرزه‌های با منشأ تکتونیکی نیز به دو گروه کم‌عمق و عمیق تقسیم می‌شوند. فرضیه‌های مختلفی نیز برای توجیه دلایل بروز این زلزله‌ها ارائه شده است که از آن جمله، فرضیه برگشت الاستیک و انبساط حجمی می‌باشند. فرضیه اول برای توجیه زمین‌لرزه‌های کم‌عمق ارائه شده است. در این فرضیه تغییرات زمین به صورت زیر می‌باشد (Myachkin et al., 1986).

۱- تغییر وضعیت استرس در منطقه.

۲- رشد آرام ترکهای جدید یا ترکهای از قبیل موجود با توجه به جهت استرس وارده.

۳- مرحله غیر قابل بازگشت بهمن‌وار ترکها پس از رسیدن به چگالی متوسط در کل حجم توده (در این مرحله بخش بزرگی از توده درگیر فرایند ریز ترک خوردن بهمن‌وار می‌شود).

۴- کاهش تشکیل ترکهای کوچک و متمرکز شدن آنها در ترکهای بزرگ که نهایتاً منجر به زلزله می‌شود. در شکل ۱-۲ این تغییرات به صورت گراف تغییرات مقدار استرین در مقابل زمان در چهار مرحله نمایش داده شده است.



شکل ۱-۲- تغییر آهنگ تنجیدگی متوسط طی چرخه لرزه ای (Myachkin et al., 1986). محور X زمان و محور Y استرین زمین می‌باشد. با افزایش زمان در ابتدا، زمین رفتار الاستیک از خود نشان می‌دهد (مراحل ۱ و ۲) و سپس گسیختگی اتفاق می‌افتد (مرحله ۳) تا اینکه نهایتاً در مرحله ۴ دوباره زمین به حالت اول خود بر می‌گردد.

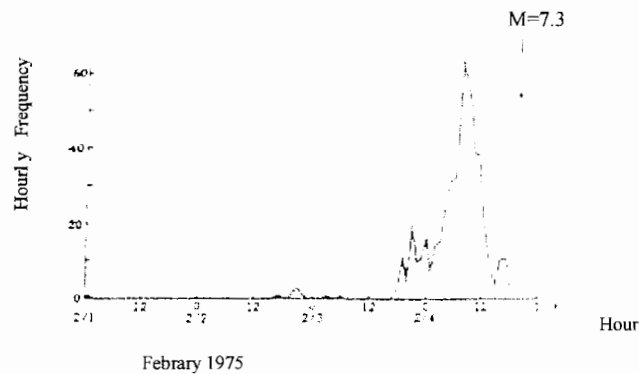
۲-۲- پیش‌نشانگرهای زلزله^۱ و تئوری های پیش بینی زلزله

پیش‌نشانگرهای زلزله به مجموعه علائم و نشانه های اطلاق می‌گردد که به طریقی در ارتباط با پدیده قریب الوقوع زلزله می‌باشد. این علائم می‌توانند تغییر فیزیکی یا شیمیایی در محیط و یا رفتار غیر عادی جانداران را شامل شوند. دامنه عمل پیش‌نشانگرها می‌تواند در بازه زمانی چند قرن تا چند ثانیه و در بازه مکانی چند میلی متر تا چندین هزار کیلومتر در تغییر باشد (صفایی کوزه‌کنان، ۱۳۸۳).

در فصل اول لیست جامعی از پیش‌نشانگرهای زلزله که از نظر علمی ثابت شده‌اند، ارائه گردید. در این فصل، پیش‌نشانگرهای مهم زلزله به همراه تئوری ها و روشهای معروف پیش بینی زلزله، معرفی شده و از بین آنها دو پیش‌نشانگر الکترومغناطیسی و هواشناسی به تفصیل تشریح شده است.

۱-۲-۲- پیش لرزه‌ها^۱

وقوع زلزله های کوچک قبل از زلزله های بزرگ در بسیاری از زلزله ها گزارش شده است. وجود پیش لرزه‌ها در یک منطقه را می‌توان نشانه ای از فعال شدن لرزه ای محدوده مورد نظر دانست که احتمال وقوع زمین لرزه ای بزرگ افزایش می‌دهد. نمونه‌های بسیاری از وقوع پیش لرزه‌ها، قبل از زلزله اصلی گزارش شده است. در شکل ۲-۲ فرکانس وقوع پیش لرزه‌ها، قبل از زلزله هایچینگ نشان داده شده است (Rikitake et al., 1985).



شکل ۲-۲- تواتر پیشلرزه‌ها پیش از زلزله هایچینگ چین (Rikitake et al., 1985).

در مورد زلزله های ایران نیز مثال‌های متعددی را می‌توان بیان داشت که از جمله آنها موارد زیر است.

- روز سه شنبه ۱۶ اردیبهشت ۱۳۰۹ زلزله ای به بزرگی ۵/۵ ریشتر شهر سلماس را تکان داد که موجب خرابی تنها چند ساختمان شد. ۱۵ ساعت بعد زلزله ای به بزرگی ۷/۲ ریشتر رخ داد که سلماس را با ۶۰ روستای حوالی ویران کرد و جان بیش از ۲۵۰۰ نفر را گرفت.

شب قبل از زلزله بم در دی ماه ۱۳۸۲ نیز، بم دوبار زلزله‌های کوچکی را تجربه کرد تا اینکه صبحگاهان روز بعد، زلزله اصلی به بزرگی $MW=6.7$ ریشتری رخ داد و جان بالغ بر ۴۵ هزار نفر را گرفت و بالغ بر ۱ میلیارد دلار خسارت مستقیم وارد کرد (صفایی کوزه کنان، ۱۳۸۳).

1- Foreshocks

- شب قبل از زلزله فروردین ۱۳۸۵ سیلاخور (استان لرستان) به بزرگی $ML=6.1$ ریشتر، پیش لرزه هایی رخ داد که با اطلاع رسانی به موقع سازمان حوادث غیرمترقبه و آمادگی ارگانهای مدیریت بحران، جان هزاران نفر نجات یافت.

مشکل عمده کاربرد این پیش نشانگر در پیش بینی زلزله، در این است که نمی توان براحتی پیشلرزه ها و پس لرزه ها را از همدیگر تفکیک نمود.

۲-۲-۲- تئوری بازگشت زلزله ها^۱

از آنجاییکه حرکت صفحات تکتونیکی با نرخ تقریباً ثابتی انجام می شود و همچنین مناطق تکتونیکی نسبت به فشارهای وارده از این حرکت تا حد معینی مقاومت می کنند (آستانه مقاومت)، لذا می توان زمان گسیختگی در گسلهای مختلف را (با در نظر گرفتن پیشینه لرزه خیزی) تخمین زد. بدین ترتیب مدت زمان لازم برای جمع شدن انرژی مورد نیاز برای زلزله در گسلهای مختلف فرق می کند که از این مسئله به عنوان تئوری بازگشت زلزله ها یاد می شود. براساس این تئوری است هر چه فاصله زمانی وقوع زمین لرزه ها بیشتر باشد، خطر زلزله افزایش می یابد. بنابراین در کلان شهر هایی چون تهران، تبریز، زاهدان و بسیاری از دیگر شهر های ایران احتمال وقوع زلزله ای بزرگ هر لحظه بیشتر و بیشتر می شود (Mostasharri, 2004).

با وجود اینکه این تئوری تا حد زیادی احتمال وقوع زلزله در آینده را برای یک منطقه یا گسل خاص مشخص می کند، ولی بایستی به نمونه هایی از پیش بینی های ناموفق براساس این تئوری، نظیر Park field آمریکا نیز توجه نمود. بطوریکه پروفیسور جیم ساویج از سازمان زمین شناسی آمریکا پس از اشتباه بودن پیش بینی خود اعلام کرد که فرض اصلی که تنها، دوره بازگشت زلزله ها را برای پیش بینی در نظر گرفته بود، فرضی نادرست است (Christopher, 1997).

سه روش معروف زیر مبتنی بر تئوری بازگشت زلزله ها می باشند که اجمالاً به بررسی هر کدام می پردازیم.

1-Elastic Rebound Theory

- روش چینی ها

اولین پیش بینی موفق زلزله به کمک این روش، در ۴ فوریه سال ۱۹۷۵ در شهر Haicheng چین صورت گرفت که با تخلیه شهر از کشته شدن بیش از صد هزار نفر جلوگیری گردید. این پیش بینی در دو مرحله صورت گرفت (Shou, 1999):

۱- پیش بینی میان مدت: اعلام شد که زلزله ۵ تا ۶ ریشتری ممکن است در ناحیه Pohai شمالی در یک دو سال آینده صورت پذیرد.

۲- پیش بینی کوتاه مدت: در ۱۳ ژانویه ۱۹۷۵ اعلام شد که زلزله ای با بزرگی ۵/۵ تا ۶ ریشتر در منطقه Ying Kou – Dairen-Tantang در ۶ ماه اول سال ۱۹۷۵ اتفاق خواهد افتاد.

۳- پیش بینی قریب الوقوع: پیش بینی قریب الوقوع بودن زلزله ۴ فوریه ۱۹۷۵ به استانهای محلی و سازمانهای اداری اعلام شد.

اساس کار بر منطق زیر استوار است:

اگر فاصله بین زلزله های با شدت متوسط کمتر از ۴۷ روز باشد و بیشتر از ۵ مورد از این زلزله ها بصورت پیاپی اتفاق بیافتد، زلزله بزرگتری بالای ۷ ریشتر در مدت ۶ ماه آینده انتظار می رود.

در بررسی قابلیت اعتماد این روش آقای شو تئوری را بر روی پایگاه داده های لرزه ای کالیفرنیا جنوبی از ژانویه ۱۹۷۵ تا اکتبر ۱۹۹۹ بررسی کرده است و مشاهده کرد که در این داده ها ۱۲۴ مورد از این فواصل وجود دارد اما تنها ۵/۶٪ آنها با این مدل سازگاری دارند.

- روش keillis Boroh

در ژانویه سال ۲۰۰۴ Keillis Boroh پروفیسور عضو موسسه ژئوفیزیک و فیزیک سیاره ای و گروه علوم زمین و فضای دانشگاه UCLA اعلام کردند که به کشفی نایل شده اند که می توانند زلزله ها را ماهها قبل از وقوع آنها پیش بینی کنند.

پیش بینی در این روش براساس مشاهدات زلزله های کوچک که روزانه اتفاق می افتند، صورت می پذیرد. بدین ترتیب که با نگاه به زلزله های گذشته، زنجیره های دراز تشکیل شده از زلزله های

کوچک جستجو می‌گردند. هر رشته به عنوان کاندیدی برای پیش بینی جدید زلزله در نظر گرفته می‌شود. در ناحیه اطراف آن، تاریخچه زلزله در چند سال گذشته مطالعه می‌گردد که اگر مطابق با الگوی لرزه ای مشخص باشد، آن کاندید به عنوان یک پیش نشانگر لرزه‌ای پذیرفته شده و پیش بینی ۹ ماهه در مورد آن ارائه می‌شود و در غیر این صورت از این کاندید صرف نظر می‌شود. در ژوئن ۲۰۰۳ این تیم زلزله به بزرگی ۶/۴ یا بالاتر را برای یک منطقه ۳۱۰ مایلی در کالیفرنیا مرکزی در مدت ۹ ماه آینده پیش بینی کردند که این پیش بینی کاملاً درست بود و زلزله ای با بزرگی ۶/۵ ریشتر در ۲۲ دسامبر ۲۰۰۳ در آن منطقه رخ داد.

در جولای ۲۰۰۳ نیز این گروه پیش بینی دیگری را انجام داد که شامل زلزله ای در ژاپن به بزرگی ۷ ریشتر یا بیشتر در ناحیه ای که شامل Hokkaido نیز می‌شد، تا ۲۸ دسامبر ۲۰۰۳ بود. این پیش بینی نیز موفقیت آمیز بود و در ۲۵ دسامبر ۲۰۰۳ زلزله ای به بزرگی ۸/۱ در این منطقه روی داد. ولی در ژانویه ۲۰۰۴ این تیم، زلزله ای به بزرگی حد اقل ۶/۴ را برای ناحیه ای شامل Mojave Desert تا ۵ دسامبر ۲۰۰۴ پیش بینی کرد که در بازه زمانی مشخص شده چنین زلزله در منطقه رخ نداد (Borok, 2004).

- زنجیره مارکوف

این روش که در مواردی به امکان استفاده از آن جهت پیش بینی زمین لرزه‌ها اشاره شده است، بر مبنای فرمول بندی کردن یک مجموعه داده های تصادفی است که به آن، زنجیره زمانی مارکوف گفته می‌شود.

طول مارکوف طولی می‌باشد که پروسه تصادفی یا گسسته شدن در این طول می‌تواند به پروسه مارکوف تبدیل شود. دکتر رحیمی تبار و همکارانش در دانشگاه صنعتی شریف با بررسی داده های چند صد زلزله مشاهده کردند که قبل از وقوع زلزله طول مارکوف داده های تصادفی که لرزه نگارها دریافت می‌کنند، تغییر کرده و مقدار آن رو به افزایش می‌نهد.

با استفاده از اعمال این روش گفته می‌شود که می‌توان پیش بینی های کوتاه مدت از چند دقیقه تا چند ساعت را انجام داد که البته بررسی های دقیقتری را می‌طلبد.

۲-۲-۳- تئوری نبود لرزه ای^۱

الگوی لرزه خیزی یک منطقه و جستجوی نامنظمی ها و انحرافات از این الگو روش دیگری برای پیش بینی زلزله هاست. بطوریکه توزیع زلزله های جهان در طول صفحات تکتونیکی تقریباً روند ثابتی در طی زمان دارند. به مناطق لرزه خیزی که در طی سالهای اخیر رخداد لرزه ای نداشته اند، نواحی با خلا لرزه ای یا نبود لرزه ای گفته می شود که این مناطق می توانند محل وقوع زلزله بزرگ بعدی باشند.

با مطالعه آماری وقوع زمین لرزه ها، نه تنها می توان دوره بازگشت زلزله های بزرگ را مشخص کرد، بلکه می توان نواحی را که احتمال وقوع زلزله بعدی وجود دارد را مشخص نمود. برای مثال زلزله سال ۱۹۷۲ آلاسکا با بزرگی ۷/۳ نزدیک سیتکا که بعنوان یک منطقه نبود لرزه ای شناخته شده بود، رخ داد. بر اساس همین تئوری، زلزله ۱۹۸۵ مکزیکو (بدون تعیین زمان دقیق رخداد زلزله) نیز پیش بینی شد (Carayannis, 1989).

۲-۲-۴- اتساع پذیری^۲

هنگامیکه سنگی تحت فشار قرار می گیرد، دچار تغییر شکل می شود؛ یعنی در اثر ایجاد شکافهای ریز و حرکت تدریجی و رو به بیرون، سنگ متورم می شود. این افزایش حجم هنگامیکه تنش به نصف مقدار مورد نیاز برای شکستن سنگ برسد، روی می دهد.

پوسته واقع در کانون سطحی زلزله نیز قبل از وقوع رخداد زلزله، دچار بالا آمدگی می شود و تغییر شیب حاصله توسط دستگاههای حساس به کج شدگی زمین ثبت می شود تا زمینه برای پیش بینی زلزله فراهم آید (پورکرمانی، ۱۳۷۶).

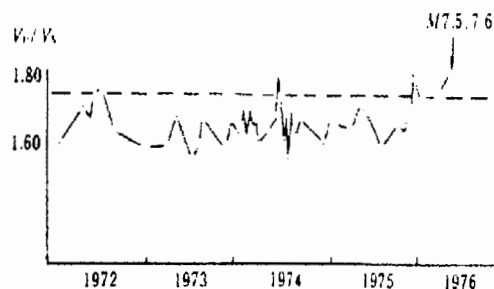
1- Seismic Gap
1-Dilatancy model

- کرنش زمین^۱

کرنش سنج ها نیز ابزار های اندازه گیری می باشند که حرکت زمین را نسبت یک نقطه مرجع مشخص می کنند. کرنش سنج ها می توانند اثرات دیگری چون جزر و مد زمین و دیگر تغییرات را نیز اندازه گیری کنند (Carayannis, 1989).

۲-۲-۵- تغییر در نسبت سرعت موج p به s

ایجاد درزها و ترکها در سنگها موجب تغییر خواص فیزیکی سنگها می گردد که یکی از این تغییرات، تغییر سرعت موج p به s می باشد. این نسبت با نزدیک شدن به زمان وقوع زلزله افزایش می یابد. دلیل اصلی این پدیده، افت سرعت موج s در زمانی است که سنگ درز و شکاف دار است و آب در لابه لای درزه ها وارد می شود (پورکرمانی، ۱۳۷۶). در شکل ۲-۳ نمودار تغییرات v_p/v_s پیش از زمین لرزه لانگ لینگ چینو (Rikitake, 1985) نشان داده شده است. در این شکل افزایش v_p/v_s بدین معنی است که به علت آبدار شدن محیط قبل از زلزله، سرعت موج s کاهش یافته است ولی سرعت موج p تغییر چندانی نداشته است.



شکل ۲-۳- نمودار تغییرات v_p/v_s پیش از زلزله لانگ لینگ چینو (Rikitake, 1985).

۲-۲-۶- نسبت پاسخ بارگذاری به بار برداری^۱ (LURR)

این روش پیش‌بینی در واقع نوعی پیش‌نشانگر میان مدت ژئودتیکی است و عبارت از ثبت اغتشاشات نسبت استرین بنیوف (Benioff) آزاد شده در دوره های بارگذاری و باربرداری ناشی از جزرومد (مبتنی بر ملاک گسیختگی کولومب) در گسله‌های جهت یافته می‌باشد (Yin et al 1995;2000). مطالعات انجام شده قبلی، ثبت مقادیر بالای LURR را ماهها تا سالها قبل از رخداد های لرزه ای بزرگ به اثبات رسانیده است.

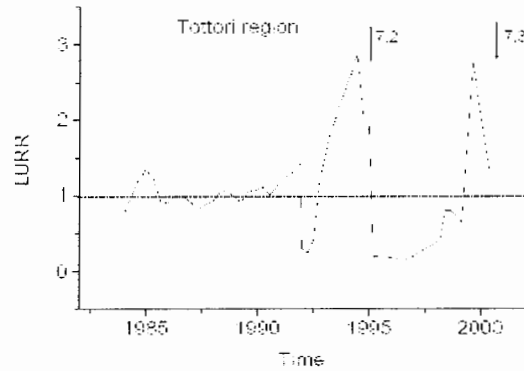
به طور کلی این تئوری بر این پایه استوار است که وقتی سیستم، پایدار است پاسخ بارگذاری و باربرداری در آن سیستم یکسان است و وقتی که سیستم ناپایدار است نسبت پاسخ بارگذاری بیشتر از پاسخ به باربرداری است.

بعبارتی دقیقتر:

$$LURR = \frac{x^+}{x^-} > 1 \quad (1) \quad \text{در اینجا} \quad x = \lim_{\Delta P \rightarrow 0} \frac{\Delta R}{\Delta P} \quad , \quad x^+ \text{ پاسخ بارگذاری}$$

و x^- پاسخ باربرداری است. ΔP تغییر بارگذاری و ΔR پاسخ به این بارگذاری است.

در شکل ۲-۴ آنومالی LURR در زلزله های توتوری و کوبه ژاپن نشان داده شده است. این شکل مبین شروع آنومالی LURR در حدود دو سال قبل از زلزله کوبه (در ژانویه، ۱۹۹۵) و یک سال قبل از زلزله توتوری (در اکتبر، ۲۰۰۰) می‌باشد (Yin, et al., 2003).



شکل ۲-۴- آنومالی LURR قبل از دو زلزله کوبه به بزرگی ۷/۲ و توتوری به بزرگی ۷/۳ ژاپن.

۲-۲-۷- مشاهدات خزش گسل^۱

خزش گسل یک لغزش تدریجی است که در اثر پس زدن سنگها در طول محدوده ضعیف گسل ایجاد می‌گردد. خزش گسل به عنوان پروسه گسیختگی غیرلرزه ای است، بدون اینکه موج لرزه ای قابل تشخیص تولید گردد.

رابطه مستقیمی بین خزش گسل و زلزله وجود دارد. در طول آن قسمت از گسل که فشارها توسط حرکات لغزشی گسل آزاد نمی‌گردد، احتمال وقوع زلزله های با بزرگی بالا زیاد می‌باشد و بالعکس، نرخهای خزش بالا به طور کلی از زلزله های با بزرگی بالا جلوگیری می‌کند. لغزش گسل همیشه نرخ ثابتی ندارد؛ بطوریکه در مورد گسل سن آندریاس گاهی اوقات لغزش گسل به طور ناگهانی با نرخ حدود ۵/۵ میلیمتر در دقیقه صورت می‌پذیرد و سپس با پریودهای بسیار درازتر با نرخ خزش تدریجی کاهشی دنبال می‌شود.

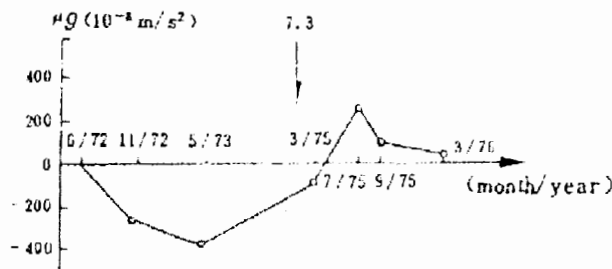
برای اندازه گیری میزان خزش زمین، از خزش سنج ها که بین نقاط مشخص در طرفین گسل به صورت قطری نصب می‌گردد، استفاده می‌شود (Carayannis, 1989).

۸-۲-۲- کج شدگی زمینی^۱

انحراف سنج ها دستگاههایی می باشند که جابجایی های قائم و بالا آمدگی های پوسته را اندازه گیری می کنند. (Rikitake, 1976) ۸۹ مورد کج شدگی قبل از زلزله های بزرگ را گزارش داده اند.

۹-۲-۲- مشاهدات ثقل سنجی (گرانی)

این تغییرات توسط دستگاههای گراویمتر قابل ثبت است و شامل اندازه گیری شتاب ثقل زمین در نواحی فعال لرزه ای می باشد. در ضمن این اندازه گیری ها توسط ماهواره ها نیز انجام می پذیرد (Rikitake, 1985). ۶ مورد تغییر گرانی زمین را قبل از زلزله های بزرگ رخ داده در جهان، گزارش داده است. شکل ۵-۲ مثالی از کاربرد این پیش نشانگر است.



شکل ۵-۲- تغییرات گرانی پیش از زلزله هایچینگ (Zongjen, 1990).

۱۰-۲-۲- تغییر تراز سطح دریا

گزارشاتی مبنی بر تغییر تراز سطح دریا در نواحی ساحلی، پیش از وقوع زلزله های بزرگ موجود است. البته تغییر تراز سطح دریا تابعی از عوامل جوی نظیر: دما، فشار و باد می باشد. لذا تصحیحات زیادی جهت استفاده از این پیش نشانگر لازم است. با این وجود در برخی از زمین لرزه های چین و ژاپن این تغییرات مشاهده شده است که در جدول ۱-۲ آمده اند.

جدول ۱-۲- تغییرات تراز آب دریا، قبل از برخی زلزله های بزرگ ژاپن و چین (Rikitake, 1985; Zongjen, 1990).

کشور	زمان پیش نشانگری (ساعت)	بزرگی	سال	زمین لرزه
ژاپن	۸	۶/۵	۱۷۹۳	آچی کازاوا
ژاپن	۴	۶/۶	۱۸۰۲	سادو
ژاپن	۰.۳	۷/۱	۱۸۷۲	هامادا
ژاپن	۲/۵	۷/۵	۱۹۲۷	تانگو
چین	۶	۷/۳	۱۹۷۵	های چینگ
چین	۵	۷/۸	۱۹۷۶	تانگ شان
چین	۸	۷/۴	۱۹۶۹	بوهایی

۱۱-۲-۲- پیش نشانگر های آبشناختی

این پیش نشانگر شامل تغییر در تراز آب و پارامترهای فیزیکی و شیمیایی آب می شود. قبل از وقوع زلزله، تغییر در فشار و آهنگ جریان و تغییر در دما، رنگ، هدایت الکتریکی و غلظت گاز رادون مشاهده شده است (Zmazek et al., 2002).

در شکل ۲-۶ تغییرات هدایت الکتریکی و دمای چشمه آب گرم سولوانا (Solvana) در رخداد های مختلف زلزله نشان داده شده اند.

شکل ۲-۶- هدایت الکتریکی و حرارت آب در منطقه Bled در محدوده های زمانی قبل و بعد از رخداد های لرزه ای موجود در حوالی منطقه. Ec و T قبل از زلزله ۳/۱ ریشتری رخ داده در شعاع ۳۲ کیلومتری منطقه Bled دچار آشفته‌گی شده اند (Zmazek et al., 2002).

۲-۲-۱۲- پیش نشانگرهای الکترو مغناطیسی و مغناطیسی

به طور کلی این پیش نشانگرها شامل آندسته از علائم و نشانه های قبل از زلزله می‌باشند که به نحوی در ارتباط با رفتار امواج و جریان الکتریسیته می‌باشند ظهور این پیش نشانگرها، مستلزم وجود جریانهای الکتریکی هزاران آمپری در حوالی کانون زلزله است. به عنوان مثالی از اثرات الکتریکی زلزله، به زمین لرزه Chi-Chi می‌توان اشاره نمود که چند روز قبل و حتی چند روز بعد از زلزله، آنومالی های میدان مغناطیسی در حوالی کانون مشاهده شده است (Chuo et al., 2002).

تلاشهای زیادی در دنیا صورت گرفته است تا به این سؤال پاسخ مناسبی داده شود که جریانهای الکتریکی چگونه در زمین ایجاد می‌شوند، در حالیکه زمین در حالت خشک، نارسا است. در این راستا سه تئوری مشهور پیزوالکتریسیته^۱، پتانسیل های جریانی^۲ و حفرات مثبت^۳ (حفرات P) مطرح گردید. تئوری حفرات p توانسته است به توضیحات مناسبتری برای نحوه رخداد یکسری از پیش نشانگرها نسبت به دو تئوری دیگر ارائه نماید.

۱-Pizelectricity
۲-Streaming Potential
۳- Positive Hole

در ادامه به بررسی مختصر سه تئوری یاد شده می‌پردازیم تا توانایی‌ها و کاستی‌های هر یک، مشخص شود.

۱- فرایند پیزوالکتریسیته

این فرایند در برخی کانیها و به طور قابل ملاحظه در کوارتز، هنگامیکه تحت فشار قرار می‌گیرد، اتفاق می‌افتد. کریستالهای کوارتز زمانیکه فشرده می‌شوند، در جهات کریستالوگرافی مشخص، ولتاژهای مثبت و منفی را در سطوح مخالف به علت جابجایی دقیقه ای یونهایشان نسبت به همدیگر در طول یک محور قطبی تولید می‌کنند. با در نظر گرفتن قانون هوک می‌توانیم بیان کنیم که در بازه واکنش الاستیک سنگها، ولتاژهای ایجاد شده، متناسب با فشار اعمال شده می‌باشد. هنگامیکه فشار بالا باشد، ولتاژهای ایجاد شده می‌تواند جهت تولید برق و جرقه نیز کافی باشد که از این خصوصیت کوارتزها در ایجاد جرقه در بخاری‌های گاز سوز و دیگر وسایل خانگی استفاده می‌شود.

در سنگهایی مثل گرانیت که درصد بالایی از کوارتز را دارا می‌باشند، اعمال فشار به طور مسلم به ایجاد ولتاژ پیزوالکتریکی در هر کریستال کوارتز منجر خواهد شد. اگر کریستالها به صورت اتفاقی در یافت سنگ قرار گرفته باشند، ولتاژهای پیزوالکتریک محلی ایجاد شده، از بین خواهد رفت. به عبارتی وجود میدان الکتریکی در دراز مدت تنها در شرایطی که کریستالها دارای جهت یابی مشخص باشند انتظار می‌رود (Fround, 2003).

۲- فرایند پتانسیل‌های جریانی

برخی از محققان جریانهای الکتریکی را ناشی از پتانسیل‌های جریانی مایعات می‌دانند که در واقع یک جریان الکتریکی است که در هنگام عبور تحت فشار آب از یک فضای متخلخل ایجاد می‌شود. در واقع در این فرایند، حامل‌های بار، یونهای الکتریکی محلول در مایع می‌باشند. در حین حرکت آب، دیواره‌های خلل و فرج، مقداری یون باردار در خود نگه می‌دارند؛ در حالیکه آب متحرک یونهای با بار مخالف را به بیرون انتقال می‌دهد. تئوری پتانسیل‌های جریانی از این حقیقت که ولتاژهای ایجاد شده تنها زمانی می‌توانند زیاد باشند که رسانایی سیالها بالا باشد، رنج می‌برد. برعکس اگر رسانایی نیز

بالا باشد، پتانسیل های جریان خود به یک عامل محدود کننده تبدیل می شوند و به سختی می توانند در مسافت های معقول از چند میلی ولت تجاوز کنند. بدین ترتیب این فرایندها نیز برای جریان هزاران آمپری که فرض می شود قبل از زلزله ها در پوسته زمین جریان می یابند کافی نمی باشد (Fround, 2003).

۳- تئوری حفرات مثبت (حفرات P)

برای چند دهه به منظور توجیه پیش نشانگرهای غیر لرزه ای زلزله، بر روی دو پروسه پیزوالکتریسته و پتانسیل های جریانی متمرکز شده بود. از آنجاییکه این تئوریهها به دلایل ذکر شده در بالا، نتوانستند توجیه مناسبی برای رخداد های الکتریکی قبل از زلزله ارائه دهند، تئوری دیگری به نام حفرات P توسط فروند مطرح گردید که به نظر می رسد علی رغم اینکه به طور کامل توسط مجامع جهانی پذیرفته نشده است، دارای منطق محکمی بوده و می توان آنرا به محدوده وسیعی از پدیده های الکتریکی و الکترومغناطیسی پیش از زلزله نسبت داد.

اغلب سنگها در حالی که عایقهای خوبی می باشند، دارای حامل های بار خوابیده ای نیز هستند. این حامل های بار، الکترونها ی معیوب در زیر شبکه O^{-2} می باشند که در باند ظرفیت کانیه های سیلیکاته قرار دارند و به حفرات P یا حفرات مثبت مشهور می باشند. از دیدگاه ژئوشیمیایی حفره P به عنوان یک O^{-} در ماتریس O^{-2} تصور می شود و از نظر فیزیکی حفره مثبت، یک بار الکترونی غیرمتمرکز است که بوسیله جهش از یک سایت O^{-2} به یک سایت O^{-2} دیگر در فرکانسهای فونون شبکه کمتر از 10^{12} هرتز حرکت می کند. به علت اینکه باند ظرفیت اکسیدها و سیلیکاتها در وضعیت 2P می باشند، حفره های P از سنگها، تقریباً همانند انتشار الکترون از مواد آهنی می توانند انتشار یابند. این وضعیت دلالت بر این واقعیت دارد که این حفرات قادرند در داخل سنگها با سرعت بالا و تضعیف کم جریان یابند. براساس آزمایشات صورت گرفته، سرعتی که یک ابر بار حفره P می تواند انتشار یابد، در حدود ۱۰۰ تا ۳۰۰ متر بر ثانیه است. بایستی در نظر داشت که حفرات مثبت در حالت عادی پایدار نبوده و به سرعت به PHP یا جفت حفرات مثبت غیرفعال که اثری بر روی رسانایی سنگ ندارند تبدیل می شوند.

- خلاصه ای از آزمایشات انجام شده بر روی سنگهای آذرین برای کشف حفرات p (Freund, 2004).

این کشف که حفرات p، در حالت غیرفعال و خوابیده در سنگهای آذرین موجود می‌باشند و می‌توانند توسط استرس فعال شوند، می‌تواند ما را به درک بهتری از آنومالی های غیرلرزه ای ثبت شده قبل از زلزله برساند.

برای اثبات اینکه پیزوالکتریسیته کوارتز نمی‌تواند خاصیت الکتریکی سنگها را کنترل کند یکسری آزمایشات بر روی سنگهای گرانیتی غنی از کوارتز و آنورتوزیتی فاقد کوارتز صورت گرفت. مطالعات انجام شده، نشان می‌دهد که استرس، حامل های بار هر دو نوع سنگ سیلیکاته را فعال می‌کند. وقتی که حفرات p فعال می‌شوند، قادرند به اطراف منتشر شوند و این جریان رو به خارج زمینه را برای تشکیل جریانهای الکتریکی زمینی فراهم می‌آورد.

پس از اعمال بار بر روی بلوک های گرانیت، آنورتوزیت و شیشه Ca,Al,Na نتایج زیر حاصل آمده است:

۱- ولتاژ مثبت که غالباً به ۳۷+ ولت می‌رسد در حدود ۱/۵ میلی ثانیه قبل از رسیدن امواج صوتی ناشی از گسیختگی ثبت گردید.

۲- سیگنالهای الکتریکی مشاهده شده در حین اعمال بار با سیگنالهای نوع پیزوالکتریسیته در سنگ گرانیت، مطابقت نداشت. ولی یک وابستگی مشخص به زمان گسیختگی نشان داد.

۳- نرخ ماگزیمم تولید حفرات p ناشی از جابجایی های درونی سنگ زمانی رخ می‌دهد که این جابجایی ها به یک تراکم بحرانی برسد. بعبارتی مرحله ادغام ترکها برای ایجاد ترکهای اصلی شروع می‌شود.

۴- برهم کنش میدانهای بار ایجاد شده ناشی از حفرات باعث ایجاد میدانهای بار متحرک می‌شود که نهایتاً تشعشع EM رخ خواهد داد.

۵- در اثر جمع شدن آنومالی های مثبت پتانسیل الکتریکی در ۴ تا ۵ ولت در اطراف سنگ، یکسری اغتشاشات یونسفری القاء خواهد شد.

۶- تشکیل لایه نازک بار ناشی از حفرات P می‌تواند منجر به یونیزاسیون هوا، تشکیل مه خفیف، تخلیه کرونا و نویز استاتیک شود.

۷- تشعشع در طول موجهای ویژه ارتعاش کشسانی پیوند O-O که در حدود ۸۵۰ تا ۹۵۰ میکرومتر می‌باشد، رخ می‌دهد.

۳-۱- فرایند بیدار شدن حفرات P و ارتباط دادن آن به برخی پیش‌نشانگرها

در رخداد زلزله تحت استرس و فشار، در سنگها تغییر شکل پلاستیکی رخ می‌دهد. لذا مهمترین عاملی که می‌تواند باعث شکسته شدن PHPها و رها شدن حامل های بار P شود، تغییر شکل مکانیکی در سنگهاست. هر بار این تغییر شکل ها یک PHP را قطع کند، یک حفره P فعال می‌شود. به عبارتی دیگر نرخ تولید حفرات مثبت تابع جابجاییها در سنگ بوده که با افزایش این جابجاییها نرخ تولید حفرات نیز افزایش می‌یابد. ولی با خارج شدن جابجاییها از مرز ماگزیمم تغییر شکل پلاستیکی سنگ، این نرخ روند کاهشی به خود می‌گیرد تا اینکه در هنگام گسیختگی در سنگ به کلی تحلیل می‌روند.

این حفرات پس از تولید، می‌توانند از باند ظرفیت عبور کنند و از یک مکان به مکان دورتر منتقل شوند. تنها نیاز این شارش اینست که مسیر پیوسته از تماس دانه به دانه در بافت سنگ در مکانهایی که باندهای ظرفیت به هم متصل شده اند، وجود داشته باشد. آزمایشات موفقیت آمیز زیادی توسط پروفیسور فروند و همکارانشان در بخش ژئودینامیک ناسا بر روی سنگهای گرانیتی، آنورتوزیتی و شیشه، جهت اثبات تئوری انجام پذیرفته است که به خاطر پیچیدگی و حجم زیاد این آزمایشات، از بیان آنها خودداری می‌شود (Freund, 2002).

در ادامه به بررسی ارتباط این حفرات با ظهور برخی از پیش‌نشانگرها قبل از زلزله می‌پردازیم.

۳-۱-۱- تشعشعات الکترومغناطیسی

همان طور که در مباحث قبلی بحث شد، این تشعشعات توسط گروه‌های زیادی از محققین قبل از زلزله های بزرگ مشاهده شده اند.

به منظور تولید هرگونه تشعشع EM، لازم است که حامل های بار الکتریکی متحرک، موجود باشند و همچنین این بارها بایستی یا بصورت مکانی جابجا شوند یا در بعد زمانی کم یا زیاد شوند. در فرایند زلزله، توده سنگ تحت استرس، در محل تولید حفرات p ، به عنوان یک منبع تولید حامل های بار عمل کرده و به اطراف منتشر می شود. این قبیل جریانهای رو به بیرون، تولید یکسری میدانهای الکتریکی می کند که در مقابله با جریانهای رو به بیرون می باشند. این میدان نیز به نوبه خود، بارهای دیگر را فعال خواهد کرد که منجر به کاهش میدان برعکس خواهند شد. نتیجه نهایی، این خواهد بود که حفرات p که به بیرون انتشار می یابند، در اثر عمل میدانهای معکوس که دائم در حال افزایش و کاهش هستند، کاهش و افزایش خواهند یافت و از این طریق حرکت حامل های بار را سبب می شوند (Freund, 2002). بدین ترتیب نحوه ظهور پیش نشانگرهای الکترومغناطیسی قبل از زلزله توسط این تئوری توجیه می گردد.

۳-۱-۲- تغییر در پتانسیل الکتریکی زمین واغتشاشات یونسفری

قبل از زلزله های بزرگ، یونسفر زمین آشفتگی های قابل ملاحظه را نشان داده است. این آشفتگی ها در یک منطقه تقریباً ۱۰۰۰ تا ۵۰۰ کیلومتری رخ می دهد و نیازمند تغییر میدان الکتریکی سطح زمین، به مقدار کافی، جهت القای واکنش های یونسفری می باشد (Pulinets & Boyarchun, 2004). سطح زمین و یونسفر می توانند، بعنوان دو صفحه خازن در نظر گرفته شوند که صفحه زمینی ثابت است در حالیکه یونسفر متحرک است. این مسئله می تواند میدان الکتریکی زمین را تغییر دهد. بررسی ها نشان داده است که پتانسیل زمینی، اغلب قبل از زلزله های بزرگ مثبت می شود. در نتیجه محدوده غنی از الکترون (بار منفی) یونسفر فوقانی به پایین حرکت می کند، در حالیکه قسمتهای پایینتر غنی از یون (بار مثبت) به یک طرف رانده می شود (Liu et al., 2002).

۱- contract to out flow

از کارهای اخیر فروند (۲۰۰۴) چنین برمی آید که حفرات p در محل منشأ فعال شده و می‌توانند با سرعت ۱۰ تا ۲۰ سانتی متر در سنگ بدون استرس حرکت کنند و منجر به ایجاد یک پتانسیل مثبت زمینی در حدود ۴ تا ۵ ولت شوند. هنوز مشخص نشده است که این حامل‌های بار با چه بازه‌ای به فاصله طولانی‌تر که دارای لایه‌های اشباع از آب هم می‌باشند، منتقل می‌شوند. به هر حال اگر این حفرات از کیلومترها سنگ عبور کنند، به سطح زمین خواهند رسید و موجب ایجاد پتانسیل سطحی مثبت می‌گردند. مرکز این آنومالی مثبت سطحی قاعدتاً بایستی بر بالای منبع تولید حفرات قرار گیرد. که این مسئله قبل از رخداد‌های زلزله گزارش شده است. بدین ترتیب تئوری حفرات مثبت می‌تواند توجیه علمی خوبی در مورد ظهور این دسته از پیش‌نشانگرها نیز ارائه دهد.

۳-۱-۳- یونیزاسیون هوا، تشکیل مه خفیف، تخلیه کرونا، نویز استاتیک

یکی از خواص حفرات p اینست که وقتی به سطح می‌رسند، تشکیل یک لایه نازک باردار به ضخامت تقریبی 10nm می‌دهند. پتانسیل سطحی تابعی از ثابت دی الکتریک بین ماده دی الکتریک و هواست. برای یک ثابت دی الکتریک از یک تا ۱۰، پتانسیل سطحی محاسبه شده، ۴ ولت است که مطابق با مقادیر اندازه‌گیری شده می‌باشد (Freund, 2002). با فرض ضخامت لایه باردار به اندازه 10nm ، میدان الکتریک مربوطه، در یک سطح صاف در حدود $10^7 - 10^8\text{m}^{-1}$ ملکولهای هوا می‌توانند یونیزه میدانی شوند. در صورت بروز چنین پدیده‌هایی حوادث زیر می‌توان اتفاق بیافتد:

- تزریق یونهای بار دار مثبت به هوای اطراف زمین

- شکست دی الکتریکی هوا؛

- شروع تخلیه کرونا؛

- تشعشع نور مرئی از تخلیه پلاسما؛

- گسیلش تشعشعات الکترومغناطیسی فرکانس بالا.

یونهای رانده شده به هوا انتظار می‌رود که به عنوان یک مرکز تشکیل قطرات آب عمل کنند و توجیهی برای مه‌های کوچک و یا بزرگ سطح زمین، قبل از برخی زلزله‌ها به شمار آیند. یونهای

مثبت می‌توانند همچنین یک اساس فیزیکی برای توجیه رفتار غیرعادی حیوانات قبل از برخی زلزله های بزرگ باشند.

تخلیه کرونا می‌تواند منجر به پدیده لومینسانس که مشهور به نور زلزله است، شود که در برخی رخدادهای بزرگ لرزه‌ای، چند روز، چند ساعت یا چند دقیقه قبل از وقوع زلزله مشاهده شده است (Freund, 2003).

در هنگام تخلیه کرونا در هواپیماها نیز نویزهایی دریافت می‌شود که به نویز استاتیک مشهور است.

۳-۱-۴- آنومالی های حرارتی و تشعشع Mid-IR القا شده در زمین

انرژی موجود در تنش های وارده به زمین تا قبل از وقوع زلزله می‌تواند پیوند پروکسی را بشکند. طبق آزمایشات انجام شده توسط پروفیسور فروند در سال ۱۹۹۳ انرژی فعال سازی حرارتی برای جدا سازی باندهای پروکسی (O-O) در حدود 2.4ev یا 220Kjmol^{-1} تخمین زده شده است. همانطور که در مباحث قبلی ذکر شد؛ شکست پیوندهای پروکسی توسط استرس وارده به سنگها می‌تواند باعث آزاد شدن حفرات p و انتشار آنها به اطراف شود. متعاقباً با رسیدن این حفرات به سطح زمین، با برداشته شدن استرس از روی سنگها، این حفرات به حالت خوابیده یا غیرفعال قبلی خود بر می‌گردند. این پدیده باز ترکیبی (تبدیل حفرات P به PHP) به دو طریق زیر می‌تواند انجام شود:

- از طریق تشعشع فوتونهای IR در فرکانسهای ویژه ارتعاش کشسانی^۱ پیوند O-O
- بوسیله تقسیم انرژی به باند های X-O مجزا ($X=Si^{+4} Al^{+3}$) که باعث می‌شود آنها به صورت ارتعاشی برانگیخته شوند و در فرکانسهای خاص X-O تشعشع کنند.

مطالعات آزمایشگاهی بارگذاری بر روی سنگ با هدف اندازه گیری تشعشع مادون قرمز میانی از بلوکهای گرانیت و آنورتوزیت مبین تساطع در طول موج های مخصوص شکست پیوندهای پروکسی (۸۵۰ تا ۹۵۰ میکرومتر) می‌باشد. به عبارتی در هنگام اعمال استرس به سنگهای سیلیکاته دارای کوارتز و فاقد کواتز، می‌تواند تشعشع مادون قرمز حرارتی رخ دهد و زمینه را برای پیش بینی زلزله فراهم سازد (Freund, 2002, 2003).

I-stretching vibration

داده های تصویر برداری ماهواره هایی نظیر NOAA (سنجنده AVHRR) و Terra (سنجنده MODIS) از سطح زمین، شواهد بسیاری از وجود آنومالی های گسیل امواج الکترومغناطیسی مادون قرمز در محدوده مادون قرمز میانی در طول موج ۳/۶ میکرومتر (Allameh-Zadeh, et al., 2004) و محدوده طول موج حدود ۸ تا ۱۲ میکرومتر (Tronin, 2002; Shou, 1999) قبل از برخی از زلزله ها ارائه داده است. در اغلب موارد این آنومالی ها، ۷ تا ۱۴ روز قبل از زلزله های بزرگتر از ۴/۸ درجه در مقیاس ریشتر، به اندازه ۲ تا ۹ درجه سانتی گراد تغییر درجه حرارت زمین، در مساحت صدها تا هزاران کیلومتر مربع در حوالی کانون زلزله مشاهده و ثبت گردیده اند. این آنومالی ها چند روز به زلزله یا چند روز بعد از زلزله ناپدید می شوند. میزان افزایش دمای سطحی زمین قبل از زلزله Zhangbei در چین در حدود ۶ تا ۹ درجه سانتی گراد بوده است (Chengyu, et al., 2000). این آنومالی ها عمدتاً به صورت طولی در راستای گسل های فعال مشاهده شده اند و وسعت دهها تا صدها کیلومتر را در بر گرفته اند. نمونه هایی از رخداد این پیش نشانگر ها به قرار زیر است.

- در دهه ۱۹۸۰ و ۱۹۹۰ روسها و چینی ها وجود آنومالی های حرارتی عجیب مربوط به زلزله ها را در آسیا خیر دادند که نمونه هایی از آنها آنومالی های حرارتی قبل از زلزله Zhangbei نزدیک دیوار بزرگ چین در ۱۰ ژانویه سال ۱۹۹۸ با بزرگی ۶/۲ می باشد. تحلیل تصاویر ماهواره ای NOAA نشان داد که قبل از زلزله مذکور، تغییرات درجه حرارت در حدود ۶ تا ۹ درجه سانتی گراد بوده است. شروع ظهور این آنومالی ها نیز از حدود ۱۴ روز قبل از زلزله بوده است و بزرگترین ناحیه ای که آنومالی ها در آن ظاهر شده بود منطقه ای به ابعاد ۵۰۰ در ۲۰۰ کیلومتر بود (Chengyu, et al., 2000).

- نمونه دیگری از وجود چنین آنومالی های حرارتی، قبل از زلزله ۱۹ مارس ۱۹۸۴ با بزرگی ۷/۲ در منطقه Gazli واقع در آسیای مرکزی می باشد. در تصویر مادون قرمز حرارتی ۱۱ مارس ۱۹۸۴، یعنی در حدود یک هفته قبل از زلزله، آنومالی های مثبت حرارتی در حوالی کانون زلزله مشاهده شد. ناحیه آنومال، وسعتی در حدود ۱۰۰۰۰۰ کیلومتر مربع را شامل می شد (Tronin, 2002).

- بررسی داده های مادون قرمز ماهواره Terra توسط فروند و Ozounov از مرکز پرواز فضایی Goddard¹- آمریکا (GSFC) نیز افزایش درجه حرارت زمینی به میزان ۴ درجه سانتیگراد، قبل از زلزله ۲۶ ژانویه سال ۲۰۰۱ در منطقه Gojarat, Bhuj هند غربی به بزرگی Ms=7.6 را نشان می دهد که این آنومالی ها در ۲۶ ژانویه به ثبت رسیده است و چند روز بعد از زلزله بطور کامل، میرا شده اند. تصاویر ماهواره ای مادون قرمز حرارتی قبل از زلزله ۶ ریشتری Taina تایوان در مارس ۱۹۹۱ نیز افزایش درجه حرارت در حدود ۶ روز قبل از زلزله را نشان داده است (Qiang, et al., 1999).

- از دیگر آنومالی های گزارش شده قبل از زلزله ها می توان آنومالی های افزایش درجه حرارت قبل از زلزله Dongsha در دریای جنوبی چین در سپتامبر ۱۹۹۲ از ۶ روز قبل از زلزله نام برد (Qiang et al., 1999).

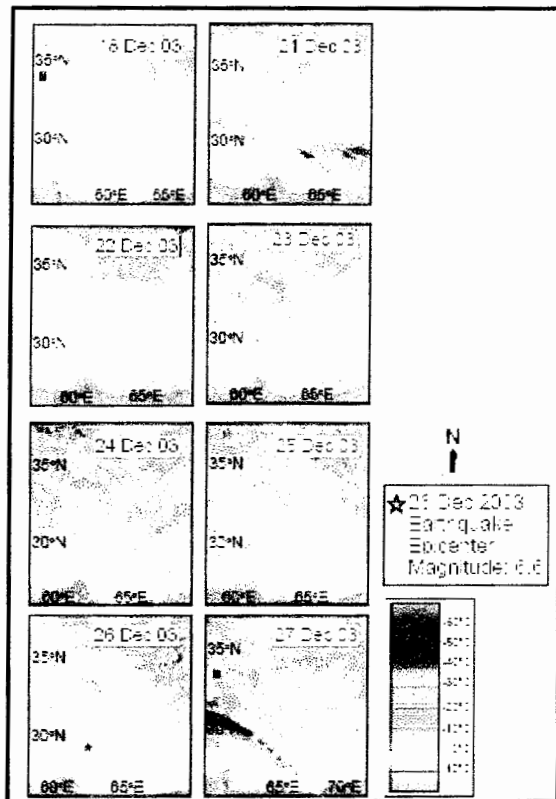
- رحیمی تبار و همکارانش نیز در سال ۲۰۰۴، پس از بررسی داده های کانال ۲۰ سنجنده Modis در محدوده ۳/۶۶ تا ۳/۸۴ میکرومتر، آنومالی های مادون قرمز میانی قبل از زلزله های کوچک حوالی شهر یزد را گزارش نمودند (Allameh-zadeh, 2004).

- قبل از زلزله بیم نیز آنومالی های حرارتی توسط آقای آران و همکارانش (۲۰۰۴) به ثبت رسیده است که به طور خلاصه به بررسی آن می پردازیم:

برای این منظور، داده های ماهواره NOAA (AVHRR) در طی شب و روز چهارگوش ایران در طی ۹۰ روز به زلزله استفاده شده و داده های شب و روز به کمک اطلاعات باند ۴ سنجنده AVHRR به طور جداگانه به نقشه های LST یا دمای سطحی تبدیل شده اند. برای تهیه این نقشه ها مناطق پوشیده از ابر از محاسبات حذف شده و محدوده های دمایی ۳۰- تا ۳۵ درجه سانتی گراد برای روز منطقی و محدوده های دمایی ۷۰- تا ۲۰ درجه سانتی گراد برای شب منطقی تشخیص داده شدند. مشاهدات قبل از زلزله مبین افزایش حرارت غیرعادی در حدود ۵ تا ۷ درجه سانتی گراد هم در شب و هم در روزهای قبل از زلزله بود.

تغییرات شب که در شکل ۲-۷ نشان داده شده است، مبین رژیم حرارتی غیرعادی بالا در ۲۱ دسامبر ۲۰۰۳ در حوالی کانون زلزله است. این افزایش در ۲۲ دسامبر روند کاهشی به خود گرفته و در

۲۳ دسامبر حالت عادی به خود می‌گیرد تا اینکه زلزله بم ۳ روز بعد رخ می‌دهد. نتایج تحلیل داده های روز هم مبین شروع آنومالی حرارتی از ۲۲ دسامبر می باشد که در روز ۲۴ دسامبر به بیشترین مقدار می‌رسد و سپس رو به کاهش می‌دهد (Arun et. al., 2004).



شکل ۲-۷- تصاویر آنومالی حرارتی تهیه شده در شبهای قبل و بعد از زلزله بم. بیشترین آنومالی حرارتی در ۲۱ دسامبر ثبت شده است.

از کنار هم قرار دادن دو پیش‌نشانگر ابر زلزله و پیش‌نشانگر آنومالی های حرارتی، مشخص می‌شود که ارتباط تنگاتنگی بین زمان رخداد ابر زلزله و آنومالی حرارتی وجود دارد. بدین ترتیب که اختلاف زمانی رخداد این دو پیش نشانگر کمتر از یک روز می‌باشد. با تکیه بر همین اصل می‌توان مدل سازی‌های ارزشمندی برای پیش بینی زلزله مناطق مختلف کشور با تلفیق این دو روش ارائه داد.

۲-۲-۱۲-۲-۲-۲ روش Q&D چین

در این روش با استفاده از داده های ماهواره ای مادون قرمز ماهواره های EO¹ آنومالی های مثبت حرارتی قبل از زلزله کشف شده و پیش بینی ها صورت می پذیرد. در این روش آنومالی های مثبت حرارتی در حدود ۲ تا ۴ درجه سانتی گراد و بیشتر در هر جاییکه بین یک روز تا یک ماه قبل از زلزله ها آشکار سازی می گردد. از مزیت های این روش ارزان بودن و قدرت پوشش مکانی و زمانی بالا می باشد. از سال ۱۹۸۹ تا ۲۰۰۵ مجموعاً ۶۲ زلزله بزرگ در چین رخ داده است که این سیستم ۵۰ زلزله را به دقت های زیر پیش بینی کرده است:

۱۲ مورد از پیش بینی ها بطور کامل در بازه مکانی و زمانی مورد نظر رخ داده اند یا عبارتی کاملاً صحیح بوده اند. ۲۴ مورد نیز با کمی جابجایی مکانی و زمانی روی داده اند. ۹ مورد خارج از بازه مکانی و زمانی پیش بینی شده رخ داده اند و فقط ۵ مورد اخطارهای نادرستی بوده اند (Hongjie, 1995).

۲-۲-۱۲-۳-۳-۳ ابر های زلزله^۲

ایتالیایی ها و چینیهایی قدیمی، ابرهای مخصوصی را که پیش نشانگر زلزله قریب الوقوع بودند را گزارش داده اند. یادداشت های تاریخی حاکی از ظهور ابرهای سیاه در یک روز آفتابی قبل از برخی زلزله های بزرگ در ۳۰۰ سال قبل می باشد.

این روش دوباره در دو دهه قبل در ژاپن و چین زنده شد. در ۶ صبح مارس ۱۹۷۸، Kagida، شهردار سابق شهر Nara، ژاپن، زلزله ۷/۸ ریشتری Kanav در ۷ مارس را توسط ابرهای زلزله پیش بینی کرد. با این پیش بینی موفق، دوره کوتاهی مجامع علمی ژاپن و چین سرگرم این روش شدند که سرانجام در سال ۱۹۸۵ کنار گذاشته شد. ولی دوباره تحقیق بر روی این روش پیش بینی توسط Zhongao shou، شیمی دان بازنشسته چینی در کالیفرنیا، آغاز گردیده است. در ادامه اصول کار در این روش شرح داده شده است.

1- Earth Observation Satellites

2- Earthquake Cloud

- بررسی مدل (Shou, 1999)

هنگامیکه یک سنگ تحت فشار ناشی از حرکات زمینی قرار می‌گیرد، در ابتدا قسمتهای ضعیفتر شروع به شکستن می‌کنند و سپس زلزله اتفاق می‌افتد. با توجه به اینکه زلزله های بزرگ یکسری شکافهایی عظیم در پوسته زمین ایجاد می‌کنند، انتظار می‌رود که پیش لرزه‌ها هم موجب شکافهای کوچکتر شوند و زمینه را برای ورود آبهای زیرزمینی به درون سنگها فراهم آورند. از آنجاییکه حرکت سنگها در امتداد گسلها موجب تولید گرمایی در حدود ۳۰۰ تا ۱۵۰۰ درجه سانتیگراد می‌شود. لذا این گرما قادر است که آبهای زیرزمینی منطقه را گرم و زمینه را برای تبخیر آب از سطح زمین فراهم آورد. به عنوان مثال در زلزله ۷/۳ ریشتری Borah Peak Idaho در ۲۸ اکتبر ۱۹۸۳ آبها به علت گرم شدن تا ارتفاع ۱۱۵ فوت بالای کف دره با دبی ۴۰۰ فوت مکعب در ثانیه فوران کردند.

از آنجایی که بخارات تولید شده ناشی از فرایند های لرزه ای دمای بالایی دارند به علت سرعت بالای صعود نمی‌توان به راحتی وجود آنها را ثبت کرد. هرچند Giang همکارانش گزارش داده اند که قبل از زلزله های بزرگ و متوسط مقدار زیادی گاز بصورت محلی گسیل شده است. ولی با وجود این، این بخارها توسط بادهای سطحی انتقال پیدا می‌کنند و هنگامیکه به ارتفاعات می‌رسند سرد شده و تشکیل ابر خاصی را می‌دهند که به ابر زلزله مشهور است.

وجه تمایز این ابر ها از ابرهای آب و هوایی در سه مورد زیر خلاصه می‌شود:

۱- ظاهر شدن ناگهانی؛

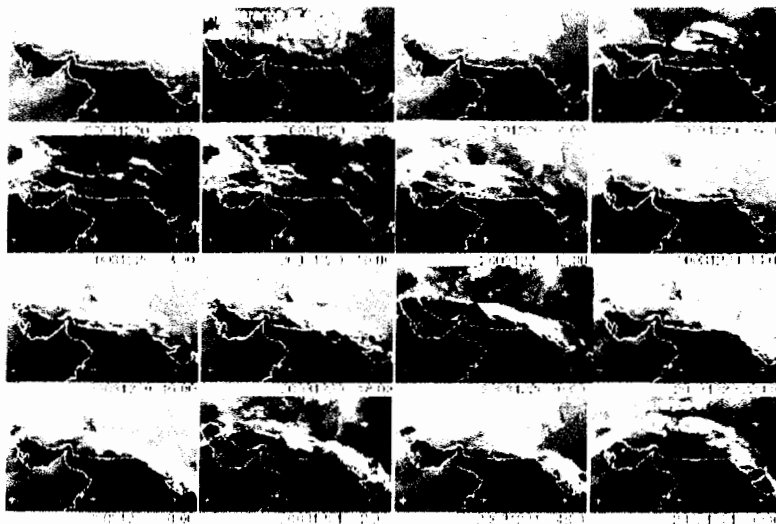
۲- موقعیت منبع ثابت (یک گسل)؛

۳- شکل مخصوص (شبیه یک خط، یک مار، چند خط موازی یا فانوسی شکل).

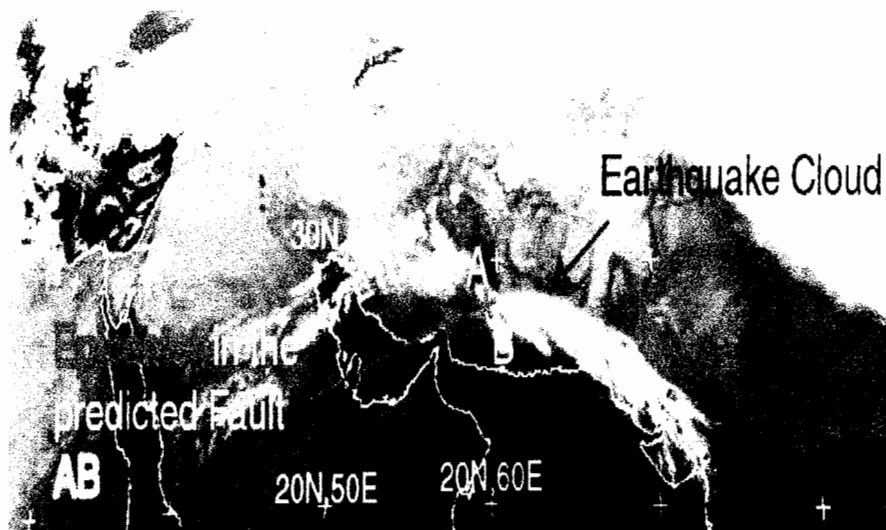
از لحاظ قابلیت اعتماد در کل، shou حدود ۵۰ پیش بینی را از سال ۱۹۹۴ تا ۲۰۰۱ انجام داده است که از این تعداد پیش بینی، ۳۴ مورد یا بعبارتی ۶۸٪ در بازه زمانی ۱۰۳ روز، موقعیت و بزرگی درست بوده اند و ۱۶ مورد نادرست اعلام شدند.

- ابر زلزله بم

Shou (۲۰۰۴) با استفاده از تئوری ابرهای زلزله و با تکیه بر تصاویر ماهواره ای^۱ Indoex^۱ زلزله ۲۶ دسامبر ۲۰۰۳ بم را در ساعت ۱۷/۵۸ به زمان UTC روز ۲۵ دسامبر پیش‌بینی کرد (شکل ۲-۸). او اعلام کرد که زلزله ای با بزرگی بیشتر یا مساوی ۵/۵ ریشتر در ۶۰ روز آینده در طول گسل AB (شکل ۲-۹) اتفاق خواهد افتاد. در حالیکه پیش‌بینی با بازه زیاد شامل زلزله ای با شدت ۵ یا بیشتر در طول ۹۸ روز آینده بود، زلزله دقیقاً در روی گسل پیش‌بینی شده (گسل بم) در روز بعد از پیش‌بینی اتفاق افتاد و بزرگی آن نیز در پنجره بزرگی پیش‌بینی شده بود.



شکل ۲-۸- سری های زمانی ابر زلزله بم. این سریها از تصاویر ماهواره IndoEX نشان می‌دهد که چطور ابر زلزله بم به طور ناگهانی در ساعت ۲:۰۰ روز ۲۰ دسامبر ۲۰۰۳ ظاهر شد و به سمت شرق از نقطه ظهورش گسترش یافت و در ساعت ۶:۰۰ روز ۲۱ دسامبر ناپدید گردید.



شکل ۲-۹- ابر زلزله بم به همراه کانون زلزله گسل پیش بینی شده AB.

۲-۲-۴- فوران زمین گرمایی^۱

این پدیده به طور کیفی متفاوت از ابرهای زلزله می‌باشد. گرچه هر دو از منبع مشترکی ساطع می‌گردند که حوالی زلزله قریب الوقوع می‌باشد.

دو خاصیت کلیدی این پدیده را در تصاویر هواشناسی قابل تشخیص می‌سازد (Shou, 2003):

یکی اینکه فوران زمین گرمایی بعنوان یک گرم کننده اتمسفری محلی ناگهانی با ناپدید شدن آبها ظاهر می‌گردد که اغلب در هنگام صبح یا عصر اتفاق افتاده و توسط ابرهای آب و هوایی یا مه پوشیده شده است.

خصوصیت دوم تداوم وجود داشتن ناحیه گرم شده علی رغم حضور ابرهای آب و هوایی متحرک می‌باشد.

1- Geothermal Eruption or Georruption

۲-۲-۵- نورهای زلزله

زمانیکه ابرهای بار حفره های p به سطح زمین می‌رسند، در سطح زمین، میدانهای الکتریکی با شدت بالا، به صورت محلی تولید می‌شوند. این میدانها در نقاط محدب توپوگرافی مانند تپه ها، خط الراس ها و قله کوهها دارای مقادیر بالا خواهند بود. بدنبال رخداد این میدانهای الکتریکی، لایه نازکی از هوای نزدیک زمین یونیزه شده و باعث افزایش سریع و آنی در رسانایی هوا خواهد شد. در عوض نقاط مقعر زمین دارای پتانسیل الکتریکی پایین خواهند بود. بدین ترتیب گرادیانهای الکتریکی جانبی افزایش می‌یابند که ممکن است تخلیه های بار هاله ای (نور زلزله) رخ دهد (Freund, 2003).

برخی نورهای زلزله که قبل از رخداد های لرزه ای مخرب مشاهده شده است در جدول ۲-۲ خلاصه شده است.

جدول ۲-۲- برخی از زلزله های مهم رخ داده در دنیا که قبل از رخداد زلزله، نور زلزله مشاهده شده است.

زلزله	بزرگی زلزله	زمان مشاهده پیش نشانگر نور زلزله
ایزمیت ترکیه، ۱۹۹۹	۷/۸	شب قبل از زلزله
کوبه ژاپن، ۱۹۹۵	۷/۲	کمی قبل از زلزله
تانگشان چین، ۱۹۹۶	۷/۸	شب قبل از زلزله
هایچینگ چین، ۱۹۷۵	۶	چند دقیقه قبل از زلزله
زلزله های ۱۹۹۶ تا ۱۹۶۵ ماتسو شیری ژاپن		در زمانهای متفاوت قبل از زلزله ها

۲-۲-۱۲-۶- نويز استاتيك

گسيله‌های الکترومغناطیسی، با فرکانس، بالا که همراه با تخلیه‌های بار، هاله‌ای می‌باشند دلیل، قابل قبولی، برای نويز استاتیک می‌باشند که بارها توسط ایراتورهای رادیویی، و خلبانها قبل از زلزله‌های بزرگ مشاهده شده است (Freund, 2003).

۲-۲-۱۳-۷- نور تویی^۱

این نورها ظاهراً حجم‌های آزاد معلق، از هوای یونیزه شده می‌باشند که خودشان را از زمین جدا می‌کنند. براساس گزارشات عینی، نور تویی، کوچک از طریق پنجره‌ها وارد اتاقها شده اند که اغلب حتی بدون ایجاد ترک در شیشه بوده اند و یا اینکه از طریق سوکتهای الکتریکی، وارد اتاقها گردیده اند. این نورها پس از چند ثانیه با یک صدای بنگ منفجر می‌شوند و بوی ازن از خود باقی می‌گذارند (Freund, 2003).

فصل سوم

روش انجام مطالعات و تهیه بانک اطلاعاتی

۳-۱- مقدمه

در این فصل روش انجام مطالعات، نحوه انتخاب زلزله و نوع داده های مورد استفاده و نهایتاً روش های تجزیه و تحلیل اطلاعات معرفی شده است. برای این منظور، ابتدا مجموعه ای از اطلاعات ماهواره ای، لرزه ای و زمین شناسی تهیه گردید. سپس از این میان، آندسته از اطلاعات که از لحاظ تئوری با مشکل خاصی مواجه نبودند، جهت مطالعه انتخاب گردید. در فصل چهارم نتایج بدست آمده از اعمال روشهای ذکر شد در این فصل مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

۳-۲- انتخاب زلزله

برای این کار لیست زلزله های رخ داده بزرگتر از ۵ ریشتر در چند سال اخیر که شانس دسترسی به داده های ماهواره ای و هواشناسی آنها بیشتر بود، تهیه گردید. این بانک شامل ۶ زلزله چند سال اخیر می باشد که اطلاعات آنها در جدول ۳-۱ ارائه شده است.

جدول ۳-۱- برخی مشخصات زلزله های بزرگتر از ۵ ریشتر در چند سال اخیر.

مکان زلزله	بزرگی	تاریخ وقوع (هجری شمسی)	زمان دقیق زلزله (وقت محلی)	طول جغرافیایی (درجه)	عرض جغرافیایی (درجه)
آق قلعه (گرگان)	ML=6	۸۳۷۱۷	۱۱:۱۶:۰۰	۵۴۵۶	۳۷۳۵
		۲۰۰۴/۱۰/۹			
چهرم داراب (فارس)	MS=5.6	۱۳۸۲۴۱۹	۲۱:۳۶	۵۴۲۱	۲۸۳۰
		۲۰۰۳/۷/۱۰			
راور (کرمان)	ML=5.1	۸۳۷۱۵	۱۴:۴۶	۵۷.۱	۳۱.۸
		۲۰۰۴/۱۰/۱۴			
زلزله بم (کرمان)	MW 6.5	۱۳۸۲۱۰۵	۵:۲۶:۲۶	۵۸۲۹	۲۸۹۹
		۲۰۰۳/۱۲/۲۶	۱۲:۲۶		
زمین لرزه چنگوره (آوج)	Mw 6.5	۱۳۸۱۴۱	۷:۲۸:۲۰	۴۸۹۳	۳۵۶۷
		۲۰۰۲/۶/۲۲			
زلزله فیروز آباد کجور	MS 6.3	۱۳۸۳۳۸	۱۷:۰۸	۵۱۶۴	۳۶۳۷
		۲۰۰۴/۵/۲۹			

سپس لیست جامعی از اطلاعات موجود ماهواره ای NOAA و MODIS تهیه شد (جدول ۳-۲). در مرحله بعد، آندسته از زلزله‌هایی که کمتر از بازه ۱۰ روز، اطلاعات ماهواره‌ای داشتند به خاطر محدودیت دوره آماری از مطالعه حذف شدند، بطوریکه در همین مرحله ۵ زلزله از ۶ زلزله با این محدودیت مواجه بودند و نهایتاً زلزله راور کرمان در تاریخ ۲۰۰۴/۱۰/۱۴ با بزرگی ML=5.1 برای انجام مطالعات انتخاب گردید. مشخصات کاملتر زلزله مزبور همراه پس‌لرزه های آن، در جدول ۳-۳ نشان داده شده است.

جدول ۳-۲- اطلاعات موجود ماهواره ای NOAA و MODIS در تاریخهای مربوط به زلزله های انتخابی جهت مطالعه.

نوع نقص اطلاعات	تاریخ های داده های ماهواره ای موجود		مکان زلزله
	MODIS	NOAA	
پوشش ابر به صورت لکه ای		۲۰۰۴/۱۰/۳	آق قلعه (گرگان)
		۲۰۰۴/۱۰/۸	
		۲۰۰۴/۱۰/۹	
		۲۰۰۴/۱۰/۱۲	
فقدان دوره آماری کافی	۲۰۰۳/۷/۴	۲۰۰۳/۷/۸	چهرم داراب(فارس)
		۲۰۰۳/۷/۴	
بدون نقص		۲۰۰۴/۱۰/۳	راور (کرمان)
		۲۰۰۴/۱۰/۶	
		۲۰۰۴/۱۰/۷	
		۲۰۰۴/۱۰/۸	
		۲۰۰۴/۱۰/۹	
		۲۰۰۴/۱۰/۱۲	
فقدان دوره آماری کافی		۲۰۰۳/۱۲/۲۶	زلزله بم (کرمان)
نسویز و ابر در داده های MODIS و ابر در داده های NOAA	۲۰۰۲/۶/۸	۲۰۰۲/۶/۱۰	زمین لرزه چنگوره(اوج)
	۲۰۰۲/۶/۱۰	۲۰۰۲/۶/۱۵	
	۲۰۰۲/۶/۱۲	۲۰۰۲/۶/۱۷	
	۲۰۰۲/۶/۲۴	۲۰۰۲/۶/۲۴	
	۲۰۰۲/۶/۲۶	۲۰۰۲/۶/۲۹	
نسویز و ابر در داده های MODIS و ابر در داده های NOAA	۲۰۰۴/۵/۱۹	۲۰۰۴/۵/۲۸	زلزله فیروز آباد کجور
	۲۰۰۴/۵/۲۱	۲۰۰۴/۵/۳	
	۲۰۰۴/۵/۲۸	۲۰۰۴/۵/۷	
		۲۰۰۴/۵/۱۴	

جدول ۳-۳- مشخصات زلزله راور کرمان

تاریخ	زمان (UTC)	طول جغرافیایی (درجه)	عرض جغرافیایی (درجه)	بزرگی (ML)	عمق زلزله (km)
۲۰۰۴/۱۰/۱۴	۲:۲۸:۴۲	۵۷/۱۱	۳۱/۷۳	۵/۱	۱۶
۲۰۰۴/۱۰/۱۴	۲:۴۷:۰۴	۵۷/۱۵	۳۱/۷۳	۳/۹	۱۱
۲۰۰۴/۱۰/۱۴	۶:۱۸:۳۷	۵۷/۱۳	۳۱/۷۴	۴/۳	۱۰

۳-۳- روش انتخاب داده های مناسب ماهواره ای جهت مطالعه

در ابتدا کلیه اطلاعات ماهواره ای موجود NOAA و MODIS مربوط به زلزله انتخابی که در شب تهیه شده بودند، از سازمان فضایی ایران دریافت گردید. داده های MODIS به لحاظ زمانی، تطابقی با زلزله راور کرمان نداشتند و بعلاوه، از نظر محدوده های طیفی تفاوت های بارزی با داده های NOAA دارند. لذا این داده ها تنها به منظور ردیابی گسل ها و رفتار تشعشعی سنگی مورد استفاده قرار گرفتند. در جدول ۳-۴ و ۳-۵ برخی مشخصات داده های ماهواره ای MODIS و NOAA آمده است. همانطور که مشاهده می شود قدرت تفکیک طیفی و مکانی داده های MODIS بیشتر می باشد. بطوریکه دارای ۳۶ باند اطلاعاتی در دو محدوده طول موجی انعکاسی و تشعشعی با سه قدرت تفکیک مکانی ۲۵۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ متر می باشد. مسلماً این داده ها در صورت دسترسی از ارزش بالاتری از داده های NOAA برخوردارند. لازم به ذکر است که هم اکنون رحیمی تبار و همکاران در دانشگاه صنعتی شریف از اطلاعات باند های حرارتی داده های MODIS، به منظور پیش بینی زلزله در کشور، استفاده می کنند.

سپس براساس محدودیت های مختلف از قبیل ماهواره ای، هواشناسی، لرزه ای، زمین شناسی و زمانی، اقدام به انتخاب تاریخ های مناسب اطلاعات گردید که خلاصه ای از روش کار در جدول ۳-۶ ارائه شده است. در این راستا، داده های ماهواره ای NOAA مربوط به ۱۹ شب شامل داده های مرتبط با زلزله (کمی قبل از زلزله) و بی ارتباط با زلزله (خیلی قبل از زلزله) انتخاب شدند

جدول ۳-۴- مشخصات باند های سنجنده MODIS ماهواره Terra در دو محدوده طیفی تشعشعی.

باند های انعکاسی			
باند	محدوده طیفی (نانومتر)	قدرت تفکیک	نوع کاربرد اولیه
۱	۶۲۰ تا ۶۷۰	۲۵۰ متر	L
۲	۸۴۱ تا ۸۷۶	۲۵۰ متر	L,A
۳	۴۵۹ تا ۴۷۶	۵۰۰ متر	L
۴	۵۴۵ تا ۵۶۵	۵۰۰ متر	L
۵	۱۲۳۰ تا ۱۲۵۰	۵۰۰ متر	L
۶	۱۶۲۸ تا ۱۶۵۲	۵۰۰ متر	L,A
۷	۲۱۰۵ تا ۲۱۵۵	۵۰۰ متر	L,A
۸	۴۰۵ تا ۴۲۰	۱ کیلومتر	O
۹	۴۳۸ تا ۴۴۸	۱ کیلومتر	O
۱۰	۴۸۳ تا ۴۹۳	۱ کیلومتر	O
۱۱	۵۲۶ تا ۵۳۶	۱ کیلومتر	O
۱۲	۵۴۶ تا ۵۵۶	۱ کیلومتر	O
۱۳	۶۶۲ تا ۶۷۲	۱ کیلومتر	O
۱۴	۶۷۳ تا ۶۸۳	۱ کیلومتر	O
۱۵	۷۴۳ تا ۷۵۳	۱ کیلومتر	O
۱۶	۸۶۲ تا ۸۷۷	۱ کیلومتر	O
۱۷	۸۹۰ تا ۹۲۰	۱ کیلومتر	A
۱۸	۹۳۱ تا ۹۴۱	۱ کیلومتر	A
۱۹	۹۱۵ تا ۹۶۵	۱ کیلومتر	A

۲۶	۱۳۶۰ تا ۱۳۹۰	۱ کیلومتر	Cirrus (ابر سیروس)
باند های تشعشعی			
باند	محدوده طیفی (میکرومتر)	قدرت تفکیک	نوع کاربرد
۲۰	۳.۶۶۰ تا ۳.۸۴۰	۱ کیلومتر	O,L
۲۱	۳.۹۲۶ تا ۳.۹۸۶	۱ کیلومتر	Fire, Volcano
۲۲	۳.۹۲۹ تا ۳.۹۸۹	۱ کیلومتر	A,L
۲۳	۴.۰۲۰ تا ۴.۰۸۰	۱ کیلومتر	A,L
۲۴	۴.۴۳۳ تا ۴.۴۹۸	۱ کیلومتر	A
۲۵	۴.۴۸۲ تا ۴.۵۴۹	۱ کیلومتر	A
۲۷	۶.۵۳۵ تا ۶.۸۹۵	۱ کیلومتر	A
۲۸	۷.۱۷۵ تا ۷.۴۷۵	۱ کیلومتر	A
۲۹	۸.۴۰۰ تا ۸.۷۰۰	۱ کیلومتر	L
۳۰	۹.۵۸۰ تا ۹.۸۸۰	۱ کیلومتر	Ozone
۳۱	۱۰.۷۸۰ تا ۱۱.۲۸۰	۱ کیلومتر	A,L
۳۲	۱۱.۷۷۰ تا ۱۲.۲۷۰	۱ کیلومتر	A,L
۳۳	۱۳.۱۸۵ تا ۱۳.۴۸۵	۱ کیلومتر	A,L
۳۴	۱۳.۷۸۵ تا ۱۳.۷۸۵	۱ کیلومتر	A
۳۵	۱۳.۷۸۵ تا ۱۴.۰۸۵	۱ کیلومتر	A
۳۶	۱۴.۰۸۵ تا ۱۴.۳۸۵	۱ کیلومتر	A

در این جدول، L علامت اختصار کاربرد زمینی، A علامت اختصار کاربرد اتمسفری و O علامت اختصار کاربرد اقیانوسی است.

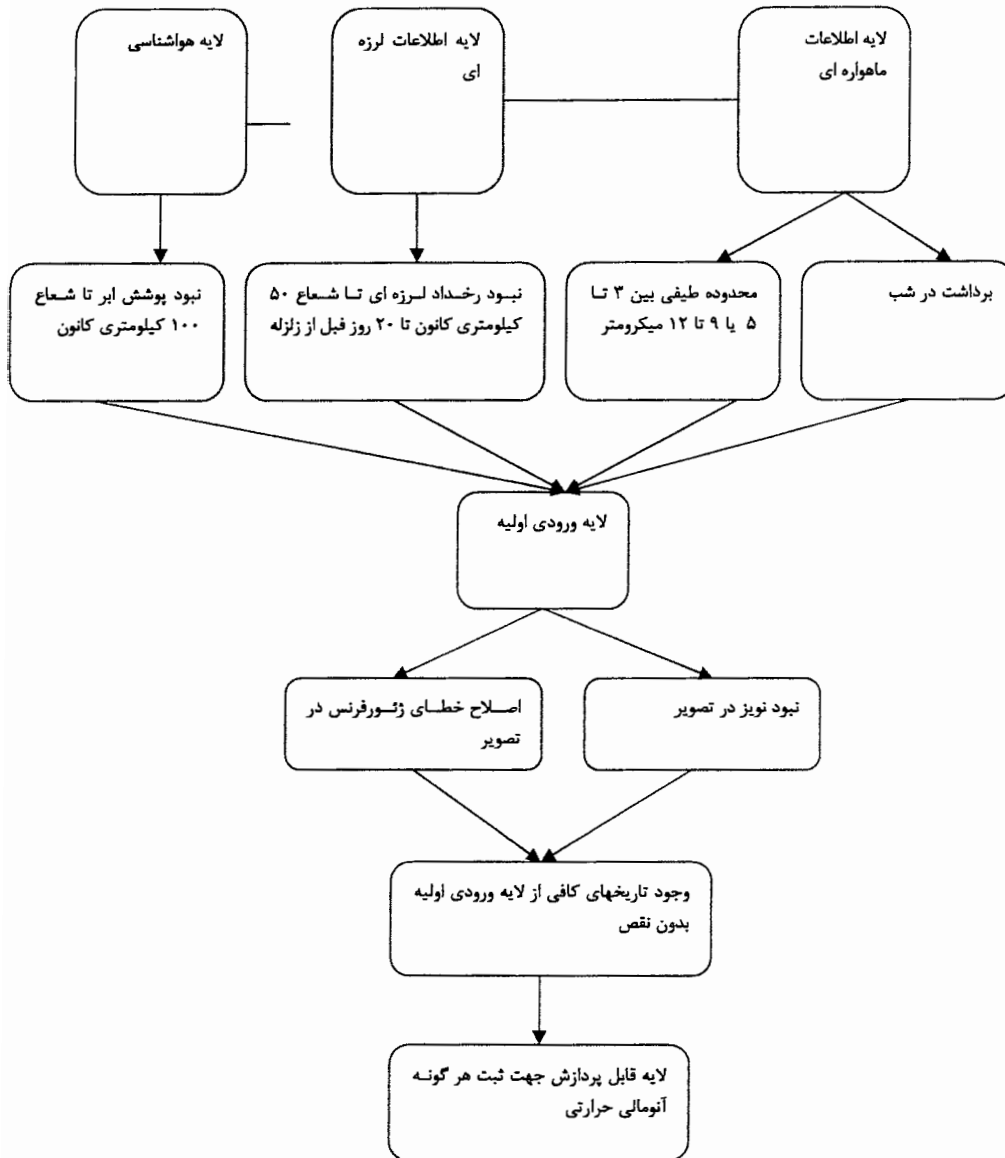
باند	محدوده طیفی (میکرومتر)	قدرت تفکیک (KM)	نوع کاربرد
۱	۰.۵۸ تا ۰.۵۸	۱/۰۹	ثبت ابر در روز و سطح زمین
۲	۰.۷۲۵ تا ۱	۱/۰۹	مرز آب و خشکی
۳A	۱/۵۸ تا ۱/۶۴	۱/۰۹	ثبت برف و یخ
۳B	۳/۹۳ تا ۳/۵۵	۱/۰۹	ثبت ابر در شب و تعیین دمای سطح دریا
۴	۱۱/۳۰ تا ۱۱/۳۰	۱/۰۹	ثبت ابر در شب و تعیین دمای سطح دریا
۵	۱۲/۵۰ تا ۱۱/۵۰	۱/۰۹	تعیین دمای سطح دریا

در هر دو گروه داده ها پوشش ابر مورد بررسی قرار گرفت و در صورت مشاهده هرگونه پوشش ابر تا شعاع ۱۰۰ کیلومتری از کانون زلزله، تاریخ مورد نظر از چرخه مطالعه حذف شد. در ضمن رخداد زلزله تا شعاع ۵۰ کیلومتری در بازه ۲۰ روز قبل و بعد از زلزله در هر دو نوع اطلاعات مورد بررسی قرار گرفت تا در صورت وجود زلزله، مطالعه دچار اختلال نگردد. همانطور که در جدول ۳-۶ مشخص شده است، هیچ گونه زلزله ای در این شعاع بجز زلزله راور که هدف مطالعه است، ثبت نگردیده است. در شکل ۳-۱ نمودار جریان نحوه انتخاب لایه های اطلاعاتی آمده است. لایه های اطلاعاتی اشاره شده در شکل ۳-۱، در واقع تاریخ های ذکر شده در جدول ۳-۷ می باشند که براساس نمودار جریان مطالعه تعیین گردیده اند.

جدول ۳-۶- خلاصه ای از نحوه انتخاب تاریخهای مناسب برای مطالعه وضعیت تشعشی در منطقه راور. در واقع داده هایی که در شب تهیه شده اند و محدودیت لرزه ای و پوشش ابر ندارند، جهت مطالعه مناسب می باشند.

ردیف	تاریخ برداشت	زمان برداشت	رخداد زلزله در شعاع ۵۰ کیلومتری در بازه ۲۰ روز قبل و بعد از زلزله	پوشش ابر	قابلیت اعتماد برای مطالعه
۱	۲۰۰۴/۱۰/۳	شب	دارد	ندارد	مناسب
۲	۲۰۰۴/۱۰/۶	شب	دارد	ندارد	مناسب
۳	۲۰۰۴/۱۰/۷	شب	دارد	ندارد	مناسب
۴	۲۰۰۴/۱۰/۸	شب	دارد	ندارد	مناسب
۵	۲۰۰۴/۱۰/۹	شب	دارد	ندارد	مناسب
۶	۲۰۰۴/۱۰/۱۲	شب	دارد	ندارد	مناسب
۷	۲۰۰۲/۰۶/۱۰	شب	ندارد	دارد	نا مناسب
۸	۲۰۰۲/۰۶/۱۵	شب	ندارد	دارد	نا مناسب
۹	۲۰۰۲/۰۶/۱۷	شب	ندارد	ندارد	مناسب
۱۰	۲۰۰۲/۰۶/۲۴	شب	ندارد	دارد	نا مناسب
۱۱	۲۰۰۲/۰۶/۲۹	شب	ندارد	دارد	نا مناسب
۱۲	۲۰۰۳/۱۲/۲۶	شب	ندارد	ندارد	مناسب
۱۳	۲۰۰۴/۰۲/۱۵	شب	ندارد	دارد	نا مناسب
۱۴	۲۰۰۴/۰۲/۲۲	شب	ندارد	دارد	نا مناسب
۱۵	۲۰۰۴/۰۲/۲۶	شب	ندارد	ندارد	مناسب
۱۶	۲۰۰۳/۰۷/۴	شب	ندارد	ندارد	مناسب
۱۷	۲۰۰۳/۷/۸	شب	ندارد	در شیب ۱۰ کیلومتر ندارد	نا مشخص
۱۸	۲۰۰۴/۰۵/۱۹	شب	ندارد	ندارد	مناسب
۱۹	۲۰۰۴/۵/۲۱	شب	ندارد	ندارد	مناسب
۲۰	۲۰۰۴/۰۵/۲۸	شب	ندارد	ندارد	مناسب

در واقع داده هایی که در شب تهیه شده اند و محدودیت لرزه ای و پوشش ابر ندارند، جهت مطالعه مناسب می باشند. که با رنگ قرمز در جدول مشخص شده اند.



شکل ۳-۱- مراحل شوماتیک تعیین لایه های مناسب ماهواره ای جهت مطالعه رفتار تشعشی قبل از زلزله راور.

جدول ۳-۷- کدهای داده شده به تاریخ های قابل پردازش جهت مطالعه داده های ماهواره ای. از این کدها در تمامی مراحل پردازش تصویر استفاده خواهد شد.

تاریخ انتخابی	کد مربوطه	فاصله زمانی تا زلزله راور(روز)
۲۰۰۲/۰۶/۱۷	۱	۸۷۷
۲۰۰۳/۱۲/۲۶	۲	۳۲۱
۲۰۰۴/۰۲/۲۶	۳	۲۲۶
۲۰۰۳/۰۷/۴	۴	۴۶۳
۲۰۰۳/۷/۸	۵	۴۵۹
۲۰۰۴/۰۵/۱۹	۶	۱۵۵
۲۰۰۴/۵/۲۱	۷	۱۵۳
۲۰۰۴/۰۵/۲۸	۸	۱۴۶
۲۰۰۴/۱۰/۳	۹	۱۱
۲۰۰۴/۱۰/۶	۱۰	۸
۲۰۰۴/۱۰/۷	۱۱	۷
۲۰۰۴/۱۰/۸	۱۲	۶
۲۰۰۴/۱۰/۹	۱۳	۵
۲۰۰۴/۱۰/۱۲	۱۴	۲

در این جدول کدهای ۱ تا ۸ که فاصله زمانی زیادی با زمان زلزله دارند به ترتیب خاصی مرتب نشده اند. ولی از کد ۹ تا ۱۴ که در بعد زمان پیوستگی خوبی وجود دارد داده ها به ترتیب نزولی مرتب شده اند.

۳-۴- روش تحلیل لایه های قابل پردازش

بعد از تعیین اطلاعات ماهواره ای قابل پردازش، لازم است باند مورد نظر در هر تاریخ جهت مطالعه مشخص شود. باند ۴ داده های NOAA مناسبترین محدوده طول موجی جهت مطالعه تشعشعات زلزله محسوب می شود (Arun et. al., 2004).

در این مطالعه سه مدل کلی جهت ثبت آنومالی های تشعشعی قبل از زلزله ارائه شده است که در این فصل، به صورت خلاصه در هر مورد، روش کار تشریح شده است. در فصل چهارم نتایج بدست آمده از اعمال این مدلها بر روی باند ۴ داده های NOAA، ارائه شده است.

قبل از بررسی این مدلها موقعیت کانونی زلزله بر روی تصویر ماهواره ای بر حسب شماره پیکسل مشخص شد تا شعاع مورد مطالعه بر حسب تعداد پیکسل مشخص گردد. همانطور که در جدول مربوط به مشخصات داده های NOAA دیده می شود طول و عرض هر پیکسل تقریباً معادل ۱۱۰۰ متر می باشد.

۳-۴-۱- مدل آرایه مربعی

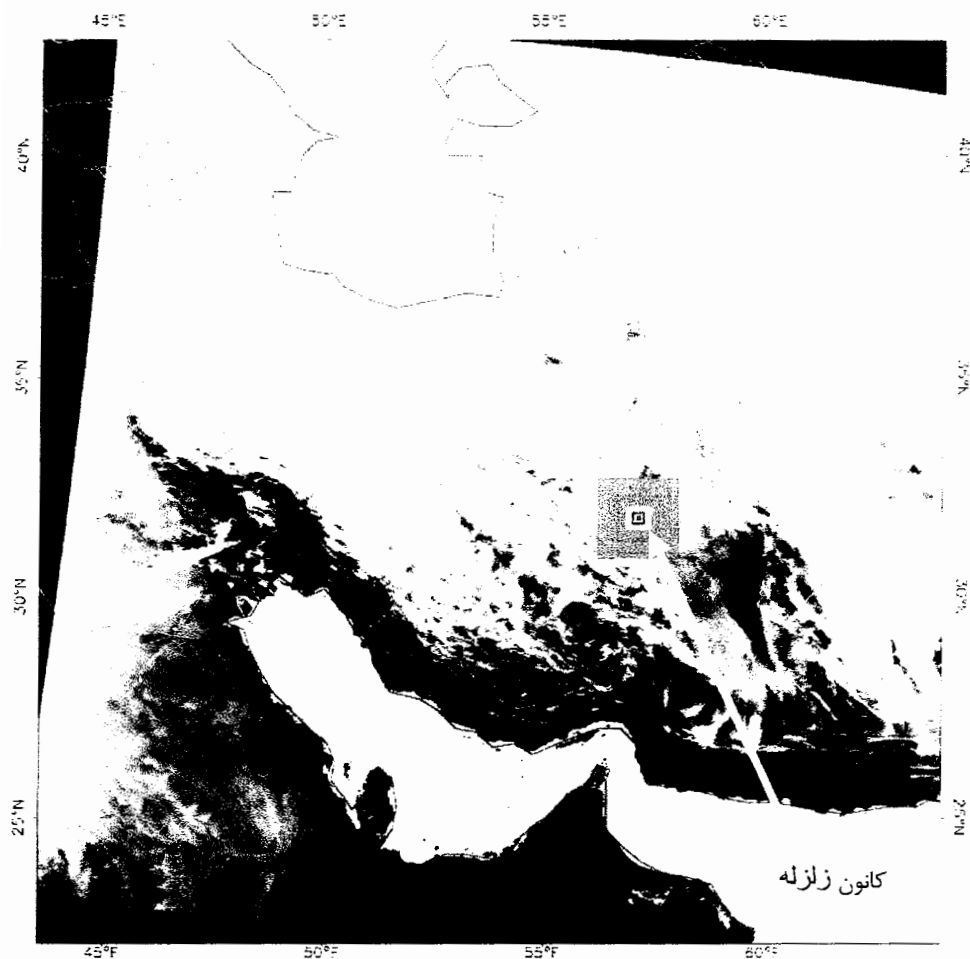
در این مدل از ۸ مربع (ROI) با مرکزیت کانون زلزله، به شعاع های ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۶۰ و ۱۰۰ کیلومتری برای تحلیل استفاده شد. خلاصه ای از مشخصات مربع ها در جداول ۳-۸ و ۳-۹ ارائه شده و در شکل ۳-۲ نیز نمایش داده شده است. مبنای تمامی محاسبات در این روش براساس پیکسلها می باشد تا از تأثیر بیش از حد خطای ژئورفرنس جلوگیری به عمل آید. به عنوان مثال ۱۰۰ کیلومتر در یک تصویر ممکن است معادل ۹۰ پیکسل و در تصویر دیگر معادل ۹۱ پیکسل باشد که این امر مقایسه اطلاعات را غیرممکن می سازد.

جدول ۳-۸- طول مربع (ROI) بر حسب پیکسل.

طول ROI بر حسب کیلومتر	طول ضلع ROI بر حسب تعداد پیکسل
۵	۱۱
۱۰	۱۹
۱۵	۲۹
۲۰	۳۷
۳۰	۵۵
۴۰	۷۳
۶۰	۱۰۹
۱۰۰	۱۸۳

جدول ۳-۹- مختصات و طول آرایه های مربعی. پیکسل مرکزی که در واقع کانون زلزله می باشد در موقعیت X برابر با ۱۳۵۸ و موقعیت Y برابر با ۱۰۸۳ قرار دارد.

مختصات ROI	X بالایی سمت راست	Y بالایی سمت راست	X پایینی سمت چپ	Y پایینی سمت چپ	طول ROI (KM)
۵	۱۳۵۳	۱۰۷۸	۱۳۶۳	۱۰۸۸	۵
۱۰	۱۳۴۹	۱۰۷۴	۱۳۶۷	۱۰۹۲	۱۰
۱۵	۱۳۴۴	۱۰۶۹	۱۳۷۲	۱۰۹۷	۱۵
۲۰	۱۳۴۰	۱۰۶۵	۱۳۷۶	۱۱۰۱	۲۰
۳۰	۱۳۳۱	۱۰۵۶	۱۳۸۵	۱۱۱۰	۳۰
۴۰	۱۳۲۲	۱۰۴۷	۱۳۹۴	۱۱۱۹	۴۰
۶۰	۱۳۰۴	۱۰۲۹	۱۴۱۲	۱۱۳۷	۶۰
۱۰۰	۱۲۶۷	۹۹۲	۱۴۴۹	۱۱۷۴	۱۰۰



شکل ۳-۲- موقعیت و نحوه قرار گیری ROI شماره ۱ تا ۸ از کانون زلزله به بیرون بترتیب ROI های ۱ تا ۸ قرار گرفته اند. کانون که در واقع مرکز همه ROI ها می باشد، با پیکان نشان داده شده است.

۳-۴-۲- مدل آرایه مستطیلی

مبنای کار در این آرایه نیز مشابه نوع مربعی است و فقط تفاوت در طول آرایه می باشد که ۵ برابر عرض آرایه است. جهت طولی این آرایه، شمالی- جنوبی است که تقریباً در امتداد گسل های اصلی منطقه مورد مطالعه می باشد. در این مدل ۸ مستطیل (ROI) به ابعاد نسبت طول به عرض معادل ۵، ساخته شد که در جداول ۳-۱۰ و ۳-۱۱ مشخصات آنها ذکر شده است. شکل ۳-۳ نمای کلی این آرایه را نشان می دهد. هدف اصلی از طراحی آرایه مزبور، بررسی آنومالی های تشعشعی بر روی زون گسلی می باشد.

جدول ۱۰-۳- طول هر ROI بر حسب پیکسل.

طول x بر حسب پیکسل	طول y بر حسب پیکسل	مختصات ROI طول ROI بر حسب کیلومتر
۳	۱۱	۵
۵	۱۹	۱۰
۷	۲۹	۱۵
۹	۳۷	۲۰
۱۱	۵۵	۳۰
۱۵	۷۳	۴۰
۲۳	۱۰۹	۶۰
۲۹	۱۴۵	۸۰
۳۷	۱۸۳	۱۰۰
۷۳	۳۸۷	۲۰۰

جدول ۱۱-۳- مختصات آرایه های مستطیلی. پیکسل مرکزی که در واقع کانون زلزله می باشد در موقعیت X برابر با ۱۳۵۸ و موقعیت Y برابر با ۱۰۸۳ قرار دارد.

طول ROI برحسب کیلومتر	Y بالایی سمت راست	X بالایی سمت راست	Y پایینی سمت چپ	X پایینی سمت چپ
۵	۱۰۷۸	۱۳۵۷	۱۰۸۹	۱۳۶۰
۱۰	۱۰۷۴	۱۳۵۶	۱۰۹۳	۱۳۶۱
۱۵	۱۰۶۹	۱۳۵۵	۱۰۹۸	۱۳۶۲
۲۰	۱۰۶۵	۱۳۵۴	۱۱۰۲	۱۳۶۳
۳۰	۱۰۵۶	۱۳۵۳	۱۱۱۱	۱۳۶۴
۴۰	۱۰۴۷	۱۳۵۱	۱۱۲۰	۱۳۶۶
۶۰	۱۰۲۹	۱۳۴۷	۱۱۳۸	۱۳۷۰
۸۰	۱۰۱۱	۱۳۴۴	۱۱۵۶	۱۳۷۳
۱۰۰	۹۹۲	۱۳۴۰	۱۱۷۵	۱۳۷۷
۲۰۰	۹۰۲	۱۳۲۲	۱۲۶۵	۱۳۹۵



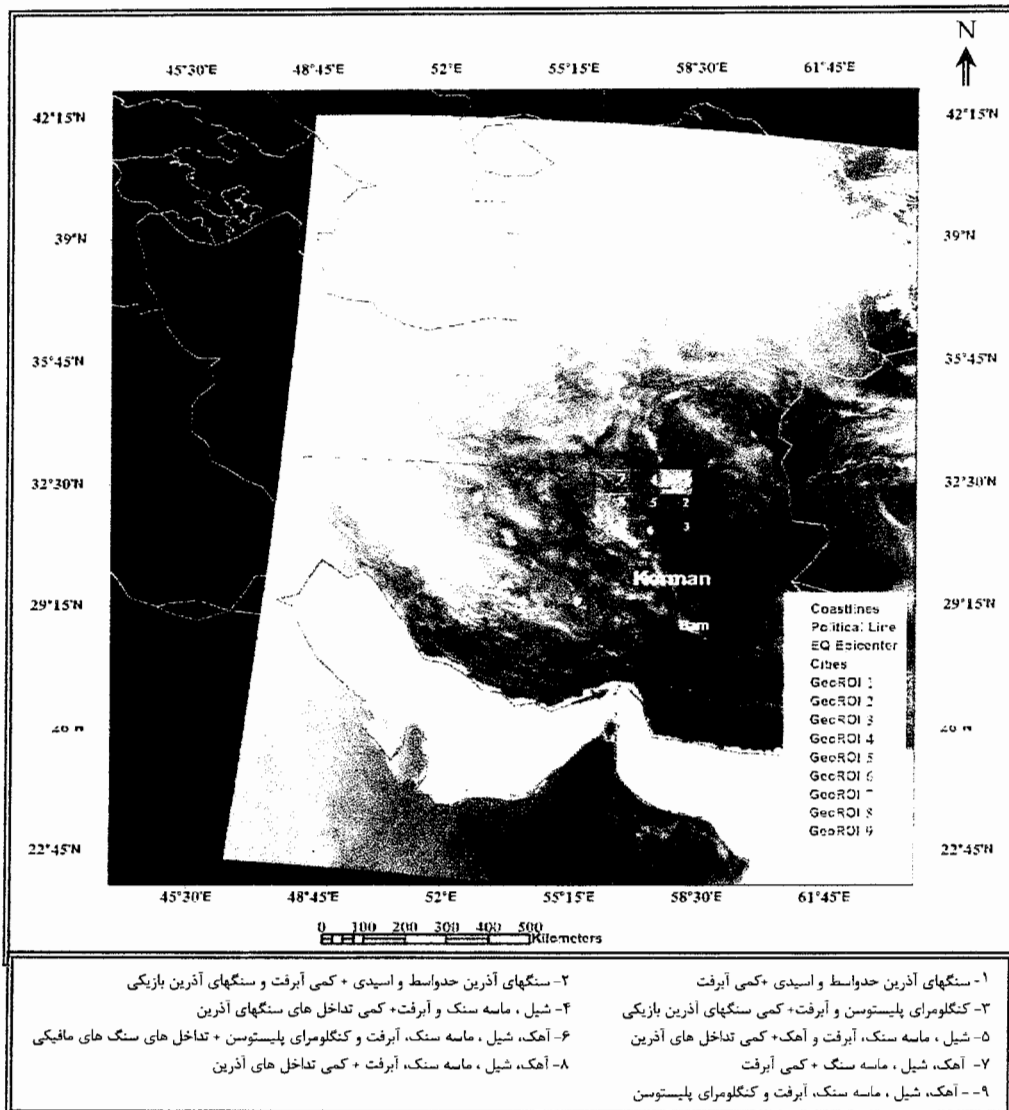
شکل ۳-۳- موقعیت و نحوه قرار گیری ROI شماره ۱ تا ۹. از کانون زلزله به بیرون بترتیب ROI های ۱ تا ۱۰ قرار گرفته اند. کانون که در واقع مرکز همه ROI ها می باشد، با پیکان نشان داده شده است.

۳-۴-۳- مدل آرایه های مربعی زمین شناسی

این مدل در واقع به طور هدفمندتری نسبت به دو مدل قبلی می تواند تغییرات ناشی از رخداد زلزله قریب الوقوع را ثبت نماید. روش کار بدین ترتیب است که در ابتدا منطقه مورد مطالعه به ۹ قسمت مساوی (GeoROI) تقسیم شد بطوریکه در هر کدام از تقسیمات، واحدهای زمین شناسی با توان تشعشی تقریباً یکسان قرار گرفتند. در جداول ۳-۱۲ مشخصات آرایه های زمی شناسی آمده است. شکل ۳-۴ موقعیت GeoROI ها را بر روی تصویر ماهواره ای منطقه مورد مطالعه، نشان می دهد. سنگ شناسی هر GeoROI در راهنمای نقشه ذکر شده است.

جدول ۱۲-۳- موقعیت جغرافیایی ROI ها.

LR		LL		UL		UR		ROIS
Lon	Lat	Lon	Lat	Lon	Lat	Lon	Lat	
۵۸/۳۰	۳۲/۲	۵۸/۳۰	۳۲/۲	۵۷/۵	۳۲/۸۲	۵۸/۳۰	۳۲/۸۲	ROI 1
۵۸/۳۰	۳۱/۵۷	۵۸/۳۰	۳۱/۵۷	۵۷/۵	۳۲/۲	۵۸/۳۰	۳۲/۲	ROI 2
۵۸/۳۰	۳۰/۹۴	۵۸/۳۰	۳۰/۹۴	۵۷/۵	۳۱/۵۷	۵۸/۳۰	۳۱/۵۷	ROI 3
۵۷/۵	۳۲/۲	۵۶/۶۹	۳۲/۲	۵۶/۶۹	۳۲,۸۲	۵۷/۵	۳۲/۸۲	ROI 4
۵۷/۵	۳۱/۵۷	۵۶/۶۹	۳۱/۵۷	۵۶/۶۹	۳۲,۲	۵۷/۵	۳۲/۲	ROI 5
۵۷/۵	۳۰/۹۴	۵۶/۶۹	۳۰/۹۴	۵۶/۶۹	۳۱/۵۷	۵۷/۵	۳۱/۵۷	ROI 6
۵۶/۶۹	۳۲/۲	۵۵/۸۸	۳۲/۲	۵۵/۸۸	۳۲,۸۲	۵۶/۶۹	۳۲/۸۲	ROI 7
۵۶/۶۹	۳۱/۵۷	۵۵/۸۸	۳۱/۵۷	۵۵/۸۸	۳۲/۲	۵۶/۶۹	۳۲/۲	ROI 8
۵۶/۶۹	۳۰/۹۴	۵۵/۸۸	۳۰/۹۴	۵۵/۸۸	۳۱/۵۷	۵۶/۶۹	۳۱/۵۷	ROI 9



شکل ۳-۴- موقعیت GeoROI ها بر روی تصویر ماهواره ای ایران که با شماره های ۱ تا ۹ مشخص شده اند. کانون زلزله در GeoROI شماره ۵ قرار می گیرد که با علامت ستاره نشان داده شده است.

فصل چهارم

تجزیه و تحلیل نتایج حاصل از سه مدل آرایه مربعی، مستطیلی و مربعی زمین شناسی

۴-۱- مقدمه

به منظور تحلیل منطقی بر روی فاکتورهای آماری لازم است که روند کلی تغییرات پارامترهای استفاده شده شامل میانگین، مینیمم، ماگزیمم و انحراف معیار بررسی شود. برای این منظور فاکتورهای اشاره شده در شب های خیلی قبل از زلزله (کدهای شب ۱ تا ۸) در شعاع های مختلف تعیین گردید. این تغییرات در حالت عادی نشان دهنده افزایش تدریجی مقادیر میانگین، ماگزیمم و انحراف معیار و کاهش مقادیر مینیمم با افزایش شعاع می باشند

به طور کلی داده ها در دو بعد زمان و مکان در تغییر می باشند. در بعد زمان در شب های ۱ تا ۸ پیوستگی زمانی مطلوبی وجود ندارد در حالیکه این پیوستگی در شب های ۹ تا ۱۴ وجود دارد. در بعد مکان، در همه دوره آماری، پیوستگی وجود دارد. به عبارتی دیگر فقط شب های ۹ تا ۱۴ را می توان در بعد زمان و مکان به صورت پیوسته مورد بررسی قرار داد. لذا شب های ۱ تا ۸ فقط در بعد مکان قابل مقایسه با شب های ۹ تا ۱۴ می باشند.

۲-۴- نتایج حاصل از تحلیل با استفاده از مدل آرایه مربعی

این مدل همانطور که در فصل قبل توضیح داده شد، اطلاعات را در شعاع های مربعی (ROI) از کانون زلزله بصورت آماری مورد بررسی قرار می دهد. با استفاده از این مدل می توان هر گونه تغییر غیرعادی اطلاعات آماری را در شب های قبل از زلزله ثبت کرد و با استفاده از مدل آرایه مستطیلی می توان به بررسی دقیقتر این تغییرات پرداخت.

- روندیابی تغییرات میانگین تشعشی با فاصله

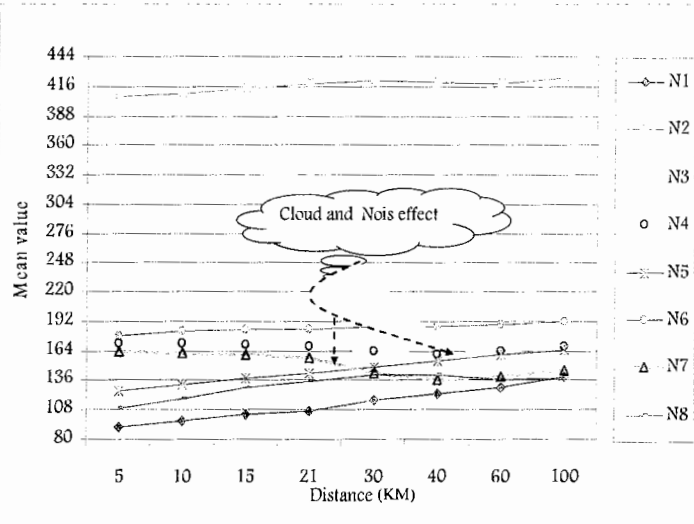
برای این منظور در تاریخهای خیلی قبل از زلزله که در بعد مکان یک مجموعه پیوسته را تشکیل می دهند، مقادیر میانگین تشعشی نسبت به فاصله مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۴-۱). نتایج حاصل مبین این مطلب است که اختلاف متوسط بین مقادیر ماگزیمم و مینیمم میانگین (تغییرات مقادیر میانگین) بطور متوسط ۲۸ واحد می باشد. همچنین با افزایش شعاع افزایش تدریجی در مقادیر میانگین مشاهده می شود. یکی از نکاتی که در این نمودار مشاهده می شود وجود نویز و ابر در شب های ۷ و ۴ است که باعث کاهش مقادیر از شعاع ۲۰ کیلومتر به بعد می شود.

از ترسیم مقادیر میانگین شب های ۹ تا ۱۴ در مقابل فاصله مشخص می شود که اختلاف مقادیر میانگین در روز ۱۲ همخوانی مطلوبی با مقدار متوسط شب های خیلی قبل از زلزله ندارد. این مقدار در حدود ۱۲/۹ می باشد. لذا منحنی میانگین مقادیر شب های دیگر نزدیک به زلزله ترسیم گردید تا تغییرات شب ۱۲ به صورت مقایسه ای مورد بررسی قرار گیرد (شکل ۴-۲).

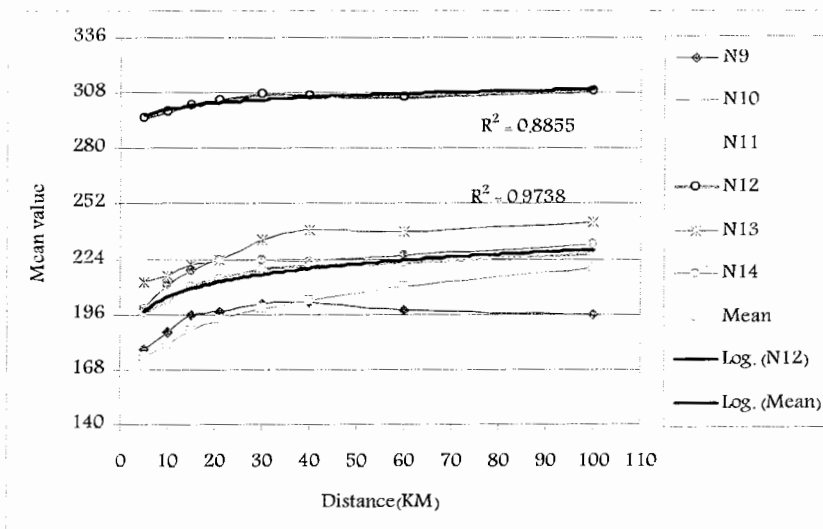
همانطور که در شکل های ۳-۴ نشان داده شده است بهترین منحنی قابل انطباق بر منحنی متوسط تغییرات میانگین، یک تابع لگاریتمی می باشد (با مقدار ضریب همبستگی ۰/۹۷). از ترسیم محدوده مثبت و منفی مقادیر خطای استاندارد، مشخص می شود که تابع لگاریتمی فیت شده، بطور کامل در محدوده خطای تعیین شده قرار می گیرد.

با اعمال بهترین تابع لگاریتمی بر روی منحنی تغییرات مقادیر میانگین با فاصله برای شب ۱۲ مشخص شد که اولاً ضریب همبستگی در حدود ۰/۱ کاهش نشان می دهد، ثانیاً تابع لگاریتمی مزبور به طور کامل در محدوده مثبت و منفی خطای استاندارد قرار نمی گیرد (شکل ۴-۴).

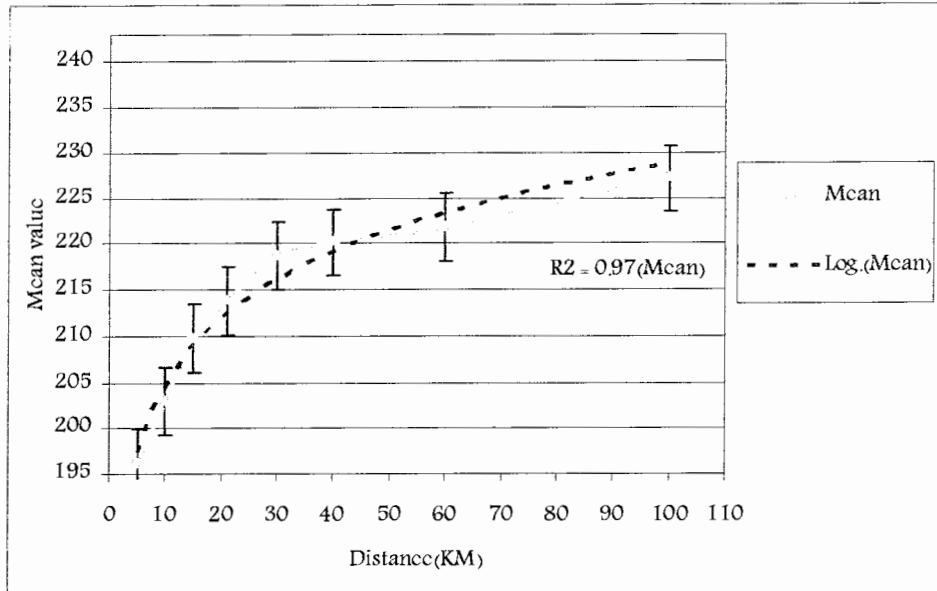
Time prior to EQ(Day)	Night code
۸۷۷	۱
۳۳۱	۲
۲۲۶	۳
۴۶۳	۴
۴۵۹	۵
۱۵۵	۶
۱۵۳	۷
۱۴۶	۸
۱۱	۹
۸	۱۰
۷	۱۱
۶	۱۲
۵	۱۳
۲	۱۴



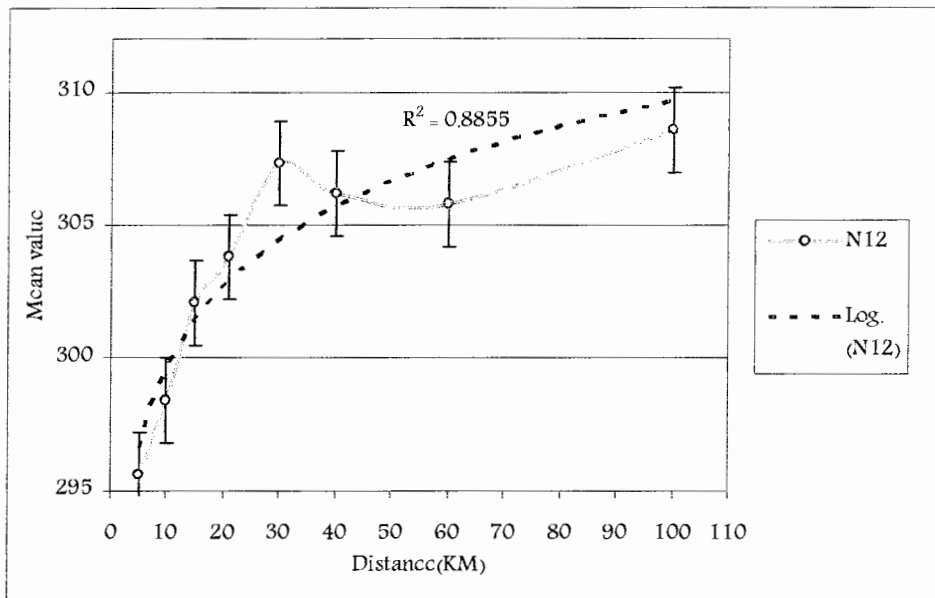
شکل ۴-۱- تغییرات مقادیر میانگین تشعشعی در مقابل فاصله از کانون زلزله برای شب های ۱ تا ۸. علامت های N1 تا N8 مبین شب های با کد ۱ تا ۸ می باشند. راهنمای سمت چپ فاصله زمانی کد های شب های مختلف با زلزله مورد نظر را نشان می دهد.



شکل ۴-۲- تغییرات مقادیر میانگین تشعشعی در مقابل فاصله از کانون زلزله برای شب های ۹ تا ۱۴. علامت های N9 تا N14 مبین شب های با کد ۹ تا ۱۴ می باشند. راهنما مشابه شکل ۴-۱ است.



شکل ۳-۴- نمودار تغییرات مقادیر میانگین با فاصله برای منحنی متوسط شب های ۹ تا ۱۴ (بدون در نظر گرفتن شب ۱۲). خطوط عمودی منطبق بر منحنی تغییرات، محدوده مثبت و منفی خطای استاندارد می‌باشند.



شکل ۴-۴- نمودار تغییرات مقادیر میانگین برای منحنی شب ۱۲. خطوط عمودی منطبق بر منحنی تغییرات، محدوده مثبت و منفی خطای استاندارد می‌باشند. اغتشاشات از حدود ۱۵ کیلومتر شروع شده است.

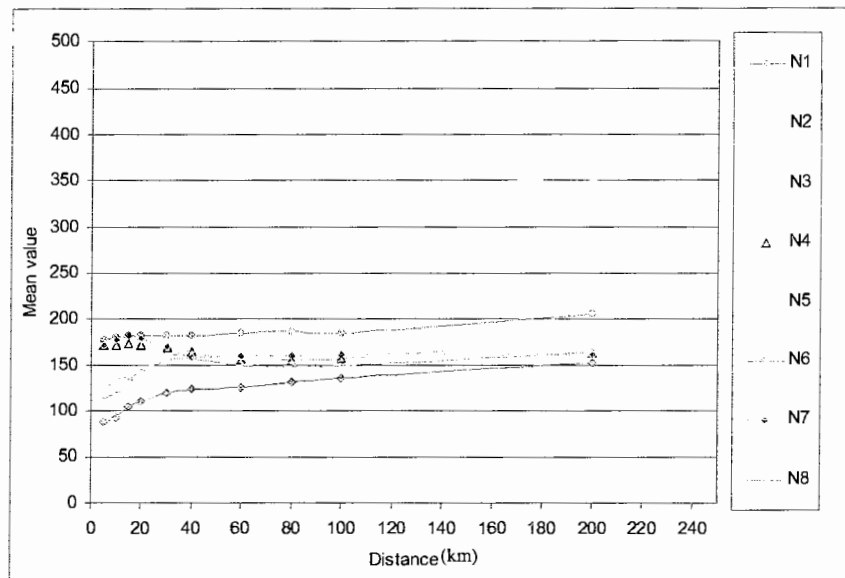
۳-۴- نتایج حاصل از تحلیل با استفاده از مدل آرایه مستطیلی

این مدل، اطلاعات را در آرایه های مستطیلی (ROI) با مرکزیت کانون زلزله بصورت آماری مورد بررسی قرار می‌دهد. همانطور که قبلاً اشاره شد جهت طولی این آرایه در راستای گسلهای بزرگ منطقه مورد مطالعه می‌باشد. به همین منظور تغییرات مقادیر میانگین، مینیمم و ماکزیمم در فاصله های ۵ تا ۲۰۰ کیلو متری از کانون، مورد بررسی قرار گرفت. در ادامه به بررسی این تغییرات می‌پردازیم.

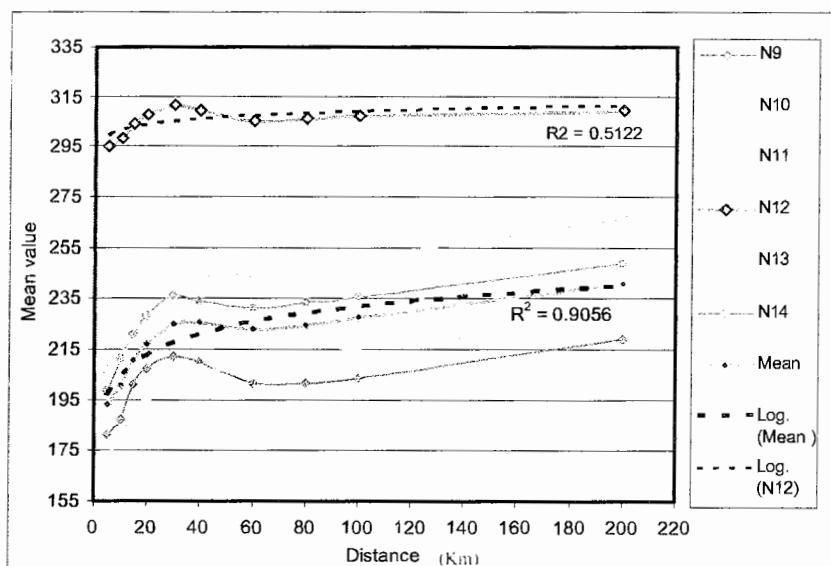
۳-۴-۱- بررسی تغییرات مقادیر میانگین تشعشی با فاصله

برای این منظور همانند مدل آرایه مربعی، منحنی تغییرات مقادیر میانگین با فاصله، برای شب های ۱ تا ۸ و ۹ تا ۱۴ به طور مجزا ترسیم گردید. همانطور که شکل ۴-۵ نشان می‌دهد در شب های ۱ تا ۸ مقادیر میانگین به افزایش فاصله از کانون روند افزایشی نشان می‌دهند. البته به علت رخداد ابر و نویز شب های ۴ و ۷ از شعاع ۲۰ به بعد روند کاهشی نشان می‌دهند. در شکل ۴-۶ نیز این تغییرات در شب های ۹ تا ۱۴ مورد بررسی قرار گرفته است. همگن شدگی در منحنی تغییرات شب ۱۲ مشهود است.

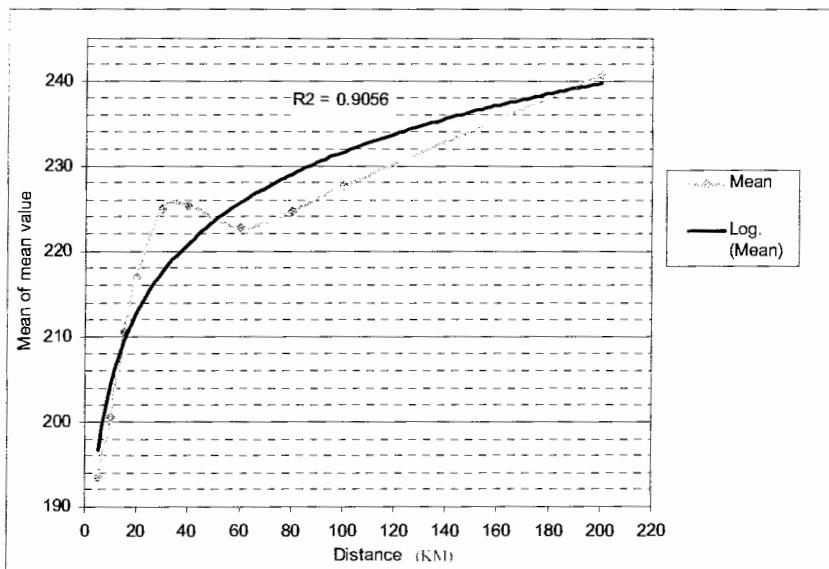
به منظور بارسازی تغییرات شب ۱۲، همانند مدل آرایه مربعی، منحنی متوسط تغییرات میانگین شب های ۹ تا ۱۴ (بدون احتساب شب ۱۲) بدست آمد و بهترین تابع که در اینجا لگاریتمی می‌باشد بر تغییرات فیت شد که ضریب همبستگی ۰.۹ را دارا می‌باشد (۴-۷). این در حالیست که منحنی فیت شده بر شب ۱۲ ضریب همبستگی ۰.۵۱ را بدست می‌دهد (شکل ۴-۸). همبستگی پایین، می‌تواند در ارتباط با افزایش تشعشع در حوالی کانون باشد.



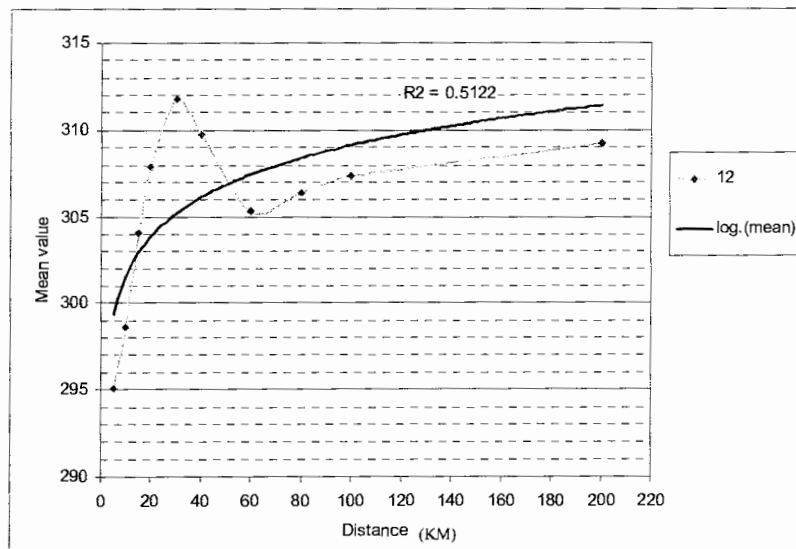
شکل ۴-۵- نمودار تغییرات مقادیر میانگین در برابر فاصله. علامت های N1 تا N8 مبین شب های با کد ۱ تا ۸ می باشند.



شکل ۴-۶- نمودار تغییرات مقادیر میانگین در برابر فاصله. علامت های N9 تا N14 مبین شب های با کد ۹ تا ۱۴ می باشند.



شکل ۴-۷- منحنی تغییرات متوسط مقادیر میانگین شب های ۹ تا ۱۴ (بدون احتساب روز ۱۲) به همراه تابع لگاریتمی

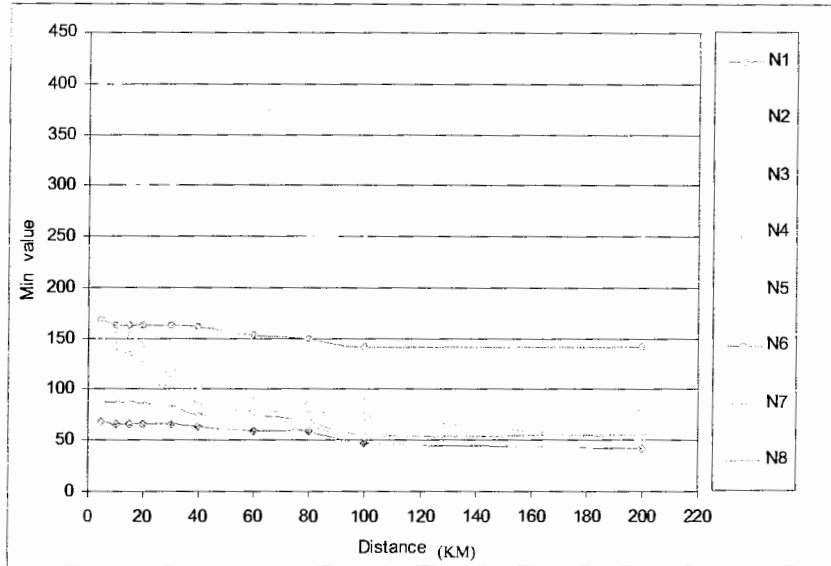


شکل ۴-۸- منحنی تغییرات مقادیر میانگین در شب ۱۲ همراه با تابع لگاریتمی فیت شده بر تغییرات.

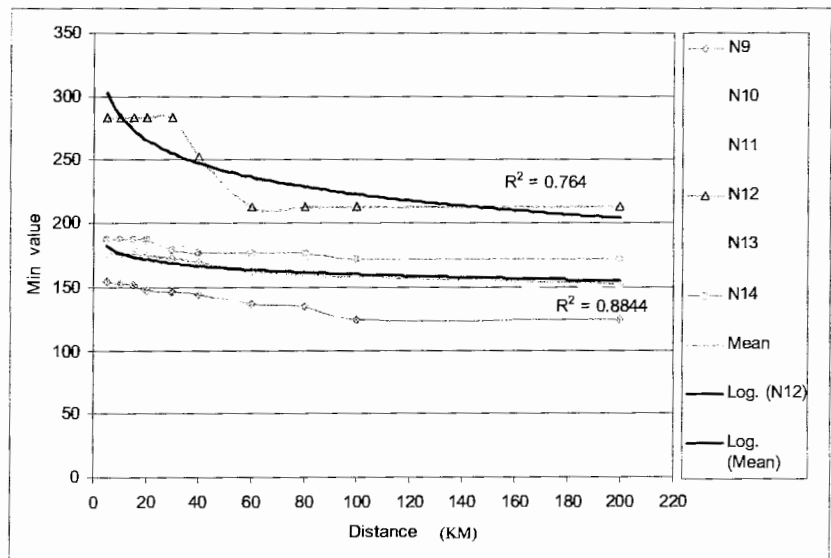
۴-۳-۲- بررسی تغییرات مقادیر مینیمم تشعشعی با فاصله

برای بررسی این تغییرات همانند مقادیر میانگین نمودارهای تغییرات مینیمم برای فاصله های مختلف از کانون زلزله ترسیم گردید. هدف از بررسی این مقادیر دستیابی به تغییرات غیرعادی در فاصله های نزدیک به کانون می باشد. روند کلی تغییرات این مقادیر همانطور که در نمودار ۴-۹ دیده می شود با افزایش فاصله از کانون، با آهنگ آرام لگاریتمی در حال کاهش می باشد (این تغییرات در شب های خیلی دور از زلزله مورد بررسی قرار گرفته است). همانطور که در این نمودار مشهود است شب های ۴ و ۷ به علت وجود نویز و ابر در اطلاعات، روند کاهشی متفاوتی از دیگر شب ها نشان می دهند.

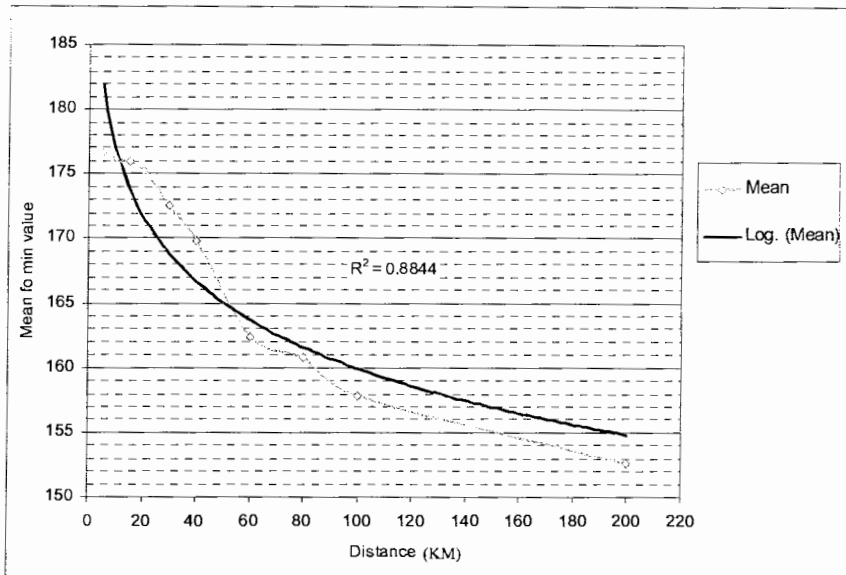
به منظور بررسی تغییرات در شب های نزدیک به زلزله، نمودار متوسط مقادیر مینیمم با شب ۱۲ که به عنوان یک شب مشکوک به اثرات زلزله محسوب می شود ترسیم گردید (شکل ۴-۱۰). سپس برای تحلیل آسانتر در نمودار های مجزا، بهترین تابع لگاریتمی بر تغییرات فیت شد. نتایج مبین این مطلب است که در شعاع های ۲۰ و ۶۰ کیلومتر تغییرات بر منحنی فیت شده انطباق مناسبی ندارد (شکل های ۴-۱۱ و ۴-۱۲). بطوریکه به میزان ۰،۱۱ ضریب همبستگی نسبت به حالت عادی کاهش نشان می دهد. این مسئله می تواند در ارتباط با افزایش تشعشع در حوالی کانون و سنگهای آذرین واقع در شعاع های واقع در ۵۰ تا ۷۰ کیلومتری کانون باشد. لازم به ذکر است که سنگهای گرانیتی دارای توان تشعشعی نسبتاً پایینی بوده، لذا بررسی تغییرات مربوط به این سنگها با استفاده از مقادیر مینیمم منطقی تر به نظر می رسد.



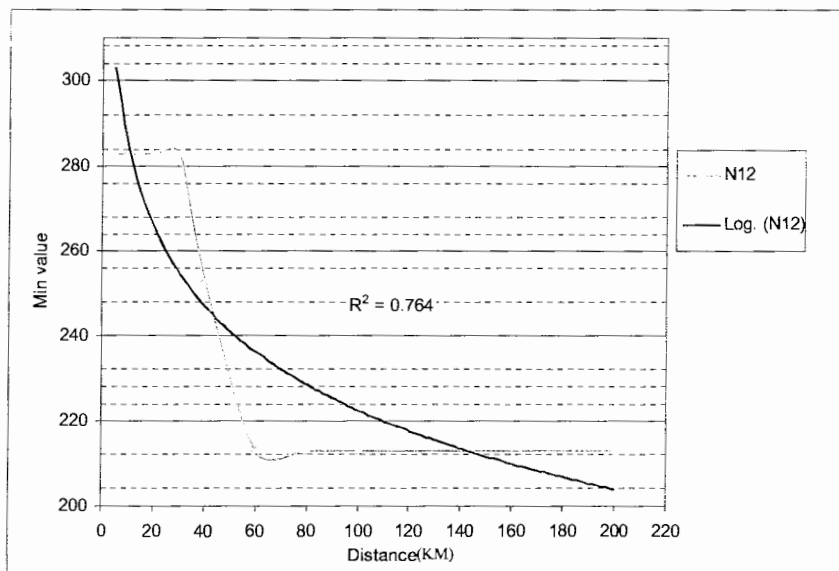
شکل ۴-۹- نمودار تغییرات مقادیر مینیمم با افزایش فاصله از کانون برای شب های ۱ تا ۸. شب های ۴ و ۷ روند غیرعادی نسبت به شب های دیگر را نشان می دهند.



شکل ۴-۱۰- نمودار تغییرات مقادیر مینیمم در شب های ۹ تا ۱۴ به همراه نمودار متوسط تغییرات مقادیر مینیمم. به جدا شدن نمودار شب ۱۲ از دیگر شب ها توجه شود.



شکل ۴-۱۱- نمودار تغییرات متوسط مقادیر مینیمم با افزایش فاصله همراه با تابع لگاریتمی فیت شده بر نمودار تغییرات.

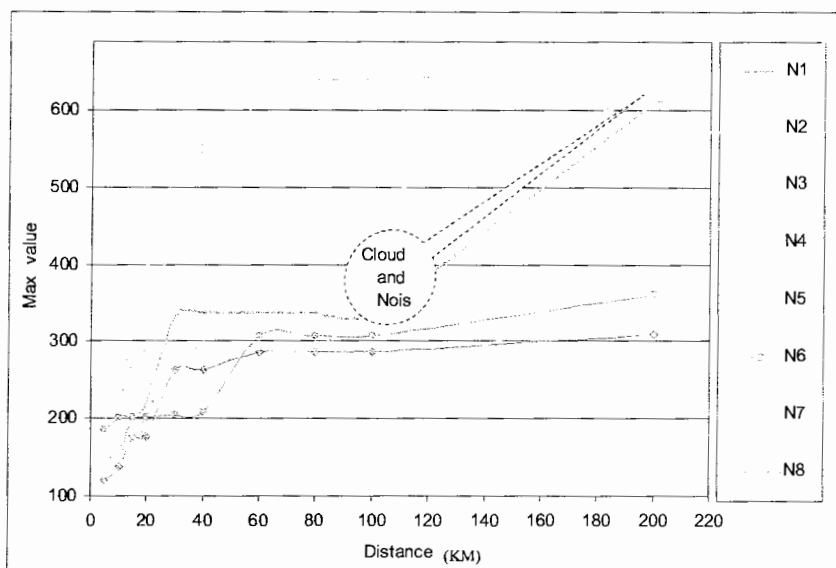


شکل ۴-۱۲- نمودار تغییرات مقادیر مینیمم در شب ۱۲ با فاصله به همراه تابع لگاریتمی فیت شده بر تغییرات. عدم انطباق در شعاع ۳۰ و ۶۰ کیلومتری مشهود است.

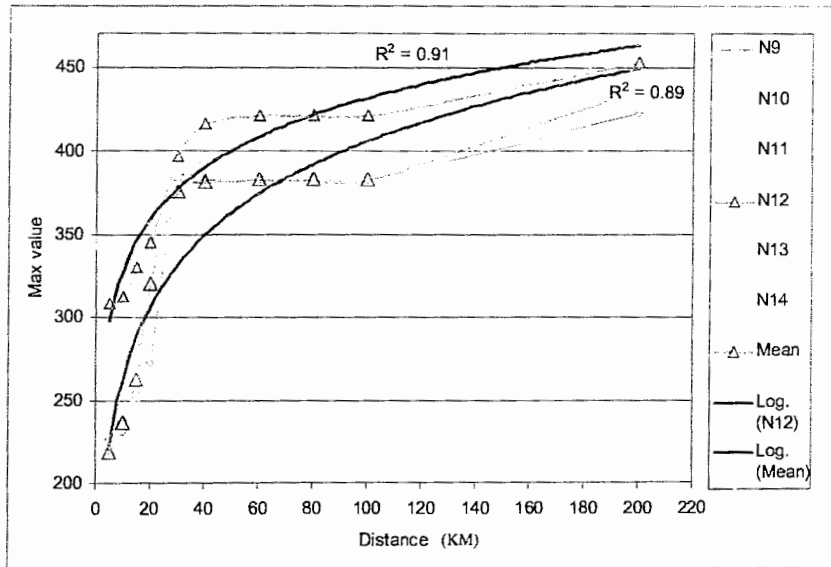
۳-۳-۴- بررسی تغییرات مقادیر ماگزیمم تشعشعی با فاصله

برای بررسی این تغییرات همانند مقادیر میانگین، نمودارهای تغییرات ماگزیمم برای فاصله های مختلف از کانون زلزله ترسیم گردید. هدف از بررسی این تغییرات، شناسایی مناطق با ماگزیمم تشعشعی و ردیابی ابر در تصاویر می باشد. همانطور که در نمودار ۴-۱۳ نشان داده شده است روند کلی تغییرات شب های با آهنگ آرام لگاریتمی با افزایش فاصله رو به افزایش است. اما در شب ۴ و بویژه شب های ۷ و ۸ به علت وجود ابر و نویز، این روند از شعاع ۱۰۰ کیلومتری به بعد روند بشدت افزایشی به خود می گیرد.

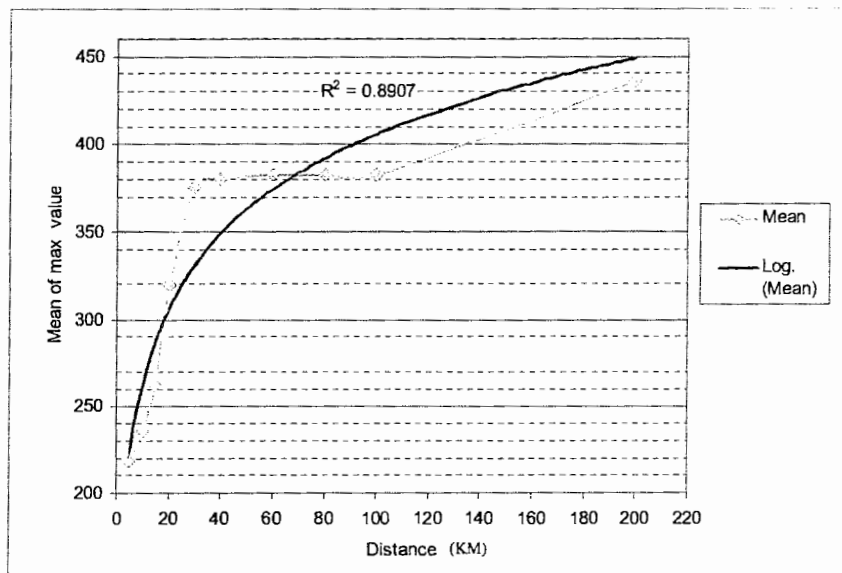
از ترسیم نمودار های متوسط مقادیر مینیمم و توابع لگاریتمی فیت شده بر تغییرات مورد نظر مشخص می شود که در محدوده مقادیر ماگزیمم تشعشعات غیرعادی مربوط به زلزله وجود ندارد (اشکال ۴-۱۴ تا ۴-۱۶). این مسئله از روی تفاوت ناچیز (۰.۰۱) ضرایب همستگی مربوط به شب ۱۲ و منحنی متوسط تغییرات به اثبات می رسد.



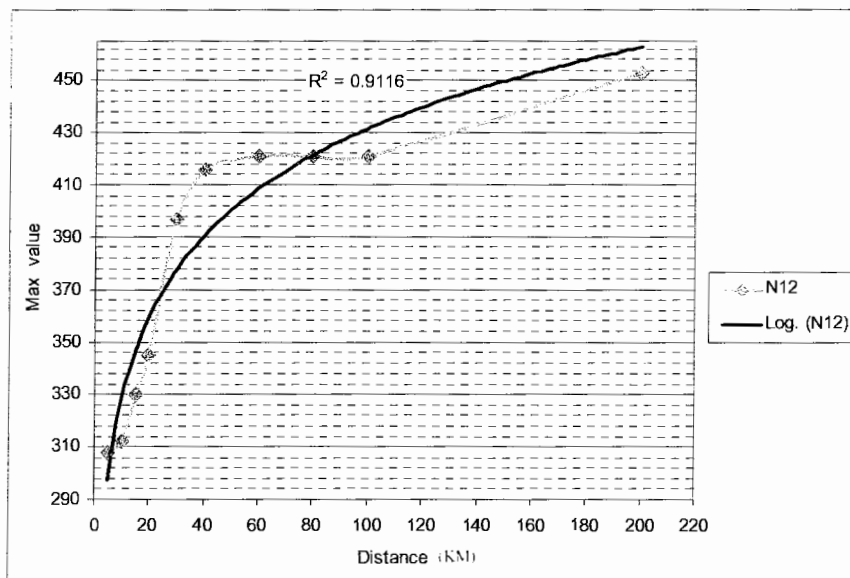
شکل ۴-۱۳- نمودار تغییرات مقادیر ماگزیمم در مقابل فاصله از کانون برای شب های ۱ تا ۸. وجود ابر و نویز در شب های ۷ و ۸، از شعاع ۱۰۰ کیلومتر به بعد، مشهود است.



شکل ۴-۱۴- نمودار تغییرات مقادیر ماگزیمم در مقابل فاصله از کانون برای شب های ۹ تا ۱۴ به همراه توابع لگاریتمی فیت شده بر تغییرات متوسط و شب ۱۲.



شکل ۴-۱۵- نمودار تغییرات مقادیر متوسط ماگزیمم در مقابل فاصله به همراه تابع لگاریتمی فیت شده بر تغییرات.



شکل ۴-۱۶- نمودار تغییرات مقادیر ماگزیمم در شب ۱۲ با تغییر فاصله از کانون به همراه تابع فیت شده بر تغییرات.

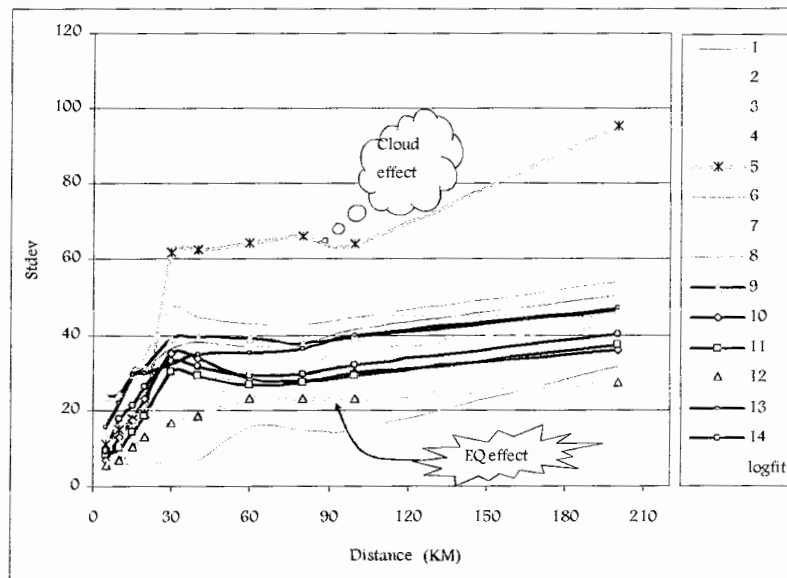
۴-۳-۴- تحلیل مقادیر انحراف معیار با فاصله

هدف از تحلیل مقادیر انحراف معیار بررسی تغییرات آنومال این مقادیر می باشد که ناشی از تغییر غیرطبیعی فراوانی تشعشعی یا عبارتی به هم ریختگی هیستوگرام فراوانی مقادیر تشعشع در یک طول موج خاص و یا ظاهر شدن ابر و شرایط نامناسب هواشناسی می باشد. تغییر هیستوگرام فراوانی در واقع می تواند باعث تغییرات مقادیر میانگین و در نتیجه انحراف معیار شود.

به منظور بررسی اثر ابر، در دوره آماری استفاده شده، از داده های روز ۵ که از شعاع ۱۵ کیلومتری به بعد ابری بود، استفاده گردید. همانطور که نمودار ۴-۱۷ نشان می دهد تغییرات انحراف معیار در شعاع ۱۵ کیلومتری که بدون پوشش ابر بوده است، حالت عادی داشته و منطبق بر منحنی لگاریتمی فیت شده بر تغییرات عادی تشعشع است. این مسئله در حالیکه از شعاع ۱۵ کیلومتری به بعد روند تغییرات بطور کامل آشفته شده و این آشفته گی با افزایش شعاع افزایش چشمگیری نشان می دهد که به خاطر افزایش محدوده با پوشش ابر در تصویر ماهواره ای می باشد.

یکی دیگر از آشفته گی های مشاهده شده در مقادیر انحراف معیار در روز ۱۲ مشاهده می شود که تا شعاع ۶۰ کیلومتری ادامه می یابد، بطوریکه پیک انحراف معیار موجود در شعاع ۳۰ کیلومتری در روزهای قبل و بعد از زلزله، کاملاً صاف شده و با یک آهنگ آرام لگاریتمی به مقادیر انحراف معیار

در شعاع های بیشتر نزدیک می شود. لازم به ذکر است که این آشفتگی نمی تواند مربوط به یک رخداد هواشناسی باشد. چرا که روزهای قبل و بعد آهنگ کاملاً مشخصی دارند و با یک روند خطی نسبت به هم تغییر می کنند. لذا با احتمال زیاد حذف پیک در شعاع ۳۰ کیلومتری می تواند در ارتباط با افزایش تنش در حوالی کانون باشد.



شکل ۴-۱۷- نمودار تغییرات مقادیر انحراف معیار با فاصله برای کل دوره آماری به همراه منحنی لگاریتمی فیت شده بر تغییرات متوسط. وجود ابر در شب ۵ در شعاع بیشتر از ۲۰ کیلومتری مشهود است.

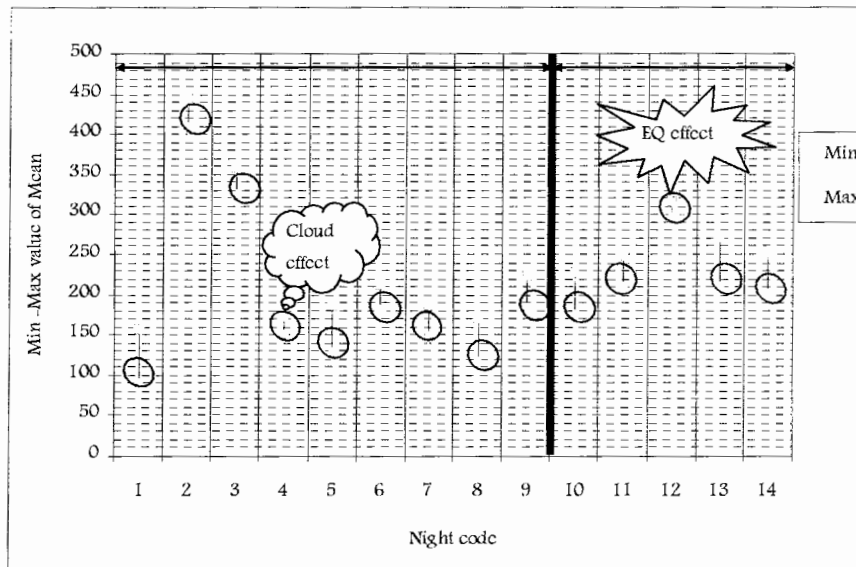
۴-۳-۵- تحلیل اختلاف مقادیر میانگین

برای این منظور در ابتدا مقادیر مینیمم و ماگزیمم و اختلاف این مقادیر در شب های مختلف از مقادیر میانگین بدست آمد، تا زمینه برای بررسی تغییرات غیر طبیعی فراهم آید. هدف از استفاده از این پارامتر آماری، دسترسی به طیف تغییرات در مقادیر میانگین می باشد. به عبارتی انتظار ما اینست قبل از زلزله، این پارامتر افزایش و یا کاهش معنی داری نشان دهد.

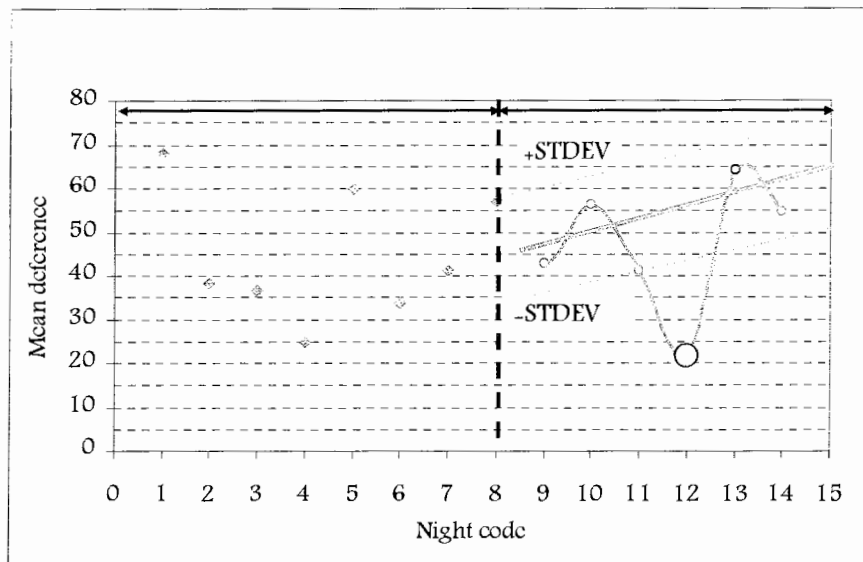
همانطور که در شکل ۴-۱۸ نشان داده شده است، محدوده تغییرات اختلاف میانگین در شب ۱۲ با هیچکدام از شب های دیگر همخوانی ندارد. البته شب ۴، محدوده تغییرات مشابهی نشان

می‌دهد که مربوط به رخداد ابر می‌باشد. این محدوده‌ها با بیضی نشان داده شده‌اند. بیضی مینا، بر اساس شب مشکوک (شب ۱۲) طراحی شده است. فزونی خط واصل مقادیر مینیمم و ماگزیمم میانگین از شعاع این دایره مبین وجود آشفتگی در شب ۱۲ است.

در شکل ۴-۱۹ که منحنی تغییرات اختلاف مقادیر را نمایش می‌دهد، منحنی متوسط شب‌های ۹ تا ۱۴ (بدون احتساب شب ۱۲) بدست آمد. سپس محدوده مثبت و منفی انحراف معیار این منحنی، ترسیم گردید تا تغییرات غیرعادی شب ۱۲ مورد بررسی قرار گیرد. نتایج مبین انحراف بالای مقادیر اختلاف میانگین شب ۱۲ از شب‌های قبل و بعد می‌باشد. این مسئله می‌تواند دلیلی بر به هم ریختگی هیستوگرام فراوانی مقادیر تشعشع مرتبط با زلزله باشد.



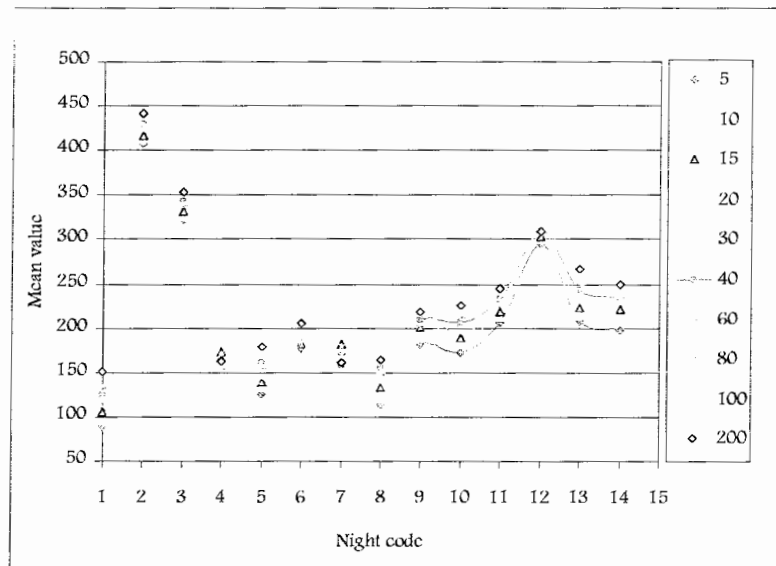
شکل ۴-۱۸- نمودار استوک مرز با لا و پایین مقادیر میانگین در کل دوره آماری. دایره مینا بر اساس شب ۱۲ ترسیم گردیده است.



شکل ۴-۱۹- نمودار اختلاف مقادیر میانگین برای کل دوره آماری. دایره توپر نشان دهنده زمان آشفته‌گی در اطلاعات است. \pm STDEV نشان دهنده مرز بالا و پایین انحراف معیار است.

۴-۳-۶- تحلیل مقادیر میانگین، ماگزیمم و مینیمم در بعد زمان و مکان

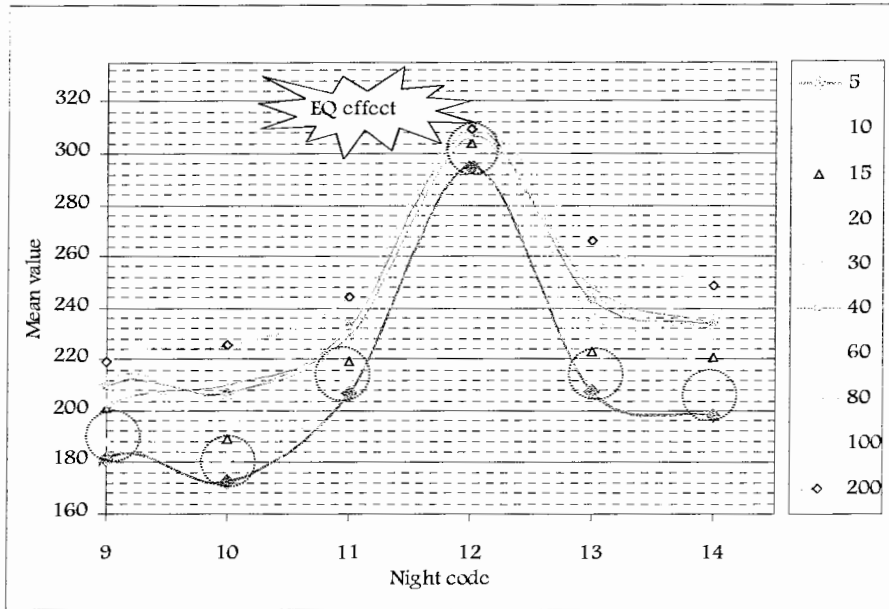
برای این منظور تغییرات میانگین و ماگزیمم بر حسب شب برای فواصل مختلف به صورت ترکیبی ترسیم گردید، تا روند تغییرات در بعد زمان و مکان بطور همزمان مورد بررسی قرار گیرد. هدف از طراحی این نمودارها بررسی آشفته‌گی در شب نزدیک به زلزله، از طریق روندیابی تغییرات می‌باشد. همانطور که در شکل ۴-۲۰ نشان داده شده است، تغییرات میانگین با کد شب ترسیم گردیده اند. عدم پیوستگی تغییرات در شب ۱ تا ۸ نشان دهنده عدم پیوستگی زمانی می‌باشد. این در حالیست که شب های ۹ تا ۱۴ به علت نزدیکی تاریخهای اطلاعات در بعد زمان و مکان پیوستگی نشان می‌دهند. بطور مسلم برای مقادیر ماگزیمم هم این ناپیوستگی وجود خواهد داشت.



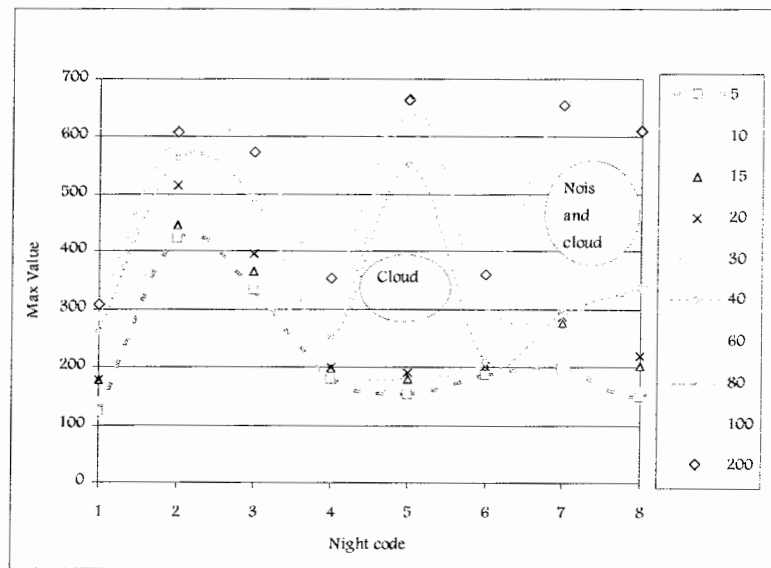
شکل ۴-۲۰- نمودار بررسی پیوستگی تغییرات میانگین در شب های مختلف برای شعاع های متفاوت. عدم پیوستگی به صورت نقطه های جدا از هم ترسیم گردیده است.

برای بارسازی تغییرات آنومال، نمودار مقادیر میانگین برای شب های ۹ تا ۱۴ به طور مجزا ترسیم گردید. سپس حد فاصل شعاع های ۵ تا ۲۰۰ کیلومتر به دایره ای به قطر فاصله مربوطه نسبت داده شد و این دایره بر روی شب های دیگر منتقل شد (شکل ۴-۲۱). نتایج نشان دهنده عدم همخوانی کامل شب ۱۲ با شب های قبل و بعد می باشد.

نحوه اثر ابر و نویز با استفاده از تغییرات مقادیر ماگزیمم در شب های ۱ تا ۸ مورد بررسی قرار گرفت. نتایج مبین رفتار غیر عادی شب های ۵، ۷ و ۸ می باشد که مبین وجود نویز و ابر در تصاویر است (شکل ۴-۲۲).

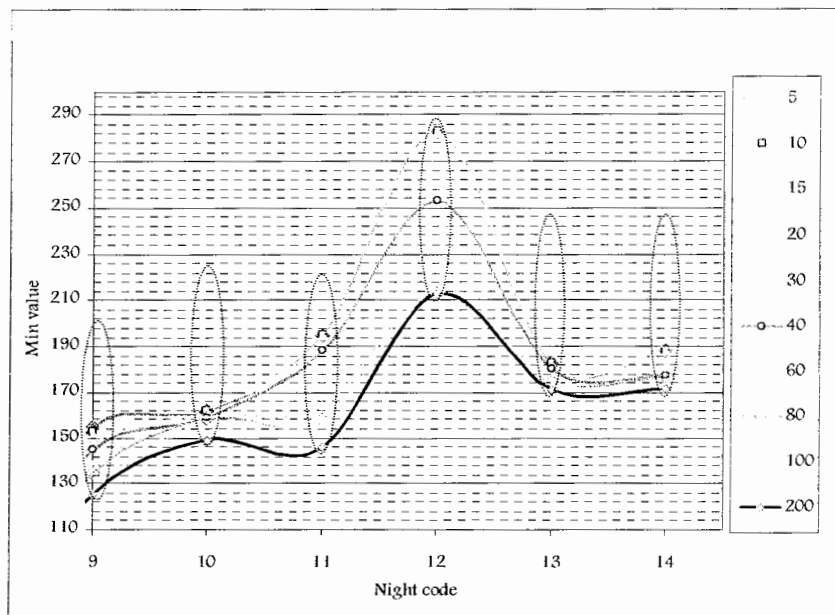


شکل ۴-۲۱- نمودار تغییرات مقادیر میانگین برای شب های ۹ تا ۱۴ در شعاع های مختلف از کانون. دایره نشان دهنده کمتری فاصله تغییرات در شعاع های مختلف است.



شکل ۴-۲۲- نمودار تغییرات مقادیر ماکزیمم در شب های ۱ تا ۸. محل نویز و ابر در داخل دایره نشان داده شده است.

بررسی تغییرات مقادیر مینیمم در فواصل و شب های مختلف مبین عدم همخوانی شب ۱۲ با شب های قبل و بعد می باشد. بیضی مبنا بر اساس حداکثر فاصله بین مقادیر مینیمم در فواصل مختلف از کانون ترسیم شده است (شکل ۴-۲۲).



شکل ۴-۲۲- نمودار تغییرات مقادیر مینیمم در شعاع ها و روز های مختلف. بیضی مبنا بر اساس فاصله ماگزیمم بین مقادیر مینیمم ترسیم شده است. عدم همخوانی شب ۱۲ در شکل مشهود است.

با تمامی بررسی هایی که بر روی آرایه های مربعی و مستطیلی انجام پذیرفت مشخص می شود که شب ۱۲ آنومالی مثبت زلزله نشان می دهد. هرچند بایستی توجه داشت که شاید روزهای قبل و بعد هم این آنومالی ها را نشان دهند ولی به علت محدودیت دوره آماری، این مسئله قابل اثبات نیست.

۴-۴- تحلیل آرایه های مربعی زمین شناسی (GeoROI)

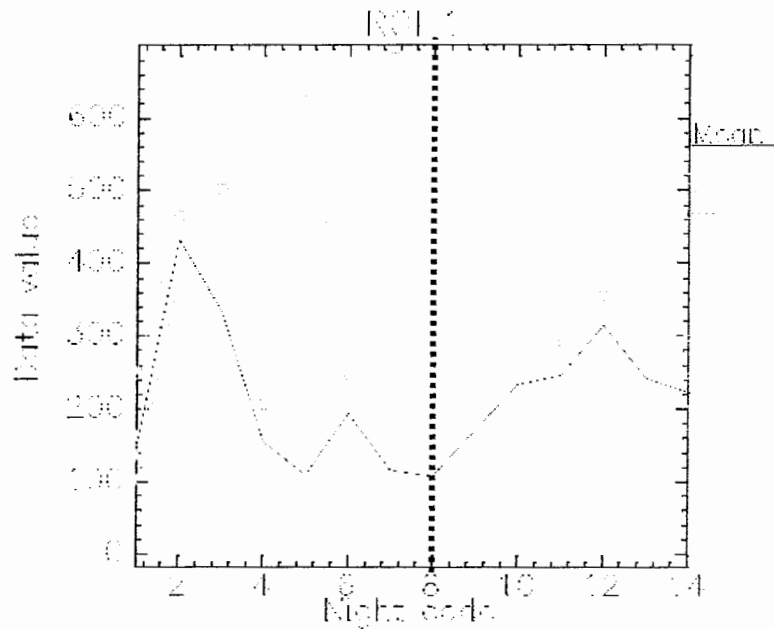
برای تحلیل این آرایه ها که در فصل قبل توضیح داده شدند، اقدام به تهیه چهار شاخص استک هیستو گرام فراوانی، مقادیر FWHM، تصویر سه بعدی ماتریس همبستگی و نمودار تلفیقی (MMMS) مقادیر آماری مینیمم، ماگزیمم، میانگین و محدوده مثبت و منفی انحراف معیار گردید. سپس عملیات تحلیل بر روی این گرافها انجام پذیرفت که به صورت مختصر به بررسی هر کدام می پردازیم.

۴-۴-۱- تحلیل نمودار های MMMS

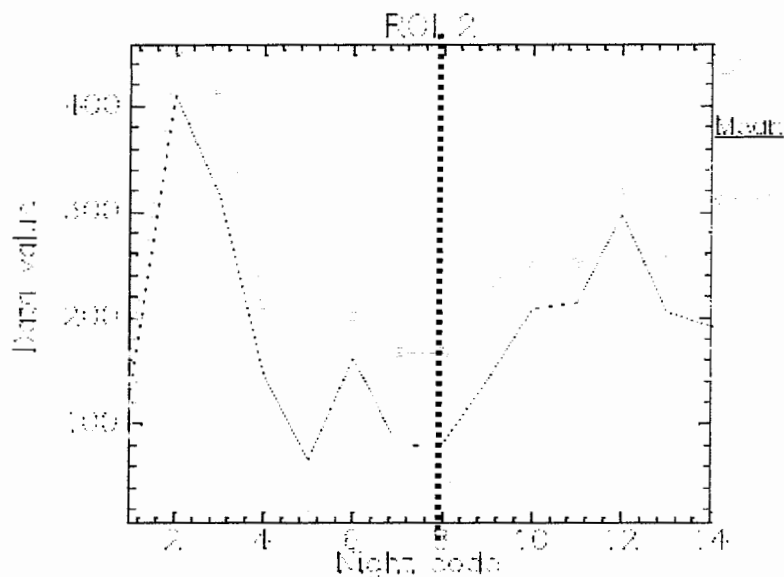
در ابتدا این نمودارها برای ۹ آرایه مربعی در کل دوره آماری مورد مطالعه، توسط نرم افزار ENVI ترسیم گردیدند (اشکال ۴-۲۳ تا ۴-۳۱) تا روند تغییرات به طور مجرا در همگی آرایه ها مورد بررسی قرار گیرد. هدف از بررسی این نمودار ها شناسایی هرگونه آشفتگی در مقادیر اشاره شده می باشد. به عبارتی انتظار ما اینست که این مقادیر از روند های منظمی در دوره آماری مورد مطالعه تبعیت کنند. البته بایستی به این نکته نیز توجه نمود که پیوستگی منحنی های تغییرات در کل دوره آماری به معنی پیوستگی در بعد زمان و یا مکان نیست، بلکه هدف بررسی تغییرات پارامتر های مورد نظر نسبت به یکدیگر است. در همگی نمودار ها مرز تاریخهای ناپیوسته و پیوسته بوسیله خط چین مشخص شده است.

در این نمودار ها مقادیر Max و Stdev+ با خطوط همراه با سیمبل های مربعی نشان داده شده اند و پارامتر میانگین با خط تیره نمایش داده شده است (در تصویر سیاه و سفید). مقادیر مینیمم هم با خطوط کم رنگ نشان داده شده اند. یکی از نکاتی که در ارتباط با این نمودار ها بایستی گفته شود، اینست که در شب های با کد ۵ و ۷ مقادیر ماگزیمم بالا، ناشی از نویز و ابر در داده های ماهواره ای استفاده شده می باشد که ملاک تحلیل ها نمی باشند. از طرف دیگر شب های با کد ۹ تا ۱۴ که روزهای نزدیک به زلزله می باشند ملاک اصلی تحلیل ها می باشند یا به عبارتی؛ دیگر شب ها به منظور ایجاد دید کلی در تحلیل ها مورد استفاده قرار می گیرند.

یکی از نکاتی که در این نمودارها بخصوص در شب با کد ۱۲ مشاهده می‌شود شیفت مقادیر میانگین و انحراف معیار به سمت مقادیر ماگزیمم است. این مسئله در GeoROI شماره ۱ و ۲ به وضوح دیده می‌شود (اشکال ۴-۲۳ و ۴-۲۴). از آنجاییکه در روزهای قبل و بعد این تغییرات مشاهده نمی‌شوند می‌توان آشفته‌گی‌های مربوطه را به وجود تشعشع در حوالی گسل‌ها منطقه نسبت داد.

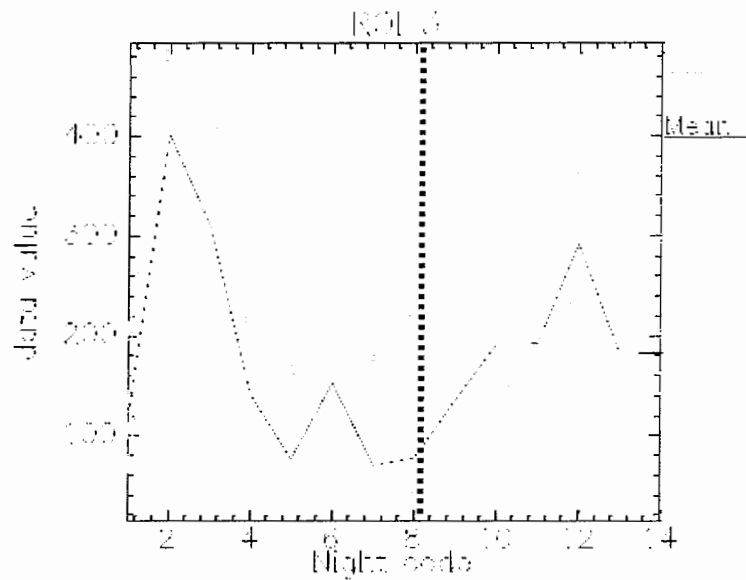


شکل ۴-۲۳- نمودار تغییرات مقادیر مینیمم، ماگزیمم، میانگین و مثبت و منفی انحراف معیار در GeoROI شماره ۱ در کل دوره آماری. به شیفت به بالای مقادیر انحراف معیار و میانگین به سمت مقادیر ماگزیمم توجه شود.



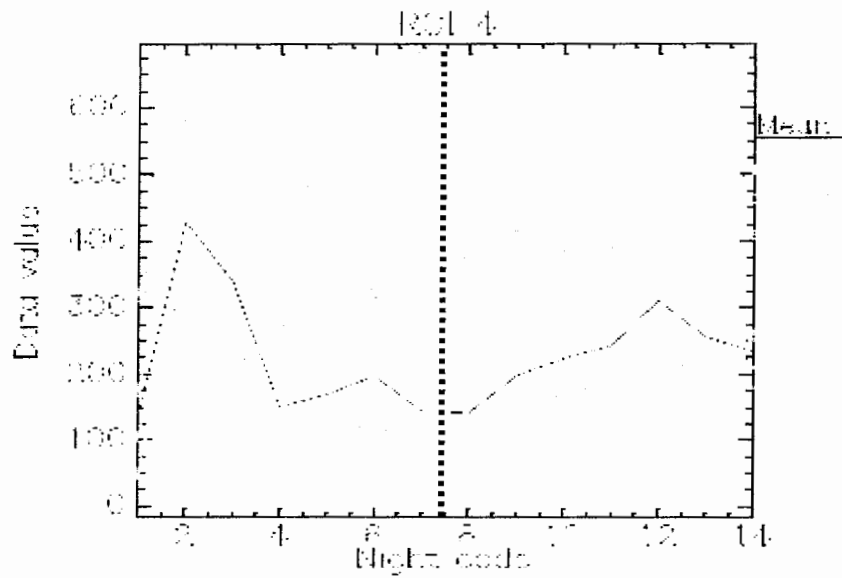
شکل ۴-۲۴- نمودار تغییرات مقادیر مینیمم، ماگزیمم، میانگین و مثبت و منفی انحراف معیار در GeoROI شماره ۲ در کل دوره آماری. مقادیر میانگین و انحراف معیار به صورت کاملاً غیر عادی در کد های شب ۱۱ و بخصوص ۱۲ به سمت مقادیر ماگزیمم شیفت کرده اند.

در GeoROI شماره ۳ (شکل ۴-۲۵) با توجه به قرارگیری تشعشع در سمت شرق کانون زلزله، عدم وجود تغییرات غیر عادی را می توان به کویری بودن آرایه مورد نظر نسبت داد. به عبارتی دیگر در این آرایه سنگهای صلب سیلیکاته رخنمون نداشته و حرارت یا امواج الکترومغناطیسی تولید شده ناشی از زلزله قریب الوقوع نتوانسته اند به سرعت به سطح زمین راه یابند.

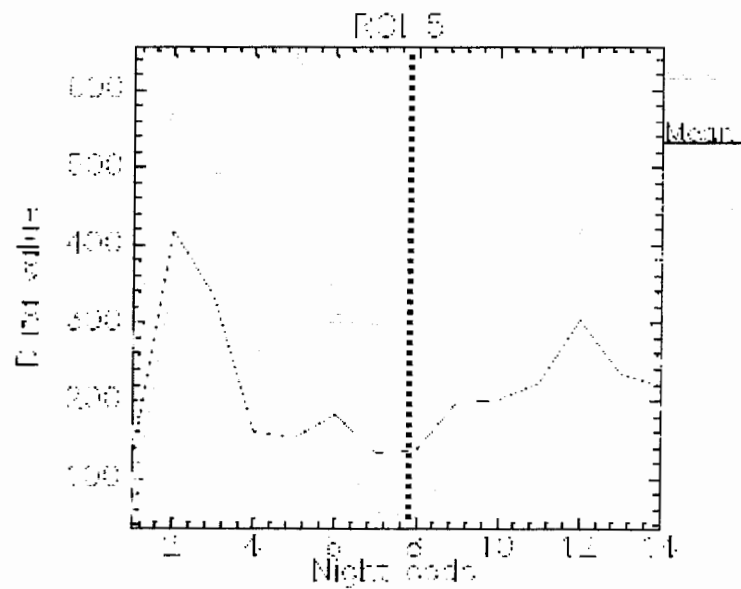


شکل ۴-۲۵- نمودار تغییرات مقادیر مینیمم، ماگزیمم، میانگین و مثبت و منفی انحراف معیار در GeoROI شماره ۳ در کل دوره آماری. مقادیر میانگین و انحراف معیار هیچ گونه رفتار غیرعادی را نشان نمی‌دهند.

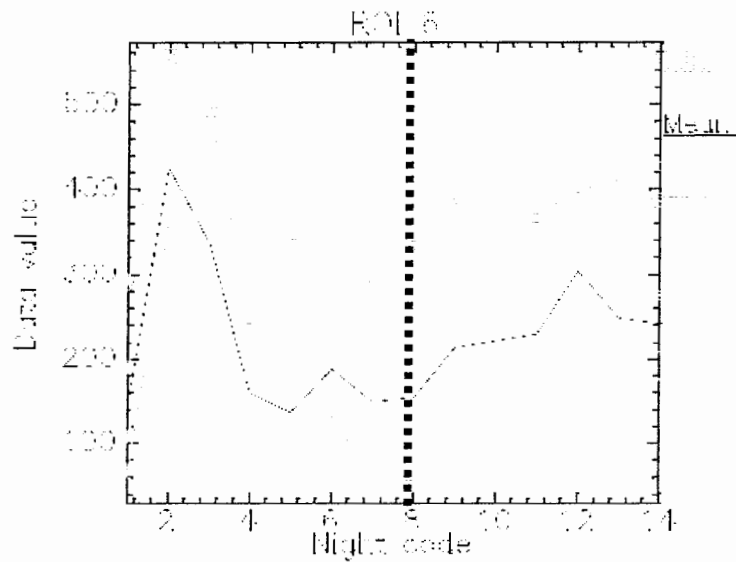
در دیگر GeoROI ها تغییرات پارامتر آماری MMMS در کل دوره آماری از روند های کاملاً منظمی تبعیت می‌کنند و تغییرات غیرعادی که بتوان آنها را به تشعشع در حوالی کانون نسبت داد مشاهده نمی‌شود (اشکال ۴-۲۶ تا ۴-۳۱). همانطور که در این نمودار ها مشاهده می‌شود مقادیر میانگین و انحراف معیار ترجیحاً در نزدیکی مقادیر min و گاهی در محدوده وسطی مقادیر max و min قرار می‌گیرند که این مسئله می‌تواند شاهی دیگر بر تغییرات غیرعادی شب های با کد ۱۲ و ۱۱ باشد.



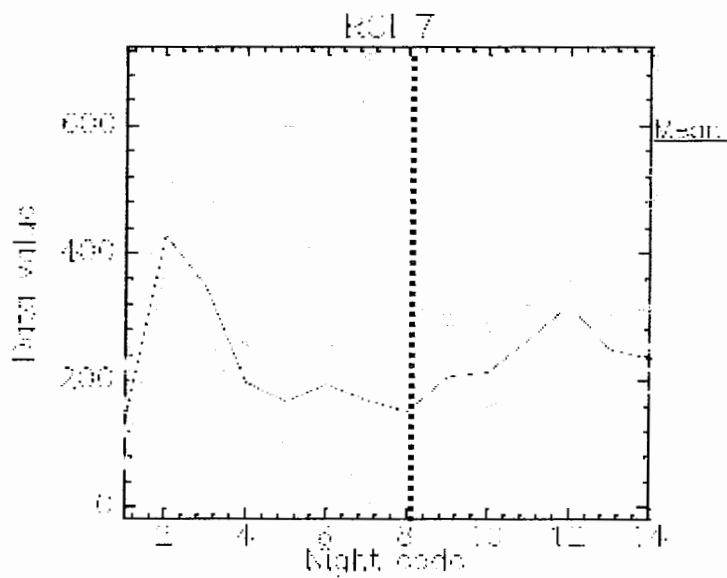
شکل ۴-۲۶- نمودار تغییرات مقادیر مینیمم، ماگزیمم، میانگین و مثبت و منفی انحراف معیار در GeoROI شماره ۴ در کل دوره آماری. مقادیر میانگین و انحراف معیار هیچ گونه رفتار غیرعادی را نشان نمی‌دهند.



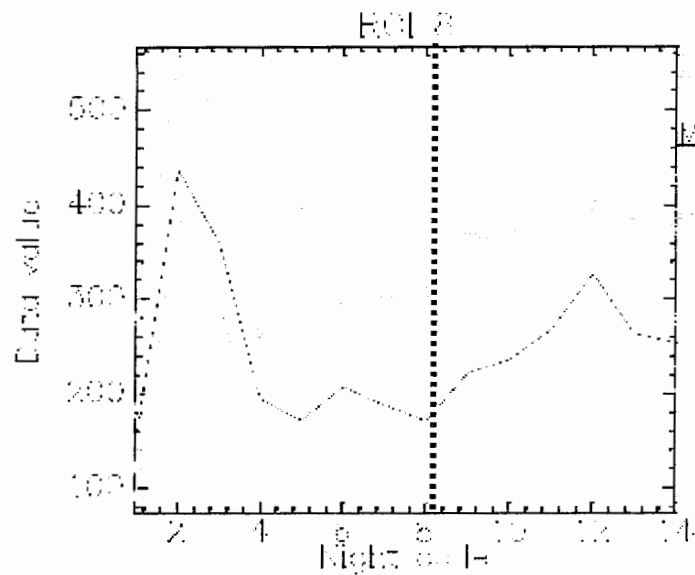
شکل ۴-۲۷- نمودار تغییرات مقادیر مینیمم، ماگزیمم، میانگین و مثبت و منفی انحراف معیار در GeoROI شماره ۵ در کل دوره آماری. مقادیر میانگین و انحراف معیار هیچ گونه رفتار غیرعادی را نشان نمی‌دهند.



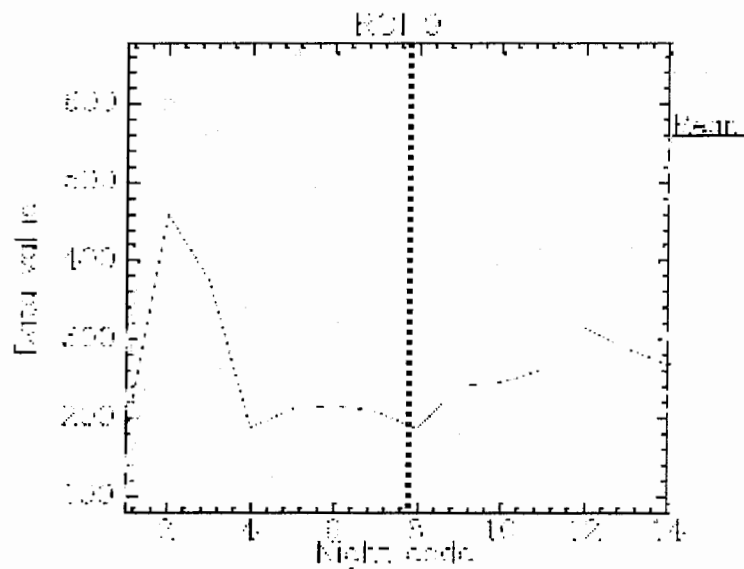
شکل ۴-۲۸- نمودار تغییرات مقادیر مینیمم، ماگزیمم، میانگین و مثبت و منفی انحراف معیار در GeorOI شماره ۶ در کل دوره آماری. مقادیر میانگین و انحراف معیار هیچ گونه رفتار غیرعادی را نشان نمی‌دهند.



شکل ۴-۲۹- نمودار تغییرات مقادیر مینیمم، ماگزیمم، میانگین و مثبت و منفی انحراف معیار در GeorOI شماره ۷ در کل دوره آماری. مقادیر میانگین و انحراف معیار هیچ گونه رفتار غیرعادی را نشان نمی‌دهند.



شکل ۴-۳۰- نمودار تغییرات مقادیر مینیمم، ماگزیمم، میانگین و مثبت و منفی انحراف معیار در GeorOI شماره ۸ در کل دوره آماری. مقادیر میانگین و انحراف معیار هیچ گونه رفتار غیرعادی را نشان نمی‌دهند.



شکل ۴-۳۱- نمودار تغییرات مقادیر مینیمم، ماگزیمم، میانگین و مثبت و منفی انحراف معیار در GeorOI شماره ۹ در کل دوره آماری. مقادیر میانگین و انحراف معیار هیچ گونه رفتار غیرعادی را نشان نمی‌دهند.

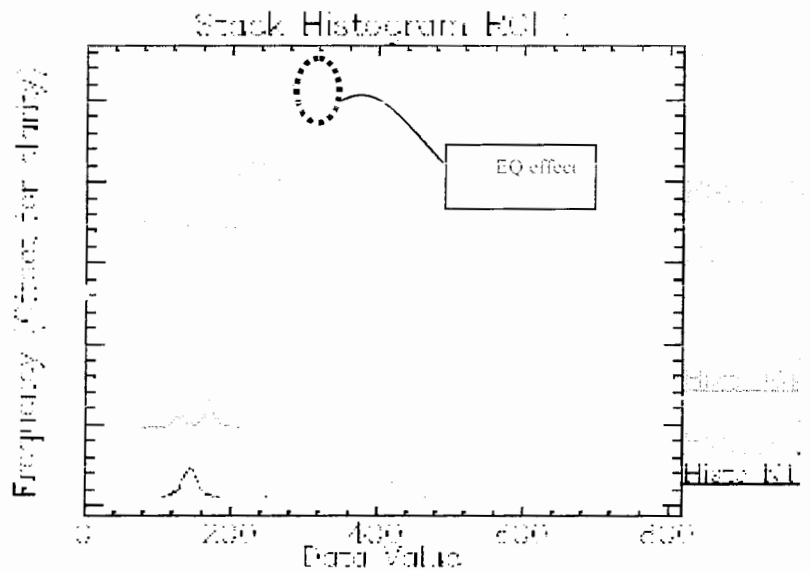
۴-۴-۲- تحلیل استک هیستوگرام های فراوانی

در ابتدا این نمودارها برای ۹ آرایه مربعی در کل دوره آماری مورد مطالعه، توسط نرم افزار ENVI ترسیم گردیدند (اشکال ۴-۳۲ تا ۴-۴۰) تا روند تغییرات به طور مجزا در همگی آرایه ها مورد بررسی

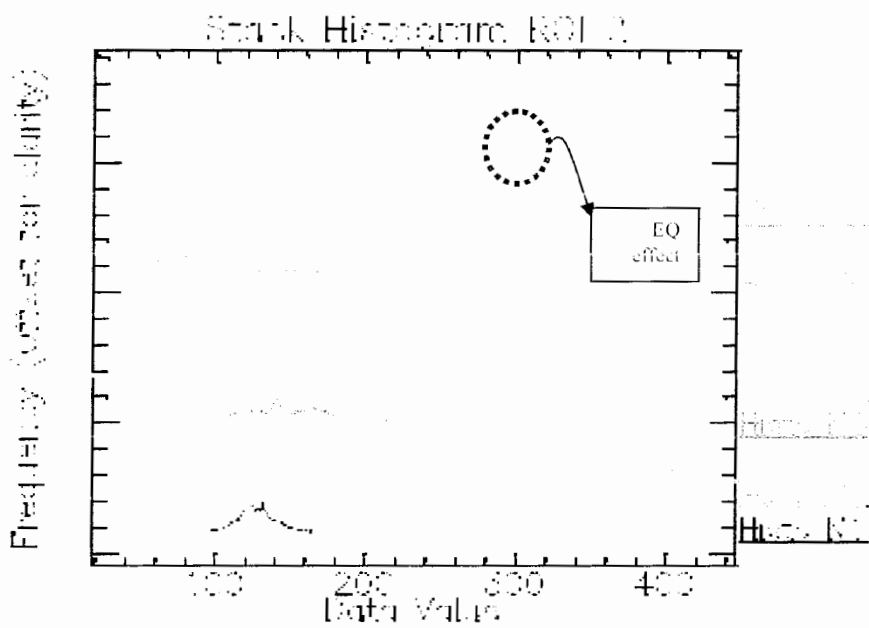
قرار گیرد. هدف از ترسیم این نمودار ها، بررسی تغییرات هیستوگرامها در آرایه های مختلف در طول دوره آماری می باشد. شاخص های تغییرات شامل کج شدگی هیستوگرام ها به سمت مقادیر بالایی و پایینی و جمع شدگی محدوده پیک هیستوگرام ها می باشند.

همانطور که در نمودار های فوق نشان داده شده است، محور X مقدار تشعشع و محور Y مقدار فراوانی هر کدام از مقادیر تشعشعی می باشد. این نمودارها در واقع از قرار دادن چندین هیستوگرام متوالی بدست آمده از مناطق یکسان با تاریخ های دریافت متفاوت، بدست می آیند و بنحوی عملیات offset انجام می پذیرد تا نمایش واضحی از تغییرات هیستوگرام ها از لحاظ شکل ظاهر فراهم آید. بایستی توجه داشت که هدف نهایی، بررسی مقایسه ای هیستوگرامها می باشد لذا بر روی محور Y ها مقادیر فراوانی نوشته نشده اند ولی لازم به ذکر است که هر کدام از تقسیمات این محور معادل عدد ۵۰ می باشد. در راهنمای نمودارها نیز اختصار های Histo N1 تا Histo N14 نشان دهنده شب های با کد ۱ تا ۱۴ می باشند.

بررسی این نمودارها نیز مبین وجود افزایش غیر عادی تشعشع در GeorOI های شماره ۱ و ۲ شب با کد ۱۲ می باشد (شکل ۴-۳۲ و ۴-۳۳). همانطور که این اشکال نشان می دهند، اولاً در محدوده پیک هیستوگرام جمع شدگی قابل ملاحظه ای رخ داده است ثانیاً پیک هیستوگرام به سمت مقادیر بالایی جابجا شده است. بعبارتی دیگر کج شدگی به سمت راست (مقادیر بالایی تشعشع) و کوتاه شدگی در پهنای پیک هیستوگرام رخ داده است که همگی مبین وجود تشعشع مرتبط با زلزله قریب الوقوع در منطقه مورد مطالعه می باشد.



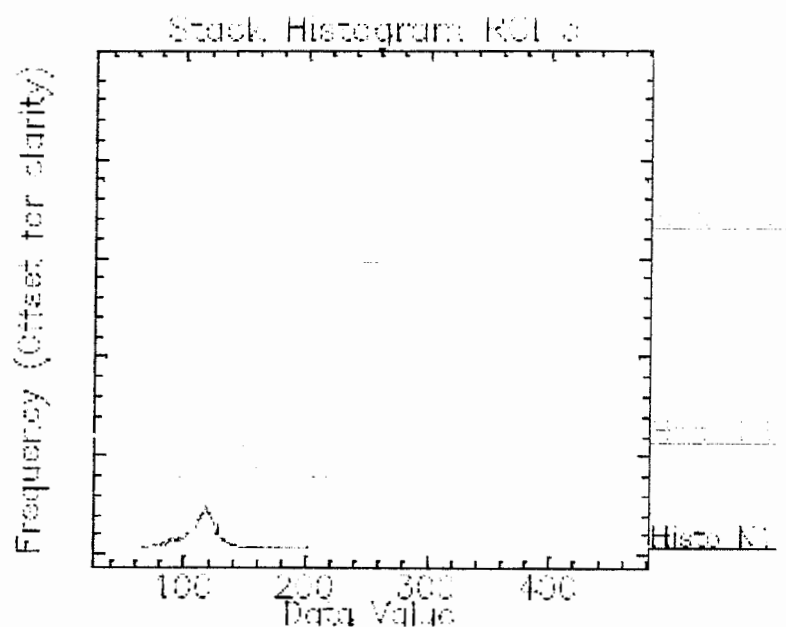
شکل ۴-۳۲- نمودار استک هیستوگرام فراوانی در GeoROI شماره ۱ در کل دوره آماری مورد مطالعه. در هیستوگرام شب با کد ۱۲ کج شدگی به سمت مقادیر بالایی و جمع شدگی محدوده پیک کاملاً مشهود است.



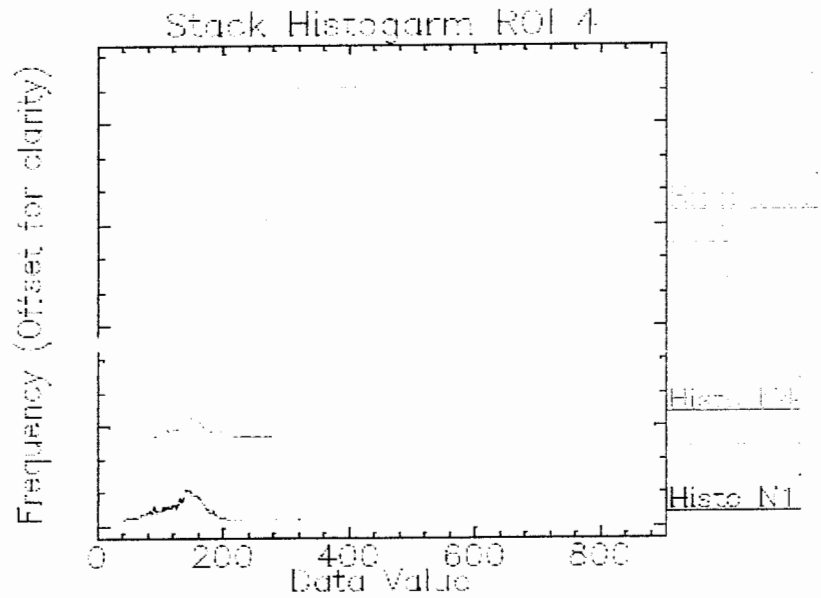
شکل ۴-۳۳- نمودار استک هیستوگرام فراوانی در GeoROI شماره ۲ در کل دوره آماری مورد مطالعه. در هیستوگرام شب با کد ۱۲ کج شدگی به سمت مقادیر بالایی و جمع شدگی، کاملاً مشهود است که بیشتر از تغییرات غیرعادی در GeoROI شماره ۱ می‌باشد.

از طرف دیگر در بقیه GeoROI ها، این گونه تغییرات انومال مشاهده نمی‌شود و یک نظم کلی بر همه هیستوگرامها حاکم گردیده است. به عنوان مثال در GeoROI شماره ۳ در همه هیستوگرامها کج شدگی به سمت مقادیر پایینی تشعشع می‌باشد، هرچند کشیدگی کمی در هیستوگرام پدید آمده است که نمی‌تواند به عنوان یک تغییر غیرعادی لحاظ شود (شکل ۴-۳۴).

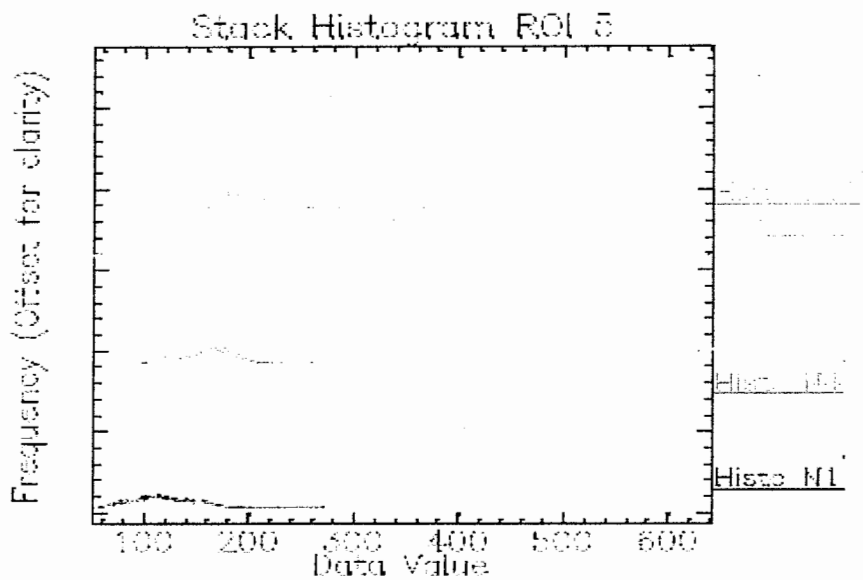
در هیستوگرامهای GeoROI های ۲ تا ۶ (اشکال ۲-۳۵ تا ۲-۴۰) روند عمومی شکل هیستوگرامها کاملاً طبیعی بوده و اثری از تشعشع ناشی از رخداد زلزله قریب الوقوع مشاهده نمی‌شود.



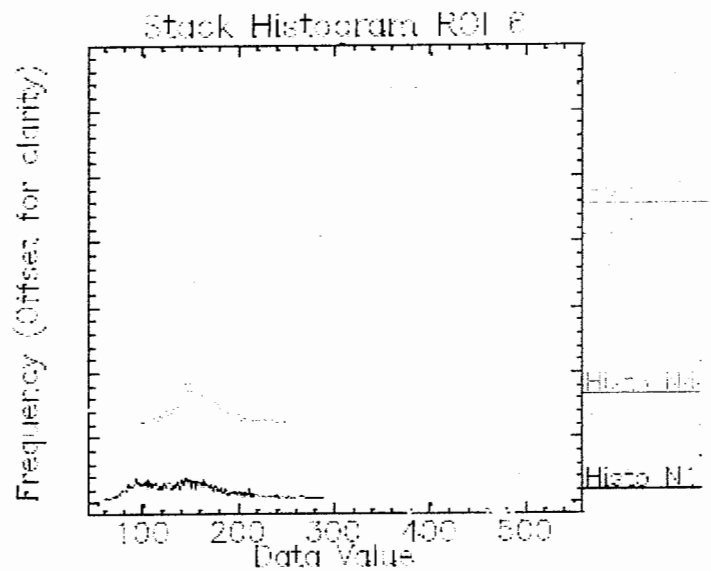
شکل ۴-۳۴- نمودار استک هیستوگرام فراوانی در GeoROI شماره ۳ در کل دوره آماری مورد مطالعه. در هیستوگرام شب با کد ۱۲ کج شدگی به سمت مقادیر بالایی و جمع شدگی، کاملاً مشهود است که بیشتر از تغییرات غیرعادی در GeoROI شماره ۱ می‌باشد.



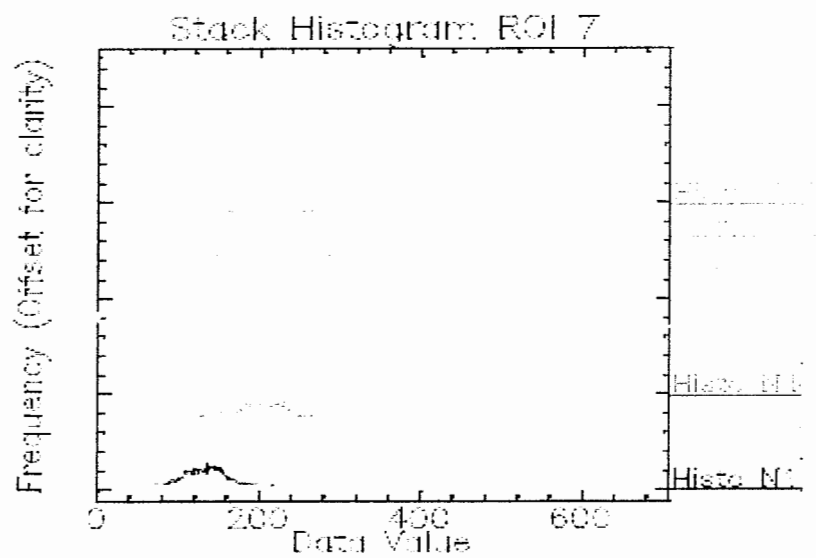
شکل ۴-۳۵- نمودار استک هیستوگرام فراوانی در GeoROI شماره ۴ در کل دوره آماری مورد مطالعه. در هیچکدام از هیستوگرامها تغییرات غیرعادی مرتبط با زلزله منطقه مورد مطالعه مشاهده نمی‌شود.



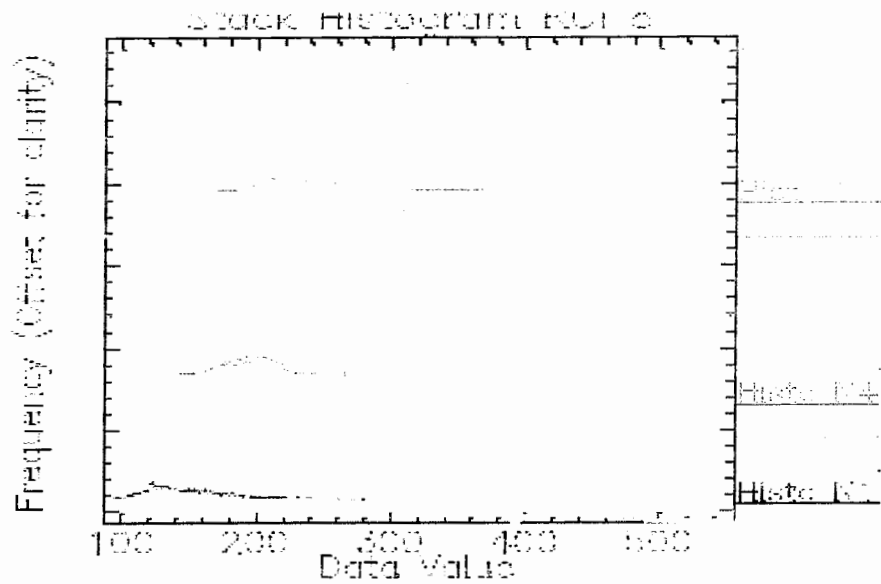
شکل ۴-۳۶- نمودار استک هیستوگرام فراوانی در GeoROI شماره ۵ در کل دوره آماری مورد مطالعه. در هیچکدام از هیستوگرامها تغییرات غیرعادی مرتبط با زلزله منطقه مورد مطالعه مشاهده نمی‌شود. بازشدگی بیک هیستوگرام مربوط به تغییر Offset نمودارها می‌باشد.



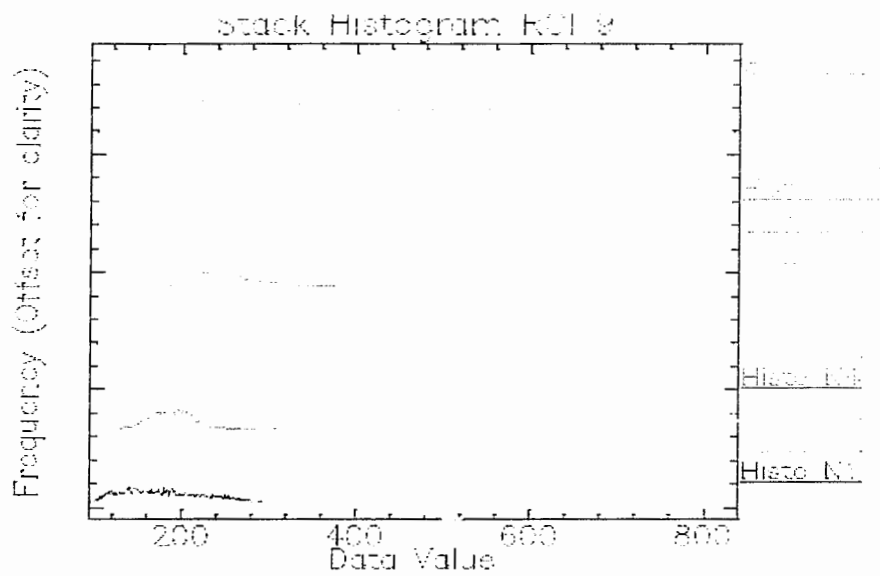
شکل ۴-۳۷- نمودار استک هیستوگرام فراوانی در GeoROI شماره ۶ در کل دوره آماری مورد مطالعه. در هیچکدام از هیستوگرامها تغییرات غیرعادی مرتبط با زلزله منطقه مورد مطالعه، مشاهده نمی‌شود.



شکل ۴-۳۸- نمودار استک هیستوگرام فراوانی در GeoROI شماره ۷ در کل دوره آماری مورد مطالعه. در هیچکدام از هیستوگرامها تغییرات غیرعادی مرتبط با زلزله منطقه مورد مطالعه مشاهده نمی‌شود.



شکل ۴-۳۹- نمودار استک هیستوگرام فراوانی در GeoROI شماره ۸ در کل دوره آماری مورد مطالعه. در هیچکدام از هیستوگرامها تغییرات غیرعادی مرتبط با زلزله منطقه مورد مطالعه مشاهده نمی‌شود.



شکل ۴-۴۰- نمودار استک هیستوگرام فراوانی در GeoROI شماره ۹ در کل دوره آماری مورد مطالعه. در هیچکدام از هیستوگرامها تغییرات غیرعادی مرتبط با زلزله منطقه مورد مطالعه مشاهده نمی‌شود.

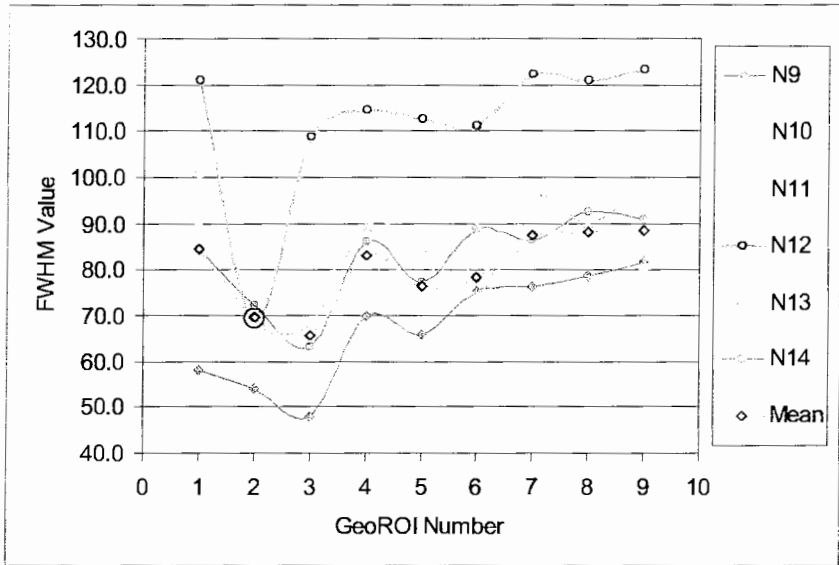
۳-۴-۴- تحلیل شاخص مقادیر FWHM یا پهنای هیستوگرام در نصف پیک

همانطور که در مباحث قبلی بیان گردید، یکی از روشهایی که می‌توان تغییرات تشعشی غیرعادی را ثبت نمود، بهره‌گیری از هیستوگرام فراوانی است. از طرفی مقایسه و تفسیر ظاهری در هیستوگرام، کار ساده‌ای نیست. برای رفع این مشکل، از شاخص FWHM که پهنای هیستوگرام را در نصف پیک از رابطه ۱-۴ محاسبه می‌کند، استفاده گردید.

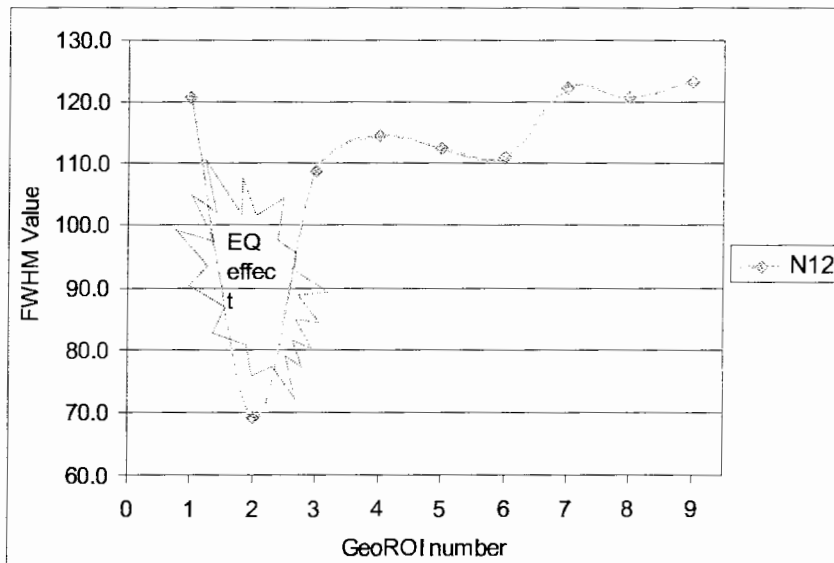
$$FWHM = \frac{M}{e} \quad \text{رابطه ۱-۴}$$

در این رابطه FWHM پهنای هیستوگرام در نصف پیک و M مقدار عددی تشعشع در پیک هیستوگرام می‌باشد. e نیز همان عدد نپر می‌باشد که می‌توان آن را معادل $2/7$ در نظر گرفت. پس از محاسبه مقادیر عددی FWHM برای شب‌ها و GeoROI های مختلف، نتایج به صورت نمودارهای ترکیبی ترسیم گردید که به بررسی نتایج حاصل می‌پردازیم.

بررسی مقادیر شاخص FWHM بر حسب شماره GeoROI مبین افت بیش از حد این مقدار در آرایه شماره ۲ مربوط به شب ۱۲ می‌باشد (شکل‌های ۴-۴۱ و ۴-۴۲). همانطور که مشاهده می‌شود، عدم انطباق تغییرات FWHM با منحنی میانگین شب‌های قبل و بعد (نزدیک به زلزله)، مشهود است.

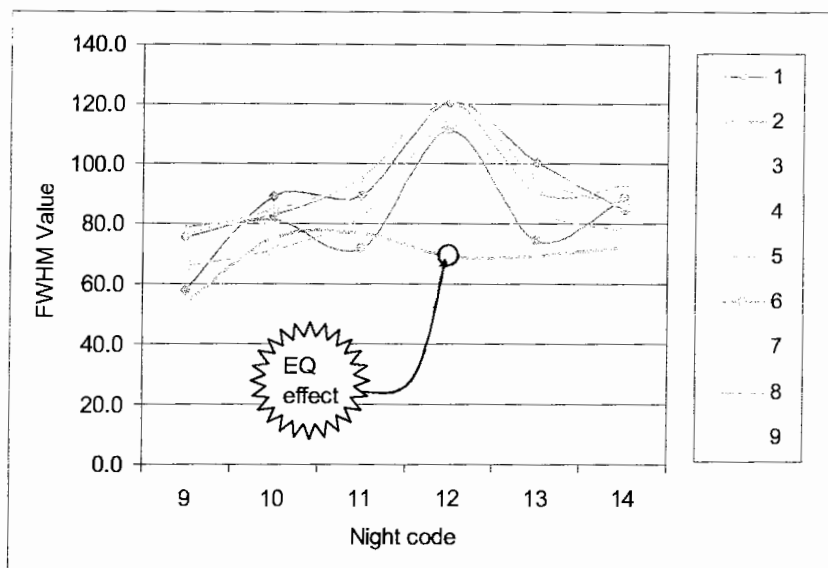


شکل ۴-۴۱- نمودار تغییرات FWHM در مقابل شماره GeoROI در شب های نزدیک به زلزله.



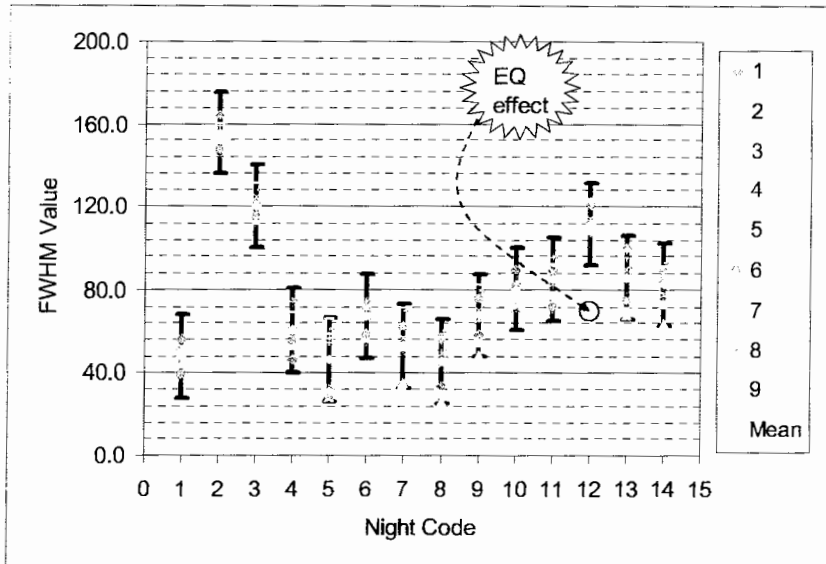
شکل ۴-۴۲- نمودار تغییرات شب ۱۲ در GeoROI های ۱ تا ۹. افت بیش از حد در GeoROI شماره ۲ مشهود است.

همانطور که در شکل شماره ۴-۴۳ مشاهده می‌شود، هیچ همخوانی معنی داری در GeoROI شماره ۲ در شب ۱۲ با دیگر شب‌ها وجود ندارد. این در حالیست که تغییرات در دیگر شب‌ها تقریباً مشابه است.



شکل ۴-۴۳- نمودار تغییرات FWHM در مقابل کد شب برای GeoROI های ۱ تا ۹.

در شکل ۴-۴۴ نیز انحراف از خطای استاندارد GeoROI شماره ۲ در شب ۱۲، با هیچکدام از تاریخهای قبل از زلزله همخوانی ندارد. خطای استاندارد بر حسب مقادیر متوسط FWHM بدست آمده از GeoROI های ۱ تا ۹ در شب های ۱ تا ۱۴، بدست آمده است.



شکل ۴-۴- نمودار تغییرات مقادیر FWHM در برابر کد شب و GeoROI ۱ تا ۹. محدوده خطای استاندارد بر حسب مقادیر متوسط FWHM بدست آمده است.

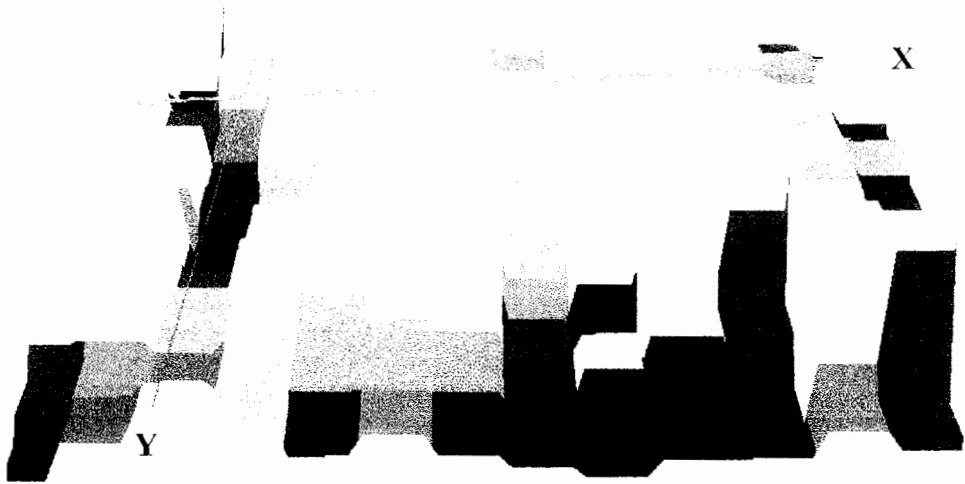
۴-۴-۴- تحلیل تصویر سه بعدی ماتریس همبستگی

برای تهیه این پارامتر آماری در ابتدا همبستگی بین شب های با کد ۱ تا ۱۴ بدست آمد که در واقع یک ماتریس ۱۴ در ۱۴ را تشکیل می داد. سپس برحسب مقادیر همبستگی موجود در پیکسل های ماتریس، عمل سه بعدی سازی انجام پذیرفت تا در واقع به نمایش واضحی از تغییرات پارامتر همبستگی دست یابیم.

خطوط کشیده شده بر روی تصاویر سه بعدی ماتریسهای همبستگی در واقع همبستگی شب با کد ۱۲ را با دیگر شب های دوره آماری نشان می دهد. همانطور که می دانیم مقادیر یک ماتریس همبستگی، نسبت به قطر ماتریس تکرار می شوند. لذا ما در اینجا دو خط عمود بر هم که از مقادیر همبستگی شب با کد ۱۲ می گذرند، ترسیم نموده ایم تا به نمایش مطلوب تر برای بررسی آنومالی های زلزله، دست یابیم. نواحی سفید رنگ که در قطر ماتریس قرار گرفته اند در واقع همبستگی بین هر شب را با خودش نشان می دهد که مقدار آن طبیعتاً ۱ می باشد (مقادیر همبستگی به طور کلی بین ۱- تا ۱+ در تغییر است).

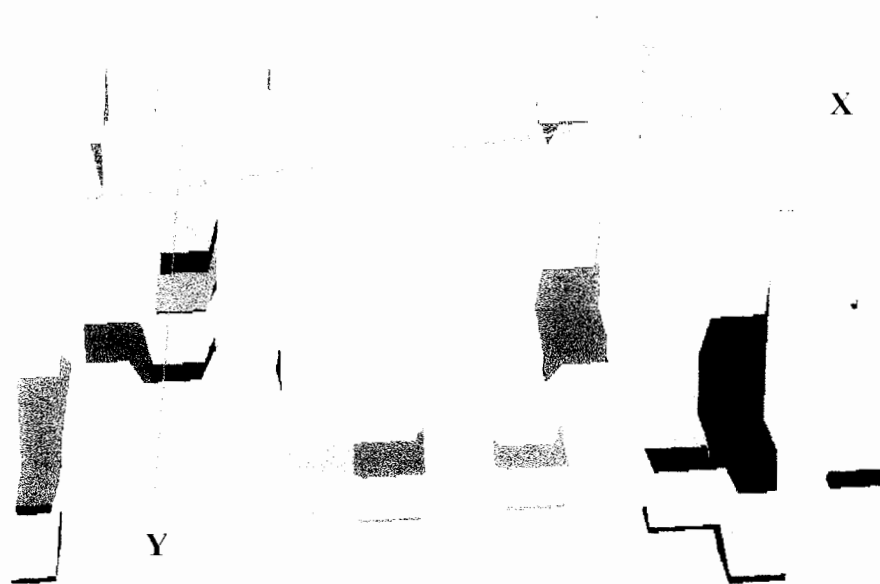
بررسی تغییرات این پارامتر آماری مبین وجود آنومالی های تشعشی در GeorOI های ۱ و ۲ در شب باکد ۱۲ می باشد که طبق انتظار در GeorOI شماره ۲ بیشتر می باشد. این آنومالی ها خود را با افت بیش از حد مقادیر همبستگی نشان داده اند (شکل های ۴-۴۵ و ۴-۴۶).

ROI 1



شکل ۴-۴۵- تصویر سه بعدی ماتریس همبستگی بین کل دوره آماری در GeorOI شماره ۱. خطوط عمود بر هم (X, Y) ، همبستگی بین شب با کد ۱۲ را با دیگر شب های دوره آماری نشان می دهد. بر روی محور Y افت بیش از حد مقادیر همبستگی شب ۱۲ با دیگر شب ها به وضوح دیده می شود.

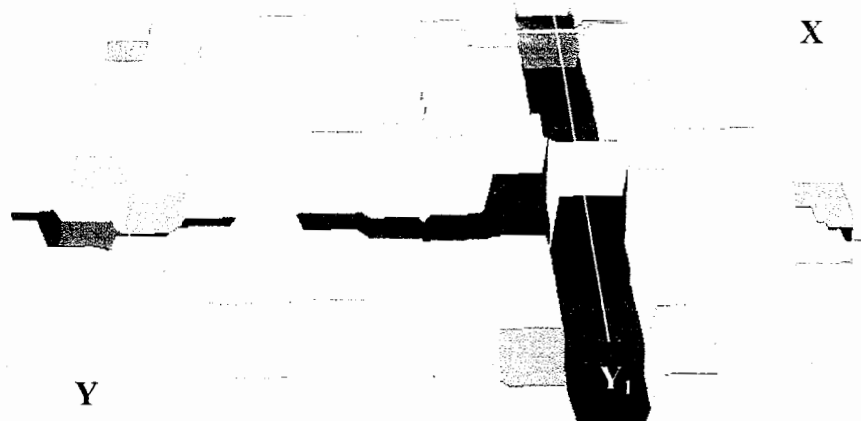
ROI 2



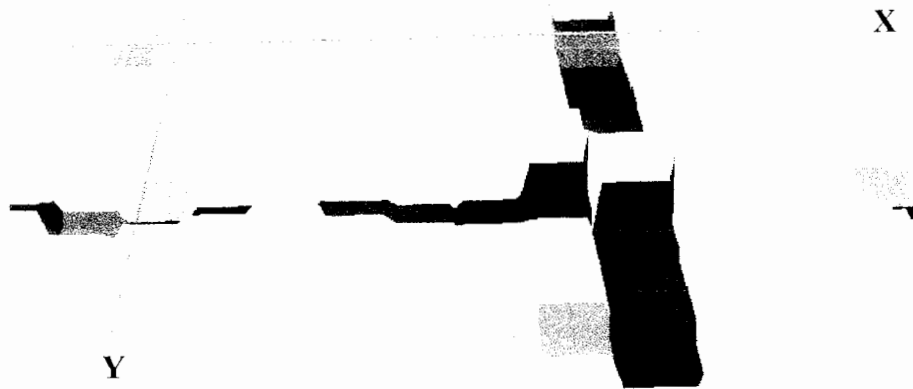
شکل ۴-۴۶- تصویر سه بعدی ماتریس همبستگی بین کل دوره آماری در GeorOI شماره ۲. خطوط عمود بر هم (X)
Y)، همبستگی بین شب با کد ۱۲ را با دیگر شب های دوره آماری نشان می دهد. بر روی محور Y افت بیش از حد
مقادیر همبستگی شب ۱۲ با دیگر شب ها به وضوح دیده می شود

در دیگر GeoROI ها هیچ گونه تغییر غیرعادی مشاهده نمی‌شود (شکل‌های ۲-۴۷ تا ۲-۵۳). البته بایستی به این نکته اشاره کرد که در شب‌های با کد ۵ و ۷ در GeoROI ۳ رخداد نویز و ابر باعث کاهش شدید همبستگی گردیده است که ربطی به زلزله قریب‌الوقوع ندارد که در شکل ۴-۴۷ بر روی محور Y_1 نمایش داده شده است و همچنین عدم افت مقادیر تشعشعی ناشی از کویری بودن محدوده مورد نظر می‌باشد. یکی از نکاتی که بایستی به آن اشاره کرد اینست که مانند دیگر روش‌های تحلیل ذکر شده، در اینجا هم شب‌های نزدیک به زلزله ملاک اصلی تحلیل قرار گرفته‌اند.

ROI 3

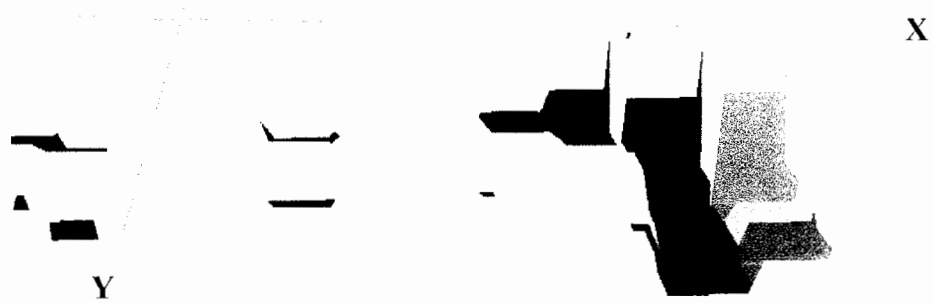


شکل ۴-۴۷- تصویر سه بعدی ماتریس همبستگی بین کل دوره آماری در GeoROI شماره ۳. خطوط عمود بر هم (X, Y) ، همبستگی بین شب با کد ۱۲ را با دیگر شب‌های دوره آماری نشان می‌دهد. بر روی محور Y افت بیش از حد مقادیر همبستگی شب ۱۲ با دیگر شب‌ها مشاهده نمی‌شود. محور Y_1 همبستگی‌های بسیار پایین شب‌های با کد ۵ را به دیگر شب‌ها نشان می‌دهد.



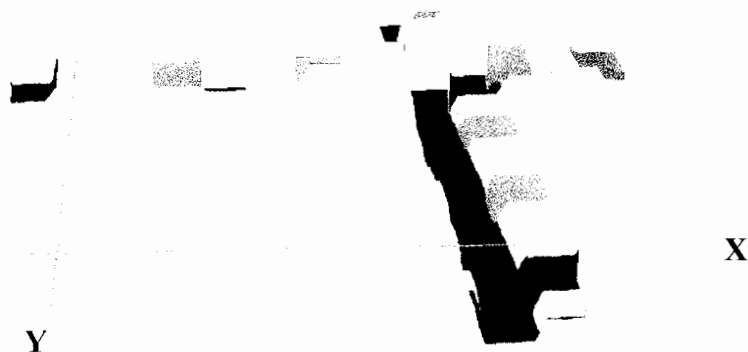
شکل ۴-۴۸- تصویر سه بعدی ماتریس همبستگی بین کل دوره آماری در GeoROI شماره ۴. خطوط عمود بر هم (Y، X)، همبستگی بین شب با کد ۱۲ را با دیگر شب های دوره آماری نشان می دهد. بر روی محور Y افت مقادیر همبستگی مشاهده نمی شود.

ROI 5



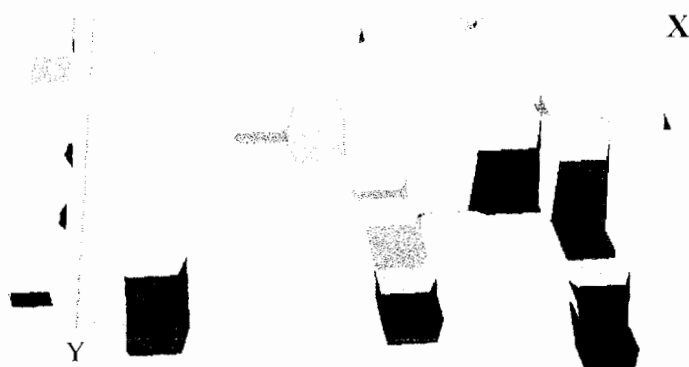
شکل ۴-۴۹- تصویر سه بعدی ماتریس همبستگی بین کل دوره آماری در GeoROI شماره ۵. خطوط عمود بر هم (Y، X)، همبستگی بین شب با کد ۱۲ را با دیگر شب های دوره آماری نشان می دهد. بر روی محور Y افت غیرعادی مقادیر همبستگی شب ۱۲ با دیگر شب ها مشاهده نمی شود.

ROI 6



شکل ۴-۵۰- تصویر سه بعدی ماتریس همبستگی بین کل دوره آماری در ROI شماره ۶. خطوط عمود بر هم (X, Y)، همبستگی بین شب با کد ۱۲ را با دیگر شب های دوره آماری نشان می دهد. بر روی محور Y افت مقادیر همبستگی شب ۱۲ با دیگر شب ها مشاهده نمی شود.

ROI 7



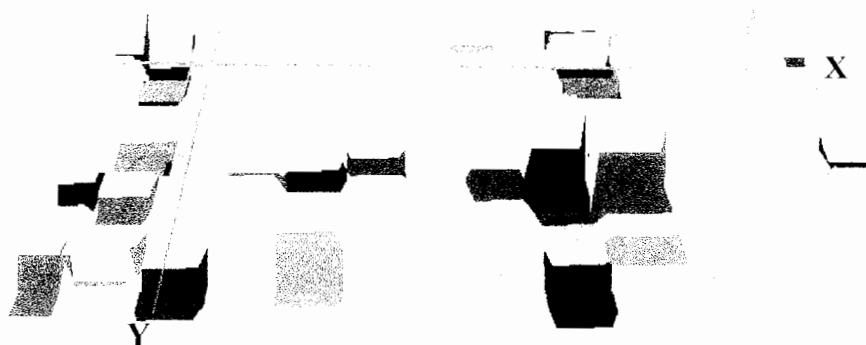
شکل ۴-۵۱- تصویر سه بعدی ماتریس همبستگی بین کل دوره آماری در ROI شماره ۷. خطوط عمود بر هم (X, Y)، همبستگی بین شب با کد ۱۲ را با دیگر شب های دوره آماری نشان می دهد. بر روی محور Y افت مقادیر همبستگی شب ۱۲ با دیگر شب ها مشاهده نمی شود.

ROI 8



شکل ۴-۵۲- تصویر سه بعدی ماتریس همبستگی بین کل دوره آماری در GeorOI شماره ۸ خطوط عمود بر هم (X, Y)، همبستگی بین شب با کد ۱۲ را با دیگر شب های دوره آماری نشان می دهد. بر روی محور Y افت مقادیر همبستگی شب ۱۲ با دیگر شب ها مشاهده نمی شود.

ROI 9



شکل ۴-۵۳- تصویر سه بعدی ماتریس همبستگی بین کل دوره آماری در GeorOI شماره ۹. خطوط عمود بر هم (X, Y)، همبستگی بین شب با کد ۱۲ را با دیگر شب های دوره آماری نشان می دهد. بر روی محور Y افت مقادیر همبستگی شب ۱۲ با دیگر شب ها مشاهده نمی شود.

۴-۵- استخراج مناطق با بیشترین آنومالی تشعشعی ناشی از زلزله منطقه مورد مطالعه با استفاده از اصلاح اثر زمین شناسی (سنگ شناسی)

هدف از تصحیح زمین شناسی داده های ماهواره ای رسیدن به یک تصویر همگن به منظور ثبت هرگونه تغییرات غیرعادی در GeoROI های زمین شناسی می باشد. برای این کار در ابتدا دو شب ۳ و ۴ از کل دوره آماری که اثری از نویز، آشفتگی های هواشناسی و خطای ژئورفرنس در آنها مشاهده نمی شد و از طرفی اختلاف تشعشعی بارزی را نشان می دادند، جهت بدست آوردن ضرایب اصلاح اثر زمین شناسی، مورد استفاده قرار گرفتند.

برای این منظور مقادیر میانگین در GeoROI های ۱ تا ۹ از شب های انتخابی بدست آمد. بترتیب زیر عمل ضرایب اصلاح بدست آمد (جدول ۴-۱):

۱- مقادیر میانگین به ترتیب صعودی مرتب گردید؛

۲- این مقادیر نسبت به مقدار کمینه میانگین در هر شب، نرمالیزه شدند (مقادیر میانگین بر مینیمم میانگین ها تقسیم شدند)؛

۳- مقادیر میانگین نرمالیزه شده GeoROI های شب ۳ بر معادل آن در شب ۴ تقسیم گردید تا به رنج تغییرات در GeoROI های زمین شناسی دست یابیم؛

۴- نتایج بر حسب ضریب بدست آمده، به ترتیب صعودی مرتب شدند تا به یک کلاسه بندی از ضرایب اصلاح، برای GeoROI ها دست یابیم؛

۵- کمترین مقدار ضرایب به ۱ نسبت داده شد و بقیه به طور نسبی نرمالیزه شدند؛

۶- نهایتاً GeoROI های ۱ تا ۹ در سه کلاس مجزا قرار گرفتند که جنس کلی لایه زمین شناسی آنها نیز منطبق بر ضرایب مورد انتظار است (جدول ۴-۲).

۷- ماتریس اصلاح خطا در محیط Excel نوشته شد و به محیط نرم افزار پردازشگر ENVI وارد گردید تا بر روی همه پیکسل های تصاویر ماهواره ای شب های با کد ۹ تا ۱۴، عملیات اصلاح انجام پذیرد.

۸- به منظور اصلاح اثر زمین شناسی، در واقع تمامی تصاویر ماهواره ای بر ضرایب اصلاح خطای بدست آمده تقسیم گردید تا مناطق آنومال تشعشعی، شناسایی شوند.

جدول ۴-۱- محاسبات مربوط به نحوه اصلاح اثر زمین شناسی به طور کامل.

مربوط به GeorOI	ضرایب نرمالیزه شد	ضرایب اصلاح	مقادیر نرمالیزه شده	مقادیر نرمالیزه شده	GeorOI	میانگین های	GeorOI
هر کلاس	هر کلاس	زمین شناسی	شماره ۴ GeorOI	شماره ۳ GeorOI	میانگین های	شماره ۴ به ترتیب صعودی	میانگین های
کلاس	کلاس	کلاس	کلاس	کلاس	کلاس	کلاس	کلاس
4		0.976	1.000	1.000	141.680	309.722	
3	1.000	1.000	1.030	1.018	145.922	315.420	
2		1.011	1.071	1.077	151.716	333.485	
1		1.014	1.098	1.083	155.640	335.475	
6	1.039	1.038	1.128	1.087	159.881	336.589	
5		1.052	1.133	1.097	160.564	339.774	
9		1.098	1.328	1.126	188.162	348.769	
8	1.177	1.179	1.371	1.163	194.309	360.206	
7		1.237	1.393	1.209	197.421	374.541	

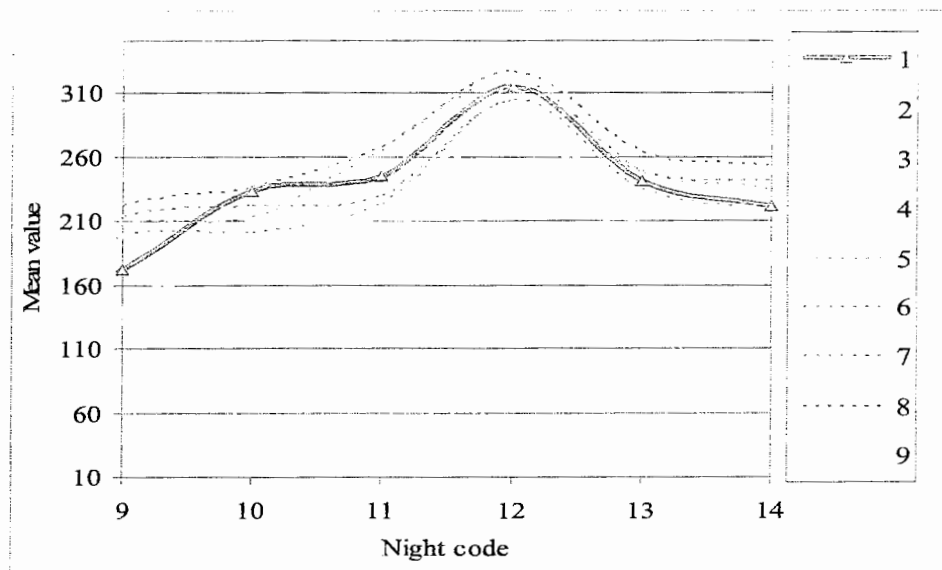
جدول ۴-۲- تقسیم بندی کلاسهای بدست آمده بر حسب جنس لایه های زمین شناسی.

کلاس	ضریب اصلاح کلاس	GeoROI های هر کلاس	جنس سنگی کلاس
A	۱	۳، ۲ و ۴	آبرفت، شیل و رخنمون های محدود سنگهای آذرین
B	۱/۱۷۷	۷، ۸ و ۹	آهک، دولومیت و سنگهای سخت غیرآذرین
C	۱/۰۳۹	۱، ۶ و ۵	گرانیت و ترکیبی از جنس سنگی کلاسهای A و B

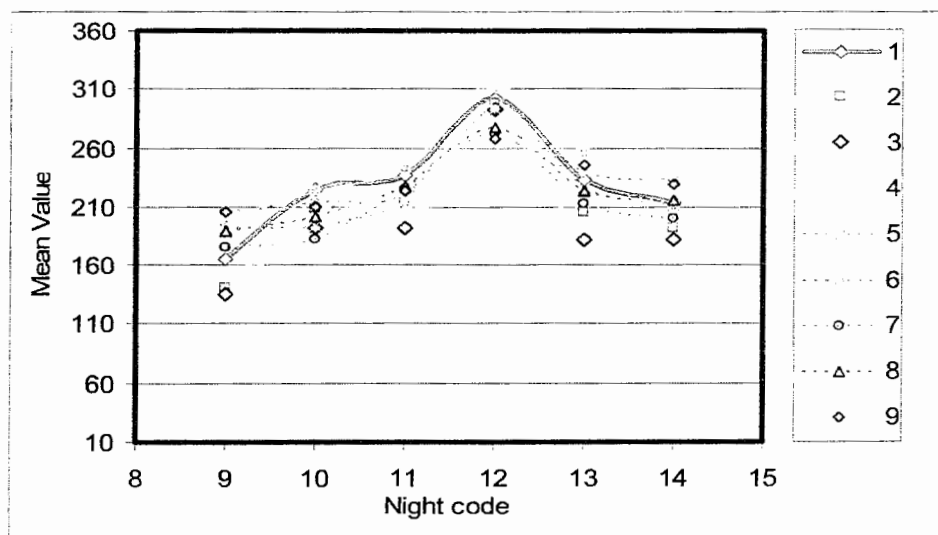
حال انتظار ما در حالت عادی اینست که با اعمال اصلاح، مناطق با تشعشع کم، تشعشع بیشتری نشان دهند و مناطق با تشعشع زیاد، تشعشع کمتری نشان دهند. به عبارتی دیگر یک همگن شدگی در داده های ماهواره ای رخ دهد. لذا برای مقایسه، نمودار های مقادیر میانگین تشعشی اصلاح نشده و اصلاح شده ترسیم گردید (شکل ۴-۵۴ (الف) و ۴-۵۴ (ب)). همانطور که از مقادیر اصلاح نشده بر می آید، تغییرات غیر عادی در شب ۱۲ در آرایه های ۱، ۲ و ۳ محسوس نیست. ولی پس از اصلاح، در شب با کد ۱۲ نه تنها همگن شدگی رخ نداده است، بلکه مقادیر میانگین در GeoROI های ۱، ۲ و ۳ از مقادیر میانگین GeoROI های دیگر، پیشی گرفته است و به پیک مقادیر ماکزیمم نزدیک شده اند. این در حالی است که در دیگر شب ها عمل همگن شدگی با تداخل (همگن شدگی) GeoROI های ذکر شده فوق مشخص شده است.

یکی از نکاتی که در اینجا در ارتباط با GeoROI شماره ۳ مطرح می شود، اینست که شرایط تقریباً مشابهی با GeoROI های ۱ و ۲ دارد. البته لازم به ذکر است که در مراحل قبلی تحلیل، این منطقه تا حدودی از لحاظ آنومالی تشعشی مشکوک بود و با اصلاح اثر زمین شناسی مشخص شد که در این محدوده نیز، تشعشع ناشی از زلزله وجود داشته است که علت این تشعشع را می توان به وجود تداخل های سنگی آذرین و احتمالاً وجود پی سنگ گرانیتی در منطقه مورد نظر نسبت داد (در مراحل قبلی عدم وجود تشعشع در این GeoROI به کویری بودن محدوده مورد نظر نسبت داده می شد).

با توجه به تفسیرهایی که در بالا ذکر شد، می‌توان به این نتیجه رسید که اصلاح اثر زمین‌شناسی می‌تواند مناطق آنومال تشعشی را برجسته تر کند و مناطق با تشعشع کم را نیز نمایان سازد تا بتوانیم راحتتر به محل رخداد زلزله احتمالی دست یابیم.



شکل ۴-۵۴(الف)- نمودار تغییرات مقادیر میانگین اصلاح نشده، در شب های باکد ۹ تا ۱۴ در GeoROI های ۱ تا ۹.

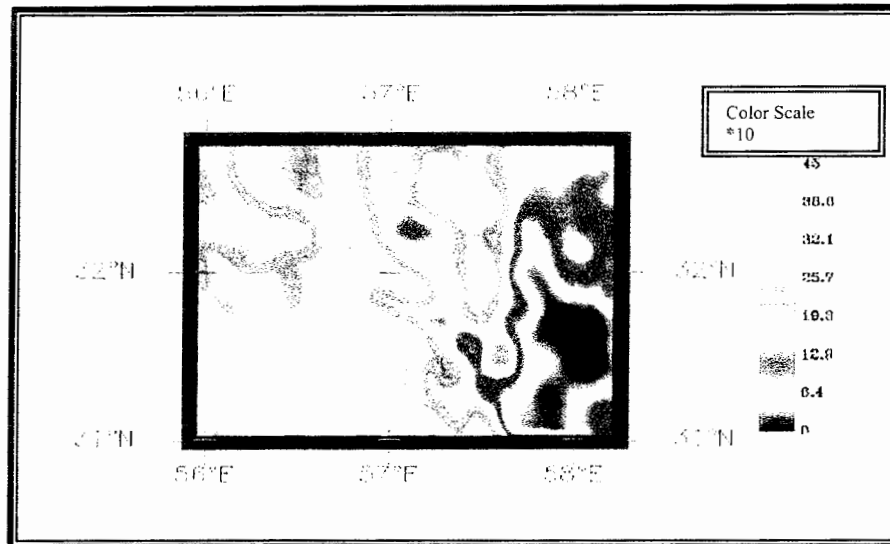


شکل ۴-۵۴(ب)- نمودار تغییرات مقادیر میانگین اصلاح شده، در شب های باکد ۹ تا ۱۴ در GeoROI های ۱ تا ۹. GeoROI های ۱، ۲ و ۳ در شب ۱۲ رفتار تشعشی غیر عادی نسبت به شب های قبل و بعد نشان می‌دهند.

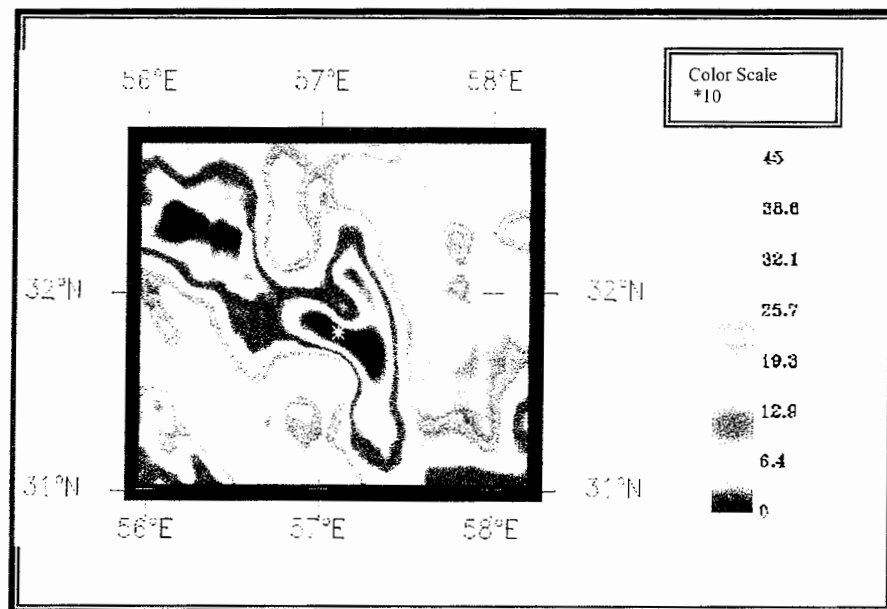
۴-۶- بررسی آنومالی های تشعشعی تصاویر ماهواره ای اصلاح شده

همانطور که در بالا ذکر شد ضرایب اصلاح بدست آمده (جدول ۴-۱) بر روی ارایه های زمین شناسی ۹ گانه اعمال گردید و نهایتاً تصاویر اصلاح شده در محیط نرم افزار ENVI پس از اعمال فیلتر میانگین، با نمایش پلاσμα به صورت رنگی درآمد تا به صورت چشمی، تغییرات غیرعادی تشعشع مورد بررسی قرار گیرد (تصاویر ۴-۵۵ تا ۴-۶۰). علاوه بر این بهترین عملیات بارزسازی بر روی تصاویر انجام پذیرفت تا مناطق با ماکزیمم تشعشع شناسایی شوند (شکل‌های ۴-۶۱ تا ۴-۶۶). همانطور که شکل ۴-۵۶ نشان می‌دهد در شب ۱۲، سمت شرق کانون زلزله به یک مکان آنومال تشعشعی، تبدیل شده است که این مسئله در بررسی مقادیر میانگین که در شکل ۴-۵۴ نشان داده شد، مشاهده گردید. اما در شکل های مربوط به دیگر شب ها هیچ گونه افزایش غیر عادی تشعشع مشاهده نمی‌شود.

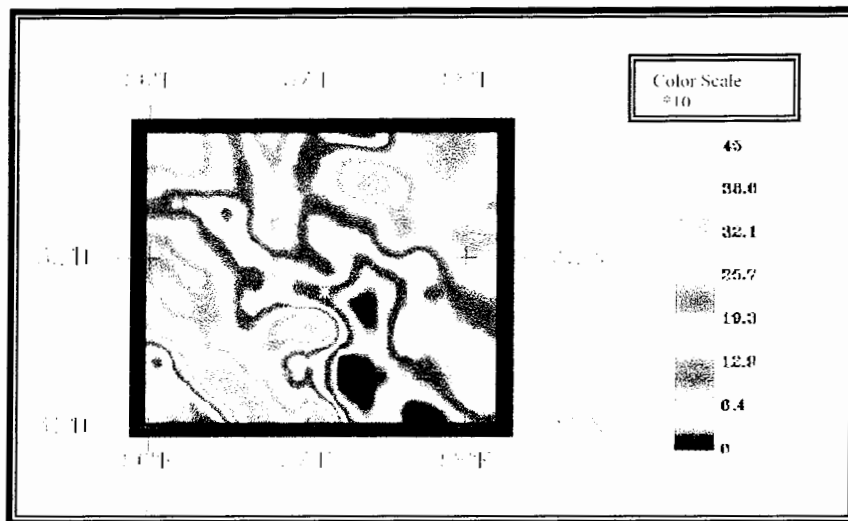
در شکل ۴-۵۵ همانطور که مشاهده می‌شود، سمت شرق کانون زلزله، دارای مقادیر تشعشع پایین می باشد که این مسئله به خاطر وجود سازند های زمین شناسی با تشعشع پایین، در محدوده مورد نظر می‌باشد. این محدوده از سنگهای گرانیتی و ابرفت تشکیل شده است که دارای توان تشعشعی پایین در حدود ۰/۸۹ تا ۰/۹۱ می‌باشند. این در حالیست که سازندهای سمت غرب کانون از واحد های سنگی سخت غیر آذرین؛ نظیر اُهک و دولومیت؛ تشکیل شده اند که از توان تشعشعی بالاتری (در حدود ۰/۹۲۹ تا ۰/۹۵۸) نسبت به سازند های شرق کانون برخوردارند.



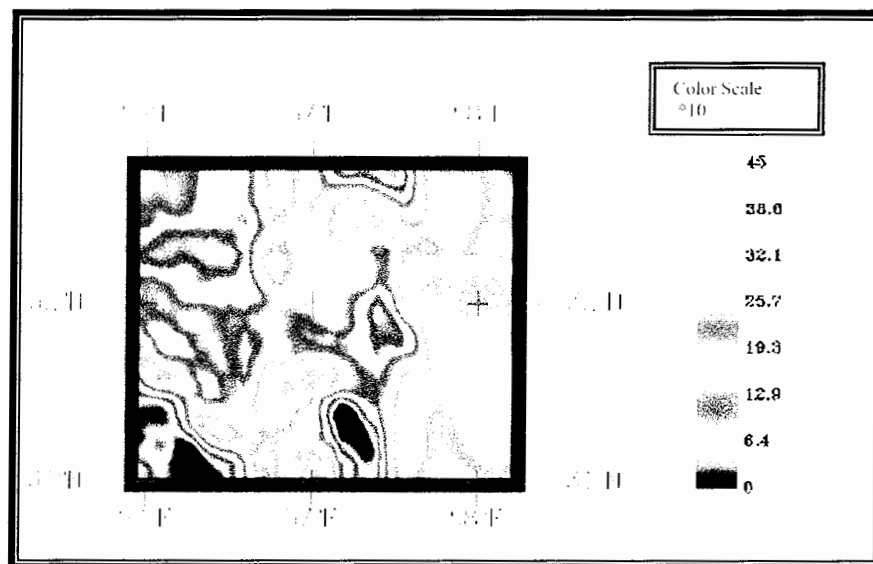
شکل ۴-۵۵- تصویر اصلاح شده تشعشی شب ۹. کانون زلزله با علامت ضربدر مشخص شده است. در سمت راست تصویر مقیاس تصویر به صورت نمایش رنگی ارائه شده است که عملا مقادیر ارائه شده در کنار مقیاس، بایستی در ۱۰ ضرب شوند.



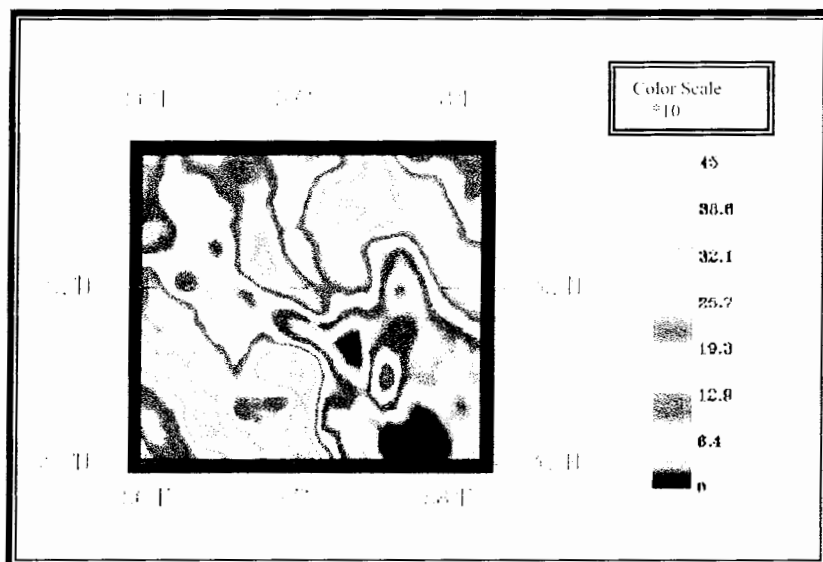
شکل ۴-۵۶- تصویر اصلاح شده تشعشی شب ۱۰. کانون زلزله با علامت ضربدر مشخص شده است. در سمت راست تصویر مقیاس تصویر به صورت نمایش رنگی ارائه شده است که عملا مقادیر ارائه شده در کنار مقیاس، بایستی در ۱۰ ضرب شوند.



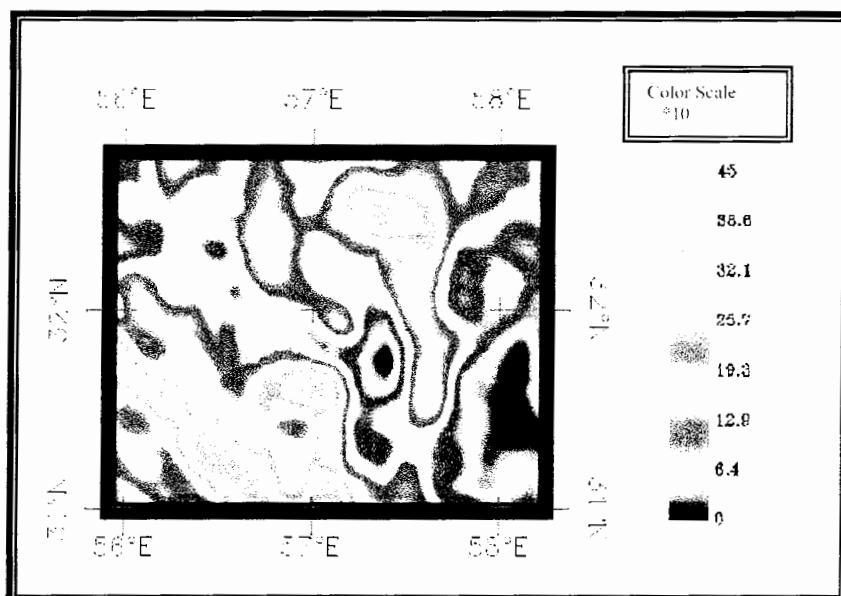
شکل ۴-۵۷- تصویر اصلاح شده تشعشعی شب ۱۱. کانون زلزله با علامت ضربدر مشخص شده است. در سمت راست تصویر مقیاس تصویر به صورت نمایش رنگی ارائه شده است که عملا مقادیر ارائه شده در کنار مقیاس، بایستی در ۱۰ ضرب شوند.



شکل ۴-۵۸- تصویر اصلاح شده تشعشعی شب ۱۲. کانون زلزله با علامت ضربدر مشخص شده است. در سمت راست تصویر مقیاس تصویر به صورت نمایش رنگی ارائه شده است که عملا مقادیر ارائه شده در کنار مقیاس، بایستی در ۱۰ ضرب شوند.

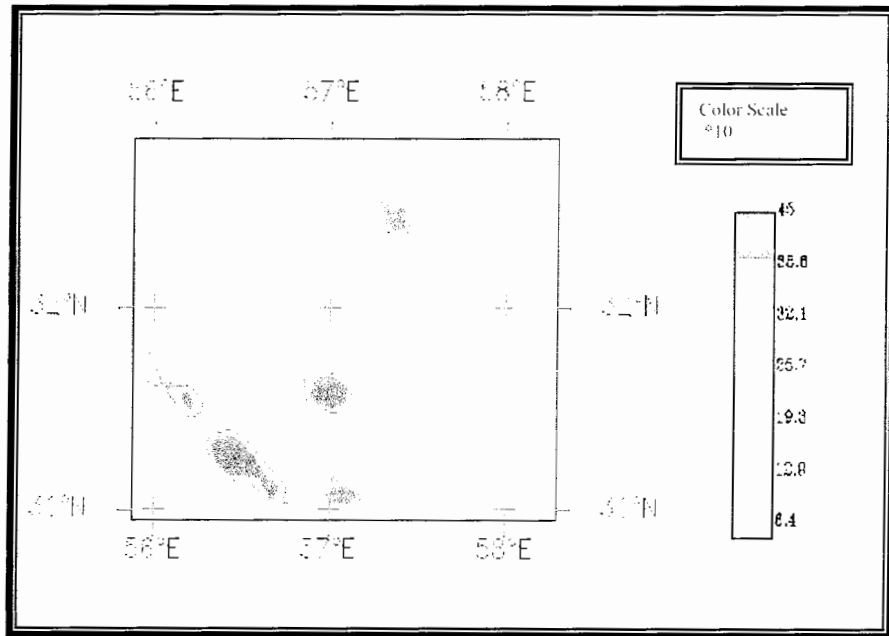


شکل ۴-۵۹- تصویر اصلاح شده تشعشعی شب ۱۳. کانون زلزله با علامت ضربدر مشخص شده است. در سمت راست تصویر، مقیاس تصویر به صورت نمایش رنگی ارائه شده است که عملاً مقادیر ارائه شده در کنار مقیاس، بایستی در ۱۰ ضرب شوند.

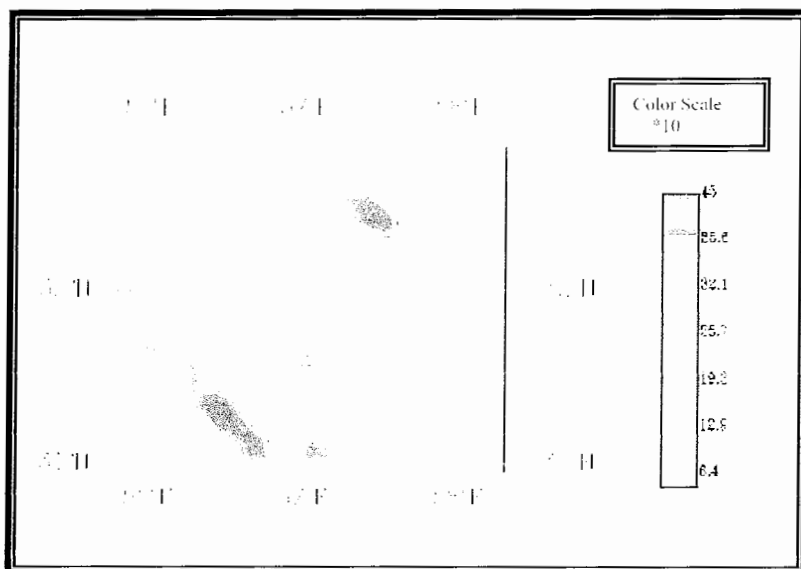


شکل ۴-۶۰- تصویر اصلاح شده تشعشعی شب ۱۴. کانون زلزله با علامت ضربدر مشخص شده است. در سمت راست تصویر، مقیاس تصویر به صورت نمایش رنگی ارائه شده است که عملاً مقادیر ارائه شده در کنار مقیاس، بایستی در ۱۰ ضرب شوند.

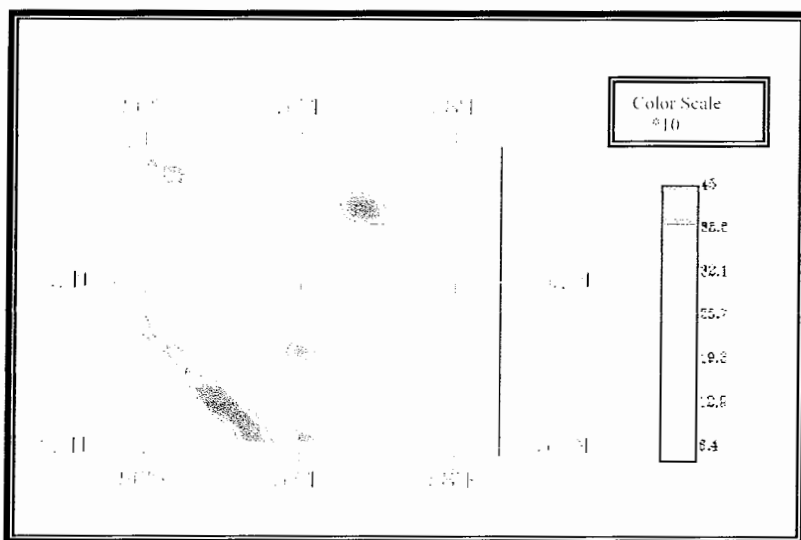
در تصاویر بارز سازی شده که به منظور ثبت مناطق با ماگزیمم تشعشع ساخته شدند، در شب ۱۲ در حوالی GeoROI ۱ و ۲، آنومالی تشعشعی نسبتاً بالا مشاهده شد (شکل ۴-۶۴). این در حالی است که دیگر شبها رفتار یکسانی از خود نشان دادند. منظور اینست که آنومالیهای غیرعادی در آنها مشاهده نمی‌شود (شکل های ۴-۶۱، ۴-۶۲، ۴-۶۳، ۴-۶۵ و ۴-۶۶).



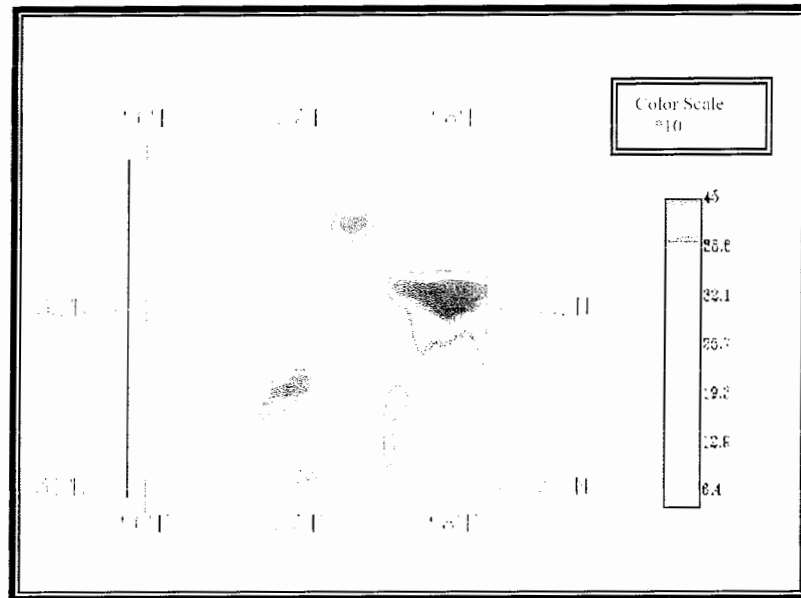
شکل ۴-۶۱- تصویر اصلاح شده مناطق با ماگزیمم تشعشعی شب ۹. کانون زلزله با علامت ضربدر مشخص شده است. در سمت راست تصویر، مقیاس تصویر به صورت نمایش رنگی ارائه شده است که عملاً مقادیر ارائه شده در کنار مقیاس، بایستی در ۱۰ ضرب شوند.



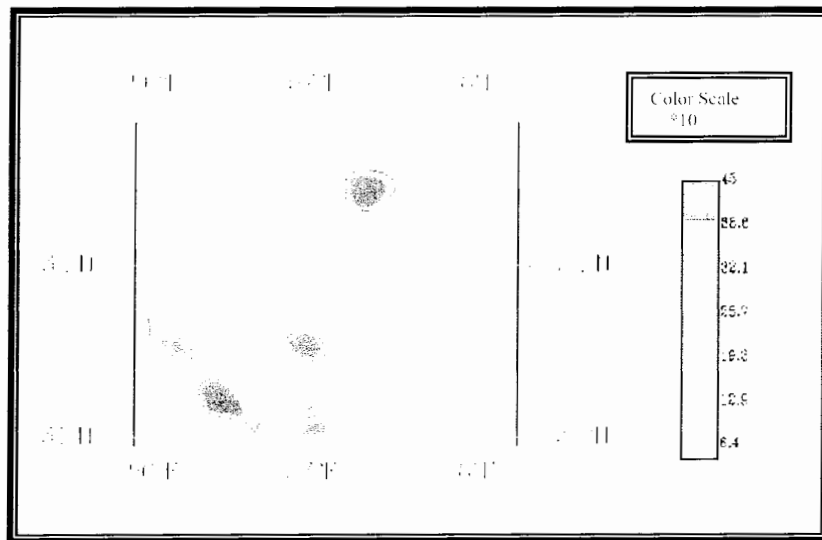
شکل ۴-۶۲- تصویر اصلاح شده مناطق با ماگزیمم تشعشعی شب ۱۰. کانون زلزله با علامت ضربدر مشخص شده است. در سمت راست تصویر، مقیاس تصویر به صورت نمایش رنگی ارائه شده است که عملاً مقادیر ارائه شده در کنار مقیاس، بایستی در ۱۰ ضرب شوند.



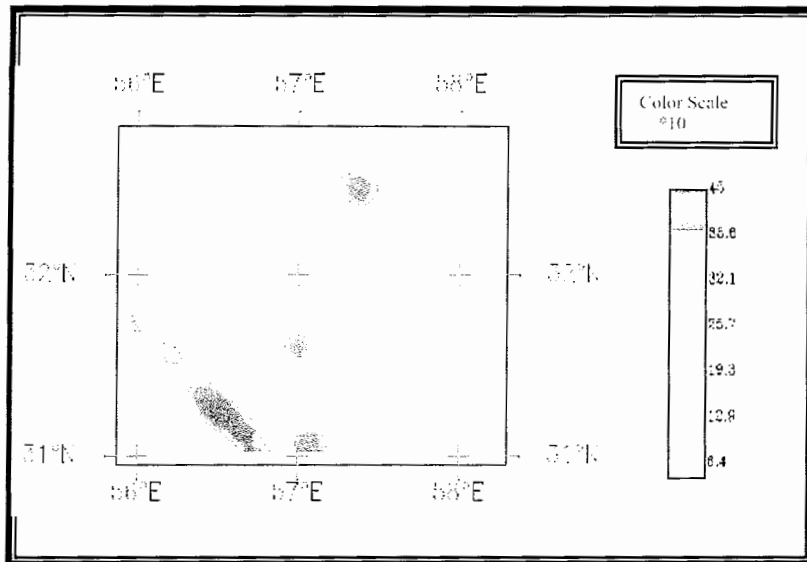
شکل ۴-۶۳- تصویر اصلاح شده مناطق با ماگزیمم تشعشعی شب ۱۱. کانون زلزله با علامت ضربدر مشخص شده است. در سمت راست تصویر، مقیاس تصویر به صورت نمایش رنگی ارائه شده است که عملاً مقادیر ارائه شده در کنار مقیاس، بایستی در ۱۰ ضرب شوند.



شکل ۴-۶۴- تصویر اصلاح شده مناطق با ماگزیمم تشعشی شب ۱۲. کانون زلزله با علامت ضربدر مشخص شده است. در سمت راست تصویر، مقیاس تصویر به صورت نمایش رنگی ارائه شده است که عملاً مقادیر ارائه شده در کنار مقیاس، بایستی در ۱۰ ضرب شوند.



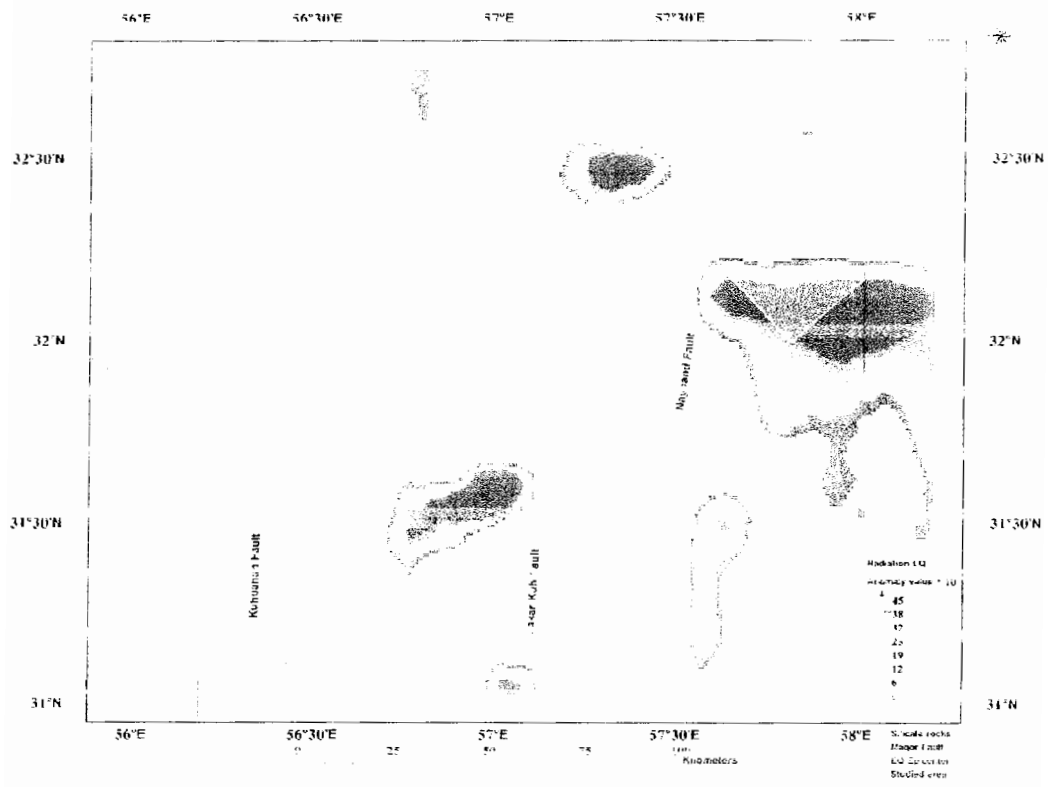
شکل ۴-۶۵- تصویر اصلاح شده مناطق با ماگزیمم تشعشی شب ۱۳. کانون زلزله با علامت ضربدر مشخص شده است. در سمت راست تصویر، مقیاس تصویر به صورت نمایش رنگی ارائه شده است که عملاً مقادیر ارائه شده در کنار مقیاس، بایستی در ۱۰ ضرب شوند.



شکل ۴-۶۶- تصویر اصلاح شده مناطق با ماگزیمم تشعشعی شب ۱۴ کانون زلزله با علامت ضربدر مشخص شده است. در سمت راست تصویر، مقیاس تصویر به صورت نمایش رنگی ارائه شده است که عملاً مقادیر ارائه شده در کنار مقیاس، بایستی در ۱۰ ضرب شوند.

به منظور بررسی اثر سنگ‌شناسی در انتقال تشعشعات قبل از زلزله، لایه های گرانیتی که در سمت چپ کانون قرار داشتند، با نقشه مناطق ماگزیمم تشعشع در شب ۱۲، تلفیق گردید (شکل ۴-۶۵) و مشخص شد که مناطق با تراکم بیشتر سنگهای گرانیتی و اطراف آنها (که به کانون زلزله نزدیکتر می‌باشند) از بیشترین تشعشع ناشی از زلزله برخوردار می‌باشند که این مسئله می‌تواند در ارتباط با ایجاد حفرات P یا انتقال حرارتی سریع این سنگها ناشی از افزایش استرس، قبل از زلزله باشد.

لازم به ذکر است که گسله های منطقه، همگی معکوس و شیبی به سمت شرق یا غرب دارند. عبارتی دیگر حرارت و یا حفرات ایجاد شده در حوالی کانون زلزله از طریق گسله های منطقه به سمت چپ کانون منتقل شده است و از طرفی وجود سنگهای گرانیتی در اطراف گسله ها، به انتقال تشعشع کمک نموده تا نهایتاً ۴ روز به زلزله این آنومالی های به ثبت برسند.



شکل ۴-۶۷- نقشه تلیفیک ماگزیمم آنومالی تشعشی زلزله راور به همراه موقعیت توده های آذرین و گسل های اطراف کانون زلزله (تا شعاع ۱۵۰ کیلومتری).

فصل پنجم

نتیجه گیری

۵-۱- چکیده‌ای از نتایج تحلیل ها

- ۱- داده های شب هنگام باند ۴ ماهواره NOAA (سنجده AVHRR)، که در طول موجهای ۱۰.۳۰ تا ۱۱.۳۰ از زمین اطلاعات دریافت می‌کند، به منظور ثبت تشعشعات غیر عادی مناسب می‌باشد.
- ۲- به منظور ثبت آنومالی های تشعشعی لازم است که از آرایه های مختلف (مربعی، مستطیلی و یا بی شکل) استفاده شود.
- ۳- در این مطالعه آرایه های مربعی و مستطیلی توانستند افزایش تشعشع در حوالی گسل های اطراف کانون زلزله را ثبت کنند.
- ۴- فاکتورهای آماری ساده، نظیر: ماکزیمم، مینیمم، میانگین، و اختلاف این پارامتر ها، شاخص های مناسبتری نسبت به مقادیر انحراف معیار می‌باشند. هر چند در صورت آگاهی کامل، می‌توان از شاخص های پیچیده تر نیز استفاده نمود.
- ۵- استفاده از GeorOI باعث بررسی دقیقتر و هدفمندتر بررسی تغییرات تشعشعی می‌شود. بطوریکه در این مطالعه بخوبی با تعریف آرایه های زمین‌شناسی، مناطق آنومال شناسایی گردید.
- ۶- شاخص های MMMS، استک هیستوگرام فراوانی، FWHM و تصویر سه بعدی ماتریس همبستگی، شاخص های مناسبی جهت ثبت تغییرات در آرایه ای زمین‌شناسی می‌باشند. بطوریکه

توسط هر سه شاخص آماری فوق آنومالی های تشعشعی GeoROI های ۱ و ۲ به ثبت رسید. از این میان، شاخص FWHM نتایج بهتری در برداشت.

۷- با اعمال ضرایب تصحیح زمین شناسی، می توان تغییرات تشعشعی آنومال را بارزسازی نمود و به تفسیر واضحتری از تغییرات تشعشعی دست یافت. بطوریکه در این مطالعه به کمک این ضرایب (جدول ۴-۲) تغییرات کم تشعشعی موجود در GeoROI شماره ۳ از شب ۱۲ به ثبت رسید (این تغییرات به کمک شاخص های آماری ثبت نشده بود).

۸- زمین شناسی و تکتونیک یک منطقه، نقش مهمی در انتقال امواج حرارتی به سطح زمین دارد. بطوریکه سنگهای آذرین (بخصوص سنگهای گرانیتی) موجود در حوالی گسله های منطقه مورد مطالعه، بیشترین آنومالی های تشعشعی قبل از زلزله ۱۳۸۳ راور را به خود اختصاص دادند.

۵-۲- کاربرد نتایج

با استفاده از نتایج مطالعه حاضر می توان به رفتار نگاری گسل ها و مناطق لرزه خیز کشور پرداخت و زلزله های احتمالی مناطق دارای سازند های زمین شناختی آذرین واقع در ایران مرکزی را، با خطای زمانی و مکانی قابل قبولی پیش بینی نمود. همچنین می توان با تعریف GeoROI، رفتار تشعشعی مناطق مختلف کشور را بررسی و تحلیل نمود.

۵-۳- پیشنهادات

۱- در این مطالعه از باند ۴ سنجه AVHRR ماهواره NOAA استفاده شد. بهتر است که از باندهای حرارتی سنجنده MODIS ماهواره Terra و باند های حرارتی سنجنده ASTER برای افزایش دقت ثبت تغییرات تشعشعی در طول موج های مختلف استفاده گردد.

۲- در این مطالعه از GeoROI هایی استفاده شد که به علت محدودیت نرم افزاری و زمان، با آرایش مربعی چیده شدند. حالت بهینه اینست که آرایه ها بر حسب توان تشعشعی مجموعه های سنگی طراحی شوند.

۳- در این مطالعه اثر گسل با استفاده از آرایه های مستطیلی مورد بررسی قرار گرفت. لازم است که مناطق با استرس بیشتر اطراف گسل ها از طریق تشعشع سنجی دقیق، تعیین گردد تا تشخیص مناطق آنومال تشعشعی امکان پذیر گردد.

۴- در این مطالعه از داده های ماهواره NOAA که نهایتاً هر شب یک باراطلاعات از زمین دریافت می کند، استفاده گردید. پیشنهاد می شود که سازمان فضایی ایران در برنامه های طولانی مدت خود پرتاب یک ماهواره زمین آهنگ که قادر به ثبت تغییرات تشعشعی کشور در بازه های زمانی چند ساعته باشد را در دستور کار قرار دهد، تا با ثبت دائم تغییرات بتوان به قدرت و دقت بیشتر در ارتباط با پیش بینی زلزله دست یافت.

منابع

- ۱- آزرمنش، بنفشه و جوان دولویی، غلام. ۱۳۸۱. تعیین منحنی های هم شدت زمین لرزه ۱۳۸۱/۴/۱ چنگوره (آوج)، پژوهشنامه زمین لرزه، سال هفتم، شماره شانزدهم.
- ۲- بهاور، منوچهر. ۱۳۷۱، پیش بینی زمین لرزه ها (جلد اول: نگرشی بر وضعیت کنونی)، موسسه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله (انتشارات وزارت امور خارجه).
- ۳- پورکرمانی، محسن و آرین، مهران. ۱۳۷۶. سائزموکتونیک (لرزه زمین ساخت)، چاپ الهادی.
- ۴- توکلی، شهاب و همکاران. گزارش تحلیلی شماره ۱: زلزله منجیل - رودبار (۳۱ خرداد ۱۳۶۹)، موسسه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله (مرکز چاپ و انتشارت پیام نور).
- ۵- حافظی مقدس، ناصر. ۱۳۸۱، مطالعه اثرات ساختگاهی و حرکات شدید زمین لرزه ها در شرق و مرکز ایران (استان خراسان و کرمان)، رساله دکتری (دانشگاه تربیت مدرس).
- ۶- حافظی، ناصر و عسکری، قاسم. ۱۳۸۴. زمین لرزه های القایی مرتبط با برخی از سد های مهم ایران، نهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران.
- ۷- رضایی قند فروش، بابک. ۱۳۸۲. بررسی رفتار ساختمانها در اثر زمین لرزه ۲۶ ژانویه ۲۰۰۱ گوجرات (ترجمه)، پژوهشنامه زمین لرزه، سال هشتم، شماره هفدهم.
- ۸- سینائیان، فریدون و صدیق، محمود ۱۳۸۲. گزارش مقدماتی زمین لرزه های آبانماه ۱۳۸۲ شهرستان سبزوار. وزارت مسکن و شهر سازی، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن.
- ۸- صفایی کوزه کنان، بهرام. ۱۳۸۳، پدیده های پیش از زلزله و اثر آن بر روی تصاویر ماهواره ای، سمینار کارشناسی ارشد(دانشگاه صنعتی خوجه نصیرالدین طوسی).
- ۹- عسکری، قاسم و حافظی، ناصر. ۱۳۸۴. پیش بینی زلزله در ایران با بهره گیری از باندهای حرارتی داده های ماهواره ای: مطالعه موردی زلزله ۱۳۸۳ راور. بیست و چهارمین گردهمایی علوم زمین (سازمان زمین شناسی).
- ۱۰- عشقی، ساسان و همکاران. ۱۳۸۳. بررسی مقدماتی زمین لرزه ۵ دی ماه ۱۳۸۲ بم، پژوهشنامه زلزله شناسی و مهندسی زلزله، شماره ۳۹.

- ۱۱- عشقی، ساسان و همکاران. گزارش مقدماتی شناسایی زلزله ۵ دی ماه ۱۳۸۲ بم، ۱۳۸۳ پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله.
- ۱۲- علوی پناه، سید کاظم. ۱۳۸۲، کاربرد سنجش از دور در علوم زمین (علوم خاک)، انتشارات دانشگاه تهران.
- ۱۳- غفوری اشتیانی، محسن و همکاران. ۱۳۷۶، زمین لرزه ۷۵/۱۲/۱۰ گلستان، اردبیل، موسسه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله (شرکت انتشارات علمی و فرهنگی).
- ۱۴- گردهمایی ساخت و ساز (دانشگاه صنعتی شریف)، تابستان ۱۳۸۴.
- ۱۵- گزارش زمین لرزه ۱۶ بهمن ماه ۱۳۷۵ بجنورد. ۱۳۷۶. وزارت مسکن و شهرسازی.
- ۱۶- ناطقی الهی، فریبرز و همکاران. ۱۳۷۰، زلزله داراب فارس (دهستان فورک)، موسسه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله (شرکت انتشارات علمی و فرهنگی).
- ۱۷- ناطقی الهی، فریبرز و همکاران. ۱۳۷۱، گزارش تحلیلی (زلزله لردکان چهار محال و بختیاری، ۱۴ اسفند ۷۰)، موسسه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله (شرکت انتشارات علمی و فرهنگی).

18- Allameh-zadeh, M., ansari, A., Bahraminasab, A., Kaviani, K., Mahdavi Ardakani, A., Mehr-nahad, H., Niry, M., Rahimitabar, M.R., Tabatabai, S., Taghavinia, N., Vasaghi, M., Zamani, 2004. Mid-infrared Radiation as a Sshort- Term Earthquake Precursor. P.O.box 11365-9161, tehran, iran.

19-Arun, K., Choudhury, S. 2004. satellite detects pre-earthquake thermal anomalies associated with post major earthquake. Map Asia 2004.

20-Borok, K, 2004. Earthquakes Can Be Predicted Months In Advance, ScienceDaily.

21-Carayannis, G.P, 1989. Earthquake Prediction Some Basic Principles (Excerpts from papers presented at the second international Tsunami workshop on the technological aspects of Tsunami Warning System.Novosibirsk,USSR).

- 22- Chengyu, C., Jinkai, Z., Qin., Xiao., Qig., Qinhuo, L. 2000. monitoring the thermal IR anomaly of Zhangbei earthquake precursor by satellite remote sensing technique. Institute of Remote sensing application, CAS, Beijing. 100100, China.
- 23- Chuoa, Y.J., Liua, J.Y., Pulinetse, S.A., Chend, Y.I. 2002. The ionospheric perturbations prior to the Chi-Chi and Chia-Yi earthquakes. *Journal of Geodynamics*. 33, pp. 509–517.
- 24- Coburn, A., Spence, R. 2002. *Earthquake Protection: second edition*. John wiley & Sons, Ltd.
- 25- Christopher, S. 1997. What Ever Happened to Earthquake Prediction? *Geotimes*, Vol. 17.
- 26 - D.Ozounov.,F.Freund. 2004. Mid infrared emission prior to strong earthquakes analyzed by remote sensing data. *Advanced in Space Research.*, 33, pp. 268-273.
- 27- Dey, S., Sarkar, S., Singh, R.P. 2003. surface latent heat flux as an earthquake precursor. *National Hazards and Earth System Sciences*. 3, pp. 749-755.
- 28- Dey, S., Sarkar, S., Singh, R.P. 2004. anomalous changes in column water vapor after Gujarat earthquake. *Advances in Space Research.*, 33, pp. 274-278.
- 29- Filizzola, C., Pergola, N., Pietrapertosa, C., Tramutoli, V., 2004. Robust satellite techniques for seismically active areas monitoring: a sensitivity analysis on September 7, 1999 Athens's earthquake. *Physics and Chemistry of the Earth.*, 2, 517-527.
- 30- Freund, F. 2002. Charge Generation and Propagation in Igneous Rocks. *Journal of Geodynamics.*, 33, pp. 543-570.
- 31- Freund, F. 2002. mid-infrared luminescence observed during rock deformation. Talk presented at AGU Spring Meeting, Washington, DC may 28, 2002.

- 32- Freund, F. 2002. positive hole (P-hole) and positive hole Pairs (PHP): key to understanding many pre-earthquake phenomena. 2002 Earthquake Precursor Workshop.
- 33- Freund, F. 2002. rock that crackle and sparkle and glow-strange earthquake phenomena. General-audience talk at the 21st Annual Meeting Society for Scientific Exploration University of Virginia, Charlottesville, VA, May 31, 2002.
- 34- Freund, F. 2003. modeling electric charge fluxes out of and into earthquake source rocks. Proposal submitted to the 2003 US Geological Survey, National and earthquake Hazard Reduction Program.
- 35- Freund, F. 2004. toward a better understanding of non seismic pre-earthquake phenomena. SJSU/NASA Ames Research Center, Earthsystem and Technology Branch Moffett, Field, CA 94035-1000.
- 36- Freund, F., Takeuchi, A., Lau, B.W.S., Post, R., Keefner, J., Mellon, J., Akthem, Al.M. 2004. stress-induced changes in electrical conductivity of igneous rocks and the generation of ground currents. TAO, Vol.15, No.3.
- 37- Hongjie, C. 1995. Earthquake Prediction on China(Q&D Method). STA/NASDA. 38- Ifantis, A., Fotinos, A., Economou, G., Fotopoulos, S. 1999. Fuzzy identification of seismic electric signals. Applied Signal Processing., 6, pp. 33-41.
- 39- Jackson, J.A., Haines, J., Holt, W. 1995. the accommodation of the Arabia-Eurasia plate convergence in Iran, J.Geophys. Res., 100, 15205-15219.
- 40- Kozak, L., Dzubenko, M., Ivchenko, V. 2004. temperature and thermosphere dynamics behavior analysis over earthquake epicenters from satellite measurements. Physics and Chemistry of the Earth., 29, pp. 507-515.
- 41- Liu, J., Chuo, Y. Ionospheric anomalies prior to the 21 September 1999 Chi-Chi earthquake, T22B-08.

- 42- Merzer, M., Kiemperer, L.K. 1997. Modeling low-frequency magnetic-field precursor to the Loma Preta earthquake with a precursory increase in fault-zone conductivity. *Pure Applied Geophysics.*, 150, pp. 217-248.
- 43- Mora, p., Wang, y., Yin, C., Place, D., Yin, X. 2002. simulation of the load-unload response Ratio and critical sensitively in the lattice solid model. *Chines Academy of Sciences, Beijing, 100080, China.*
- 44- Mostafaei, H., Kabeyasawa, T .2004. Bam- Iran post earthquake inspection and seismic vulnerability of buildings in Iran. *Earthquake Research Institute, The University of tokyo, japan.*
- 45- Mostashari, Ali, *Predicting Earthquakes: Science or Pseudo-Science, Free Thoughts on Iran, Science, 2004.*
- 46- Myachkin, V.I., et. al. 1986. fundamentals of physics of the earthquake focus. In *Physics of the earthquake Focus, sadovskii, M.A. editor. PP. 1-24.*
- 47- Peresan, A., Kossobokov, V., Romashkova, L., Panza, G.F. 2005. intermediate-term middle-rage earthquake predictions in Italy: a review. *Earth Science Reviews.*, 69, pp. 97-132.
- 48- Pulinets, S. A., Boyarchuk, K. A. 2004. COMPASS-2 and VULKAN satellite system for the short-term earthquake warning, T51B.
- 49- Qiang, Z., Dian, C., Li, L., Xu, M., Ge, F., Liu, T., Zhao, Y., Guo, M. 1999. satellite thermal infrared brightness temperature anomaly image – short term and impending earthquake precursor. *Science in china series d-earth sciences, Vol. 42, Iss3.*
- 50- Rikitake, T. 1976. earthquake prediction. *Developments in solid Earth Geophysics, Vol. 9, Elsevier publishing Co.*
- 51- Rikitake, T., 1985. Yamazaki, Y. the nature of resistivity precursor. *Practical Approaches to Earthquake Prediction and Warninig. pp. 559-570.*
- 52- Ruznin, y.y., Depueva, A.K., Larkina, V.L. 2000. local and global effects of space earthquake precursor anomalies. *Adv. Space Res. Vol. 26, No. 7, pp. 1195-1198.*

- 53- Shou, Z. 1999. earthquake clouds and short term prediction. *Science and Utopya.*, 64, pp. 53-57.
- 54- Shou Z. 2004. Harrington Darrell, Bam Earthquake Prediction & Space Technology, UN workshop, Tehran
- 55- Tramutoli, V., Cuomo, V., Filizzola, C., Pergolab, N., 2005. Pietrapertosa, C. Assessing the potential of thermal infrared satellite surveys for monitoring seismically active areas: The case of Kocaeli (I'zmit) earthquake, August 17, 1999. *Remote Sensing of Environment.* 96, pp.409- 426.
- 56- Tronin, A.A., Hayakawa, M., Molchanov, O.A., 2002. thermal IR satellite data application for earthquake research in Japan and China. *Journal of Geodinamics.* 33, pp. 519-534.
- 57- Vernant, p., Nilforoushan, F., Hatzfeld, D., Abbassi, R., Vigny, C., Masson, F., Nankali, H., Marthnod, J., Ashtiani, A., Bayer, R., Tavakoli, F., Chery, J. 2004. present-day crustal deformation and plate kinematics in the Middle East constrained by GPS measurements in Iran and northern Oman. *Geophys.J.Int.*, 157, 381-398.
- 58- Wallace, R.E., Davis, J.F., McNally, K.C. 1990. terms for expressing Earthquake potential. Prediction and Probability, seminar in seismology, Institute of geophysics, Tehran university.
- 59- Wu, L., Cui, C., Geng, N., Wang, J., 2000. remote sensing rock mechanics(RSRM) and associated experimental studis. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences.*, 37, pp. 817-888.
- 60- Wyss, M., 2001. why is earthquake prediction research not progressing Faster?. *Tectonophysics.*, 338, pp. 217-223.
- 61- Yin, X., Mora, P., Peng, K., Wang, Y., Weatherley, D. 2002. load-unload response ratio and accelerating moment/energy release critical region scaling and earthquake prediction. *Chines Academy of Sciences, Beijing, 100080, China.*

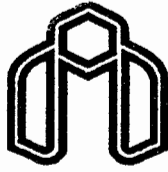
- 62- Zmazek, B., Italiano, F., Zivcic, M., Vaupotic, J., Kobal, I., Martinelli, G. 2002. geochemical moitoring of thermal waters in Solvenia: relationship to seismic activity. Applied Radiation and Isotopes., 57, pp. 919-930.
- 63- Zongjen, M., et. Al. 1990. earthquake prediction. Nine Major Earthquake in China. Seismological Press.
- 64- <http://edcadaac.usgs.gov/modis/table2.html>.
- 65-- <http://IranCevilCenter.com>.
- 66- <http://quake.exit.com/news.html>.
- 67- http://science.nasa.gov/headlines/y2003/11aug_earthquake.htm.
- 68- www. terra research – earthquake cloud article.
- 69- <http://www.nap.edu/catalog/5709.html>.
- 70-www.iiees.ac.ir.

Abstract:

In this thesis "Earthquake prediction based on meteorological and remote sensing precursors in Iran" considered capabilities and limitations of applying mentioned precursors in Iran. The objective of this research is using of thermal satellite data for earthquake prediction. Based to researches is selected Ravar earthquake (ML= 5.1) in 14 October 2004 as case study. The study of these changes detection performed using three models: Square, Rectangle and Square GeoROI Arrays.

results of this research are as follow:

- 1) The night time NOAA satellite (AVHRR) data; Band 4; is suitable for abnormal radiation detection.
- 2) Square GeoROI model detects thermal changes more than two other models.
- 3) Geology and tectonic of Ravar region are important factor in thermal wave conduction to the Earth surface.



Shahrood University of Technology
Faculty of Earth sciences
Master of Science
In
Environmental Geology

**Earthquake prediction in Iran based on
meteorological and remote sensing precursors**

By:
Ghasem askary

Supervisors:
Dr.N. Hafezi Moghadas
Dr.M. Rahimitabar

Advisors:
Dr. A. Adib
P. Rezazadeh

May 2006