

مطالعه پیش نشانگر های زمین لرزه از طریق ماهواره

Study of earthquake precursors with satellite to

سید علی داماد غرویان

دانشگاه صنعتی امیر کبیر - تهران

شرکت مخابرات استان تهران

Ali.gharavian@aut.ac.ir

کلمات کلیدی : پیش نشانگر - سنجش از دور - دمای یون - **Insar** - کاربرد **GPS**

ABSTRACT

Earthquake prediction was on imprecise science for many years , and today scientists have more tools at their fingertips to help predict temblors.

Geophysicists and other Earth Scientists try to evaluate as precursors of earthquakes .

Nowadays they have found about 30 precursors and they try to find more .

Using Remote sensing and satellite technology they can analyze behavior of precursors before earthquakes All of these techniques Have been Considered in this paper ,And Some famous precursors have evaluated Separately.

خلاصه :

در این مطالعه با استفاده از روش های سنجش از دور برای مطالعه رفتار و تغییرات برخی از عوامل محیطی قبل و بعد از وقوع زمین لرزه پرداخته شده است . برخی از این عوامل محیطی که رفتار آنها از طریق ماهواره ها قابل سنجش می باشند عبارتند از دمای یونها در بون کره ، غلظت بون در یون کره ، تغییرات در ارتفاع و سطح زمین و تصاعد برخی گازها در جو ، امواج **ULF** ، **VLF** ، **ELF** که هر کدام به تفصیل توضیح داده می شوند .

بطور تجربی ثابت گردیده است که در مقدار و رفتار هر کدام از المان های فوق چند روز قبل وقوع زمین لرزه آنومالی هایی رخ می دهد و این اختلالات تا چند روز پس از وقوع زمین لرزه های ادامه می یابند . میزان تغییرات در رفتار این المانها بستگی زیادی به نوع و شدت زمین لرزه ها دارد .

مقدمه :

پیش بینی زمان محل و شدت وقوع زمین لرزه ها از دیر باز جزء آرزو های بشر بوده است و با به روی کار آمدن فناوری های جدید و توان بشر در استفاده از ماهواره ها و راه های پیشرفته ؛ این امکان بوجود آمد تا با استفاده از این ابزار آلات رفتار

برخی مواد و حاملهای بار در جو زمین و حتی سطح زمین قبل از وقوع زمین لرزه ها سنجیده شوند و پیش نشانگرهای جدیدی برای زمین لرزه ها ثبت گردند .

پیش نشانگرهای زمین لرزه :

هر پارامتری که قبل از وقوع زمین لرزه تغییراتی در آن پدید آید . بطوریکه بتوان با بررسی دقیق این تغییرات زمین لرزه را پیش بینی نمود پیش نشانگر نامیده می شود . تعداد پیش نشانگرهای ثبت شده تاکنون بیش از ۳۰ مورد است . برخی از این پیش نشانگرهای عبارتند از :

- ۱- پیش لرزه ها
- ۲- شاره گرمائی و حجم بخار آب
- ۳- تشعشعات VLF و ELF ثبت شده توسط ماهواره ها
- ۴- سطح و ارتفاع آب
- ۵- تصاعد گازهایی مانند ، متان ، رادون ، دی اکسید کربن، هلیوم ؛ هیدروژن ، متان ، آلکان های مختلف ، هیدروکربن های خوشبو ، آلکیل های (گازی خاک) و فلزات مانند جیوه و قلع
- ۶- بی هنجاری در انتشار امواج رادیویی VLF ، LF ، HF ، VHF
- ۷- تغییرات تمرکز الکترون در ناحیه E تشکیل لایه E متفرق ؛ تشعشع نور تغییرات نوسان چگالی الکترون در یونسفر ، بی قاعدگی های کوچک مقیاس یون کره ای بی قاعدگی های بزرگ مقیاس در ناحیه F.
- ۸- تغییرات جرم یون ها
- ۹- بارش ذرات پر انرژی
- ۱۰- ناهنجاری های حرارتی

اشکال اصلی در استفاده از پیش نشانگرها نیاز به ثبت مداوم و مستمر آنها و بررسی تغییرات حاصله می باشد ، میزان پیش نشانگرها در فصول ، ماهها ، و سالهای مختلف با هم فرق دارد و بایستی برای بدست آوردن مقدار عادی یک پیش نشانگر در یک روز خاص از سال مدت چند سال آن پیش نشانگر را در همان روز از سال ثبت کرد و از مقادیر بدست آمده میانگین گرفت تا مقدار عادی آن پیش نشانگر پیدا شود .

نحوه سنجش پیش نشانگر ها از طریق ماهواره

برخی از پیش نشانگر های توسط ایستگاههای زمینی ثبت می شوند اما بسیاری از پیش نشانگرهایی که در مبحث قبلی آمده بودند توسط ماهواره ها قابل ثبت هستند ، ماهواره های زیادی برای ثبت پیش نشانگرهای زمین لرزه در فضا وجود دارند . اغلب این ماهواره های از فناوری Insar و GPS استفاده می کنند که در مباحث بعدی شرح داده می شوند . از جمله این ماهواره های توان به سیستم ماهواره های ¹ GESS آمریکا و به DEMETER فرانسه اشاره کرد . از روش های سنجش از دور ماهواره در این دو مبحث به دو روش Insar و GPS اشاره می کنیم .

Insar :

Insar² یک روش سنجش از دور است که از تصاویر رادار ماهواره ای استفاده می کند این ماهواره های راداری (مثلاً ERS1 و ERS2 و JERS و IRS و Radarsat) امواج راداری را بطور ثابت به زمین ارسال کرده و انعکاس آنها را از سطح زمین ثبت می کنند تصاویر حاصله از دو نوع اطلاعات شکل می گیرند . یکی همان شدت سیگنال است یعنی چه مقدار از موج به ماهواره بر می گردد و این به میزان جذب بخشی از موج در سر راه خود و میزان انعکاس موج در جهت ماهواره دارد . اطلاعات بعدی اطلاعات "فاز" موج است . فاز موج بطور متناوب تغییر می کند تا از ماهواره به زمین برسد بر روی سطح زمین فاز موج می ایستد و هنگام بازگشت به ماهواره می توان اطلاعات فاز موج را استخراج کرد .

¹ Global Earthquake satellite system

² Interferometric Synthetic Aperture Radar

هر نقطه ای روی تصویر ماهواره (Pixel) حاوی این دو نوع اطلاعات است، شدت موج و فاز موج، شدت موج می تواند نوع ماده ای که سطح زمین را پوشانده است نشان دهد و نیز نشان می دهد که سطح زمین در چه جهتی شیب دارد. اطلاعات فاز به طریق دیگری کاربرد دارند. وقتی ماهواره های راداری از روی همان قسمت قبلی از زمین عبور می کنند. تصاویر فاز بایستی قابل تشخیص باشند. اگر تغییراتی در این تصاویر رخ داده باشد گواه آن خواهد بود که برخی چیزها در آن نواحی تغییر کرده اند. در مورد رانش زمین ما می توانیم میزان حرکت زمین را تعیین کنیم.

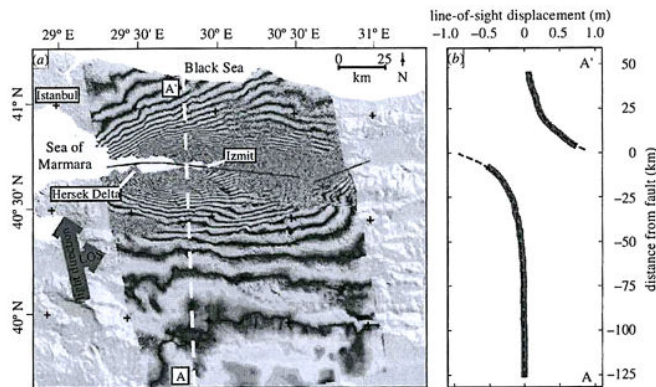
مانیتور کردن چرخه زمین لرزه با استفاده از Insar:

چرخه زمین لرزه ها تاکنون به طور کامل تفهیم نشده اند وقوع زمین لرزه ها در نواحی لرزه خیز ادامه می یابد و این زمین لرزه ها بر روی گسل هایی به وقوع می پیوندند که قبلاً شناسائی نشده بودند. لذا تا چندی پیش پیش بینی زمین لرزه ها غیر ممکن به نظر می رسید. این موضوع به قوت خود باقی بود تا چرخه زمین لرزه پس از حدود ۱۰۰ سال تلاش مفهوم بندی شد. با استفاده از داده های بدست آمده از ماهواره ها در مدار ۸۰۰ کیلومتری بالای زمین یک روش سنجش از راه دور بنام Insar این پتانسیل را ایجاد کرده است که این مسائل حل گردند. برای اولین بار نقشه های مفصل از پیچش سطح زمین در اثر این چرخه زمین لرزه ها با وضوح چندین میلی متر تهیه گردید. روش Insar به هیچ نوع تجهیزاتی روی زمین یا عملیات میدانی نیاز ندارد. لذا این روش می تواند داده های قاطعی را در مورد زمین لرزه ها گردآوری کند.

باید توجه داشت که اکثر ماهواره های سنجش از دور در طول موج اپتیکی کار می کنند و در واقع بازتابش نور خورشید از سطح زمین به سوی ماهواره را ثبت می کنند ماهواره های راداری برخی موسسات همانند ESA (سری ماهواره های Earth Resources Satellites) و ERS1 و ERS2 قدری متفاوت هستند آنها بطور فعال تشعشعاتی را به زمین می فرستند و امواج بازپراکنده آنها را ثبت می کنند و به دلیل اینکه طول موج راداری (معمولاً ۵ الی ۲۵ سانتی متر) حدود ۱۰۰/۰۰۰ مرتبه طولانی تر از طول موج مرئی است علت اصلی این است که رادار بتواند اهداف را در ماورایی ابرها تشخیص دهد. بنابراین ماهواره های راداری می توانند در هر نوع شرایط جوی و در هر ساعتی از شبانه روز کار کنند.

اما در حال حاضر هیچ کدام از ماهواره های راداری در مدار زمین برای اندازه گیری تغییر شکل زمین طراحی نشده اند. ماهواره های راداری تشعشعاتی کنترل شده و همدوس را به سطح زمین ارسال می کنند که همان امواج راداری است و در این هنگام است که تداخل سنجی راداری (radar interferometry) کاربرد پیدا می کند. در اصل تداخل سنجی با نادیده گرفتن دامنه امواج بازگشتی به آنتن ماهواره انجام میشود. و در عوض اطلاعات فاز موج بکار گرفته می شود. ما طول موج امواج رادار ارسالی را می دانیم همچنین فاز امواج ارسالی و فاز امواج بازگشتی از سطح خاصی از زمین نیز معلوم است. مسافت ماهواره تا سطح زمین از مجموع تناوبی طول موجها بعلاوه قسمتی از طول موج می باشد و از روی آن ها می توانیم اختلاف فاز بین امواج ارسالی را محاسبه کنیم.

در مورد کاربرد Insar در پیش بینی زمین لرزه ها می توان به زمین لرزه ۱۷ آگوست ۱۹۹۹ در ناحیه ازمیت ترکیه اشاره کرده در شکل ۵ نقشه تداخل سنجی شمال غربی ترکیه مشاهده می شود که این تصویر از مقایسه دو تصویر ماهواره ای برداشته شده توسط ماهواره ERS-2 در فاصله ۳۵ روز یکی قبل از وقوع زمین لرزه و دیگری پس از وقوع زمین لرزه ازمیت ترکیه حاصل شده است. هر کدام از حاشیه های تداخلی رنگی برابر ۲۸ میلی متر خط فاصل نقشه رنگی می باشد (نصف طول موج ERS) که از خط دید مستقیم (LOS) ماهواره تغییر شکل سطح زمین کاملاً مشهور است و اندازه گیری های فاز نسبی اند در این تصویر قسمت جنوبی گسل بیش از ۷۰ سانتی متر به سمت ماهواره حرکت کرده و قسمت شمالی گسل نیز به همان مقدار از ماهواره دور شده است. با دانستن اینکه خط دید مستقیم (LOS) ماهواره ERS-2 به اندازه زیادی در امتداد گسل بوده است. اما از نظر عمودی ۲۳ درجه از آن دور بوده است و نیز با علم به اینکه این زمین لرزه رانش افقی زیادی را ایجاد کرده است. می توان نتیجه گرفت که انحراف ۱/۴ در LOS دلالت بر انحراف گسل در حدود ca. 4 m دارد و این همان مقداری است که در بررسی های میدانی بدست آمده است.



GPS

از این سامانه جهت تشخیص موقعیت جغرافیایی، ارتفاع و زمان محل مورد نظر استفاده می شود. GPS از سه بخش عمده تشکیل شده است.

- ۱- بین ۲۴ الی ۳۲ ماهواره در مدار زمین
- ۲- ۴ ایستگاه کنترل و مانیتور بر روی زمین
- ۳- گیرنده GPS که توسط کاربران استفاده می شود.

سیگنالهای پراکنده GPS از فضا که توسط گیرنده های GPS کاربران دریافت می شوند. موقعیت سه بعدی محل مورد نظر (طول جغرافیایی، عرض جغرافیایی و ارتفاع) را بعلاوه زمان در اختیار کاربران قرار می دهد. از آنجا که در مورد ساختار GPS منابع مختلفی وجود داشته و توضیح تفصیلی آن در این مقاله نمی گنجد علاقمندان می توانند به منابع مربوطه مراجعه فرمایند.

اثر فعالیتهای لرزه ای بر روی المانهای یون کره

می توان موارد متعددی از اختلالات دویون کره را قبل از وقوع زمین لرزه های مختلف نام برد این ناهنجاری ها در مقیاس بزرگی در حدود ۱۰۰۰ کیلومتر بوقوع پیوسته اند و شامل تغییرات چگالی پلاسمای یونسفر و تغییرات محسوس و غیر معمول در مقدار محتوای کلی الکترون در یونسفر (TEC)، تغییر در درجه حرارت یونها در یونسفر و جذب امواج رادیویی با طول موج بلند در هدایت امواج رادیویی زمینی می باشند این اغتشاشات به طول معمول ۵ الی ۱۰ روز قبل از وقوع زمین لرزه های بزرگ مشاهده شده و حدود ۱ الی ۲ روز پس از وقوع زمین لرزه ناپدید می گردد در اکثر قریب به اتفاق موارد ناحیه بروز این اختلالات لایه های E و F یونسفر می باشد.

مطالعه محتوای TEC در یونسفر^۱ اکثراً با استفاده از فناوری GPS بود است و هدف از این مطالعات درک سازوکار وقوع اختلالات یونسفری می باشد. از آنجا که اندازه گیری های یک ایستگاه واحد ماهواره ای که روی یک مدار حرکت می کند و دارای حس گرهای^۲ یونسفری است نمی تواند پاسخ تغییرات یون کره ای را در اثر یک حادثه عظیم لرزه ای نشان دهد و دلیل اصلی عدم کارایی یک ماهواره مداری واحد برای این کاربرد نبود امکان پوشش فراگیر اطلاعات ماهواره ای است زیرا درک فرآیندهای جفت شده بین لیتوسفر و یونسفر به یک سیستم مانیتور پیوسته در سطح جهانی نیاز دارد و شبکه جهانی GPS بهترین راه حل این موضوع است.

¹ Global Positioning system

² Sensor

روشی که تغییرات TEC را از داده های GPS بدست می آوریم شامل تاثیر عمودی داده های TEC است که از خط دید مستقیم^۱ مشاهدات GPS در زوایای elevation با نماد θ بدست می آید. داده هایی که از زوایای elevation کمتر از ۶۰ درجه بدست می آیند از محاسبات حذف می شوند تا احتمال خطا در تخمین TEC کمتر شود.

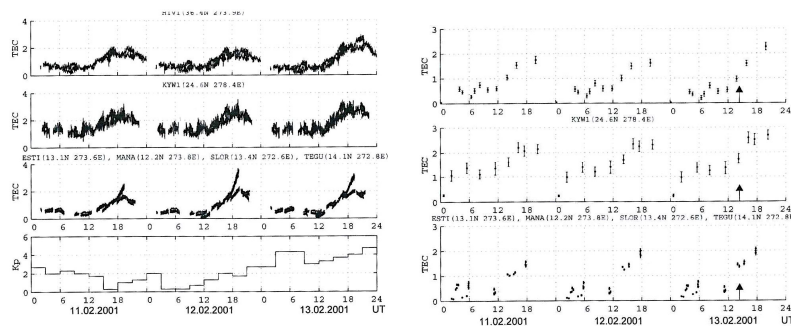
اندازه گیری های فاز در GPS را می توان با درجه دقت بالا بطوریکه در حدود $10^{-13} m^{-2}$ در زمان متوسط ۳۰ ثانیه انجام داد. اندازه گیری تاخیر گروه این فرصت را می دهد که مقدار خالص TEC را به دقت بدست آوریم با دقتی در حدود $10^{-13} m^{-2}$ در زمان متوسط ۳۰ ثانیه برای بدست آوردن یک برآورد کامل از TEC می توان از ترکیب خطی فاز و تاخیر گروهی استفاده کرد. از اختلافات یون کره ای می توان به زمین لرزه ۱۳ فوریه ۲۰۰۱ با بزرگایی ۶/۶ در السالوادور که نتایج بدست آمده این تحقیق کسب شده است اشاره کرد.

در طی این تحقیق کاهش مرتب محتوی چگالی الکترون (TEC) در طول ۲ روز قبل از وقوع زمین لرزه در یک سلسله ایستگاههای نزدیک به محل رو مرکز زمین لرزه و در ناحیه ای به شعاع ۱۰۰۰ کیلومتری رو مرکز زمین لرزه مشاهده گردیده است اشاره کرد.

در یک تحقیق در مورد زمین لرزه السالوادور داده های شش ماهواره مختلف در مورد محتوای کلی الکترون TEC در ایستگاهی نزدیکی رو مرکز زمین لرزه در ساعات مختلف مورد بررسی قرار گرفت در ایستگاهی دیگر داده های ۹ ماهواره مورد ارزیابی قرار گرفت و در ایستگاه دیگر از داده های ۱۱ ماهواره استفاده شد. میزان TEC میانگین و RMS آن در اثنای ۱۱ الی ۱۳ فوریه ۲۰۰۱ در سه نمودار آورده شده است که همگی حکایت از افت میزان TEC قبل از وقوع زمین لرزه دارد.

شکل ۱- تغییرات TEC را از دید ماهواره ها نشان می دهد و ضریب K_p سه ساعته آورده شده است.
شکل ۲- میانگین TEC و rms آنرا در اثنای ۱۱ الی ۱۳ فوریه نشان می دهد. زمان فوق زمین لرزه با فلش نشان داده شده است.

در تمامی این نمودارها افت TEC بطور منظم در طول ۲ روز قبل از زمین لرزه بوضوح پدید است.



ناهنجاری های حرارتی و اثر فعالیتهای سیسمیک بر روی دمای یون

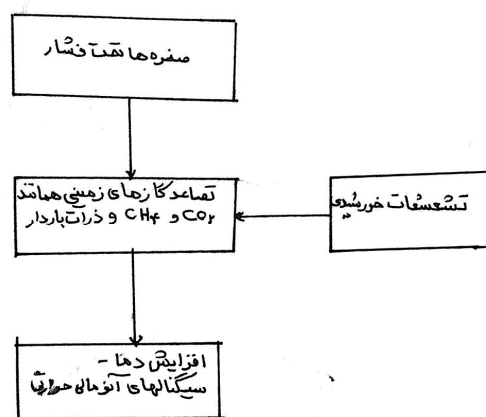
برای تشخیص ناهنجاری های حرارتی با استفاده از تصاویر ماهواره ای جهت پیش بینی زمین لرزه ابتدا نواحی افزایش مادون قرمز حرارتی تشخیص داده می شوند و سپس سمت گسترش و حرکت نواحی در حال افزایش مادون قرمز حرارتی دنبال می شود. با توجه به توزیع گسل های فعال و پهنه های لرزه خیز، پیش بینی در مورد زمان، مکان و بزرگای زمین لرزه محتمل صورت می گیرد.

پیش بینی و تخمین های مربوط به آن بر اساس موارد زیر است:

- زمان وقوع زمین لرزه: بنا بر تشخیص و تعیین اندازه ناهنجاری های مادون قرمز حرارتی، زمین لرزه ها اغلب ۱ الی ۱۵ روز و ۳۰ تا ۶۰ روز بعد از بروز اولین علائم به ترتیب در شرق و غرب چین رخ داده اند.

¹ Line of sight

- مکان وقوع زمین لرزه: ناحیه افزایش درجه حرارت نیز به عنوان رو مرکز زمین لرزه محتمل آتی در نظر گرفته می شود.
- بزرگای زمین لرزه: تصمیم گیری در این مورد بر اساس تقسیم بندی زیر صورت می گیرد.
- اگر ناحیه افزایش درجه حرارت بزرگتر از $1/200/000$ کیلومتر مربع باشد بزرگای زمین لرزه حدود ۷ خواهد بود.
- اگر ناحیه افزایش درجه حرارت بزرگتر از $400/000$ کیلومتر مربع باشد بزرگای زمین لرزه تقریباً ۶ خواهد بود.
- اگر ناحیه افزایش درجه حرارت بزرگتر از $200/000$ کیلومتر مربع باشد بزرگای زمین لرزه حدود ۵ خواهد بود.
- اگر بخواهیم افزایش دمای مادون قرمزسناسائی شده را به عنوان یک پیش نشانگر زمین لرزه تعریف کنیم بایستی خصوصیات زیر را دارا باشد.
- ۱- ناحیه ای که دمای غیر عادی افزایش می یابد بایستی قابل تشخیص باشد و در تصاویر مادون قرمز بایستی به عنوان یک جزء ایزوله شده باشد و از سایر سیگنالهای مشابه همانند آنومالی های حرارتی که در اثر فرآیندهای آب و هوایی ایجاد می شوند قابل تشخیص باشد.
- ۲- دمای ناحیه آنومالی بطور معمول ۲ الی ۶ سانتی گراد بیش از نواحی اطراف است.
- ۳- تشخیص ناحیه بزرگتر در آنومالی حرارتی بیانگر پیش بنی وقوع زمین لرزه ای با بزرگای بیشتر است.
- ۴- دینامیک دگرش ناحیه آنومالی و محل آن را می توان با ماهواره مانیتور کرد تا مکان زمین لرزه پیش بینی گردد.
- اما مدل ایجاد آن آنومالی های حرارتی چگونه است و چرا قبل از وقوع این زمین لرزه های این آنومالی ها ایجاد می شود.
- نمودار زیر می توان بیانگر دلیل ایجاد این ناهنجاری های حرارتی باشد.



افزایش یون و اثر فعالیتهای سیسمیک بر روی دمای یون در یونسفر

دمای یون یونسفر در نواحی خاصی توسط PRA payland ماهواره هندی SROSS_C2 در یک دوره زمانی از ژانویه ۱۹۹۵ تا دسامبر ۱۹۹۶ بررسی گردید.

مقایسه دمای یون در اثنای روز وقوع زمین لرزه و روزهای عادی در شکل ۱ نمایش داد. شده است در دوازده مارچ ۱۹۹۵ یک زمین لرزه با بزرگای $4/7$ در ناحیه رو مرکز ($17/74 N$ و $73/77 E$) ثبت شد. شکل ۱(a) نشان می دهد که دمای یونها در زمان وقوع زمین لرزه در حدود $1/2$ برابر متوسط روزهای عادی بوده است.

مطالعه درباره رابطه دمای یونسفر و زمین لرزه ها کار مشکلی است و این امر به علت عدم امکان عبور دقیق ماهواره از روی ناحیه رو مرکز زمین لرزه است. اولین کار انتخاب اطلاعات ثبت شده ماهواره بر روی ناحیه مرکز حادثه لرزه ای است دمای یون متوسط ثبت شد در اثناء حادثه لرزه ای با مقدار متوسط دمای یون در روزهای عادی مقایسه می شود داده های دمای یون به گونه ای محاسبه می شوند که اختلافات روزانه فصلی و ناشی از طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع قابل چشم پوشی باشد.

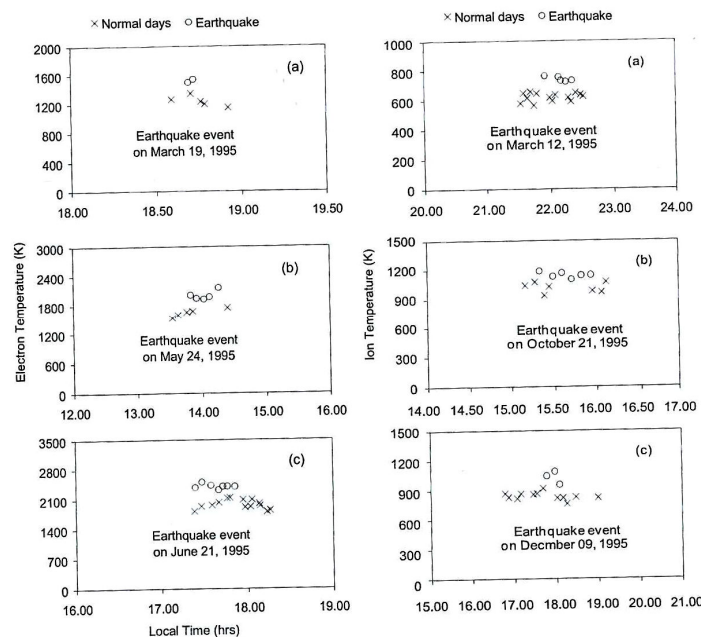
متوسط دمای یون در روزهای عادی برای یک ماه محاسبه می شود. که شامل ۲۰ روز قبل و بعد از زمین لرزه است و داده های ده روزه دمای یون در طول مدت زمین لرزه کنار گذاشته می شود. در مورد آن ده روز هم داده های ۵ روز قبل و ۵ روز بعد از زمین لرزه تحت تاثیر زمین لرزه در طی سه مرحله فرآیند آماده شدن زمین لرزه، اتفاق زمین لرزه و فرآیند آرام شدن قرار می گیرند.

داده های فصلی در هر سال بطور منظم و محاسبه شده وجود دارند بنابراین آثار تغییرات فصلی قابل چشم پوشی خواهند بود. یک ناحیه پنجره ای به اندازه ۵ درجه در یونسفر بر روی مرکز برای هر حادثه انتخاب می شود تا آثار مربوط به طول و عرض جغرافیایی در محاسبات از بین برود. برای محاسبه دمای یونها در روزهای عادی داده های مربوط به هر ساعت در روزهای عادی با همان ساعت در روز وقوع زمین لرزه مقایسه می شوند تا اثر زمان روزانه در محاسبات کاسته شود. تمامی داده ها در ارتفاع تقریبی ۵۰۰ km سنجیده می شوند ولذا ناهنجاری های حرارتی ناشی از اختلاف ارتفاع محل ثبت داده ها قابل چشم پوشی است.

در اثنای ماموریت SROSS-C2 سه زمین لرزه نسبتاً بزرگ به ترتیب در ۱۹ مارچ ۱۹۹۵ - ۲۴ می ۱۹۹۵ و ۲۱ ژوئن ۱۹۹۵) اولی در طول جغرافیایی E ۹۲/۹۰ و ۹/۸۸N و موارد بعدی E ۷۹/۶ و ۱۶/۵۲N و ۸۵/۳۳E و ۲۱/۷۸N) به ترتیب با بزرگای ۴/۸، ۴/۶، ۴/۷ ثبت شدند بررسی دمای یونها در تمامی موارد حاکی از افزایش دمای یونها تا اندازه ۱/۲ برابر روزهای عادی در زمان وقوع زمین لرزه بود است.

شکل ۳- تغییرات دمای الکترون را در اثنای زمین لرزه ها که با دایره مشخص شده اند و رزوه های عادی که با ضربدر مشخص شده اند توسط ماهواره SROSS-C2 ثبت شده اند.

شکل ۴- تغییرات دمای یون را در اثنای زمین لرزه ها که با علامت دایره نشان داده شده اند و در اثنای روزهای عادی نشان می دهد تمامی داده ها توسط ماهواره SROSS-C2 ثبت شده اند.



در جداول زیر مقایسه ای بین دمای الکترون و یون متوسط در اثنای روزهای عادی و روزهای زمین لرزه صورت گرفته است. که بوضوح افزایش دمای یون ها و الکترونها در اثنای زمین لرزه ها پیداست.

Table IIa. Comparison of average electron temperature during earthquake events, normal days and IRI model values.

Serial No.	Date of event	Origin time of earthquake (LT)	Location of earthquake	Magnitude	Depth (km)	Electron temperature (K)		
						Average during normal days	Average during earthquake events	IRI
1	Mar 19, 1995	16:44:48	09.88° N, 92.90° E	4.3	10	1240	1519	1123
2	May 24, 1995	13:46:45	16.52° N, 79.68° E	4.6	33	1642	2004	1268
3	June 21, 1995	18:35:41	21.78° N, 85.33° E	4.7	36	1977	2407	1198
4	Jan 18, 1996	08:05:35	24.09° N, 82.62° E	4.2	33	1830	2805	1764
5	Sept 25, 1996	17:41:17	27.43° N, 88.55° E	5.0	33	1411	1952	1442
6	Oct 08, 1996	01:28:59	29.51° N, 61.06° E	4.2	16	1950	2466	1866
7	Mar 19, 1997	11:15:50	30.33° N, 67.96° E	4.7	33	660	791	831
8	Jan 16, 1998	21:14:51	29.70° N, 68.25° E	4.1	33	1454	1700	906
9	May 17, 1998	05:41:11	30.38° N, 67.95° E	4.2	33	2008	2481	1565

آنومالی های ULF/ELF قبل از وقوع زمین لرزه ها :

پدیده های سیسمو – الکترومغناطیسی نیز قبل از وقوع زمین لرزه ها در دهه های اخیر به وفور بررسی شده اند به عنوان مثال پدیده های سیسموالکترومغناطیسی چند روز قبل از وقوع زمین لرزه ای با بزرگای ۵/۹ در اوتارپرادش هند توسط ماهواره DEMETER که یک ماهواره مداری کم ارتفاع LEO است ثبت شده است که حاکی از وقوع اختلالاتی است که به فعالیتهای سیسمیک مربوط است .

نتیجه گیری :

کاربرد سنجش از دور و ماهواره ها در پیش بینی زمین لرزه مورد توجه مراکز تحقیقاتی و محققان بسیاری در جای جای جهان واقع شده است از جمله می توان پرتاب اولین ماهواره و لکان روسیه و ماهواره کمپاس این کشور پروژه DEMETER در فرانسه پروژه GESS سازمان فضایی امریکا NASA برنامه تحقیقاتی در چین وسایر پروژه ها در اکثر کشورهای صنعتی دنیا اشاره کرد .

هرچند بشر تا پیش بینی دقیق زمین لرزه ها راه زیادی در پیش دارد اما تحقیقات گسترده ای در این زمینه در حال انجام است . . مهمترین مشکل بر سر راه پیش نشانگرهایی که توسط ماهواره ها سنجیده می شوند ، بدست آوردن الگوی رفتاری مشخص در زمان های عادی برای آنهاست . اما برای بالا بردن دقت در عمل می توان از سنجش چندین پیش نشانگر بهره برد . از نمونه های موفق پیش بینی زمین لرزه می توان به زمین لرزه هایچنگ چین در زمستان سال ۱۹۷۵ اشاره کرد . دانشمندان در آن زمان متوجه رانش زمین و تغییرات در سطح آب در نزدیکی شهر هایچنگ شدند . پیش لرزه هایی نیز در آن زمان به وقوع پیوست و از آنجا که دانشمندان وقوع زمین لرزه ای را پیش بینی کرده بودند شهر تخلیه شد و زلزله ای با بزرگای ۷/۳ به وقوع پیوست . تعداد کشته شدگان زمین لرزه ۲/۰۴۱ نفر بود . اما اگر شهر تخلیه نمی شد تلفات به بیش از ۱۵۰/۰۰۰ نفر می رسید .

شاید زمانی فرا برسد که بشر بتواند به صراحت وقوع زمین لرزه ها را با استفاده از تغییر رفتار پیش نشانگر ها از طریق ماهواره و سنجش از دور پیش بینی کند و با وجود تحقیقات وسیع این موضوع دور از ذهن نخواهد بود.

منابع :

Woith , H . Pekdeger and Zscham , J.,1991,Ground Water radon anomalies in space and time . a Contribution to joint Turkish – German earthquake prediction project,In :Earthquake prediction :state of Art EUG , Strasburg.

Sibson ,R.H.,1981, Earthquake prediction ,American Geophysical union , Maurice Ewing series ,D.W.simpson ,P.G.Richards

Stacey 1964 , Sismomagnetic effect , pure and Appl , Geoph .

Nagata , T ,1969, Tectonomagnetism,J.A.G.A.Bull.

<http://quake.usgs.gov/usgs> Earthquake hazard program

Tim J.Wight <University of oxford , Remote monitoring of earthquake cycle using satellite radar interferometry ,oxford 2002 , The royal Society .

Stress triggering of the1999 Hector Mine Earthquake Fred F.Pollir , I Selwyn Socks ,2000 www.Cacr.Caltech.edu,Insar Interferometric synthetic Aperture Radar .,California institute of Technologg.

www.Itu.edu.tr,istanbul teknik Dniversitesi , Geofizik Bolumu.