

بررسی تغییرات بسامد بحرانی لایه F2 یون‌سپهر به‌عنوان پیش‌نشانگر زمانی زمین‌لرزه قم

سرمد قادر^{۱*} و نازلی صبا^۲

^۱ استادیار، گروه فیزیک فضا، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، ایران

^۲ کارشناس بخش یونسفر، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، ایران

(دریافت: ۸۷/۳/۲۶، پذیرش نهایی: ۸۷/۱/۵)

چکیده

مقاله حاضر به بررسی و استفاده از تغییرات انحراف بسامد بحرانی لایه F2 درحکم یک پیش‌نشانگر زمانی برای زمین‌لرزه ۲۸ خرداد ۱۳۸۶ که در بخش کهک واقع در جنوب شهر قم رخ داد، می‌پردازد. تفاوت بین بی‌هنجاری‌های مشاهده‌شده در انحراف بسامد بحرانی ناشی از زلزله با روزهای آرام و روزهای همراه با توفان ژئومغناطیسی تشریح می‌شود. نتایج نشان می‌دهند که در روزهای آرام فاز منفی و در روزهای همراه با توفان ژئومغناطیسی فاز مثبت غالب است، در صورتی که در دو روز قبل از زلزله و روز وقوع آن بی‌هنجاری‌ها از الگوی متفاوتی پیروی کرده و در آنها هم فاز منفی و هم فاز مثبت مشاهده می‌شود. نتایج به‌دست‌آمده امکان استفاده از داده‌های سونداژ قائم یون‌سپهری را درحکم یک پیش‌نشانگر زمانی زلزله نشان می‌دهند.

واژه‌های کلیدی: یون‌سپهر، پیش‌نشانگرهای زلزله، توفان ژئومغناطیسی

Study of variations of critical frequency of ionospheric F2-region as a temporal precursor for the Qom earthquake

Ghader S.¹ and Saba N.²

¹Assistant Professor, Space Physics Department, Institute of Geophysics, University of Tehran, Iran

²Ionospheric Research Section, Institute of Geophysics, University of Tehran, Iran

(Received: 15 June 2008, Accepted: 24 Jan 2009)

Abstract

Many recent researches have been devoted to investigating the connection between seismic activity and ionospheric variations. It has been shown that the behavior of characteristic parameters of the ionosphere can be used as temporal and spatial precursors of strong earthquakes ($M > 5$).

In the present work variations of critical frequency of ionospheric F2 layer as a temporal precursor for the Qom earthquake are studied. Ionospheric data measured by vertical sounding technique at the Institute of Geophysics, University of Tehran (in Iran) are used to perform the analysis. The deviation of critical frequency of the F2 layer is the key parameter which is used to do the analysis.

To discriminate ionospheric precursors due to seismic activity from other causes of ionospheric variations, we also calculated the deviation of critical frequency of the F2 layer for some magnetic storm days and quiet days. It can be seen that during the quiet days the negative phase (negative value of the deviation of critical frequency of the F2 layer) is dominant and during the magnetic storm days the positive phase (positive value

of the deviation of critical frequency of the F2 layer) is dominant. But two days before the earthquake the pattern of anomalies for the deviation of critical frequency of the ionospheric F2 layer is different. In this case the negative and positive phases are both present. This finding is in agreement with existing researches and shows the possibility of using ionospheric variations (measured by vertical sounding) as a temporal precursor for strong earthquakes.

Key words: Ionosphere, Earthquake precursor, Geomagnetic storm

۱ مقدمه

پیش‌نشانگر در زمین‌لرزه‌هایی با بزرگی بیش از ۵ در ۷۳٪ و با بزرگی بیش از ۶ در ۱۰۰٪ موارد، در بازه زمانی پنج تا دو روز یا چند ساعت قبل از زمین‌لرزه استفاده کرد. تفاوتی که در مشاهده آغاز فعالیت زمین‌لرزه‌ای در ارتفاعات یون‌سپهری در عرض‌های گوناگون دیده می‌شود، به دلیل تفاوت فرایندهای فیزیکی است که در عرض‌های بالا و پایین یون‌سپهر وجود دارند. پیش‌نشانگری زمین‌لرزه با مشاهدات ماهواره‌ای و نیز سونداژ قائم رادیویی نتایج یکسانی را نشان می‌دهند. برای مثال با مقایسه داده‌های آماری ماهواره‌ای برای ۲۰ زمین‌لرزه با بزرگی بیش از ۶ ($M \geq 6$) که از سپتامبر ۱۹۹۹ تا دسامبر ۲۰۰۰ در ناحیه تایوان صورت گرفته‌است، پنج روز قبل از زمین‌لرزه، تغییرات را می‌توان مشاهده کرد (پولینتس و همکاران، ۲۰۰۳). همچنین به‌منزله نمونه‌ای از نتایج کار با داده‌های سونداژ قائم نیز می‌توان به کار داباس و همکاران (۲۰۰۷) اشاره کرد. تفاوتی که فن سونداژ قائم با اندازه‌گیری‌های ماهواره‌ای دارد در این است که، با سونداژ قائم می‌توان مشخصه زمانی یون‌سپهر را مورد بررسی قرار داد، ولی با داده‌های ماهواره خصوصیات مکانی یون‌سپهر قابل مشاهده است. در اندازه‌گیری‌های زمینی فاصله پایگاه یون‌سپهر تا کانون زمین‌لرزه مهم است. در کار پولینتس و همکاران (۲۰۰۳) این فاصله کمتر از ۲۰۰۰ کیلومتر ذکر شده است، البته مواردی برای فواصل طولانی‌تر نیز گزارش شده است (داباس و همکاران، ۲۰۰۷).

بیش از ۲۰ سال است که محققان درخصوص پدیده زمین‌لرزه و اثر آن بر یون‌سپهر تحقیق کرده‌اند و خصوصیات اصلی تغییرات یون‌سپهر را که به فعالیت‌های پیش از زمین‌لرزه مربوط است، دسته‌بندی کرده‌اند (پولینتس و همکاران، ۲۰۰۳). این طبقه‌بندی براساس صدها مورد اندازه‌گیری شده زمینی و ماهواره‌ای بوده است که اثرات محلی و جهانی پیش‌نشانگری زمانی-مکانی زمین‌لرزه را مورد بررسی قرار داده‌اند. همچنین رازنین و همکاران (۲۰۰۰) تفاوت رفتار یون‌سپهر را در روزهای آرام و زمان آشوب‌های مغناطیسی در مقایسه با تغییرات زمانی-مکانی آن در زمان زمین‌لرزه تشریح کرده‌اند.

فعالیت‌های زمین‌لرزه‌ای می‌توانند سبب تغییرات مثبت یا منفی در چگالی الکترونی، تغییر در ارتفاع بیشینه ظاهری لایه F2، دمای الکترون، ترکیب یون‌ها و مولکول‌ها، شکل‌گیری لایه E نامنظم و گسترش لایه F شوند (پولینتس، ۱۹۹۸). قبل از زمین‌لرزه تغییراتی در میدان الکتریکی در سطح زمین دیده می‌شود که اندازه آن به بیش از 1000 Vm^{-1} می‌رسد و در نواحی تکنونیک‌کی فعال مشاهده می‌شود (پولینتس و همکاران ۲۰۰۰). این میدان الکتریکی در یون‌سپهر نفوذ می‌کند و بی‌نظمی‌هایی را در غلظت الکترونی در زمانی که قطر بی‌هنجاری‌ها بیش از ۲۰۰ کیلومتر باشد، ایجاد می‌کند (پولینتس و همکاران، ۲۰۰۳).

تحقیقات صورت گرفته توسط پولینتس و همکاران (۲۰۰۳) نشان می‌دهد که از یون‌سپهر می‌توان به‌منزله

موقعیت جغرافیایی دستگاه را نشان می‌دهد.

در تحلیل‌های پیش‌نشانگری زمین‌لرزه- یون‌سپهر، معمولاً داده‌های بسامد بحرانی لایه F2 و همچنین انحراف بسامد بحرانی لایه F2 نسبت به میانه ماهانه آن برای چند روز (معمولاً پنج روز) قبل تا چند ساعت قبل از شوک زمین‌لرزه محاسبه و مورد استفاده قرار می‌گیرند (پولیتس و همکاران، ۲۰۰۳). انحراف بسامد بحرانی لایه F2 با به‌کارگیری رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$\delta foF2 = (foF2(obs) - foF2(med)) \times 100 / foF2(med)$$

در رابطه بالا $foF2(obs)$ بسامد بحرانی لایه F2 یون‌سپهر برحسب مگاهرتز و $foF2(med)$ میانه ماهانه بسامد بحرانی لایه F2 برحسب مگاهرتز است. علامت و اندازه تغییرات به زمان محلی بستگی دارد (پولیتس و لگنکا، ۲۰۰۳)، انحراف بسامد بحرانی با علامت مثبت، فاز مثبت و با علامت منفی، فاز منفی نامیده می‌شود.

جدول ۱. پارامترهای زمین‌لرزه دوشنبه ۲۸ خرداد ۱۳۸۶

طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	بزرگی	عمق (کیلومتر)	استان و شهر
۵۰٫۹	۳۴٫۵	۵٫۹	۱۴	قم-قنات

جدول ۲. مشخصات پایگاه یون‌سپهر مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران

عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	عرض ژئومغناطیسی	طول ژئومغناطیسی
۳۵° ۴۴'	۵۱° ۲۳'	۲۹°	۱۲۸°

۴ بررسی تفاوت بین اثر پدیده‌های متفاوت بر

یون‌سپهر

عوامل متفاوتی می‌توانند بر بسامد بحرانی لایه F2 تاثیر بگذارند و تغییراتی در آن ایجاد کنند. بنابراین پیش از بررسی نتایج مربوط به تغییرات بسامد بحرانی لایه F2 در

مقاله حاضر به بررسی ارتباط میان تغییرات بسامد بحرانی لایه F2 به‌منزله یک پیش‌نشانگر زمانی برای زمین‌لرزه ۲۸ خرداد ۱۳۸۶ که در بخش کهک واقع در جنوب شهر قم با بزرگی بیش از ۵ رخ داده، می‌پردازد. در این کار با توجه به اینکه برای تحلیل از داده‌های یون‌سپهری سونداژ قائم اندازه‌گیری شده در ایستگاه یون‌سپهر مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران استفاده شده است، فقط می‌توان به مشخصه زمانی پیش‌نشانگری یون‌سپهر پرداخت و سایر مشخصه‌ها با توجه به فقدان داده‌های مورد نیاز، مورد توجه و بررسی قرار نگرفته‌اند.

در ادامه در بخش ۲ به مشخصات زمین‌لرزه و در بخش ۳ به روش تحلیل داده‌های یون‌سپهر پرداخته می‌شود. بخش ۴ به بررسی تفاوت میان اثر پدیده‌های متفاوت بر یون‌سفر می‌پردازد. تشریح نتایج و پس از آن جمع‌بندی و نتیجه‌گیری به‌ترتیب در بخش‌های ۵ و ۶ ارائه شده‌اند.

۲ مشخصات زمین‌لرزه

زمین‌لرزه ۲۸ خرداد ۱۳۸۶ در ساعت ۱۷ و ۵۹ دقیقه و ۵۰ ثانیه به وقت محلی (GMT: ۱۴:۲۹:۴۹) در بخش کهک واقع در جنوب شهر قم رخ داد. فاصله کانون زمین‌لرزه تا پایگاه یون‌سپهر مؤسسه ژئوفیزیک کمتر از ۳۰۰ کیلومتر است. جدول ۱ مشخصات این زمین‌لرزه را که از سوی مرکز لرزه‌نگاری مؤسسه ژئوفیزیک عرضه شده، نشان می‌دهد. با توجه به اینکه بزرگی زمین‌لرزه پیش‌گفته بیش از ۵ بوده است، می‌توان به بررسی ارتباط پیش‌نشانگری پارامترهای یون‌سپهر با زمین‌لرزه پرداخت.

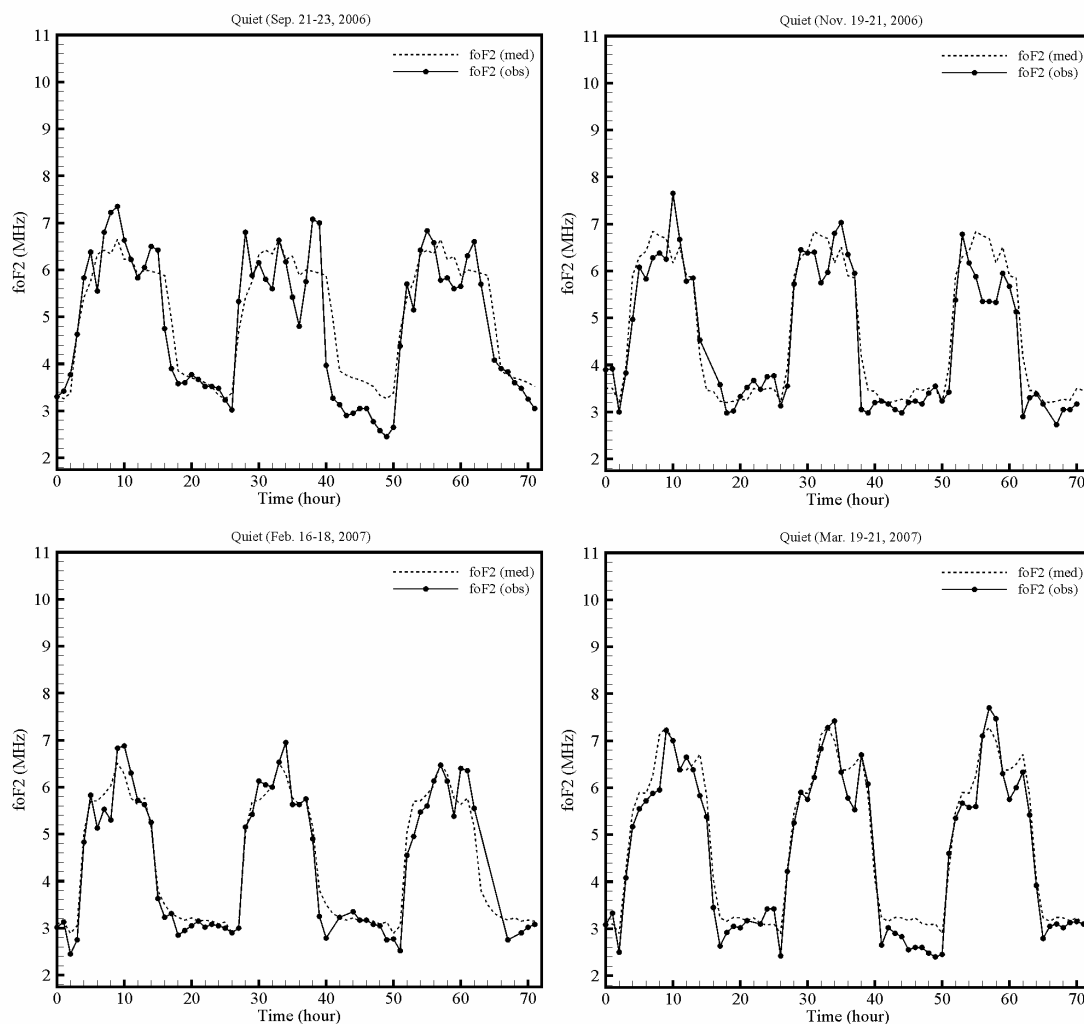
۳ روش تحلیل داده‌های یون‌سپهری

در تحلیل حاضر از داده‌های سونداژ قائم که با دستگاه موجود در بخش یون‌سپهر مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران اندازه‌گیری می‌شوند، استفاده شده است. جدول ۲

اغلب ساعت‌ها مقدار بسامد بحرانی لایه F2 کمتر از مقدار میانه است که این مطلب نشان می‌دهد که در روزهای آرام فاز منفی غالب است. برای آنکه بتوان این مسئله را بهتر درک کرد، محاسبه مقدار انحراف بسامد بحرانی لایه F2 برای روزهای پیش‌گفته می‌تواند اطلاعات بیشتری را به دست بدهد. به منظور عرضه نتایج، داده‌های مربوط به انحراف در همه ساعت‌ها محاسبه شده و سپس نمودار توزیع آنها به صورت تابعی از روز و زمان محلی با استفاده از یک روش میان‌یابی مناسب به دست آمده است (جزئیات بیشتر در مورد میان‌یابی در بخش پیوست مقاله آمده است). شکل ۲ خطوط هم‌مقدار (پررنگ) انحراف

روز زمین‌لرزه، به بررسی نحوه رفتار این بسامد بحرانی در روزهای آرام و روزهای همراه با توفان ژئومغناطیسی، برای ایجاد امکان تشخیص اثر این پدیده‌ها بر یون‌سپهر و درک تفاوت آنها نسبت به تغییرات حاصل از زلزله، پرداخته می‌شود. برای بررسی یک بازه سه‌روزه در چهار ماه از سال برای روزهای آرام و روزهای همراه با توفان ژئومغناطیسی در سال‌های ۱۳۸۵ و ۱۳۸۶ در حکم نمونه انتخاب شده است.

شکل ۱ مقایسه میان تغییرات بسامد بحرانی لایه F2 با مقادیر میانه ماهانه آنها برای یک بازه سه‌روزه در چهار ماه از سال را نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود در

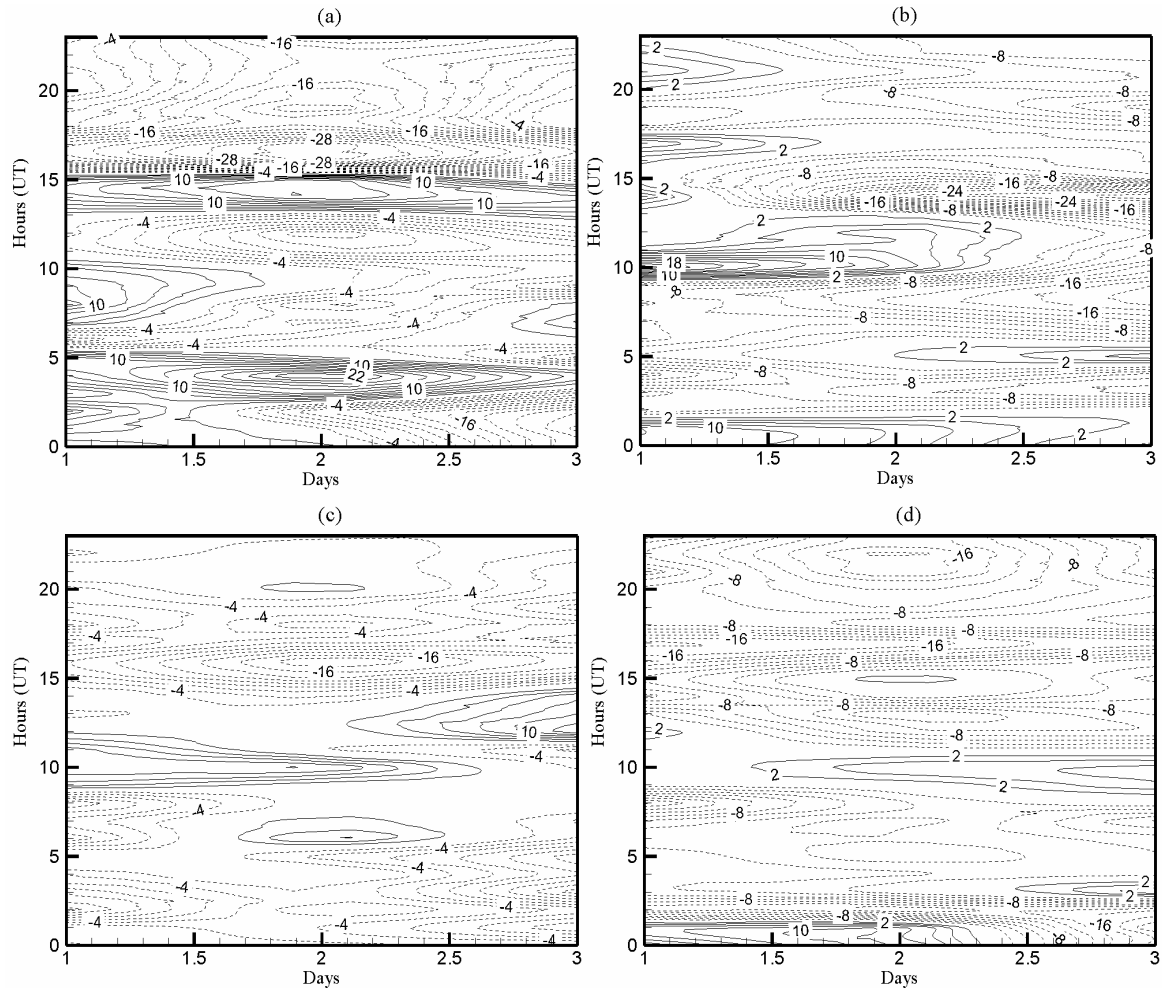


شکل ۱. مقایسه تغییرات روزانه بسامد بحرانی لایه F2 (نقاط توپر) با مقادیر ماهانه آنها (خط‌چین) در یک بازه زمانی سه‌روزه (۷۲ ساعت) برای چهار روز آرام.

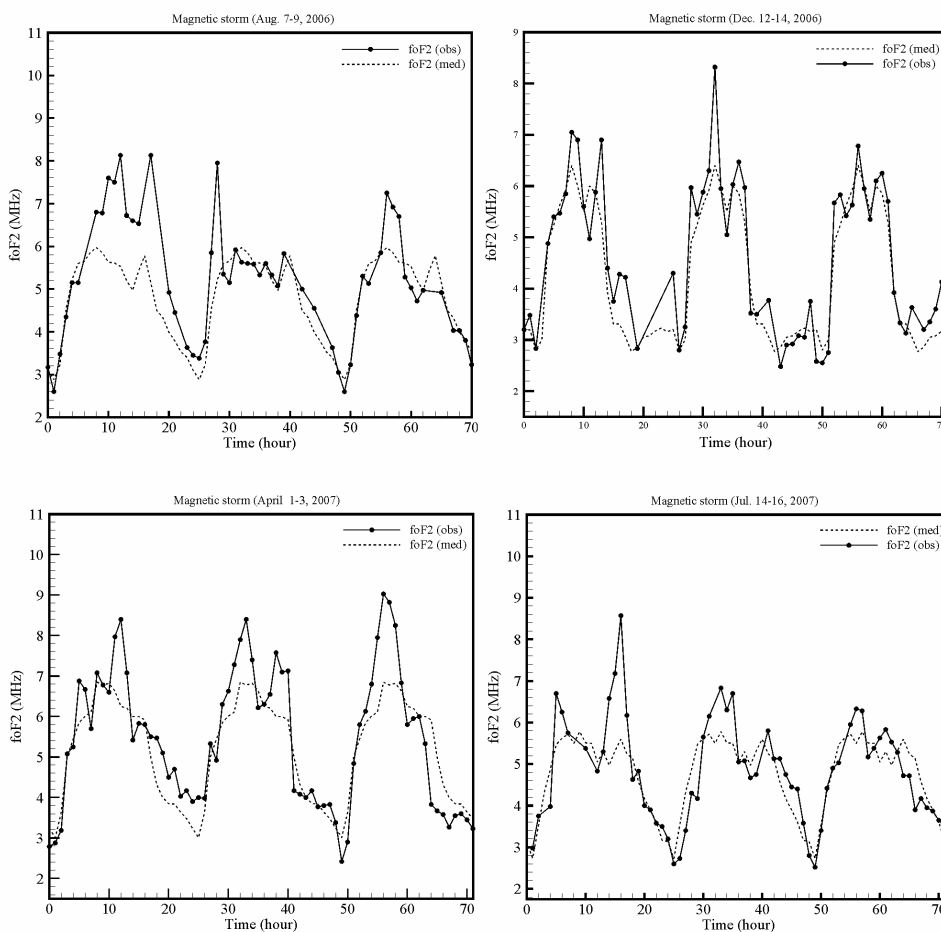
ژئومغناطیسی، بیشینه بسامد بحرانی لایه F2 نسبت به روزهای آرام (حدود ۱۵ درصد) افزایش یافته است و به‌علاوه نتایج شکل‌های ۳ و ۴ نشان می‌دهند که در روزهای همراه با توفان ژئومغناطیسی فاز مثبت غالب است. این نتایج با نتایج به‌دست آمده دانیلوو (۲۰۰۱) مبنی بر اینکه در عرض‌های جغرافیایی میانی در روزهای همراه با توفان ژئومغناطیسی فاز مثبت غالب است، همخوانی دارد.

بسامد بحرانی لایه F2 را برای روزهای آرام انتخاب‌شده نشان می‌دهد. در ماه‌های آرام انتخاب‌شده تعداد توفان‌های ژئومغناطیسی و اثر فوران‌های خورشیدی حداقل بوده است. با توجه به شکل می‌توان مشاهده کرد که در روزهای آرام فاز منفی غالب است، به‌ویژه از ساعت ۱۵ به بعد فاز منفی کاملاً غالب است.

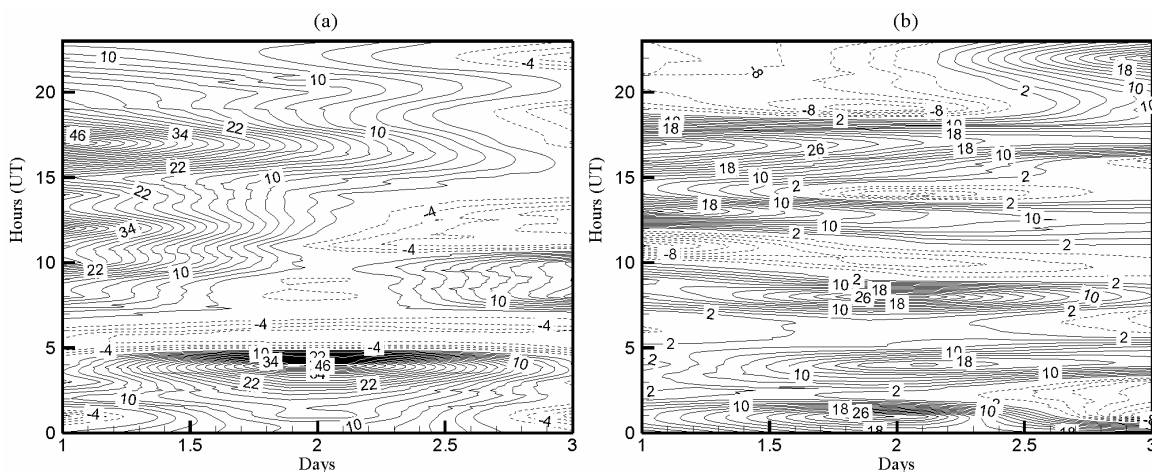
شکل‌های ۳ و ۴ نتایج فوق را برای روزهای همراه با توفان ژئومغناطیسی نشان می‌دهند. مقایسه شکل‌های ۱ و ۳ روشن می‌سازد که در روزهای همراه با توفان



شکل ۲: توزیع انحراف بسامد بحرانی لایه F2 (برحسب مگاهرتز) برای چند روز آرام (a) ۲۱ تا ۲۳ سپتامبر ۲۰۰۶، (b) ۱۹ تا ۲۱ نوامبر ۲۰۰۶، (c) ۱۶ تا ۱۸ فوریه ۲۰۰۷ و (d) ۱۹ تا ۲۱ مارس ۲۰۰۷. در شکل پربندهای مثبت با خطوط توپر و پربندهای منفی به‌صورت خط‌چین نمایش داده شده‌اند. محور افقی نمایش‌دهنده روز (اولین روز با عدد ۱، دومین روز با عدد ۲ و روز سوم با عدد ۳ نمایش داده شده است) و محور قائم زمان را نشان می‌دهد.



شکل ۳. مقایسه تغییرات روزانه بسامد بحرانی لایه F2 (نقاط توپر) با مقادیر ماهانه آنها (خط چین) در یک بازه زمانی سه روزه (۷۲ ساعت) برای چهار روز همراه با توفان ژئومغناطیسی.



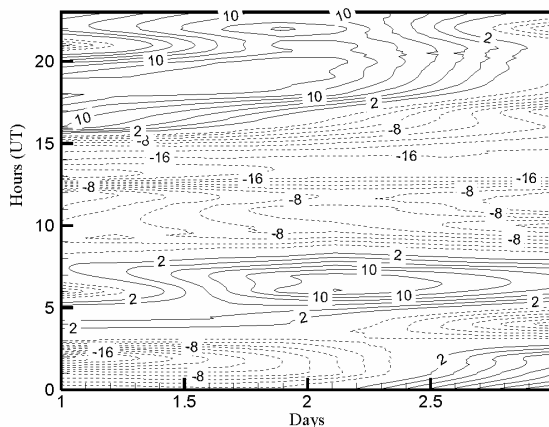
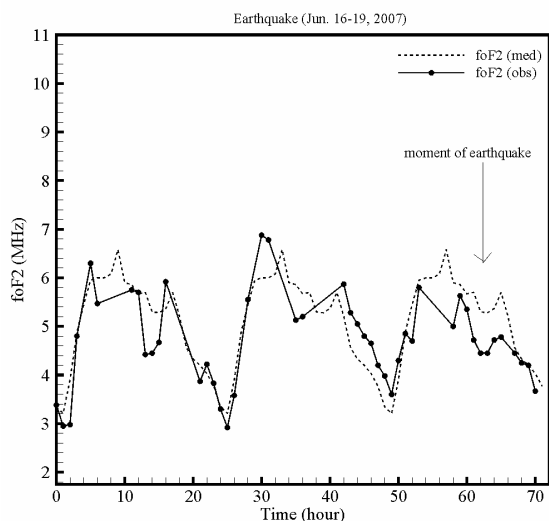
شکل ۴. توزیع انحراف بسامد بحرانی لایه F2 (برحسب مگاهرتز) برای دو روز همراه با توفان مغناطیسی (a) ۷ تا ۹ اوت ۲۰۰۶ و (b) ۱۲ تا ۱۴ دسامبر ۲۰۰۶. در شکل پریندهای مثبت با خطوط توپر و پریندهای منفی به صورت خط چین نمایش داده شده‌اند. محور افقی نمایش دهنده روز (اولین روز با عدد ۱، دومین روز با عدد ۲ و روز سوم با عدد ۳ نمایش داده شده است) و محور قائم زمان را نشان می‌دهد.

۵ نتایج

روزهای همراه با توفان ژئومغناطیسی (شکل‌های ۳ و ۴) متفاوت است. شکل نشان می‌دهد که هم فاز مثبت و هم فاز منفی در طی این روزها وجود دارد و نمی‌توان یکی از آنها را دارای اثر غالب دانست. در بازه زمانی قبل از زلزله، الگو به این صورت است که از ابتدای روز تا ساعت ۳ فاز منفی، از ساعت ۳ تا ۸ فاز مثبت، از ساعت ۸ تا ۱۶ فاز منفی و از ساعت ۱۶ تا ۲۳ فاز مثبت غالب است. این پدیده در واقع به علت تغییرات محلی ناشی از زلزله بر یون‌سپهر به دست آمده است. مقایسه با نتایج ارائه شده در شکل ۲ برای روزهای آرام و به ویژه برای ساعت‌های ۱۶ به بعد نبود تطابق را به خوبی نشان می‌دهد. در اینجا می‌بایست به این نکته اشاره کرد که این نتایج با یافته‌های سایر محققان برای مکان‌های دیگر نیز مطابقت دارد (برای نمونه می‌توان به کار پولیتس و همکاران، ۲۰۰۳ و مرجع‌های موجود در آن اشاره کرد).

همان‌گونه که ذکر شد معمولاً در تحلیل‌های پیش‌نشانگری زمانی یون‌سپهر برای زلزله از داده‌های چند روز قبل از زمین‌لرزه استفاده می‌شود. با توجه به اینکه در روزهای ۲۴ و ۲۵ خرداد ۱۳۸۶ توفان ژئومغناطیسی رخ داده، در تحقیق حاضر از داده‌های بازه زمانی ۲۶ تا ۲۸ خرداد ماه ۱۳۸۶ (مطابق با ۱۶ تا ۱۸ ژوئن ۲۰۰۷) استفاده شده است.

شکل ۵ نتایج مربوط به تغییرات بسامد بحرانی لایه F2 و همچنین انحراف آن را برای روزهای ۲۶ تا ۲۸ خرداد ۱۳۸۶ نشان می‌دهد. زمین‌لرزه در روز ۲۸ خرداد و در ساعت ۱۴:۲۹:۴۹ GMT رخ داده است. شکل یادشده نشان می‌دهد که الگوی بی‌هنجاری‌های رخ داده از دو روز قبل از وقوع زلزله و همچنین تا چند ساعت پس از آن در مقایسه با الگوهای روزهای آرام (شکل‌های ۱ و ۲) و



شکل ۵. مقایسه تغییرات روزانه بسامد بحرانی لایه F2 (نقاط توپر) با مقادیر ماهانه آنها (خط‌چین) در یک بازه زمانی سه‌روزه (۷۲ ساعت) برای دو روز قبل از زلزله و روز زلزله (شکل سمت چپ). توزیع انحراف بسامد بحرانی لایه F2 (برحسب مگاهرتز) از ابتدای دو روز قبل تا پایان روز زلزله. در شکل پربندهای مثبت با خطوط توپر و پربندهای منفی به صورت خط‌چین نشان داده شده‌اند. محور افقی نمایش‌دهنده روز (روز ۲۶ خرداد با عدد ۱، روز ۲۷ خرداد با عدد ۲ و روز ۲۸ خرداد با عدد ۳ نمایش داده شده‌است) و محور قائم زمان را مشخص می‌سازد (شکل سمت راست).

۶ جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

به دلیل تهیه داده‌های لازم تشکر می‌شود.

منابع

- Dabas R. S, Rupesh M. D., Kavita S., and Pillai K.G.M., 2007, Ionospheric pre-cursors observed over low latitudes during some of the recent major earthquakes, *Atmos. Sol. – Terr. Phys.*, **69**, 1813-1824.
- Danilov A. D., 2001, F2- region response to geomagnetic disturbances, *Atmos. Sol.-Terr. Phys.*, **63**, 441-449.
- Davis, J. C., 1986, *Statistics and data analysis in geology*, 2nd Ed., John Wiley & Sons.
- Pulinets S. A., 1998, Seismic activity as a source of the ionospheric variability, *Adv. Space Res.*, **22**(6), 903-906
- Pulinets S. A. and Legen'ka A. D., 2003, Spatial-temporal characteristics of large scale disturbances of electron density observed in the ionospheric F-region before strong earthquakes, *Cosmic Res*, **41**(3), 221-229.
- Pulinets S. A, Legen'ka A. D, Gaivoronskaya T.V, Depuev V. Kh., 2003, Main phenomenological features of ionospheric precursors of strong earthquakes, *Atmos. Sol.-Terr. Phys.*, **65**, 1337-1347.
- Ruznin Yu.Ya, Depueva A. Kh., Larkina V. I. L., 2000, Local and global effects of space earthquake precursor anomalies, *Adv. Space Res.*, **26**(7), 1195-1198.

تحقیق حاضر نتایج مربوط به بررسی تغییرات بسامد بحرانی لایه F2 یونوسپهر و انحراف آن، اندازه‌گیری شده در پایگاه یونوسپهر مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران را به‌منزله پیش‌نشانگر زلزله ۲۸ خرداد ۱۳۸۶ رخ داده در بخش کهک شهر قم عرضه می‌کند. با توجه به تحقیقات صورت گرفته سایر محققان می‌توان از داده‌های سونداژ قائم یونوسپهری به‌منزله یک پیش‌نشانگر زمانی برای زلزله‌های با بزرگی بیشتر از ۵ استفاده کرد که نتایج کار حاضر نیز این مطلب را تایید می‌کند. برای آنکه بتوان تفاوت میان بی‌هنجاری‌های حاصل از زلزله و سایر پدیده‌هایی را که بر یونوسپهر اثر می‌گذارند، تشخیص داد، نتایج مربوط به روزهای آرام و روزهای همراه با توفان ژئومغناطیسی نیز عرضه شده‌اند. در روزهای آرام فاز منفی و در روزهای همراه با توفان ژئومغناطیسی فاز مثبت غالب است، درحالی‌که در روزهای قبل از زلزله، هر دوی این فازها وجود دارند و الگوی بی‌هنجاری‌ها نیز با روزهای آرام و روزهای همراه با توفان ژئومغناطیسی متفاوت است. نتایج این تحقیق برای زلزله ۲۸ خرداد ۱۳۸۶ که با یافته‌های سایر محققان نیز همخوانی دارد، نشان می‌دهد که می‌توان از داده‌های سونداژ قائم یونوسپهری در حکم یک پیش‌نشانگر زمانی برای زمین‌لرزه استفاده کرد. البته ذکر این نکته ضروری است که این داده‌ها اطلاعاتی در مورد مکان زلزله به‌دست نمی‌دهند و برای مکان‌یابی می‌بایست از داده‌های ماهواره‌ای استفاده کرد (پولینتس و همکاران، ۲۰۰۳).

تشکر و قدردانی

نویسندگان از دانشگاه تهران برای حمایت از این کار تحقیقاتی تشکر می‌کنند. همچنین از بخش‌های پژوهشی یونوسپهر و ژئومغناطیس مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران

پیوست

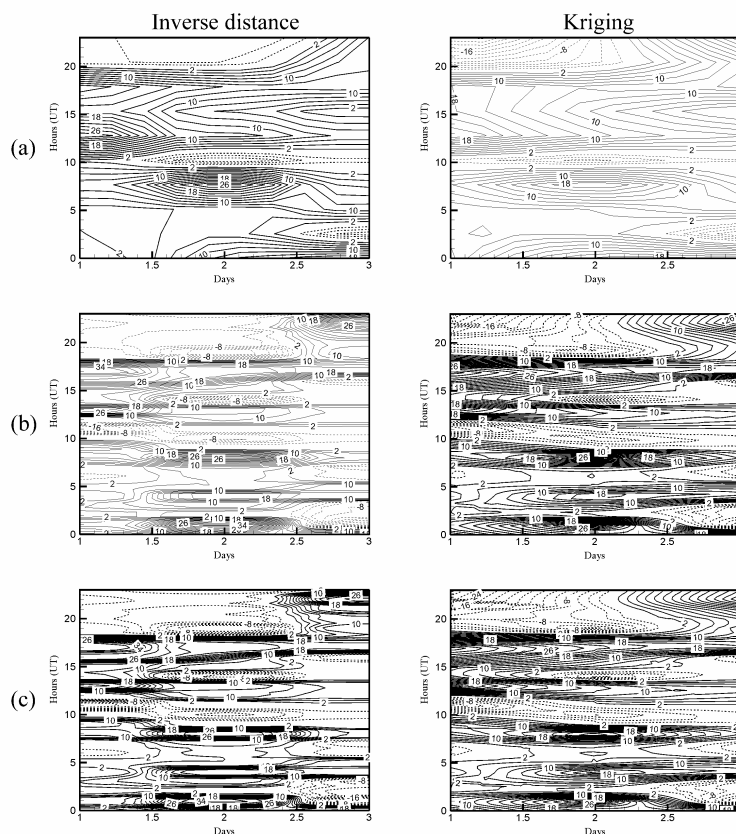
وزنی استفاده می‌شود که در آنها شبه‌واریانس‌های فاصله‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند و بنابراین وزن داده‌ها با توزیع مکانی آنها عوض می‌شود.

شکل ۶ نتایج مربوط به میان‌یابی مجموعه‌ای از داده را با استفاده از روش‌های پیش‌گفته نشان می‌دهد. نتایج دو روش در شبکه‌های متفاوت عرضه شده است و الگوی کلی میان‌یابی‌های به‌دست آمده از دو روش مشابه است. مقایسه شکل‌ها و مطابقت کلی الگوهای به‌دست آمده نشان می‌دهد که نتایج میان‌یابی از دیدگاه بیان فازهای مثبت و منفی با تقریب خوبی به روش میان‌یابی انتخاب‌شده حساس نیستند و هر دو روش تقریباً الگوهای یکسانی را نشان می‌دهند. البته در تحقیق حاضر نتایج عرضه‌شده در متن با استفاده از روش کریجینگ به‌دست آمده است.

همان‌گونه که در متن اشاره شد برای عرضه نمودار توزیع داده‌های مربوط به انحراف بسامد بحرانی لایه F2 می‌بایست از یک روش میان‌یابی مناسب استفاده کرد. در کار حاضر برای اطمینان‌یافتن از نتایج و همچنین اطمینان‌یافتن از نبود حساسیت نتایج به‌دست آمده به روش میان‌یابی انتخاب‌شده، از میان روش‌های متفاوت میان‌یابی، دو روش زیر (جزئیات مربوط به این دو روش دیویس، ۱۹۸۶) تشریح کرده است. آزمایش شده‌اند:

الف- روش معکوس فاصله وزنی (inverse distance): یک روش میان‌یابی که در آن نقطه مجهول به‌صورت یک ترکیب خطی از نقاط معلوم در نظر گرفته می‌شود.

ب- روش کریجینگ (kriging): در این روش از توابع



شکل ۶. مقایسه دو روش میان‌یابی معکوس فاصله وزنی و کریجینگ با استفاده از شبکه‌های متفاوت برای میان‌یابی (a) تعداد ۱۰ نقطه در هر راستا (b) تعداد ۵۰ نقطه در هر راستا، (c) تعداد ۱۰۰ نقطه در هر راستا.