

محاسبه تغییرات زمانی طوفان با در نظر گرفتن کل الکترونها گنجانیده شده در لایه یونسفر با

استفاده از عمق سنج بالا سوی چرخنده

سیده نسرين حسینی مطلق^۱ و شیرین صداقت^۱

^۱ دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران.

چکیده

یک روش تئوری جدید برای تعیین کل الکترونها گنجانیده شده (TEC) در زیر یک ماهواره چرخان اهسته ارائه شده است. بر طبق این روش TEC می تواند با استفاده از اجزای یک ionogram بالاسو که فقط شامل اثرات سیگنالهای بازتاب شده از سطح زمین می باشد بدست آید. در طول این مطالعه برخی از تغییرات فضایی TEC ثبت شده اند که می توانند به عنوان یک ساختار موجی نوع TID تفسیر می شوند.

Abstract

A new theoretical technique is presented for the determination of the total electron content (TEC) below a low-orbiting satellite. According to this technique TEC can be obtained using the segment of a topside ionogram that only contains the traces of signals reflected from the Earth's surface. During this study some spatial variations of TEC were registered that can be interpreted as a TID-type wave structure.

مقدمه

با وجود این حقیقت که بر همکنشهای نواحی پلاسمایی فضایی نزدیک به زمین با میدان مغناطیسی بین سیاره ای و باد خورشیدی برای چندین دهه است که شناخته شده است، اما جنبه های مختلف جذاب این فرایند باعث شده است که تحقیقات فشرده امروزی در این زمینه همچنان ادامه یابند. مخصوصاً یکی از دلایل مهم جفت شدگی مگنتوسفر-یونسفر، تغییر قابل ملاحظه چگالی الکترون موجود در یونسفر در طول یک طوفان می باشد. در مقاله ی فعلی روشی که به وسیله ی نویسندگان برای معین کردن TCE با استفاده از اثرات سیگنال های بازتاب شده از زمین ایجاد شده است توصیف می گردد. این روش یک برآورد از سهم یونسفری برای مقدار TCE میکند و در جایی که لازم باشد یک تصحیح را برای مدل یونسفری جهانی (برای مثال IRI) با استفاده از داده های فعلی فراهم می کند.

تعیین TCE با استفاده از اثرات سیگنال های بازتاب شده از زمین

تئوری ارائه شده ما بر اساس مشاهداتی که Ionogram ها برای سه مدار در مدت زمان شب یعنی در زمانی که OCMIR در یک ارتفاع تقریبی $h_s=365$ KM قرار داشته و ثبت انجام داده اند استوار است. این وضعیت مانع امکان پذیر شدن برگردان نمودار چگالی الکترون $N(h)$ در بالای ناحیه ی ماکسیمم F برای معین کردن hmF به حالت اول می شود. محاسبات ما بر پایه ی اندازه گیری های مسیرهای گروهی از سیگنال های بازتاب شده از زمین قرار دارند. این امر ما را مجاز می سازد که ظرفیت کل الکترون (TCE) را در زیر مدار MIR معین کنیم. مشاهدات در زمان شب انجام شدند بنابراین تاثیر پلاسما در نواحی D و E قابل چشم پوشی است. کل لایه ی پلاسما در زیر ماهواره به وسیله ی توضیح سهمی گون معادل تقریب زده میشود:

$$f_N^2(h) = f_m^2 \left[1 - \left(\frac{h_s - h}{H_p} \right)^2 \right] \quad (1)$$

که در آن f_N فرکانس پلاسمایی الکترون است f_m فرکانس بحرانی ناحیه ی F می باشد و h_s ارتفاع ماهواره و H_p یک نصف- ضخامت سهمی است. مسیرهای گروهی از سیگنال های بازتاب شده از زمین می توانند به فرم زیر ظاهر شود

$$p'(f) = h_0 + \int_{h_s - H_p}^{h_s} \mu'(f, f_H, \theta) dh \quad (2)$$

که در آن f فرکانس عمق سنجی می باشد f_H فرکانس ژبرو می باشد θ زاویه ی بین شدت عمودی و بردار میدان مغناطیسی می باشد h_0 ارتفاع لایه ی پایه ی معادل (۱) می باشد. ضرایب شکست گروهی μ' برای موج های قطبیده شده ی عادی (O) و فوق عادی (x) می تواند به فرم های زیر ظاهر شوند:

$$\mu'_0 = \left(\frac{M_0(X, Y, \theta)}{\sqrt{1-x}} \right) \text{ و } X = \frac{f_H^2}{f^2} \text{ و } Y = \frac{f_H}{f} \text{ و } \mu'_x = \frac{M_X(X, Y, \theta)}{\sqrt{1-\tilde{X}}} \text{ و } \tilde{X} = \frac{X}{1-Y}$$

عبارت (۲) می تواند به صورت زیر در نظر گرفته شود:

$$P'_f = H_0 + H_p \phi(f) \quad (3)$$

که برای موج های O داریم:

$$\phi_0 = \frac{1}{\sqrt{X_m}} \int_a^b M_0[X(t), Y, \theta] dt \text{ و } X(t) = 1 - \frac{1}{4} [\exp(t) + (1 - X_m) \exp(-t)]^2 \text{ و } X_m = \frac{f_m^2}{f^2} \text{ و } a = \ln \sqrt{1 - X_m} \text{ و } b = \ln(1 + \sqrt{X_m})$$

عبارات مشابه مربوط به موج های X به صورت زیر میباشند:

$$\phi_x = \frac{1}{\sqrt{\tilde{X}_m}} \int_a^b M_x[X(t), Y, \theta] dt \text{ و } \tilde{X}_m = \frac{X_m}{(1-Y)} \text{ و } X(t) = (1-Y) \times \left\{ 1 - \frac{1}{4} [\exp(t) + (1 - X_m) \exp(-t)]^2 \right\} \text{ و } a = \ln \sqrt{1 - \tilde{X}_m}$$

برای مجموعه فرکانس های گسسته عبارت (۳) می تواند به صورت یک سیستم معین سازی معادلات با دو مقدار ناشناخته ی h_0 و H_p بازنویسی شود:

$$p'_i = h_0 + H_p \phi_i \quad (4)$$

که در آن $p'_i = p'(f_i)$ و $\phi_i = \phi(f_i)$ و $i=1,2,3,\dots,n$ اجازه دهید فرض کنیم که خطاهای ε_i در اندازه گیری های مسیر گروهی سیگنال ها: (۱) به فرکانس عمق سنجی بستگی ندارد (۲) مقدارهای میانگین صفر $\langle E_i \rangle = 0$ و واریانس مشابه $\langle E_i^2 \rangle = \sigma^2$ را داشته

باشند. در این مورد عبارت زیر برای خطای نمونه ی میانگین درست می باشد: $\bar{E} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n E_i \approx 0$ از آنجا که هر مقداری از مسیرهای

گروهی می تواند به صورت یک مجموع با مقدار دقیق $p'_{e,i}$ و خطای اندازه گیری E_i وجود داشته باشد $p'_i = p'_{e,i} + E_i$ پس با توجه به فرمول (۴) مقدار متوسط نمونه برای مسیر گروهی می تواند به صورت $\bar{p}' = \bar{p}'_e = h_0 + H_p \bar{\phi}$ ظاهر شود و

$$\Delta p \rightarrow \hat{A} H_p \quad (5)$$

که در آن المان های بردار ستونی $\Delta \bar{P}'$ و ماتریس ستونی \hat{A} به صورت $\Delta \bar{P}'_i = p'_i - \bar{p}'_e$ و $A_i = \phi_i - \bar{\phi}$ می باشند بطوریکه $i=1, 2, \dots, n$ با حل مجدد سیستم ۵ به وسیله ی روش کمترین مربعات (LSM) نصف-ضخامت سهمی می تواند بدست آید:

$$H_p = (\hat{A}^T \hat{A})^{-1} \hat{A}^T \Delta \bar{P}' \quad (6)$$

و خطای میانگین مربعی می تواند به صورت زیر بدست آید:

$$S(H_p) = \sqrt{\frac{S_{\min} (\hat{A}^T \hat{A})^{-1}}{n-2}} \quad (7)$$

که در آن مجموع S_{\min} از باقیمانده های مربعات برای مسیر های گروهی به صورت زیر است:

$$S_{\min} = (\Delta \bar{p}' - \hat{A} H_p)^T (\Delta \bar{p}' - \hat{A} H_p) \quad (8)$$

در همه ی فرمول های بالا اندیس T به معنی ترانهاده می باشد. چگالی الکترون به فرکانس پلاسما به وسیله ی رابطه ی ساده ی $N = \alpha f_N^2$ و $\alpha = 1/24 \times 10^{10}$ مرتبط می باشد. که انتگرال گیری از آن با ارجاع به معادله ی (۱) ظرفیت کل الکترون را به صورت زیر به ما می دهد

$$TEC = \int_0^{h_s} N(h) dh = \frac{2}{3} \alpha f_m^2 H_p \quad (9)$$

خطای میانگین مربعی مربوط به TEC می تواند با استفاده از فرمول بالا به صورت زیر برآورد شود:

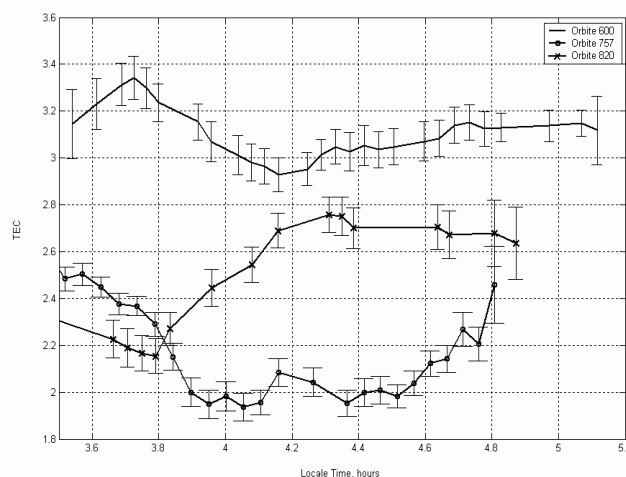
$$S(TEC) = \frac{TEC \left(\frac{2S(f_m)}{f_m} + \frac{S(H_p)}{H_p} \right)}{TEC} \quad (10)$$

زمانیکه به منشا خطاهای موجود در معین سازی پارامتر H_p توجه می کنیم سه عامل زیر باید در نظر گرفته شوند: الف) خطاهای موجود در اندازه گیری های مسیر گروهی (ب) اندازه گیری های غیر محلی ماهواره که در حدود ۴۵ کیلومتر در مدت ثبت ionogram از جای خود حرکت می کند. ج) انتخاب مدل معادل برای $N(h)$ به عنوان یک بستگی سهمی گون. در محاسبات ما فرض: $S(f_m) = 0,1$ در نظر گرفته شده اجازه دهید که یک مورد جزئی مهم را در روش معین سازی TEC توضیح دهیم. بنابراین به نظر می رسد که حتی یک مسئله ۲ پارامتری معین سازی h_0 و H_p برای مدل سهمی گون مشکل باشند. این مساله فقط با استفاده از روش مرتب سازی می توانند مجددا حل شوند. معین کردن TEC مستلزم یک دانش درباره ی یک نصف-ضخامت H_p سهمی می باشد (معادله ی ۹). بنابراین مساله به یک مساله ی یک پارامتری که می تواند به وسیله روش کمترین مربعات (معادله ی ۶) حل شود کاهش می یابد. مخصوصا بر طبق Plackett (۱۹۶۰)

خطای میانگین مربعی $\Delta p'$ به صورت زیر می باشد $\Delta p' = \sqrt{\frac{S_{min}}{n-2}}$ که در آن S_{min} از معادله (۸) محاسبه می گردد.

بحث و نتیجه گیری

نتایج محاسبات TEC ما برای سه مدار به صورت تابعی از زمان محلی در شکل ۱ نشان داده شده است. قبل از آشفتهگی های مغناطیسی (مدار ۶۰۰) مقدار TEC حداکثر می باشد. در مدت طوفان (مدار ۷۵۷) این مقدار حداقل می باشد و بعد از طوفان (مدار ۸۲۰) مقدار TEC دوباره افزایش می یابد. امروزه استفاده از فضای نزدیک به زمین مستلزم یک بازسازی نمودارهای چگالی الکترون در



شکل ۱. تغییرات زمانی TEC برای سه مدارنوعی.

یونسفر در زمان حقیقی و با دقت ماکسیمم می باشد. یک دلیل بزرگ خطاهای موجود در این بازسازی به جزئیات ناشناخته مکان و شکل موج یونسفر و دیگر ساختارهای مربوطه ارتباط دارد. نویسندگان به وسیله تحلیل داده های گرفته شده از چندین مدار ایستگاه MIR در حین یک طوفان مغناطیسی نشان داده اند که بازبینی یونسفری با استفاده از یک ionosonde بالا سو ما را مجاز می سازد که وجود و خصوصیات ساختارهای نوع TID را به خوبی موقعیت و شکل یک موج یونسفری و دیگر ساختارها معین کنیم. روش ارائه شده می تواند برای مطالعه کردن ساختار ظریف توزیع فضایی چگالی الکترون در یونسفر در طول دوره های طوفان های مغناطیسی مورد استفاده قرار گیرد.

منابع

- Williams, D. J. and Mead, G. D.: Magnetospheric physics, proceedings of the international symposium on the physics of the magnetosphere, Washington, 3-13 September 1968.
- Dymond, K. F. Foreword to special section: Remote sensing of the low- and middle latitude thermosphere and ionosphere from the ground and from space, *J. Geo. Res.*, 106(A12), 2001JA001100.2004, 28230-28130.
- Buonsanto, M. J., Ionospheric storms: A review, *Space Sci. Rev.*88, 563-601, 1999.
- Danilov, A. D., F-region reaction to magnetospheric storm, *J.Atmos.-Solar Terr. Phys.*, 63, 441-449, 2001.

Archive of SID