

بررسی اثرات خورشیدگرفتگی ۲۰ مرداد ماه ۱۳۷۸ بر لایه‌های F_1 و F_2 یونسفر (یون‌سپهر) و محاسبه ضریب ترکیب مجدد در پایگاه تهران

احمد رایین* و نسیم علوی*

*موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، صندوق پستی ۶۴۶۶-۱۴۱۵۵.

چکیده

هدف ما مطالعه تغییرات یونش (یونیزاسیون) لایه‌های مختلف جوی در روز خورشیدگرفتگی کلی و محاسبه ضریب ترکیب مجدد الکترون‌ها (α) است. برای این کار اندازه‌گیری‌ها با کمک یک دستگاه سونداژ یونسفری قائم با فواصل زمانی از ۱۵ دقیقه برای روز قبل گرفت تا ۱ دقیقه در هنگام گرفت صورت پذیرفت. داده‌های یونسفری از یونوگرام‌ها استخراج گردید و به کمک رابطه چگالی الکترونی و بسامد بحرانی لایه‌ها، چگالی الکترونی لایه‌ها محاسبه و نمودارهای چگالی الکترونی و ارتفاع هر لایه با زمان ترسیم شد. سپس ضریب ترکیب مجدد یا کاهش یونش در روز گرفت برای لایه F_1 محاسبه شد. نمودارهای به‌دست آمده بیانگر کاهش شدید چگالی یونش لایه‌های مختلف یونسفری است.

کلیدواژه: یونسفر، یونوگرام، ضریب ترکیب مجدد، چگالی یونش

۱ مقدمه

مغناطیسی زمین و همچنین تغییر در ارتفاع و چگالی یونش لایه‌های مختلف یونسفر را در بر می‌گیرد. مدت‌هاست که به هنگام خورشیدگرفتگی‌های کلی و جزئی، اندازه‌گیری‌های رادیویی در یونسفر انجام می‌شود. این اندازه‌گیری‌ها در ابتدا به منظور بررسی اثر گرفت بر انتشار امواج رادیویی صورت می‌پذیرفت. از طریق این اندازه‌گیری‌ها این واقعیت آشکار شد که یونسفر اساساً بر اثر تابش امواج الکترومغناطیسی خورشید ایجاد می‌شود و نه توسط ذرات باد خورشیدی (Mimno and Wang, 1933). سپس معادله پیوستگی یونسفر مورد توجه قرار گرفت و برای تعیین ضرائب میزان اتلاف الکترون یا آهنگ ترکیب مجدد یون‌ها تلاش شد (Minnis, 1954).

وقتی خورشیدگرفتگی جزئی یا کلی رخ می‌دهد، قسمت اعظمی از تابش‌های خورشیدی که باعث گرمایش و یونش جوی شوند، به زمین نمی‌رسند. بنابراین جوی، در ناحیه واقع در گرفتگی به تدریج سرد می‌شود. کاهش دما باعث کاهش فشار در مسیر گرفتگی می‌شود و واکنش باد را به دنبال دارد، در واقع بادهای افقی، روی این ناحیه همگرایی پیدا می‌کنند. این تغییرات کلی میدان باد، بر حرکت یونسفر تاثیر می‌گذارد و باعث وزش یونش به سمت بالا و پایین خطوط

یونسفر عامل اصلی ارتباطات رادیویی از راه دور در محدوده بسامدی ۱ MHz تا ۱۵ MHz است و به همین دلیل مطالعه ساختار یونسفر از ابعاد گوناگون و واکنش این لایه در مقابل امواج رادیویی در فصول مختلف سال و در دوره فعالیت‌های خورشیدی از اهمیت زیادی برخوردار است. یونسفر زمین شامل ترازهایی با حداکثر چگالی الکترونی است که به لایه‌های یونسفری معروف‌اند و آنها را با حروف E, D, و F نمایش می‌دهند. لایه F در روز به دو زیر لایه F_1 و F_2 تبدیل می‌شود. ساختار هر لایه را می‌توان با ارسال امواج رادیویی با دستگاه سونداژ یونسفری مطالعه کرد که اطلاعات را به صورت پروفایل‌های قائم بسامدهای ارسالی ارائه می‌دهد و با کمک آن اطلاعات می‌توان تغییرات چگالی الکترونی و ارتفاع هر لایه را بررسی کرد.

کسوف یا خورشید گرفتگی زمانی اتفاق می‌افتد که سایه یا نیمسایه ماه بر سطح زمین بیفتد و این عمل هنگامی امکان‌پذیر می‌شود که ماه، زمین و خورشید روی یک صفحه و مرکزهای آنها روی یک خط راست قرار بگیرند. در هنگام گرفت جزئی یا کلی، به علت کاهش یا فقدان تابش‌های خورشیدی، تغییرات شدیدی در جوی بالا مشاهده می‌شود که تغییرات در دما و الگوی کلی باد، شدت میدان

دیویس، مقدار این تابش را $2 \pm 25\%$ محاسبه کرده است (Davis et al., 2000).

۳ اندازه‌گیری یونسفری در هنگام خورشید گرفتگی ۲۰

مرداد ۱۳۷۸

دستگاه سونداژی که در این بررسی مورد استفاده قرار می‌گیرد سونداژ دیجیتالی یونسفری به نام یونوسید IPS71 است که امواج رادیویی را در دامنه بسامد ۱۲-۱/۶ MHz به صورت قائم به فضا می‌فرستد. یونوگرام‌ها با فاصله زمانی ۱۵ دقیقه در روز شاهد گرفته می‌شوند و در روز گرفت ابتدا به فاصله ۵ دقیقه و با آغاز گرفت هر ۱ دقیقه یک بار سونداژ صورت می‌گیرد. داده‌های یونسفری از روی یونوگرام‌ها به صورت خودپردازشگر خوانده می‌شود و سپس به صورت دستی مورد بررسی قرار می‌گیرد. دقت در خواندن مقادیر بسامد $0.5 \pm$ MHz و برای ارتفاع ۵ km است. روز قبل از گرفت را به‌عنوان روز شاهد در نظر می‌گیریم و چون در این تحقیق تغییرات سریع در لایه‌ها که بر اثر پدیده‌های گذرای مثل امواج یا رویدادهای خورشیدی صورت می‌گیرد، مدنظر نیست، یک منحنی به داده‌های آن برازش می‌دهیم. خورشید گرفتگی در پایگاه تهران ($51^\circ 23'$ و $35^\circ 44' 2$) در زمان $18/9/34$ (زمان رسمی تابستانی ایران، $10:39$ UT) آغاز شد و به حداکثر مقدار آن 94% در ساعت $16/27/55$ ($11:57$ UT) رسید و در ساعت $17/37/45$ ($13:07$ UT) پایان پذیرفت. شکل ۱ مسیر عبور نوار گرفتگی کلی را از روی ایران نشان می‌دهد (ملک‌پور، ۱۳۷۸).

۴ اثرات خورشید گرفتگی بر روی لایه‌های یونسفری

بعد از اینکه داده‌های یونسفری از یونوگرام‌ها استخراج شد با استفاده از رابطه بسامد بحرانی و چگالی الکترونی ($N_m = 1.24 \times 10^2 f_c^2$)، چگالی الکترونی برای هر لایه به دست آمد و سپس نمودارهای چگالی الکترونی و ارتفاع هر لایه با زمان ترسیم شد. با بررسی این نمودارها در مورد هر لایه به نتایج زیر می‌رسیم.

ناحیه E: در این منطقه احتمال شکل‌گیری لایه E_s اتفاقی بر اثر یونش غیر عادی وجود دارد که باعث می‌شود

میدان مغناطیسی می‌شود. همچنین به علت کاهش امواج یونیزه کننده و نیز به دلیل ترکیب مجدد یون‌ها در حین گرفت، یونش رو به زوال می‌رود و در واقع چگالی الکترونی به شدت کاهش می‌یابد (Roble et al., 1986).

در این مقاله تاثیر گرفت بر لایه‌های یونسفری مورد بررسی قرار گرفت و از آنجا که ضریب ترکیب مجدد را فقط در هنگام خورشید گرفتگی می‌توان به دست آورد، سعی شده است تا با معادله پیوستگی در یونسفر، ضریب مورد نظر محاسبه شود.

۲ محاسبه ضریب ترکیب مجدد

در زمان خورشید گرفتگی کلی یا جزئی، در توزیع الکترونی یونسفر تغییراتی ایجاد می‌شود. این تغییرات به‌خصوص در نواحی E, D و F_1 اتفاق می‌افتد ولی بعضی مواقع اثرات آن تا لایه F_2 هم گسترش می‌یابد. معادله پیوستگی در نواحی E و F_1 به صورت زیر است (Rishbelt et al., 1969).

$$dN_m/dt = q_m - \alpha N_m^2 \quad (1)$$

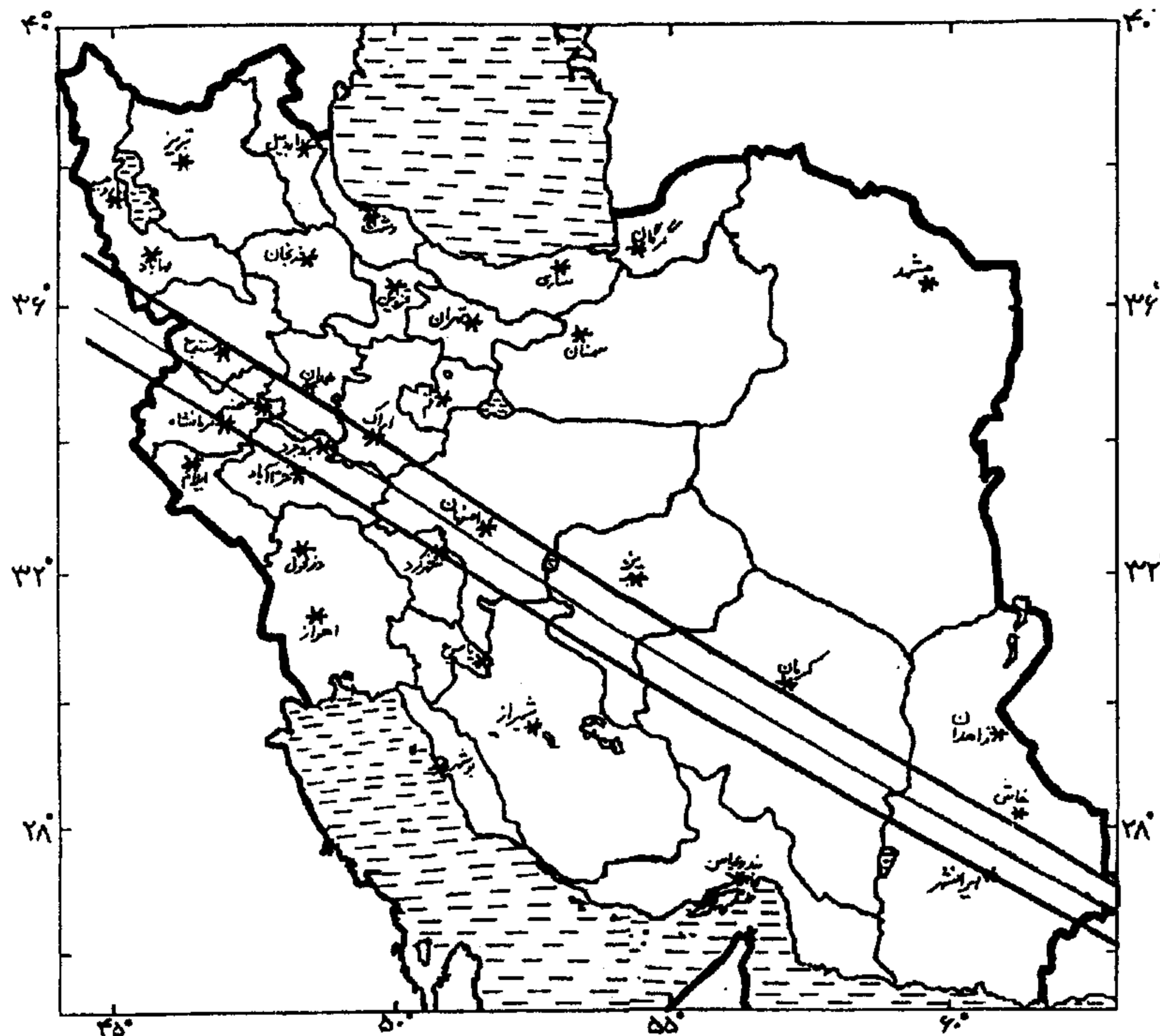
که N_m چگالی الکترونی بیشینه، q_m آهنگ تولید و α ضریب اتلاف یا ترکیب مجدد الکترون‌ها است. با توجه به نظریه چاپمن، برای جو همدم $q_m = q_0 \cos \chi$ است. که در آن χ زاویه سمت‌الرأس خورشیدی و q_0 آهنگ تولید در زمانی است که خورشید در سمت‌الرأس قرار دارد. اما در هنگام گرفت باید آن را در یک عامل $\varphi(t)$ که مساوی کسر پوشیده نشده قرص خورشیدی است، نیز ضرب کرد (با فرض اینکه تابش به‌صورت یکنواخت از سطح قرص خورشید گسیل می‌شود).

$$DN_m/dt = \varphi q_0 \cos \chi - \alpha N_m^2 \quad (2)$$

در هنگام گرفت، سطح خورشید به تدریج پوشیده می‌شود تا این‌که در زمان گرفت کلی، $\varphi = 0$ شده و α به صورت زیر در می‌آید.

$$\alpha = dN_m/dt/N_m^2 \quad (3)$$

α ای که از این روش به دست می‌آید از مقادیر پیش‌بینی شده نظری و مقادیر حاصل از روش‌های دیگر کوچک‌تر است، زیرا مقداری از تابش پرتو x و EUV از خرمن خورشیدی که با ماه پوشیده نمی‌شود، گسیل می‌شود.



شکل ۱. مسیر عبور نوار گرفتگی کلی خورشید در ۲۰ مرداد ۱۳۷۸ از روی ایران (ملکپور، ۱۳۷۸).

می‌دهد. چگالی الکترونی با شروع گرفتگی کاهش پیدا می‌کند و به حداقل مقدار خود (۴۰٪ مقدار قبل از گرفت) ۵۷ دقیقه بعد از لحظه بیشینه گرفتگی می‌رسد. مطالعات نشان داده است که کاهش دما و نشست هوا در هنگام گرفت، فرایندهایی هستند که در تغییر چگالی الکترونی موثرند و تاخیری زمانی بین حداکثر گرفتگی و بیشینه کاهش دما وجود دارد. بنابراین بین لحظه بیشینه گرفتگی و لحظه حداکثر کاهش چگالی الکترونی معمولاً تاخیری وجود دارد (Wodarg et al., 1998).

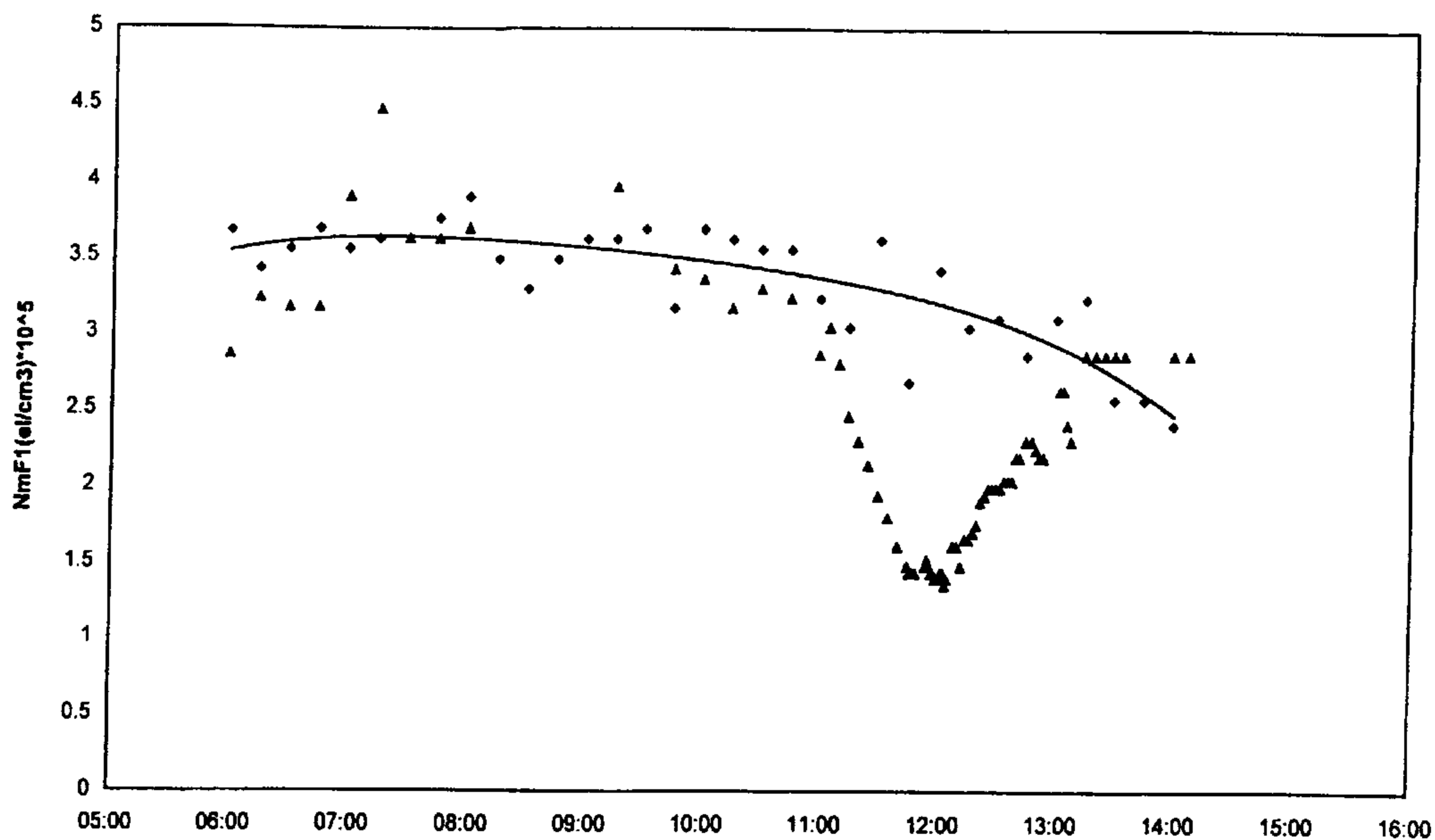
شکل ۴ تغییرات ارتفاع لایه F_2 را با زمان نشان می‌دهد. ارتفاع یونش در زمان کسوف، به علت سرمایش و در نتیجه، انقباض جو کاهش می‌یابد.

نیمرخ‌های چگالی الکترونی ارتفاع واقعی که از داده‌های یونسفیری و با استفاده از نرم‌افزار Kel Aerospace SMARTIST به دست می‌آیند، در شکل ۵ نشان داده شده‌اند. نیمرخ‌ها برای ساعت $10:30'$ UT (قبل از لحظه شروع گرفتگی)، و $10:45'$ UT (میان لحظه شروع گرفتگی و لحظه بیشینه گرفتگی) و در $11:57'$ UT (لحظه بیشینه گرفتگی) هستند. این شکل تغییرات در چگالی

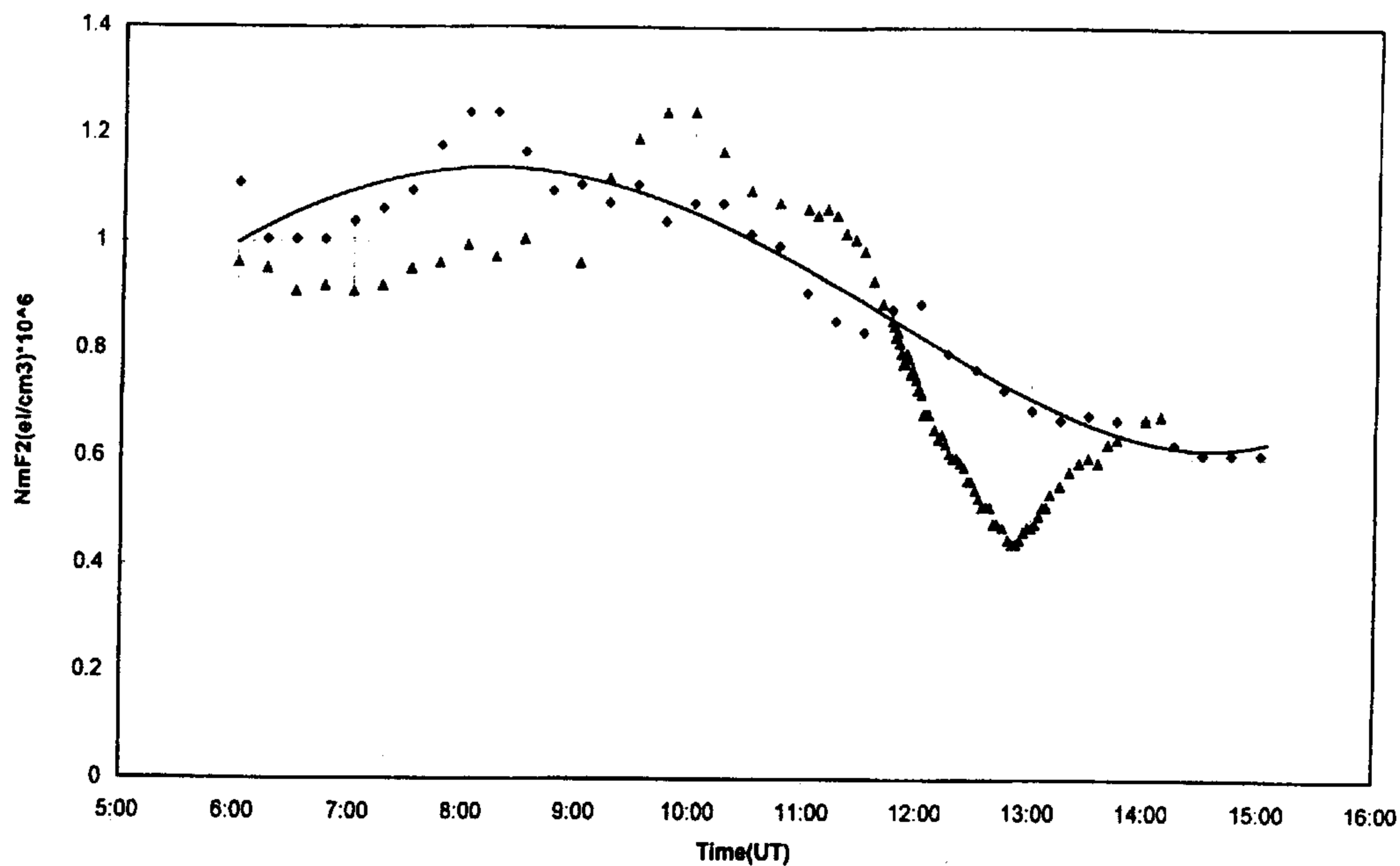
لایه‌های بالاتر به صورت جزئی یا کلی پوشیده شوند. از آنجا که در روز وقوع خورشیدگرفتگی با شکل‌گیری مکرر این لایه روبرو بودیم، خواندن بسامد بحرانی لایه E مشکل بود و خطای زیادی به همراه داشت. بنابراین نتایج واضحی در مورد تغییرات یونش آن به دست نیامد. ولی مشاهدات نشان می‌دهند که گرفت، اثر شدیدی بر لایه E به صورت کاهش بسامد بحرانی دارد (Bamford, 2001).

ناحیه F_1 : شکل ۲ تغییرات چگالی الکترونی این لایه را با زمان در روزهای شاهد و روز گرفت نشان می‌دهد. همزمان با شروع گرفتگی چگالی الکترونی کاهش می‌یابد و در لحظه بیشینه گرفتگی به حداقل مقدار خود یعنی ۴۴٪ مقدار خود در قبل از گرفت می‌رسد. از رابطه (۳) مقدار α را برای این لایه $3.6 \times 10^{-10} \text{ cm}^3/\text{s}$ محاسبه می‌کنیم.

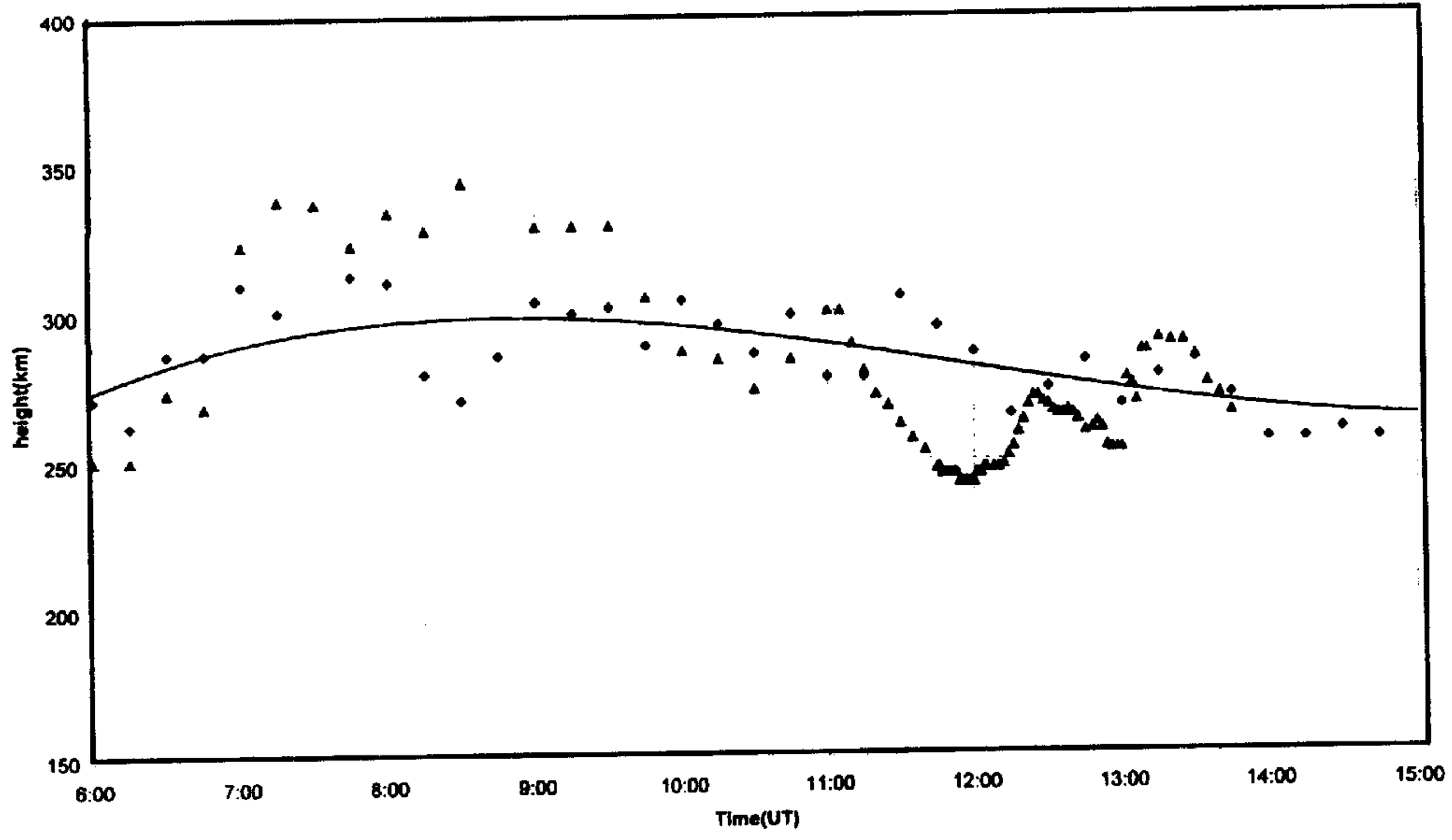
ناحیه F_2 : اثرات گرفتگی بر روی لایه F_2 بسیار متغیر است. در اغلب موارد تغییرات قابل توجهی در آن اتفاق می‌افتد اما قاعده و نظم کمی در این پدیده وجود دارد و ایستگاه‌های یونسفیری متفاوت، تغییرات متفاوتی را در این زمینه مشاهده می‌نمایند (Ratcliffe et al., 1956). شکل ۳ تغییرات چگالی الکترونی را در لایه F_2 با زمان نشان



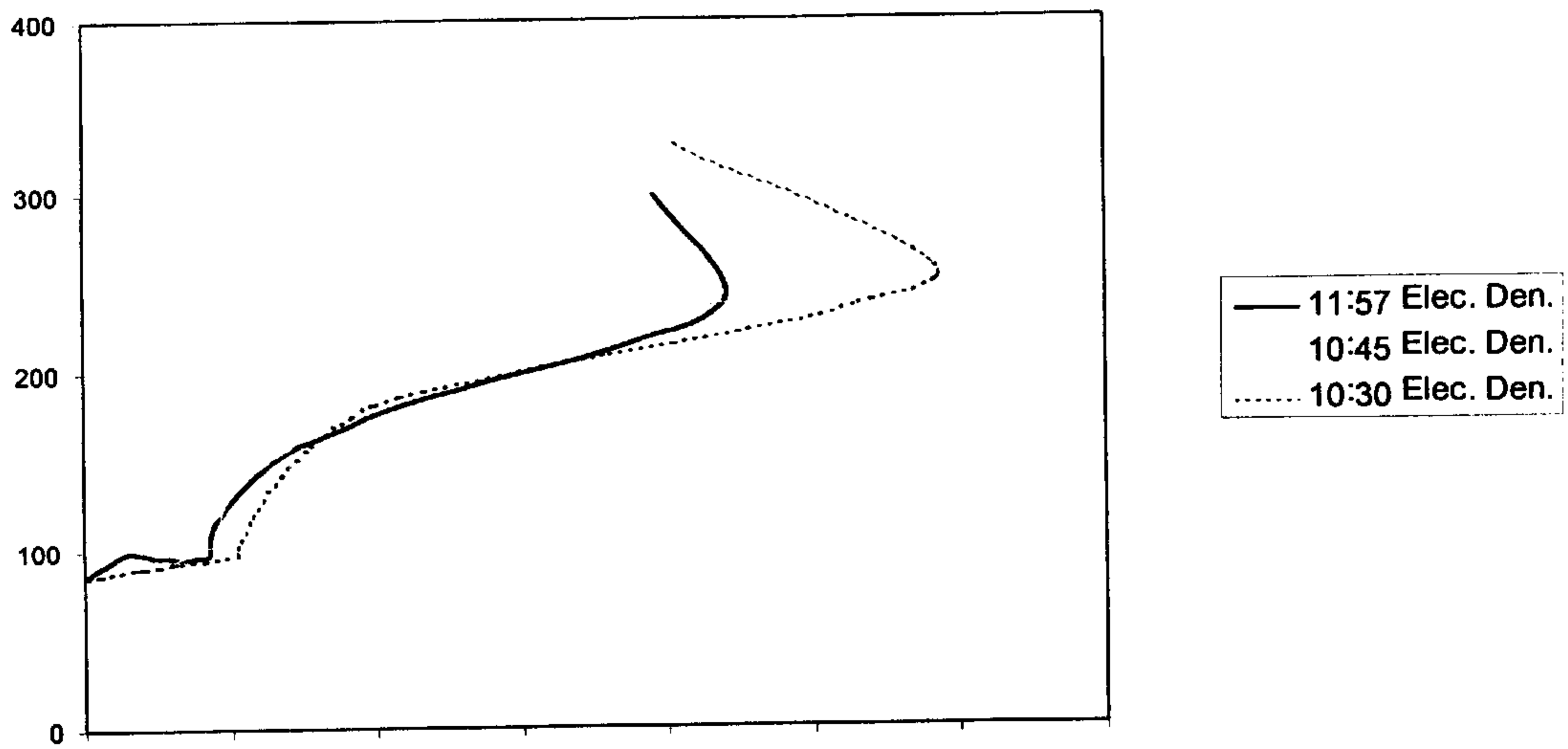
شکل ۲. تغییرات چگالی الکترونی لایه F₁ با زمان، در روز شاهد، ۱۰ اوت (●) و روز گرفتگی ۱۱ اوت ۱۹۹۹ (▲) و منحنی خط پر بر داده‌های روز شاهد برازش داده شده است.



شکل ۳. تغییرات چگالی الکترونی لایه F₂ با زمان، در روز شاهد، ۱۰ اوت (●) و روز گرفتگی ۱۱ اوت ۱۹۹۹ (▲) و منحنی خط پر بر داده‌های روز شاهد برازش داده شده است.



شکل ۴. تغییرات ارتفاع لایه F₂ با زمان، در روز شاهد، ۱۰ اوت (●) و روز گرفتگی ۱۱ اوت ۱۹۹۹ (▲) و منحنی خط پر بر داده‌های روز شاهد برازش داده شده است.



شکل ۵. نیمرخ‌های تغییر چگالی الکترونی با ارتفاع واقعی

- during the total solar eclipse of 11 August, 1999 and 9 July, 1945: *Ann. Geophysicae* **18**, 182 – 190.
- Davis, K., Ionospheric observations in Canada during the solar eclipse of 30 June 1954: *solar Eclipses and the Ionosphere*.
- Mimmo, H.R., and Wang, P.H., 1933, Continuous Kennelley – Heaviside layer records of a solar eclipse (with suggestions of a corpuscular effect on Appelton layer): *Proc. Inst. Radio Engrs.*, **21**, 529 – 545.
- Minnis, C.M., 1954, Ionospheric behavior at Khartoum during the eclipse of 25 February, 1952: *Jour. Atmos. Terr. Phys.*, **6**, 91-112.
- Muller-Wodarg, I.C.F., Aylward, A.D., and Lockwood, M., 1998, Effects of a mid -latitude solar eclipse on the thermosphere and ionosphere – A modelling study: *Geophys. Res. Lett.*, **25**, 3787 – 3790.
- Ratcliffe, J.A., 1956, A survey of solar eclipses and the ionosphere, *Eclipses and the Ionosphere*.
- Rishbeth, H., and Garriott, O.K., 1969, *International geophysics series, Introduction to ionosphere physics*: **14**.
- Robble, R.G., Emery, B.A., and Ridley, E.C., 1986, Ionospheric and thermospheric response overt Millstone Hill to the may 30, 1994 annual solar eclipse: *Jour. Geophys. Res.*, **91**, 1661 – 1670.
- الکترونی حداکثر و ارتفاعات را قبل از گرفت و در خلال آن به روشنی نشان می‌دهد.
- ۵ نتیجه‌گیری
- در این تحقیق اثر خورشیدگرفتگی ۲۰ مرداد ۱۳۷۸ بر یونسفر پایگاه تهران مورد بررسی قرار گرفت. کاهش شدید چگالی الکترونی در نواحی F_1 و F_2 مشاهده شد. مقدار α ، $3.6 \times 10^{-10} \text{ cm}^3/\text{s}$ محاسبه شد که به علت کلی نبودن گرفتگی در پایگاه تهران و همچنین در نظر نگرفتن تابش‌های گسیلی از خرمن خورشید، در محاسبه آن حدود ۴ درصد خطا وجود دارد.
- منابع
- ملک‌پور، ا.، خورشید گرفتگی ۲۰ مرداد ۱۳۷۸، مؤسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران.
- Bamford, R.A., 2001, The effect of the 1999 total Solar eclipse on the ionosphere: *Phys. Chem. Earth.*, **26**, 373-377.
- Davis, C.J., Lockwood, M., Bell, S.A., Smith, J.A. and Clarke, E.M., 2000, Ionospheric measurements of relative coronal brightness