

اثرات رعدوبرق بر پربیشیدگی‌های یون‌سپهری منطقه تهران

شیرین زندیان^{۱*}، محمد جغتایی^۲، محمدحسین معماریان^۲، سعید فرزانه^۳

^۱ کارشناس ارشد، دانشکده فیزیک، دانشگاه یزد، Shzandian@gmail.com

^۲ استادیار، دانشکده فیزیک، دانشگاه یزد

^۳ استادیار، دانشکده فنی دانشگاه تهران

چکیده

مقاله حاضر در راستای بررسی برهمکنش برخی پدیده‌های جو پایین از جمله طوفان‌های تندری بر جو بالا مخصوصاً لایه یون‌سپهر است. سازوکارهای انتقال اثرات جو پایین به جو بالا کامل شناخته‌شده نیست ولی تاکنون دو سازوکار عمده برای چنین برهمکنش‌هایی پیشنهاد شده است. نقش امواج گرانی در انتقال تکانه در تراز بحرانی نزدیک به میان‌ایست از یک طرف و تخلیه الکتریکی جو بالا از طرف دیگر، دو سازوکار محتمل است. در این پژوهش از داده‌های ایستگاه یونوسوند موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران و داده‌های همدیدی منطقه، جهت مشخص کردن ساعت‌های رخداد طوفان استفاده شده است. افزایش مشهود لایه Es در هنگام وقوع رخدادی از طوفان رعدوبرق مشاهده شد. تغییرات محتوای کلی الکترون قائم (VTEC) با رخداد طوفان همرفتی نیز بررسی شد. نتایج حاصل از آن در بازه زمانی مورد مطالعه، نشان‌دهنده افزایش قابل توجه بیشینه روزانه VTEC در زمان وقوع این طوفان همرفتی است. همچنین همبستگی بالای فرکانس بحرانی لایه F2 با VTEC مبین دقت و صحت مقادیر استخراج شده است.

واژه‌های کلیدی: VTEC، GPS، طوفان تندری، رعدوبرق، یون‌سپهر، جو بالا

Lightning Effects on Ionospheric Anomalies in Tehran Area

Shirin Zandian¹, Mohammad Joghataei², Mohammad Hossein Memarian², Saeed Farzaneh³

¹ M.Sc. in Meteorology, Yazd University, Yazd, Iran

² Assistant professor, Physics Department, Yazd University, Yazd, Iran

³ Assistant professor, Faculty of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran

Abstract

The interaction between lower and upper atmospheric phenomena such as thunderstorm activity with ionospheric anomaly is investigated in this study. The impact of such interaction is not fully understood but there are two main probable mechanisms include momentum deposition of gravity waves near mesopause and electrical discharges of upper atmospheric lightning. In this study, Ionosonde data of Geophysics Institute of the University of Tehran and synoptic data are used to identify the convective storms and corresponding interaction. In addition, a monthly and daily change in Vertical Total Electron Content (VTEC), which was processed from Tehran's GPS station, is also used. The results show increases in daily maximum VTEC and sporadic E layer frequency during the convective storm. A high correlation between f2 critical frequency and VTEC confirms the validity of results.

Key words: GPS, Lightning, Thunderstorm, VTEC, Ionosphere, upper atmosphere

۱ مقدمه

لایه یون‌سپهر زمین شامل تعداد قابل ملاحظه ای الکترون آزاد، یون و ترکیبات خنثی است که با هم برهمکنش دارند. می‌دانیم در جو با افزایش ارتفاع، غلظت ترکیبات خنثی کاهش می‌یابد در حالی که چگالی الکترونی و یونی متفاوت و پیچیده‌تر است. تا ارتفاع حدود ۱۰۰ کیلومتری ترکیبات جو همگن آمیخته شده‌اند در حالی که بالای آن یعنی ناهمگن‌گره جدایش پختی اتفاق می‌افتد. با توجه به این نکته یون‌سپهر خود از پایین به بالا به زیرلایه‌های D، E، Es، F₁ و F₂ تقسیم می‌شود که هر کدام از این زیرلایه‌ها با مشخصاتی هم‌چگالی الکترونی، ارتفاع مجازی و واقعی و فرکانس بحرانی متمایز از هم دارند. این لایه نقش تعیین‌کننده‌ای در ارتباطات رادیویی در کره زمین دارد.

جفت‌شدگی و برهمکنش بین لایه‌های مختلف جو وجود دارد. در این پژوهش برهمکنش بین جو پایین (تا حدود ۱۰ کیلومتری) و جو بالا (بالای ۹۰ کیلومتری) مورد اهمیت است. این برهمکنش، شامل انتقال جرم و انرژی از لایه‌های پایین‌تر به لایه‌های بالاتر می‌شود. ری‌کرافت و همکاران در سال ۲۰۰۵ بیان کردند که جفت‌شدگی الکتریکی بالاسو بین وردسپهر و یون‌سپهر پایینی وجود دارد. این پدیده به واسطه چرخه جهانی الکتریکی جو توسط منبع‌های الکتریکی واقع در وردسپهر همچون طوفان‌های تندری، سامانه‌های همرفتی میان‌مقیاسی و گروهی و ابرهای رگباری الکتریکی شده، شناخته شده‌است. تونو و ولینو نیز در سال ۲۰۱۶ نشان دادند که طوفان‌های تندری نقش مهمی در جفت‌شدگی الکتریکی بالاسو بین لایه وردسپهر و یون‌سپهر پایینی به‌وسیله میدان‌های شبه استاتیکی تولید شده توسط شرایط آرام (به وسیله‌ی تغییرات اندک بارهای الکتریکی) دارند.

جفت‌شدگی بالاسو بین وردسپهر و یون‌سپهر به‌صورت رخدادهای درخشان گذرا و دیگر پدیده‌های یون‌سپهر پایینی نمایش داده می‌شود. سازوکارهای انتقال اثرات جو پایین به جو بالا کامل شناخته شده نیست ولی دیویس و جانسون (۲۰۰۵) دو سازوکار عمده برای بی‌هنجاری‌های گزارش‌شده بالای ابرهای همرفتی را ارائه دادند. نقش امواج گرانی در انتقال تکانه در تراز بحرانی نزدیک به میان‌ایست از یک طرف و تخلیه الکتریکی از طرف دیگر دو سازوکار محتمل است. رخداد درخشان گذرا (Transient Luminous Events: TLE) و یا رعدوبرق‌های بالاسو یکی از پدیده‌هایی است که بر انتقال اثرات جو پایین به بالا دلالت دارد. TLE رخدادهای بزرگ مقیاس و بصری هستند که در پوشش‌سپهر و یون‌سپهر زیرین اتفاق می‌افتند. این رعدوبرق‌های بالاسو، تخلیه الکتریکی کوتاه‌مدتی دارند و به طور مستقیم به فعالیت الکتریکی طوفان‌های تندری مرتبط هستند. TLE معمولا در بالای رعدوبرق‌های معمولی و ابرهای طوفانی اتفاق می‌افتد. پاسکو (۲۰۰۸) در مقاله خود از انواع مختلفی از TLE ها نام برده است که می‌توان به شبخ (Sprite)، ELF، جت آبی (Blue Jet) و جت غول‌پیکر (Gigantic Jet) اشاره کرد.

به طور کلی هدف از انجام این مطالعه بررسی اثر رعدوبرق‌های حاصل از ابرهای همرفتی روی جو بالا و بررسی ارتباط بین وردسپهر و یون‌سپهر از طریق سازوکار تخلیه الکتریکی است. که در ادامه به تفسیر مراحل، روش‌ها و نتایج این کار خواهیم پرداخت.

۲ روش تحقیق

در این پژوهش از چهار نوع داده همدیدی، یون‌سپهری GPS، WWLLN (World Wide Lightning Location Network) و یونوسوند استفاده شده است. داده‌های یون‌سپهری پس از پردازش داده‌های خام GPS حاصل شدند درحالی‌که دیگر داده‌ها به طور مستقیم اندازه‌گیری شده بودند. در ادامه به روند و بررسی هرکدام از این داده‌ها خواهیم پرداخت.

۱. داده‌های یونوسوند

با توجه به محدودیت داده‌های تنها یونوسوند دیجیتالی (ایستگاه اندازه‌گیری مستقیم یون‌سپهر) موجود در ایران و اهمیت این داده‌ها در بیان فرضیه پژوهش محدوده زمانی و مکانی این داده‌ها مبنای کار قرار گرفت. با توجه به این مبنا داده‌های فرانکس معمولی و ارتفاع مجازی لایه‌های Es و F2 در بازه زمانی مطالعه مورد نظر از ماه جولای سال ۲۰۰۶ تا ژوئن سال ۲۰۰۷ در منطقه تهران (35.4°N, 51.2°E) مورد بررسی قرار گرفت.

۲. داده‌های همدیدی

داده‌های همدیدی از ایستگاه فرودگاه مهرآباد در مطالعه پیش رو مورد استفاده قرار گرفته‌است. مناطق همرفتی شامل ابرهای کومه‌ای، رگبارها، طوفان‌ها و رعدوبرق‌ها از جو آرام و پایدار جدا شد و با توجه به آن زمان طوفان‌های همرفتی مشخص گردید. طوفان‌هایی که پس از آن جو آرام بود (که تنها اثر رعدوبرق بر جو بالارا معین می‌کند)، جدا کرده و به تفصیل مورد بررسی قرار دادیم.

۳. داده‌های WWLLN

WWLLN، شبکه مکانی رعدوبرق در سراسر جهان، دارای بیش از ۶۰ گیرنده رادیویی در سرتاسر کره زمین است. این گیرنده‌ها به شبکه اینترنت و کامپیوتری مرجع متصل هستند که با دریافت پالس‌های رادیویی هنگام وقوع رعدوبرق می‌توانند

داده‌های تقریباً لحظه‌ای رعدوبرق را ثبت و گزارش کند. این داده‌ها شامل تعداد ایستگاه‌هایی که صاعقه را در بازه زمانی مورد مطالعه (Nsta.) ثبت کرده‌اند، می‌شود.

با توجه به محدوده رعدوبرق مورد مطالعه که ۳۰ مه ۲۰۰۷ بوده است هفت روز قبل و هفت روز بعد از آن برای تطبیق اطلاعات همدیدی محدوده و اطلاعات WWLLN در نظر گرفته شده است.

۴. داده‌های یون‌سپهری

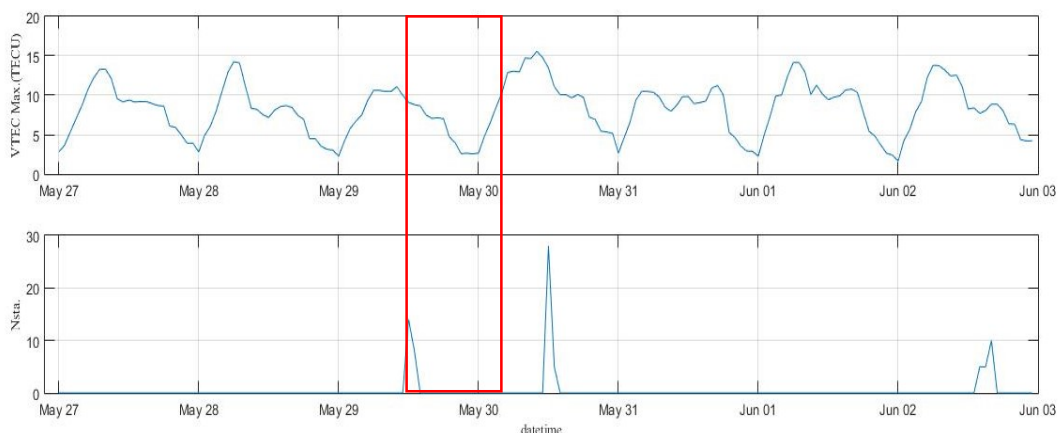
داده‌های یون‌سپهری مورد استفاده در این تحقیق، محتوای کلی الکترونی قائم (VTEC) است که از پردازش داده‌های خام مربوط به ایستگاه GPS تهران با نام اختصاری teh نام استخراج شده است. محتوای کلی الکترونی قائم عبارت از تعداد الکترون‌های موجود در ستون یون‌سپهری به سطح مقطع ۱ مترمربع از ارتفاع ۶۰ تا ۱۰۰۰ کیلومتری جو است. واحد محتوای کلی الکترونی قائم TECU است. هر TECU شامل 10^{16} الکترون بر متر مربع است.

ابتدا از داده‌های ایستگاه هواشناسی مهرآباد مناطق فعال همرفتی و شرایط آرام در بازه مورد مطالعه پیدا شد. این مناطق همرفتی با داده‌های WWLLN مورد مقایسه و ارزیابی قرار می‌گیرد. سپس در دوره مورد نظر، فرکانس و ارتفاع بحرانی لایه Es مورد تحلیل قرار می‌گیرد. همزمانی مناطق همرفتی با وقوع رخداد رعدوبرق، با متغیرهای ارتفاع لایه Es که نشان از ارتباط الکتریکی بین جو پایین و جوبالاست، آشکارسازی می‌گردد. در آخر نیز همبستگی بین مولفه‌های داده‌های یونوسوندی مورد مطالعه و بیشینه و میانگین محتوای الکترونی قائم در بازه زمانی یک ماهه ۱۶ مه ۲۰۰۷ تا ۱۴ ژوئن ۲۰۰۷ مورد بررسی قرار می‌گیرد.

با توجه به داده‌های WWLLN و داده‌های تعداد ایستگاه‌هایی که رخداد رعدوبرق را در شبکه جهانی WWLLN در منطقه تهران با دقت نیم درجه در تعیین موقعیت، ثبت کرده‌اند استخراج شد.

با توجه به محدودیت داده‌های یونوسوند و بررسی مولفه‌های لایه Es و F2، که به ترتیب از لایه‌های یون‌سپهر پایینی و بالایی هستند، در زمان طوفان همرفتی و وجود جو آرام پس از آن، طوفان ۳۰ مه سال ۲۰۰۷ برای بررسی فرضیه و مقایسه داده‌ها انتخاب شد. از جمله دلایل این انتخاب را می‌توان به آرام بودن جو پس از طوفان، قرارگیری طوفان در فصل بهار و کافی بودن داده‌های این دو لایه در زمان قبل و بعد از طوفان نام برد.

سری زمانی فرکانس معمولی و ارتفاع مجازی لایه Es در دوره ای پانزده روزه قبل و بعد از طوفان ۳۰ مه رسم شد. مشاهدات نشان‌دهنده دوره روزانه مشخصی در فرکانس است. فرکانس به تابش نور خورشید و فعالیت‌های خورشیدی وابستگی شدیدی دارد. با توجه به اینکه خورشید در این سال در حالت فعال نبوده، این وابستگی خود را تنها به صورت عامل تابشی نشان داده‌است. با محاسبه پایشیدگی فرکانس و ارتفاع در این لایه، برای از بین بردن اثرات روزانه، و با مقایسه سری زمانی فرکانس معمولی و ارتفاع مجازی نسبت به طوفان همرفتی ۳۰ مه مشاهده شد که در زمان وقوع طوفان فرکانس این لایه افزایش و ارتفاع کاهش نسبی داشته‌است.



شکل ۱- تغییرات بیشینه VTEC نسبت به زمان بالا، تعداد ایستگاه‌های WWLLN که رعدوبرق را ثبت کرده‌اند. در ۳۰ مه ۲۰۰۷ در زمان وقوع رعدوبرق VTEC به 15.57 TECU و بیشینه خود رسیده است.

در آخر با توجه به خطای یون‌سپهری از داده‌های GPS، مقادیر VTEC برای بازه هفت‌روزه ۲۷ مه تا ۲ ژوئن ۲۰۰۷ استخراج شد. با توجه به کوتاه دوره بودن رخداد رعدوبرق و طوفان‌های تندی، تغییرات بیشینه VTEC نسبت به بازه زمانی رسم شد (شکل ۱). مشاهده می‌شود که در زمان بیشینه VTEC، ایستگاه‌های WWLLN بیشتری رعدوبرق را ثبت کرده است. هرچه تعداد ایستگاه‌هایی که رعدوبرق را گزارش کرده بیشتر باشد، رعدوبرق قوی‌تری رخ داده و در نتیجه احتمال وقوع رعدوبرق بالاسو در این رخدادها بیشتر است.

همینطور با بررسی همبستگی بین فرکانس معمولی و ارتفاع مجازی لایه‌های Es و F2، همبستگی بالایی (در حدود ۸۴ درصد) بین بیشینه VTEC و فرکانس معمولی لایه F2 مشاهده شد.

۳ نتیجه‌گیری

رابطه معناداری بین مناطق همرفتی و داده‌های رعدوبرقی با پارامترهای یون‌سپهری در مورد طوفان در منطقه تهران آشکارسازی شد. سازوکارهای محتمل برهمکنش جو پایین و بالا مرور شد و یکی از سازوکارهای در این مورد که سازوکار الکتریکی است، مورد توجه بیشتری قرار گرفت. با توجه به مطالعه انجام‌شده، افزایش مشهود لایه Es در هنگام وقوع رعدوبرق مشاهده شد. همچنین تغییرات بیشینه محتوای کلی الکترون قائم (VTEC) با رخداد طوفان همرفتی نیز بررسی شد که نتایج حاصل از آن در بازه زمانی مورد مطالعه، نشان‌دهنده افزایش قابل توجه بیشینه روزانه VTEC در زمان وقوع این طوفان همرفتی است. همچنین همبستگی بالای فرکانس بحرانی لایه F2 با بیشینه VTEC نشان از دقت و صحت مقادیر استخراج دارد.

منابع

- Davis, C. J., & Johnson, C. (2005). Lightning-induced intensification of the ionospheric sporadic E layer. *Nature*, *435*, 799-801. doi:10.1038/nature03638
- Rycroft, M., Israelsson, S., & Price, C. (2000). The global atmospheric electric circuit, solar activity and climate change. *Atmos. Sol.-Terr.*, *62*, 1563-1576.
- Tonev, P., & Velinov, P. (2016). Vertical coupling between troposphere and lower ionosphere by electric currents and fields at equatorial latitudes. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 39-47.
- V.P. Pasko, Blue jets and gigantic jets: transient luminous events between thunderstorm tops and the lower ionosphere. *Plasma Phys. Control. Fusion* *50*, 124050 (2008)