نشربه علمي مهندسي فناوري اطلاعات مكاني

سال یازدهم، شماره سوم، پاییز ۱۴۰۲ Vol.11, No.3, Autumn 2023 ۱ – ۱۹ مقاله پژوهشی

ارزیابی مشاهدات چگالی الکترونی ماهوارههای Swarm و CSES به منظور استفاده در مطالعات یونسفری

هانیه طباطبایی^{(*}، مسعود مشهدی حسینعلی^۲

۱- دانشجوی دکترای ژئودزی، دانشکده مهندسی نقشهبرداری، دانشگاه صنعتیخواجه نصیرالدین طوسی ۲- دانشیار گروه ژئودزی، دانشکده مهندسی نقشهبرداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۰۶/۱۰ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۰۹/۲۲

چکیدہ

مشاهدات مستقیم پارامترهای یونسفری اطلاعات دقیقی درباره یونسفر فراهم میکنند که از مهمترین آنها میتوان به مشاهدات یونوسوند و پروب لانگمویرهای (Langmuir Probes) نصب شده بر روی ماهواره ها اشاره کرد. در حال حاضر در کشور ایران ایستگاه یونوسوند فعال وجود ندارد، بنابراین مشاهدات پروب لانگمویرها میتوانند کمک شایانی به مطالعات یونسفری کنند. این تحقیق به مقایسه و ارزیابی مشاهدات چگالی الکترونی پروب لانگمویر نصب شده روی سه ماهواره سوآرم (Swarm) متعلق به آژانس فضایی اروپا و ماهواره لرزهنگاری-الکترومغناطیسی چین (CSES) پرداخته است. توزیع جهانی مشاهدات چگالی الکترونی ماهوارههای A sum و گری خان وجود مشاهدات دو ماهواره برای مدارهای بالاگذر (شب) و مدارهای پایین گذر (روز) نشان داد. ضرایب همبستگی بین مشاهدات این دو ماهواره در روز و شب به ترتیب ۹۲۶۸/ و ۲۸۱۷۱، محاسبه گردید که نشاندهنده انطباق بالای آنها است. مقایسه رفتار مشاهدات چگالی الکترونی در روز و شب به ترتیب ۹۲۶۸/ و ۲۸۱۷۱، محاسبه گردید که نشاندهنده انطباق بالای آنها است. مقایسه رفتار مشاهدات چگالی الکترونی در روز و شب به ترتیب ۹۲۶۸/ و ۲۸۱۷۱، محاسبه گردید که نشاندهنده انطباق بالای آنها است. مقایسه رفتار مشاهدات چگالی الکترونی در معمل تقاطع مدارات همزمان، همین نتایج را تایید کرد. ضرایب همبستگی بین مشاهدات چگالی الکترونی ماهوارههای ۸. B و ۲ ماموریت گردید که نشان می دهد مشاهدات چگالی الکترونی ماهواره اید ۲۵۹۸/ و ۹۰۹/ و برای شب به ترتیب مقادیر کالی (به ۲۵۹۸/ محاسبه این دو ماهواره باشد. بررسی نسبت مقادیر چگالی الکترونی ماهواره B swarm که عمیستهاند که می تواند به دلیل ارتفاع نزدیک ماهوارههای ۳۰۸۹ و SSC برای روز به ترتیب ماهواره اید ۲۵ میدی داند که میداند که می تواند به دلیل ارتفاع نزدیک گردید که نشان می دهد مشاهدات چگالی الکترونی ماهواره اید SSC مین داند که مقدار حکالی الکترونی ماهواره ایند که مقدار در ماهواره ۲۵ میتها این دو ماهواره باشد. بررسی نسبت مقادیر چگالی الکترونی ماهواره ۲۵ محاسب دان داد که مقدار چالی الکترونی ماهواره ۸ ایفلب حدود ۴ تا ۷ برابر SSC است. همچنین بررسی مقادیر چگالی الکترونی حاصل از مدل یونسفری مرجع جهانی (IRI) با مشاهدات ماهوارههای Swarm دو که مقادیر دید این داره ای مقادیر ایم ایکترونی اندازه گیری شده توسر SS در مقایسه با SS در ترای ماهواره دیگر و نزدیک به مقاد

كليدواژهها : مشاهدات مستقيم پارامترهای يونسفری، پروب لانگموير، چگالی الكترونی.

[®] نویسنده مکاتبه کننده: تهران- خیابان ولیعصر- تقاطع میرداماد- روبروی ساختمان اسکان- دانشکده مهندسی نقشهبرداری.، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران.

سال یازدهم شماره سوم پاییز ۱۴۰۲

۱– مقدمه

یونسفر اولین بار در سال ۱۹۰۱ زمانی که مارکنی^۱ سیگنالهای رادیویی را با موفقیت بر فراز اقیانوس اطلس ارسال کرد، معرفی شد و لوژ^۲(۱۹۰۲) اولین نظریه فیزیکی یونسفر را ارائه کرد [۱]. اپلتون⁷و بارنت⁴و همچنین بریت⁶و توو²(۱۹۲۵) با استفاده از روشهای ژرفاسنجی امواج رادیویی، وجود یونسفر را در آتمسفر بالا تقریباً در سال ۱۹۲۴ تأیید کردند و همین، آغاز مطالعات یونسفری را رقم زد [۳۹].

چگالی و دمای یونسفر دو پارامتر اصلی هستند که وضعیت یونسفر را مشخص میکنند و اغلب مشاهدات مرتبط با یونسفر به دنبال جستجوی این پارامترها هستند [۴و۵]. این پارامترها از سال ۱۹۶۰ توسط راکتها، ماهوارهها و ابزارهای سنجش از دور زمینی اندازهگیری میشوند [۶]. به طور کلی، مشاهدات مربوط به یونسفر به دو دسته مشاهدات مستقیم^۷یا درون جا^۸و مشاهدات سنجش از دور یا غیرمستقیم^۹ تقسیمبندی میشوند [۵و۷].

مشاهدات مستقیم در مقایسه با مشاهدات غیرمستقیم، اندازه گیریهای دقیق پارامترهای فیزیکی یونسفر را ارائه میدهند [۸]. اغتشاشات چگالی یونسفری در لایه بالای F2 یونسفر متمرکز است و اندازه گیریهای مستقیم توسط ماهوارههای مدار پایین زمین (LEO)^۱ می تواند برای مطالعه توزیع بینظمیهای یونسفری، اقلیمشناسی و سایر خصوصیات یونسفر با وجود تراکم

Marconi
Lodge
Appleton
[†] Barnett
Breit
Tuve
direct measurements
^in-situ
indirect measurements
Low Earth Orbit

یایین ایستگاههای زمینی مورد استفاده قرار گیرد [۹]. این دادهها می توانند همانند اندازه گیری های یونوسوند برای ارزیابی نتایج توموگرافی نیز مورد استفاده قرار بگیرند. امروزه ابزارهایی که برای اندازه گیری چگالی و دمای یونسفر مورد استفاده قرار میگیرند، شامل پـروب لانگمویر⁽(در این تحقیق به اختصار LP نامیده می-شود)، رادارهای پراکندهساز همبسته (ISR)^۱ یونوسوندها و گیرندههای GNSS هستند [۴]. هر کـدام از این ابزارها از روشهای خاص و متفاوتی برای اندازه-گیری و پردازش دادههای چگالی و دمای یونسفر استفاده مي كنند. بنابراين، هر ابزار داراي نقاط قوت و محدودیتهای خاص خود است [۴]. ماهوارههای سوآرم و ماهواره لرزهنگاری-الکترومغناطیسی چین (CSES)⁽مجهـز بـه سنسـور LP بـوده و مشـاهدات مستقیم از لایه یونسفر در اختیار کاربران قرار میدهند که منابع داده بسیار مهم و باارزشی را بـرای مطالعـات یونسفر و توسعه و ارزیابی مـدلهـای یونسـفری فـراهم میکنند [۹]. دادههای چگالی الکترونی که توسط ماهواره CSES بهدست میآید، مکمل مشاهدات ماهوارههای Swarm بوده و مجموعه جامعی از اندازه-گیریهای مستقیم چگالی الکترونی را برای مطالعه یونسفر همراه با دادههای دومین ماهواره CSES که در سال ۲۰۲۲ پرتاب می شود، ارائه خواهند کرد [۱۰].

سال ۲۰۲۱ پرتاب می سود، ارائه خواهند تره (۲۰۱ بر اوی میلیا). بر روی ماهواره دو سنسور *LP* نصب می شود که به قرار داده می شوند. *LP* در واقع یک الکترود است که در داخل پلاسما قرار داده می شود. اگر ولتاژ متغیر متناوب به الکترود اعمال شود، دما و چگالی الکترونی بر اساس منحنی تغییرات جریان بر حسب ولتاژ اعمال شده تعیین می شود [۱۱].

^vIncoherent Scatter Radar

"Swarm

^{&#}x27;'Langmuir Probe

¹⁶China Seismo-Electromagnetic Satellite

دادههای یونسفری دقیق در بهبود پیشبینیهای آب و هوای فضا، ارتباطات، دقت سیستمهای ناوبری و برای درک عمیقتر پدیدههای یونسفری نقش مهمی دارند. در همین راستا، برخی محققین به مقایسه اندازه گیری-های چگالی الکترونے LP و دادہ های سایر ابزار ها و تكنيكها پرداختهاند [۴، ۱۲ و ۱۳]. پداتلا و همکارانش (۲۰۱۵) مشاهدات LP ماهواره ۲۰۱۵^۲را با اندازه گیری های آکولتیشن رادیویی COSMIC ^۳ مقایسه کردند [۱۳]. اگرچه هدف آنها ارزیابی چگالی الکترونے حاصل از دادہ ہای آکولتیشن رادیوی COSMIC در بالای یونسفر بود ولی آنها دریافتند که هر دو داده با ضریب همبستگی ۰٬۹۰ دارای سازگاری بالایی هستند و مقادیر چگالی الکترونی COSMIC به-طور متوسط ۱۴٬۹ درصد بزرگتر هستند. مـک نامـارا^۴و همکارانش (۲۰۰۷) مقادیر فرکانس های پلاسمای یونوسوند را با LP ماهواره CHAMP مقایسه کردند که نشان داد مقادیر LP به طور سیستماتیک ۴٫۲ درصد کمتر است [۱۲]. لومیدزه⁶و همکارانش (۲۰۱۷) داده LP ماهواره Swarm را با مشاهدات رادار پراکندهساز همبسته و داده آکولتیشن رادیویی COSMIC مقایسه کردند. بر اساس نتایج آنها، LP ماهواره Swarm فركانس پلاسما را به طور سيستماتيك حدود ١٠ درصد کمتر نشان میدهد [۴].

وانگ و همکارانش (۲۰۱۹) چگالی الکترون CSES را با ماهوارههای Swarm مقایسه کردند و نتایج آنها سازگاری بالایی بین دو مجموعه داده را نشان داد [۱۰]. بازه زمانی دادههای CSES مورد استفاده در مطالعه آنها ۲ ماه را شامل میشود. یان ²و همکارانش

`Pedatella

^{*}Challenging Minisatellite Payload ^{*}Constellation Observing System for Meteorology, Ionosphere, and Climate ^{*}McNamara ^aLomidze ^{*}Yan

ارزیابی مشاهدات چگالی الکترونی ماهوارههای Swarm... هانیه طباطبایی و مسعود مشهدی حسینعلی

(۲۰۲۰) از دادههای بیشتری برای مقایسه چگالی الکترونی و دمای یونسفر حاصل از دادههای CSES و Swarm B استفاده کردند [۱۴]. همچنین دادههای یونسفری قابل اعتماد حاصل از رادار پراکندهساز همبسته نیز در یان و همکاران استفاده شد. مطالعات آنها فقط به دادههای مدارهایی که از میلستون هیل می گذرد، محدود می شود. با توجه به اینکه در کشور ایران دسترسی به مشاهدات مستقیم یونوسوند در حال حاضر وجود ندارد و ارزیابی نتایج مطالعات یونسفری با چالش هایی مواجه است، استفاده از داده ای LP این ماهوارهها می تواند مشکل را برطرف کند. با توجه به اهمیت موضوع، در این تحقیق دادههای چگالی الکترونی مشاهده شده توسط CSES و ماهوارههای مم با پوشش جهانی و هم توسط Swarm A, B, C مدارات همزمان منطقهای با هم مقایسه و تجزیه و تحليل شده است. همچنين با توجه به اينكه پيش بينی-های مدلهای مرجع یونسفری (IRI) در مطالعات یونسفری بهطور گستردهای مورد استفاده قرار می گیرد، مشاهدات چگالی الکترونی ماهوارههای Swarm و CSES با مقادیر پیش بینی مدل IRI2016 نیز مقایسه و ارزیابی شده است.

۲- معرفی دادههای استفاده شده

در این بخش، ماهوارههای Swarm و CSES به همراه فایلهای مشاهداتی آنها معرفی شده است.

CSES -۱-۲ داده ماهواره

ماهواره لرزهای-الکترومغناطیسی CSES، که I-1 ^۸ نیز نامیده میشود، با موفقیت در ۲ فوریه ۲۰۱۸ پرتاب شد. CSES اولین ماهواره چینی است که میتواند داده-های جهانی در حوزه میدان الکترومغناطیسی، پلاسما و ذرات انرژی را برای پایش و مطالعه پدیدههای فیزیکی در یونسفر به منظور شناسیایی نوسیانات الکترومغناطیسی یونسفر هنگام وقوع زمینلرزهها ارائه

^vInternational Reference Ionosphere ^kZhangHeng-1

سال یازدهم • شماره سوم • پاییز ۱۴۰۲

است. بنابراین حدود ۳۰ فایل برای مشاهدات هر روز به دست خواهد آمد [۱۰]. لازم به یادآوری است که در مدارهای نزدیک به قطبی، ماهواره در یک سمت مدار به سوی قطب شمال و در نیمه دوم مدار خود به سوی قطب جنوب حركت ميكند كه اين مدارات بهترتيب، مدارهای بالاگذر (صعودی) و پایین گذر (نزولی) نامیده می شوند. اگر مدار موردنظر، مدار خور شید آهنگ باشد، مدارهای بالاگذر در سمت شب زمین قرار می گیـرد، در حالی که مدار پایین گذر به سمت نور خورشید و روز است. داده ماهواره CSES در ۵ سطح موجود است که متداول ترین آنها داده level 2 است که شامل مقادیر فیزیکی کالیبره شده با اطلاعات مداری ماهواره پس از انتقال سیستم مختصات و معکوس سازی دادههای level 1 در صورت نیاز است (www.leos.ac.cn). در این تحقیق نیےز از دادہ level 2 بے ای انجے محاسبات استفاده شده است.

۲-۲- داده ماهواره Swarm

ماهواره Swarm در ۲۲ نوامبر ۲۰۱۳ توسط آژانس فضایی اروپا (ESA) پرتاب شد. این مأموریت شامل سه ماهواره مشابه با نامهای (A) Alpha (B) Bravo و معاقواره مشابه با نامهای (A) مطالعه میدان (C) معناطیسی زمین و برهم کنش آن با سیستم زمین عنوان گردید [۶۴]. دو ماهواره A و C در مدارات قطبی عنوان گردید [۶۴]. دو ماهواره A و C در مدارات قطبی با فاصله ۱/۴ درجه در طول جغرافیایی و ارتفاع تقریبی در کتند، در حالی که ماهواره B در مدار قطبی بالاتری مرکتند، در حالی که ماهواره B در مدار قطبی بالاتری درجه در مدار خود حرکت می کند! هدف اصلی درجه در مدار نومغناطیسی زمین با دقت swarm بسیار بالا، توسعه زمانی آن و میدان الکتریکی اتمسفر است، اما به دلیل آرایش خاص مدارات و تجهیز با

^thttps://earth.esa.int/eogateway/missions/swarm

دهد [1۵]. CSES مـاهواره خورشـيدآهنگ دايـروي بـا زاویه میل ۹۷٬۴ درجه و ارتفاع حدود ۵۰۷ کیلومتر است و نقاط گرهی نزولی و صعودی آن به ترتیب در ساعات ۱۴:۰۰ و ۲:۰۰ به وقت محلى اتفاق مے افتـد. پريود يک مدار دايروي کامل حدود ۹۴٬۶ دقيقه است، بنابراین در یک روز حدود ۱۵ دور کامل را طی می کند. گذر ماهواره CSES هر ۵ روز یکبار تکرار میشود، به عبارت دیگر، ماهواره بعد از ۵ روز مدارهای خود را تکرار می کند و هر گذر ماهواره شامل ۷۵ مدار با توزیع مکانی یکنواخت است. میانگین فاصله بین دو گذر ماهواره حدود ۴،۸ درجه یا تقریبا ۵۰۰ کیلومتر در منطقه استوایی است. داده CSES عرضهای جغرافیایی ۶۵۳– تا ۲۵۶ را یوشش می دهد [۱۰]. CSES به هشت ابزار علمی مجهز است که اطلاعات پیوستهای از پلاسهای یونسفر، میدان مغناطیسهی و امهواج الکترومغناطیسی و ذرات انرژی فراهم می کند. یکی از این ابزارها LP است که دما و چگالی الکترونی یونسفر را به ترتیب در محدوده 10^{13} تا 10^{13} بر حسب 1×10^{13} بر و ۵۰۰ تا ۱۰۰۰۰ بر حسب کلوین اندازه گیری m^{-3} می کند [۴]. ماهواره Swarm مجهز به دو سنسور LP است که سنسور اول سنسور اصلی است و سنسور دوم به عنوان سنسور پشتیبان است. این سنسورها به دو روش اقدام به اندازه گیری داده می کنند. روش اول بنام survey کے دمای الکترون و چگالی الکترونے را با رزولوشین زمانی ۳ ثانیه و رزولوشین مکانی ۲۳٬۴ کیلومتر تعیین میکند و روش دوم بنام burst که این پارامترهای اصلی را با رزولوشن زمانی ۱٫۵ ثانیه و رزولوشن مکانی ۱۱٫۷ کیلومتر اندازه گیری میکند [۱۴]. این دادهها با فرمت HDF5 ذخیره و به کاربران ارائه می گردد. هر فایل شامل داده نیم مدار است و به عبارت دیگر دو فایل برای هر مدار وجود دارد که نشان دهنده مشاهدات بالاگذر (شب) و پایین گذر (روز)

[&]quot;European Space Agency

[`]ascending `descending

ابزارهای دقیق به یک مرجع کلیدی برای مطالعات علمی در زمینه مغناطیس سنجی/ یونسفر تبدیل شده است. ابزار مرتبط با میدان الکتریکی (EFI) که شامل دو LP است، علاوه بر داده مربوط به میدان ژئومغناطیسی، دادههای چگالی الکترونی و دمای الکترونی را با رزولوشن زمانی ۲ هرتز اندازه گیری می-کند [۱۷، ۱۸ و ۱۹]. این دادهها جزو مشاهدات مستقیم و با دقت بالا محسوب می شوند که مے توانند همانند اندازه گیریهای یونوسوند برای ارزیابی نتایج توموگرافی نیز مورد استفاده قرار بگیرند. داده ماهواره-های Swarm از ۲ دسامبر ۲۰۱۳ موجود است. این دادهها در فرمت CDF ذخیره شده و از طریق وبسایت https://swarm-diss.eo.esa.int در اختیار کاربران قرار داده شده است. این دادهها در دو سطح Level 1b و Level 2 در دسترس کاربران قرار می گیرد. سطح Level 1b شامل دادههای تصحیح شده هر سه ماهواره است و سطح Level 2 شامل دادههای حاصل از تلفیق اندازه-گیریهای سه ماهواره و بهبود در کیفیت داده است. از آنجایی که دادههای سطح Level 1b به دلیل داشتن سری زمانی مشاهدات کالیبره شده و تصحیح شده اغلب مورد استفاده قرار می گیرد، بسیاری از محققان از این داده برای بررسی یونسفر و پدیدههای آن استفاده کردهاند [۹، ۲۰، ۲۱]. بر همین اساس در این مقاله نیز دادههای Level 1b از منظومه ماهوارههای Level از منظومه مورد استفاده قرار گرفته است.

۳- روش تحقیق

ماهوارههای Swarm همزمان با ماهواره CSES در ارتفاع مشابه در حال حرکت هستند. ارتفاع مشابه و همچنین پارامترهای مشاهداتی مشابه این دو ماهواره، امکان مقایسه دادههای آنها را میسر میکند. لازم به ذکر است از آنجایی که توزیع چگالی الکترونی یونسفر به ویژه در لایه F2 در طول مدارات پایین گذر (روز) و بالاگذر (شب) متفاوت است، تمام محاسبات برای روز و شب به طور جداگانه انجام گرفته است. شکل (۱) مدارات ماهوارههای A Swarm و CSES در طول شب و

روز برای تمام روزهای ماه آگوست ۲۰۱۸ که از کشور ایران میگذرند، نمایش میدهد. اگرچه ماهوارههای Swarm و CSES به طور همزمان در مدار خود حرکت می کنند، محدودہ عرض جغرافیایی و زمان آنہا با هم متفاوت است. بنابراین برای مقایسه چگالی الکترونی دو ماهواره، باید دو معیار در نظر گرفته شود: الف) معیار مکانی و ب) معیار زمانی. برای معیار مکانی، دادههایی که عرض جغرافیایی آنها بین ۶۵- درجه تا ۴۵+ درجه است و از عرضهای جغرافیایی مشابه هم عبور می-کنند، انتخاب می شود. برای معیار زمانی نیز از دادههای ماهوارههای Swarm که با فاصله زمانی یک ساعت قبل و یک ساعت بعد از داده ماهواره CSES عبور میکنند، استفاده گردیده است. این معیار توسط کاکینامی و همکـارانش (۲۰۱۳) بـرای ارزیـابی دادهـای مـاهواره Swarm با ماهواره DEMETER' پیشنهاد گردید [۶]. با درنظر گرفتن دو معیار مکانی و زمانی فوق، در این تحقیق از دادههایی که از عرض جغرافیایی تقریبا یکسان در زمان تقریبا یکسان عبور میکنند، استفاده گردیده است.

برای مقایسه دادههای چگالی الکترونی حاصل از ماهوارهای Swarm و CSES، دو رویکرد مختلف انتخاب شده است: ۱). مقایسه الگوهای توزیع جهانی چگالی الکترونی دو داده انتخابی و ۲). مقایسه دادههای منطقهای همزمان و هم مکان که این حالت در محل تقاطع مدارات اتفاق میافتد؛ به عبارت دیگر دادههای مشاهده شده توسط دو ماهواره در مدارهای متقاطع با زمان مشابه انتخاب گردید.

۴– نتایج عددی

در این بخش، نتایج از دو دیدگاه مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. در ابتدا به مقایسه الگوهای توزیع جهانی دو داده انتخابی پرداخته شده است. سپس، مقایسه منطقهای دو داده انجام شده است.

¹Detection of Electro-Magnetic Emissions Transmitted from Earthquake Regions



نشریه علمی – مهندسی فناوری اطلاعات مکانی

(ت)

۳۸

٣۶

٣۴

٣٢

۳.

۲۸

۲۶

۲۴

٣۶

٣۴

٣٢

٣٠

۲٨

۲۶

۲۴

۴۵

عرض جغرافيايي (درجه)

۴۵

عرض جغرافيايي (درجه)

شکل ۱: مدارهای Swarm A و CSES که در ماه آگوست ۲۰۱۸ از ایران می گذرند، شکلهای (الف) و (پ): مدارهای بالاگذر (شب) و شکلهای (ب) و (ت): مدارهای پایین گذر (روز) را نشان میدهند.

۴-۱- توزیع جهانی چگالی الکترونی ماهوارههای Swarm e Swarm

ماه آگوست سال ۲۰۱۸ با توجه به اینکه معیارهای زمانی و مکانی مطرح شده در بخش (۳) را دارا می-باشد، برای مقایسه الگوهای توزیع جهانی چگالی الکترونی به دست آمده از مشاهدات LP ماهوارههای Swarm و CSES انتخاب گردید. همچنین تمام آنالیزهای انجام شده در شرایط ژئومغناطیسی آرام انجام شده است و روزهایی که یونسفر در وضعیت

ژئومغناطیسی آشفته و فعال قرار دارد، از محاسبات حذف گردیده است.

به منظور بهدست آوردن توزيع جهانی چگالی الکترونی دو ماهواره Swarm A و CSES، گامهای زیر انجام شده است:

الف) مشاهداتی که عرض جغرافیایی آنها بین ۶۵- تا ۶۵+ درجه و طول جغرافیایی آنها بین ۱۸۰- تـا ۱۸۰+ درجه هستند، انتخاب گردید. شبکهای ایجاد گردید که رزولوشن مسطحاتی آن، عرض جغرافیایی ۲٫۵ درجه و ارزیابی مشاهدات چگالی الکترونی ماهوارههای Swarm... هانیه طباطبایی و مسعود مشهدی حسینعلی

عدم استفاده از مقدار میانگین دادههای هر سلول، کاهش اثرات دادههای اشتباه بر روی نتایج میباشد. پ) این فرایند برای هر یک از ماهوارههای A Swarm و CSES برای شب و روز به طور جداگانه محاسبه و ترسیم گردید. شکل (۲) نتایج به دست آمده را نمایش میدهد.





همانگونه که شکل(۲) نشان میدهد، توزیع جهانی چگالی الکترونی برای دو ماهواره A Swarm و CSES هم برای روز و هم برای شب دارای رفتار کاملا مشابهی است. مقادیر ماکزیمم چگالی الکترونی برای روز در امتداد استوای ژئومغناطیسی برای هر دو ماهواره مشاهده می شود. همچنین مقادیر ماکزیمم چگالی الکترونی در شب در عرض جغرافیایی مغناطیسی حدود

طول جغرافیایی ۵ درجه هستند.

ب) مشاهدات دو ماهواره در دو بخش شب و روز

تفکیک گردید و دادههایی که در هر سلول شبکه قرار

می گیرند، مشخص گردید. برای هـر سـلول، مشـاهداتی

که در طی ماه آگوست از آن عبور کردهاند، تشکیل یک مجموعه را میدهند که داده میانه این مجموعه به

عنوان مقدار نهایی آن سلول در نظر گرفته شد. علت

± ۴۰ درجه مشاهده می شود که با آنومالی های چگالی الکترونی یونسفر در شب که توسط برخی محققین مورد بررسی قرار گرفته است، همخوانی دارد [۲۲و۲۳]. تغییرات چگالی الکترونی در امتداد طول جغرافیایی برای منطقهای که ماکزیمم چگالی الکترونی اتفاق میافتد، برای هر دو ماهواره مشابه هم هستند. علاوه بر الگوهای توزیع بسیار مشابه توزیع جهانی چگالی

نشریه علمی – مهندسی فناوری اطلاعات مکانی

سال یازدهم • شماره سوم • پاییز ۱۴۰۲

الکترونی دو ماهواره، یک ویژگی دیگر که از شکل (۲) میتوان نتیجه گرفت، تغییرات سازگار در طول زمان بین دو مجموعه داده است. با این حال، اختلاف در مقادیر چگالی الکترونی برای دو داده نشان میدهد که مقادیر چگالی الکترونی برای ماهواره A Swarm، بسیار بزرگتر از CSES است.

به منظور ارزیابی دقیقتر دادهای چگالی الکترونی ماهوارهای A Swarm A و CSES، ضریب همبستگی

برای دادههای شکل (۲) محاسبه گردید. مقدار ضریب همبستگی دو داده برای شب و روز بهترتیب ۸۱۷۱، و ماهواره به دست آمد که نشان میدهد دادههای دو ماهواره به شدت همبستهاند. نمودار پراگندگی بین دو دسته مشاهدات مطابق شکل (۳) ترسیم گردید و معادله بهترین خط قابل برازش به مشاهدات برای شب و روز محاسبه گردید که در شکل (۳) بر روی خطوط برازش داده شده نوشته شده است.





شکل ۳: نمودار پراکندگی چگالی الکترونی برای مدارهای A Swarm و CSES در ماه آگوست ۲۰۱۸، (الف): مدارهای بالاگذر (شب) و (ب): مدارهای پایین گذر (روز) را نشان میدهند.

ارزیابی مشاهدات چگالی الکترونی ماهوارههای Swarm... هانیه طباطبایی و مسعود مشهدی حسینعلی

> به منظور ارزیابی کمی و دقیق تر مقادیر چگالی الکترونی حاصل از دو ماهواره فوق، نسبت چگالی الکترونی ماهواره A Swarm به CSES برای هر سلول شبکه شکل (۲) محاسبه گردید. هیستوگرام این نسبت-ها در شکل (۴)، برای شب و روز برای ماهواره-

های A Swarm و CSES نمایش داده شده است. شکل (۴) نشان میدهد که در اغلب موارد هم برای مدارهای بالاگذر و هم پایین گذر، چگالی الکترونی ماهواره Swarm A حدود ۴-۲ برابر از CSES بیشتر است.



شکل ۴: هیستوگرام نسبت چگالی الکترونی ماهواره Swarm A به CSES، (الف): مدارهای بالاگذر (شب) و (ب): مدارهای پایین گذر (روز)

۴-۲- مقایسه دادههای همزمان Marm و Swarm و sail مهزمان ماهوارههای محانی و و cSES، مداراتی از دو ماهواره که دو معیار مکانی و زمانی را دارا هستند، انتخاب گردید. روزهای انتخاب شده برای این مقایسه در جدول (۱) بیان گردیده است. ماهوارههای CSES در روزهایی که ماهوارههای CSES و تقریبا همزمان هستند. شکلهای (۵) و (۶) این مدارات را به همراه پروفیلهای تغییرات چگالی این مدارات را به همراه پروفیلهای تغییرات چگالی

الکترونی آنها در امتداد عرضهای جغرافیایی به ترتیب برای مدارات بالاگذر (شب) و پایین گذر (روز) نشان میدهند.

نتایج شکلهای (۵) و (۶)، نشان میدهد که رفتار چگالی الکترون در امتداد عرضهای جغرافیایی تقریباً یکسان است. علاوه بر این، حتی برخی از تغییرات کوچک برای این دو داده مشابه هم هستند و ماکزیمم-ها و مینیممهای همزمان در عرضهای جغرافیایی تقریباً یکسان مشاهده می گردد.

Swarm A, B, با ماهواره CSES	همزمان ماهوارههای 🤉	برای بررسی مدارهای	جدول ۱: روزهای انتخاب شده
-----------------------------	---------------------	--------------------	---------------------------

	Swarm A	Swarm B	Swarm C
CSES	۲・۱ ۸/・۸/۳۱	T•19/•A/TV	۲・۱۸/・۸/۲・

سال یازدهم • شماره سوم • پاییز ۲ ۱۴۰



شکل ۵: تغییرات چگالی الکترونی مشاهدات *Swarm A, B, C و CSES* برای مدارهای بالاگذر، شکلهای (الف)، (ب) و (پ): مسیر ماهوارهها و شکلهای (ت)، (ث) و (ج): تغییرات چگالی الکترونی را در امتداد عرض جغرافیایی نشان میدهند.

ارزیابی مشاهدات چگالی الکترونی ماهوارههای Swarm...

هانیه طباطبایی و مسعود مشهدی حسینعلی



شکل ۶: تغییرات چگالی الکترونی مشاهدات *Swarm A, B, C و CSES* برای مدارهای پایینگذر (روز)، شکلهای (الف)، (ب) و (پ): مسیر ماهوارهها و شکلهای (ت)، (ث) و (ج): تغییرات چگالی الکترونی را در امتداد عرض جغرافیایی نشان میدهند.

نشریه علمی – مهندسی فناوری اطلاعات مکانی

سال یازدهم • شماره سوم • پاییز ۱۴۰۲

برای بررسی بیشتر و دقیق تر رفتار چگالی الکترونی، شبکهای با رزولوشن مسطحاتی ۲٫۵ درجه عرض جغرافیایی و ۵ درجه طول جغرافیایی (شبکهای که برای بررسی توزیع جهانی چگالی الکترونی در نظر گرفته شد) تشکیل شد. مجموعه دادههای هر یک از سلولهای شبکه برای شکلهای (۵) و (۶) به عنوان دنباله ایجاد گردیدند.

مقدار میانه هر مجموعه به عنوان مقدار نهایی هر سلول انتخاب شد و برای دو بردار نهایی که نشان دهنده مقادیر چگالی الکترونی برای جفت ماهوارهها هستند، ضرایب همبستگی به منظور بررسی میزان سازگاری توزیع چگالی الکترونی حاصل از ماهوارههای CSES و Swarm محاسبه گردید. مقادیر به دست آمده در جدول (۲) آمده است.

	Swarm A / CSES	Swarm B / CSES	Swarm C/CSES
مدارهای بالاگذر (شب)	٠ _/ 太٩٩٠	•,9 \$\$Y	•,٨١٨١
مدارهای پایین گذر (روز)	•,٩١٩٩	۰,۹۱۳۸	٠ _/ ٩٠٩٩

جدول ۲: ضرایب همبستگی بین چگالی الکترونی ماهواره CSES با ماهوارههای Swarm

ضرایب همبستگی بالای بین دو مجموعه داده نشان میدهد که دادههای ماهواره CSES با هر سه ماهواره Swarm، به شدت همبستهاند. اگرچه دادههای این دو ماهواره دامنه عرض جغرافیایی وسیعی را شامل می شوند و از لحاظ مقدار به طور چشمگیری متفاوت هستند و در مدت زمان نسبتاً کوتاهی مشاهده شدهاند، اما جزئیات بسیار مشابهی دارند و ضرایب همبستگی بالای ۰٬۸۰ سازگاری بالا و تغییرات نسبی دقیق بین دو ماهواره در طول مسیر را اثبات می کند. این موضوع به ویژه برای ماهواره Swarm B بسیار مشهودتر است که می تواند به دلیل اختلاف ارتفاعی پایین آن با ماهواره Swarm A در مقایسه با ماهوارههای CSES و Swarm باشد. همچنین نمودارهای پراکندگی برای سلولهای Cشبکه فوقالذکر مربوط به شکلهای (۵) و (۶) نیز ترسیم گردید. سپس معادلات خطی مربوط به هر کدام از دادههای ماهوارههای CSES با Swarm A, B, C برای مدارات بالاگذر (شکل(۵)) و مدارات یا پین گذر (شکل(۶)) به دست آمد.

نتایج به دست آمده در شکل(۲) قابل مشاهده هستند. شـکل (۲-الـف) نمـودار پراکنـدگی دادههای مـاهواره *Swarm-A* بـا مـاهواره CSES را در روز ۳۱ آگوسـت *Swarm-A* بـای مـدارات بالاگـذر نشـان مـیدهـد و رابطـه خطی 60.094x+3280.96 برای آن محاسبه گردیـده است. مقایسه شکلهای (۳-الف) و (۲-الف) یکـدیگر را تایید میکنند. شکل (۳-الف) نمـودار پراکنـدگی داده-ایید میکنند. شکل (۳-الف) نمـودار پراکنـدگی داده-های مـاهواره *Swarm A* با مـاهواره CSES را در مـاه های مـاهواره ۲۰۱۸ بـرای مـدارات بالاگـذر ترسـیم کـرده و رابطه خطی 70.1034x+4312.80 را در ماه آمده است که با رابطه خطی شـکل (۲-الـف) مطابقـت دارد. همچنین نتایج مشابهی برای شکلهـای (۲-ت) و دارد. ماده است.



شکل ۷: نمودار پراکندگی چگالی الکترونی مشاهدات A Swarm و CSES ، شکلهای (الف)، (ب) و (پ): مدارهای بالاگذر مربوط به شکل (۵) و شکلهای (ت)، (ث) و (ج): مدارهای پایینگذر مربوط به شکل (۶) را نشان میدهند.

نشریہ علمی – مہندسی فناوری اطلاعات مکانی

سال یازدهم • شماره سوم • پاییز ۱۴۰۲

۴–۳– مقایسه دادههای Swarm و CSES با داده-های IRI

با توجه به اینکه IRI یک مدل مرجع بین المللی برای پبش بینی پارامترهای یونوسفر است و در بسیاری از مطالعات و تحقیقات یونسفری دارای نقش بسیار مهمی است. در این بخش، مشاهدات LP ماهوارههای CSES و Swarm با IRI مقایسه گردیده است. بر همین اساس، چندین روز از ماههای مختلف انتخاب گردیده و مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به اینکه ارتفاع ماهواره بررسی قرار گرفت. با توجه به اینکه ارتفاع ماهواره نتایج این دو ماهواره با IRI در یک شکل مقایسه گردیده است. اما از آنجایی که ماهوارههای A Swarm و گردیده است. اما از آنجایی که ماهوارههای CSES در مدار IRI میکند، نتایج آنها به طور جداگانه با IRI

مقایسه گردیده است. شکل (۸) نتایج به دست آمده برای ماهوارههای B Swarm B و CSES و مدل IRI2016 را برای مدارات پایین گذر (روز) و بالاگذر (شب) نشان میدهد. برای این منظور، مدارات همزمان ماهوارههای میدهد. برای این منظور، مدارات همزمان ماهوارههای Swarm B و Swarm 2 برای روز ۲۲ آگوست سال ۲۰۱۸ تعیین گردید و سپس، مقادیر چگالی الکترونی یونسفر با استفاده از مدل IRI2016 در زمان و موقعیت جغرافیایی مدارات همزمان B Swarm و CSES، به دست آمد.

چگالی الکترونی یونسفر محاسبه شده توسط LP نصب شده بر روی ماهواره A Swarm با IRI و همچنین CSES با IRI نیز مقایسه گردید که در شکلهای (۹) و (۱۰) نتایج این مقایسه به ترتیب برای مدارات پایین-گذر و بالاگذر نشان داده شده است.



شکل ۸: مشاهدات چگالی الکترونی ماهوارههای Swarm A و مدلهای IRI روز ۲۷ آگوست ۲۰۱۸، (الف): مربوط به مدار پایین گذر و (ب) مربوط به مدار پایین گذر میباشند.



شکل ۹: مشاهدات چگالی الکترونی ماهوارههای CSES Swarm A و مدلهای IRI شکلهای بالا مربوط به مدار پایینگذر روز ۳۱ آگوست ۲۰۱۸ و شکلهای پایین مربوط به مدار پایینگذر روز ۲۰ آگوست ۲۰۱۸ میباشند.

از شکلهای (۹) و (۱۰) میتوان به طور واضح این نتیجه را گرفت که چگالی الکترونی یونسفر در مدارات پایین گذر (روز) در اطراف ناحیه استوایی یک پیک را نشان میدهد که شکل (۲) نیز آن را تأیید میکند. همچنین، چگالی الکترونی اندازه گیری شده توسط *IP* نصب شده بر روی ماهوارههای Swarm بزرگتر از ماهواره میباشد و مقادیر حاصل از مدل *IRI* بزرگتر از ماهواره *IRI* مستند. به عبارت دیگر، مقادیر حاصل از *IRI* مابین مقادیر اندازه گیری شده توسط ماهوارههای

CSES و Swarm هستند. پدیده تخمین بیش از حد مدل IRI نه تنها توسط ما بلکه توسط سایر محققان نیز شناسایی شده است. به عنوان نمونه، کاکینامی^۱و همکارانش به این نتیجه رسیدند که مقادیر چگالی BEMETER مهکارانش به این نتیجه رسیدند که مقادیر چگالی حدود ۲۰٪ کمتر از مقادیر مدل IRI در طول روز هستند [۶].

[`]Kakinami

سال یازدهم 🛛 شماره سوم 🕒 یاییز ۱۴۰۲



شکل ۱۰: مشاهدات چگالی الکترونی ماهوارههای Swarm A و مدلهای IRI. شکلهای بالا مربوط به مدار بالاگذر روز ۳۱ آگوست ۲۰۱۸ و شکلهای پایین مربوط به مدار بالاگذر روز ۲۰ آگوست ۲۰۱۸ میباشند.

همچنین لیو^۱و همکارانش (۲۰۲۱) با مقایسه داده IRI و مدل IRI به این نتیجه رسیدند که مدل IRI اغلب موارد، مقادیر چگالی الکترونی یونسفر را ۲-۲ برابر و بیش از ۲ برابر مقادیر CSES به ترتیب در شب و روز نشان میدهد[۲۴]. همچنین لاهر^۲و همکارانش روز نشان مقایسه داده IRI با داده ماهوارههای

CHAMP و GRACE نشان دادند که مقادیر IRI برای سال ۲۰۰۸ تا ۵۰ درصد و سال ۲۰۰۹ بیش از ۶۰ درصد بزرگتر از مقادیر ماهوارههای CHAMP و GRACE بوده و پیشبینیهای بیش از حد بالا عمدتاً در عرضهای جغرافیایی پایین در ساعات روز رخ می دهند[۲۵]. بنابراین می توان گفت اگرچه احتمال دارد داده CSES مقادیر چگالی الکترونی را دست پایین اندازه گیری کند ولی در مقایسه با چگالی الکترونی اندازه گیری شده توسط ماهوارههای Swarm از صحت بالایی بر خوردارند.

Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2025-07-07]

[`]Liu `Lühr

در مورد داده ماهواره A Swarm و ماهواره CSES که در این تحقیق هـم بـه صورت جهانی و هـم بـه صورت مـدارات محلـی مـورد بررسـی قـرار گرفـت، بایـاس سیسـتماتیک ۴- ۷ برابـر بـین ایـن دو مجموعـه داده مشاهده گردید. بخشی از این اختلاف ناشی از اخـتلاف ارتفاع بین مدارات دو ماهواره فـوق مـیباشـد. از طـرف دیگر، سنسور LP مـاهواره هـای Swarm بـر روی بدنـه ماهواره توسط میلهای به طول ۸ سانتیمتر متصل شده است [۲۶]؛ در حالی که طول میلـه اتصـال سنسـور LP ماهواره ردیک به سطح ماهواره، سنسور IP در مـاهواره-فاصله نزدیک به سطح ماهواره، سنسور IP در مـاهواره-های Swarm ممکن است به راحتی با مـاهواره تـداخل پیدا کند و فواصل مختلف سنسورها از بدنه مـاهوارهها پیدا کند و فواصل مختلف سنسورها از بدنه مـاهواره.

دیه گو و همکارانش (۲۰۱۹) ویژگیهای سخت افزاری LP نصب شده بر روی ماهواره Swarm از قبیل ابعاد آن و موقعیت آن نسبت به ماهواره را بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که این ویژگیها منجر به ایحاد بایاسهایی در مقادیر چگالی الکترونی اندازه گیری شده توسط آن می شود که قابل چشم پوشی نیست. آنها دو تصحیح برای ارزیابی و کاهش این اثرات پیشنهاد دادند و سپس مقادیر چگالی الکترونی تصحیح شده را با چگالی الکترونی اندازه گیری شده توسط LP نصب شده بر روی ماهواره CSES مقایسه کردند. چگالی الکترون تصحیح شده Swarm مطابقت قابل توجهی را با اندازه-گیریهای CSES برای مدارهای شب و روز نشان می-دهد [۲۷]. بنابراین، هم طراحی سخت افزاری LP ماهوارهها و هم استراتژی پردازش دادهها میتوانند منجر به ایجاد بایاسهای سیستماتیک در مقادیر چگالی الکترونی مشاهده شده توسط ماهوارههای CSES و Swarm شوند. با این وجود، با توجه به ضرایب همبستگی بالای بین دو داده که نشاندهنده تغییرات نسبی دقیق این دو داده می باشد، این دادهها برای مطالعات یونسفری که از تغییرات نسبی داده استفاده می کنند، قابل استفاده هستند و به منظور استفاده در

ارزیابی مشاهدات چگالی الکترونی ماهواره های Swarm... هانیه طباطبایی و مسعود مشهدی حسینعلی

سایر مطالعات یونسفری نیاز به اعمال تصحیحات و کالیبراسیون این دادهها و مقایسه با اندازه گیری های مختلف احساس می شود.

۵- نتیجه گیری

مشاهدات مستقيم يونسفرى اطلاعات دقيقى درباره یونسفر فراهم میکنند که از مهمترین آنها میتوان به مشاهدات یونوسوند و اندازه گیری های پروب لانگمویرهای نصب شده بر روی ماهوارهها اشاره کرد. با توجه به اینکه در کشور ایران دسترسی به دادههای يونوسوند وجود ندارد، ارزيابی نتايج مطالعات يونسفری یکی از چالشهای این حوزه محسوب می شود. بنابراین استفاده از دادههای پروب لانگمویرها میتواند کمک بسیار شایانی به این حوزه کند. در این مقاله، مقایسه و ارزيابي مشاهدات چگالي الكتروني مشاهده شده توسط LPهای ماهوارههای Swarm و CSES انجام گرفته است. برای این مقایسه، توزیع جهانی مشاهدات ماهیانه دو ماهواره Swarm A و CSES باهم مقایسه و ارزیابی گردید. مقدار ضرایب همبستگی دو داده برای شب و روز بهترتیب ۰٬۸۱۷۱ و ۰٬۹۲۶۸ به دست آمد که نشان دهنده سازگاری و همبستگی بالا بین مشاهدات دو ماهواره است. مشاهدات چگالی الکترونی در مقیاس محلی در محل تقاطع مدارات همزمان برای هر سه ماهواره Swarm با CSES مقایسه گردید. ضرایب همبستگی بالای ۰٫۸ در مدارات پایین گذر و بالاگذر نشان میدهد که مشاهدات هر سه ماهواره Swarm با CSES دارای رفتار مشابه و سازگار با یکدیگر هستند. مشاهدات ماهواره Swarm B با CSES به دلیل یکسان بودن ارتفاعشان دارای ضرایب همبستگی بالاتری هستند. با وجود ضرایب همبستگی بالای بین دو داده، نتایج نشان میدهد که در اغلب موارد هم برای مدارهای بالاگذر و هم پایین گذر، چگالی الکترونی ماهواره Swarm A حدود ۲-۴ برابر از CSES بیشتر است. سپس، دادههای دو ماهواره Swarm A و Swar با داده مدل IRI2016 مقایسه گردید. بر اساس نتایج به دست آمده، مقادیر IRI بزرگتر از CSES و کوچکتر از

نشریہ علمی – مہندسی فناوری اطلاعات مکانی

سال یازدهم • شماره سوم • پاییز ۱۴۰۲

پردازش دادهها است. با توجه به ضرایب همبستگی بالای بین دو داده که نشاندهنده تغییرات نسبی دقیق ایـن دو داده مـیباشـد، ایـن دادهها بـرای کاربردهای مطالعات یونسفری که از تغییرات نسبی داده اسـتفاده می کنند، قابل استفاده هستند ولی به منظور اسـتفاده در سایر مطالعات یونسفری، اعمال تصـحیحات و کالیبراسیون این دادهها و مقایسه با مشاهدات دیگر پیشنهاد می شود.

- [1] O. M. Lodge, "Marconi's results in day and night wireless telegraphy", Nature, Vol. 66, pp. 222, https://doi.org/10.1038/066199c0, 1902.
- [2] E. V. Appleton, and M. A. F. Barnett, "Local reflection of wireless waves from the upper atmosphere", Nature, Vol. 115, pp. 333–334, https://doi.org/10.1038/115333a0, 1925.
- [3] G. Breit, and M. A. Tuve, "A radio method of estimating the height of the conducting layer", Nature, Vol. 116, pp. 357, https://doi.org/10.1038/116357a0, 1925.
- [4] L. Lomidze, D. J. Knudsen, J. Burchill, A. Kouznetsov, and S. C. Buchert, "Calibration and validation of Swarm plasma densities and electron temperatures using ground-based radars and satellite radio occultation measurements", Radio Science, Vol. 53, pp. 15– 36, https://doi.org/10.1002/2017RS006415, 2017.
- [5] R. W. Schunk, and A. F. Nagy, "Ionospheres: Physics, plasma physics, and chemistry", pp. 517–547, Cambridge University Press, 2009.
- [6] Y. Kakinami, M. Kamogawa, T. Onishi, K. Mochizuki, J. P. Lebreton, S. Watanabe, "Validation of electron density and temperature observed by DEMETER", Advances in Space Research, Vol. 52, pp. 1267–1273, http://dx.doi.org/10.1016/j.asr.2013.07.003, 2013.
- [7] N. L. Xiong, C. C.Tang, and X. J. Li, "Introduction to the ionosphere physics", pp.

A Swarm A هستند. طبق نتایج ما و تحقیقات قبلی، مدل IRI مقادیر چگالی الکترونی یونسفر را خوش بینانه و بزرگتر از مقدار واقعی نشان میدهد. بنابراین میتوان گفت اگرچه احتمال دارد داده CSES مقادیر چگالی الکترونی را دست پایین اندازه گیری کند ولی در مقایسه با چگالی الکترونی اندازه گیری شده توسط ماهوارههای Swarm از صحت بالایی برخوردارند. مقادیر بزرگتر A Swarm بخشی ناشی از اختلاف ارتفاع آن با ماهواره CSES میباشد ولی بخش غالب آن ناشی از طراحی سخت افزاری LP ماهوارهها و استراتژی مراجع

354–433, Wuhan University Press, 1999 (Chinese).

- [8] R. F. Pfaff, "In situ or direct measurements in the ionosphere and thermosphere", presented at CEDAR meeting, Santa Fe, New Mexico, 2009.
- [9] I. Zakharenkova, E. Astafyeva, I. Cherniak, "GPS and in situ Swarm observations of the topside equatorial plasma irregularities", Earth Planets Space, Vol. 68, no. 120, doi:10.1186/s40623-016-0490-5, 2016.
- [10] X. Wang, W. Cheng, D. Yang, and D. Liu, "Preliminary validation of in situ electron density measurements onboard CSES using observations from swarm satellites", Advances in Space Research, Vol. 64, pp. 982–994, https://doi.org/10.1016/j.asr.2019.05.025, 2019.
- [11] H. Mott-Smith, I. Langmuir, "The theory of collectors in gaseous discharges", Physical Review, Vol. 28, pp. 727-763, doi: 10.1103/physrev.28.727, 1926.
- [12] L. McNamara, D. L. Cooke, C. E. Valladares, and B. W. Reinisch, "Comparison of CHAMP and Digisonde plasma frequencies at Jicamarca, Peru", Radio Science, Vol. 42 (2), RS2005. http://dx.doi.org/10.1029/2006RS003491, 2007.
- [13] N. M. Pedatella, X. Yue, and W. S. Schreiner, "Comparison between GPS radio occultation electron densities and in-situ satellite observations", Radio Science, Vol. 50, pp. 518– 525, https://doi.org/10.1002/2015RS005677,

DOI: 10.61186/jgit.11.3.1]

ارزیابی مشاهدات چگالی الکترونی ماهواره های Swarm...

هانیه طباطبایی و مسعود مشهدی حسینعلی

2015.

- [14] R. Yan, Z. Zeren, C. Xiong, X. Shen, J. Huang, Y. Guan, et al., "Comparison of electron density and temperature from the CSES satellite with and ground-based other space-borne observations", Journal Geophysical of Research: Space Physics, Vol. 125, e2019JA027747, https://doi.org/10.1029/2019JA027747, 2020.
- [15] X. Shen, X. Zhang, S. Yuan, L. Wang, J. Cao, J. Huang, et al., "The state-of-the-art of the China Seismo-Electromagnetic Satellite mission". Science China Technological Sciences, Vol. 61, pp. 634–642, https://doi.org/10.1007/s11431-018-9242-0, 2018.
- [16] N. Olsen, E. Friis-Christensen, R. Floberghagen, et al., "The Swarm satellite constellation application and research facility (SCARF) and Swarm data products", Earth Planets Space, Vol. 65, pp. 1189–1200, https://doi.org/10.5047/eps.2013.07.001, 2013.
- [17] D. J. Knudsen, J. K. Burchill, S. C. Buchert, A. I. Eriksson, R. Gill, J. E. Wahlund, B. Moffat, "Thermal ion imagers and Langmuir probes in the Swarm electric field instruments", Geophysical Research: Space Physics, Vol. 122, pp. 2655-2673, https://doi.org/10.1002/2016ja022571, 2017.
- [18] C. Xiong, C. Stolle, H. Lu" hr, "The Swarm satellite loss of GPS signal and its relation to ionospheric plasma irregularities", Space Weather, Vol. 14 (8), pp. 563–577, https://doi.org/10.1002/2016sw001439, 2016a.
- [19] C. Xiong, C. Stolle, H. Lu" hr, J. Park, B. G. Fejer, G. N. Kervalishvili, "Scale analysis of equatorial plasma irregularities derived from Swarm constellation", Earth Planets Space, Vol. 68 (1), 121, https://doi.org/10.1186/s40623-016-0502-5, 2016b.
- [20] J. Park, M. Noja, C. Stolle, H. Lu⁻ hr, "The Ionospheric Bubble Index deduced from magnetic field and plasma observations onboard Swarm". Earth Planets Space, Vol. 65, pp. 1333–1344,

https://doi.org/10.5047/eps.2013.08.005, 2013.

- [21] L. V. Goodwin, C. Buchert, et al., "Swarm in situ observations of F region polar cap patches created by cusp precipitation", Geophysical Research Letters, Vol. 42 (4), pp. 996–1003, https://doi.org/10.1002/2014gl062610, 2015.
- [22] J. Zhong, J. Lei, X. Yue, X. Luan, and X. Dou, "Middle-latitudinal band structure observed in the nighttime ionosphere", Geophysical Research: Space Physics, Vol. 124, pp. 5857–5873, https://doi.org/10.1029/2018JA026059, 2019.
- [23] C. Xiong, H. Lu"hr, L. Sun, W. Luo, J. Park, Y. Hong, "Long-lasting latitudinal four-peak structure in the nighttime ionosphere observed by the Swarm constellation", Geophysical Research: Space Physics, Vol. 124, pp. 9335– 9347, https://doi.org/10.1029/2019JA027096, 2019.
- [24] J. Liu, Y. Guan, X. Zhang, and X. Shen, "The Data Comparison of Electron Density between CSES and DEMETER Satellite, Swarm Constellation and IRI Model", Earth Space Science, Vol. 8, e2020EA001475, doi:10.1029/2020EA001475, 2021.
- [25] H. Lühr, and C. Xiong, "IRI-2007 model overestimates electron density during the 23/24 solar minimum", Geophysical Research Letters, Vol. 37, L23101, https://doi.org/10.1029/2010GL045430, 2010.
- [26] D. J. Knudsen, J. K. Burchill, S. C. Buchert, A. I. Eriksson, R. Gill, et al., "Thermal ion imagers and Langmuir probes in the Swarm electric field instruments", Geophysical Research: Space Physics, Vol. 122, pp. 2655– 2673, https://doi.org/10.1002/2016ja022571, 2017.
- [27] P. Diego, I. Coco, I. Bertello, M. Candidi, and P. Ubertini, "Ionospheric plasma density measurements by swarm Langmuir probes: Limitations and possible corrections", Annales Geophysicae, Vol. 2019, pp. 1–15, https://doi.org/10.5194/angeo-2019-136, 2019.



Journal of Geospatial Information Technology Vol.11, No.3, Autumn 2023

Research Paper

Evaluation of Electron Density Measurements of Swarm and CSES Satellites for Using in Ionospheric Studies

Hanie Tabatabaei 1*, Mashhadi Hossainali M 2

1- PhD Candidate of Geodesy in Faculty of Geodesy and Geomatics Engineering, K.N. Toosi University of Technology

2- Associate Professor in Faculty of Geodesy and Geomatics Engineering, K.N. Toosi University of Technology

Abstract

Direct measurements of ionospheric parameters provide accurate information about ionosphere, the most important of which are ionosonde measurements and the Langmuir Probes (LP) observations mounted on satellites. There is currently no active ionosonde station in Iran, so the observations of the Langmuir probes can greatly be helpful for ionospheric studies. This study compares and evaluates the electron density measured by Langmuir Probes mounted on the three Swarm satellites owned by the European Space Agency and the measurements of the China Seismic Electromagnetic Satellite (CSES). The global distribution of electron density derived from Swarm A and CSES satellites show good consistency for both ascending (nighttime) and descending (daytime) orbits. The Correlation coefficients of the electron density between these two satellites at descending and ascending orbits were calculated 0.9268 and 0.8171, respectively, which indicate high consistency. The evaluation of the electron density behavior at the intersection of simultaneous orbits confirmed these results. The correlation coefficients between the electronic density of Swarm A, B and C with CSES are calculated as 0.9199, 0.9138 and 0.9099 for daytime and 0.8990, 0.9467 and 0.8181 for nighttime, respectively. These results reveal that the electron density of these satellites, especially the Swarm B with CSES, are quite correlated which could be due to the close altitudes of these two satellites. The electron density ratios show that Swarm A values are often about 4 to 7 times more than the CSES values. Besides, the comparison of the electron density values obtained from the International Reference Ionosphere model (IRI2016), Swarm and CSES satellites show that the electron density values of the IRI2016 model are between the values of the other two satellites and close to CSES. Moreover, due to the overestimation of the actual values by the IRI model, the electron density values of CSES are more accurate than those of Swarm.

Key words: Direct measurements of Ionospheric Parameters, Langmuir Probe, Electron Density.

Correspondence Address : Faculty of Geodesy and Geomatics Engineering, K. N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran. Tel : +98 21 88877071 Email: h_tabatabai@email.kntu.ac.ir