

بررسی و سازی شده راد زمین پایه‌ای ماهواره های GPS

مه نجفی شرون ام ری

تهران، سازمان پژوهش های علمی و صنعتی ایران، پژوهشکده مخابرات و فن آوری ماهواره

چکیده

امروزه با پیشرفت تکنولوژی می توان نقش ملموس ماهواره ها خصوصا سیستم ماهواره ای GPS را علاوه بر موقعیت یابی در کاربردهای نوین در علوم مختلف مشاهده نمود. روش نهفتگی رادیویی GPS در سال های اخیر به یک روش کاربردی در زمینه استخراج پارامترهای جوی تبدیل گشته است. ایده اصلی در پدیده نهفتگی رادیویی خمش امواج رادیویی بوسیله ضریب شکست اتمسفر می باشد و این میزان شکست به اطلاعاتی از جمله تراکم بخار آب در طول مسیر بستگی دارد. با قرار دادن گیرنده نهفتگی رادیویی در کوه می توان به پارامترهای جوی در ارتفاعی زیر گیرنده دست پیدا کرد. روش نهفتگی رادیویی زمین پایه ای در ابتدا برای جبران روش پدیده نهفتگی فضایی ارائه شده است. نهفتگی رادیویی فضایی دارای داده های فراوان، پوشش جهانی و دقت بالایی می باشد ولی در محدوده پایین اتمسفر دارای داده های کمی است. در نتیجه با نصب گیرنده در کوه می توان به نمودار شکست اتمسفر در مکانی که مورد نظر است دست پیدا کرد. نهفتگی رادیویی زمین پایه ای یک تکنیک نو برای بدست آوردن نمودار شکست در پایین اتمسفر می باشد. به دلیل یکبار بار مصرف و گران بودن رادیوسوند، استفاده از نهفتگی رادیویی زمین پایه ای به عنوان یک تکنیک اقتصادی مطرح می گردد. این مقدار شکست به میزان تراکم بخار آب بستگی دارد. در نتیجه با داشتن مقدار شکست اتمسفر در پایین جو می توان بخار آب موجود را که پارامتر بسیار مهمی در هواشناسی می باشد بدست آورد. مطالعات و شبیه سازی انجام شده، تکنیک نهفتگی رادیویی زمین پایه ای را به عنوان یک تکنیک جدید برای بدست آوردن پارامترهای جوی در پایین اتمسفر به جای رادیوسوند پیشنهاد می دهد.

واژه های کلیدی: نهفتگی رادیویی- رادیوسوند- زمین پایه ای- شکست اتمسفر- خمش

امروزه نهفتگی رادیویی زمین پایه ای یک تکنیک نو برای بدست آوردن نمودار شکست در پایین اتمسفر می باشد. یک گیرنده GPS در بالای کوه ها را می توان برای دنبال کردن سیگنال های ماهواره ای GPS با زوایای سمت کم و حتی منفی در طول آزمایش به کار برد [۱]. در این روش برای بدست آوردن پارامترهای هواشناسی از سیگنال های ماهواره ای GPS استفاده می شود و بوسیله نمودار شکستی که از خمش این سیگنال ها بدست می آید این مقادیر محاسبه می شود.

برای بدست آوردن نمودار شکست اتمسفر، راه های دیگری نیز وجود دارد که در این روش ها دیگر از ماهواره GPS استفاده نمی شود این روش ها عبارتند از [۲]:

- ۱- بدست آوردن نمودار شکست با استفاده از روش هواشناسی
- ۲- فراهم کردن نمودار شکست با اندازه گیری رادیوسوند
- ۳- ایجاد میدان های شکست سه بعدی با استفاده از مدل های پیش بینی هواشناسی

در روش اول، نمودار شکست ایجاد شده به شکست در آنتن گیرنده بستگی دارد و برای محدوده زاویه سمت بالای ۵ درجه دارای دقت مناسب می باشد. مطالعات نشان می دهد در محدوده زاویه سمت های پایین در نظر گرفتن تقارن کروی اتمسفر قابل صرف نظر نمی باشد و زاویه خمش ایجاد شده بستگی به تمامی نمودار شکست دارد. در نتیجه در زاویه سمت های پایین و منفی رادیوسوند نتیجه بهتری خواهد داشت. سیستم موقعیت یابی جهانی به صورت پیوسته امواج رادیویی را در دو فرکانس منتقل می کند. این سیگنال ها بر اساس تراکم الکترون در یونسفر و براساس دما، فشار و رطوبت در اتمسفر شکسته می شوند [۲].

یو و همکارانش با راه اندازی یک سامانه (نهفتگی رادیویی زمین پایه ای) در کوه ها و نیز استفاده از ایستگاه های رادیوسوند در آن منطقه و همچنین بکارگیری ایستگاه هواشناسی اتوماتیک در آن ناحیه از چین به نتایج مشخصی رسیده اند. ارزیاب این نمودارهای ایجاد شده مشخص می کند، نمودار شکست بدست آمده بوسیله نهفتگی رادیویی زمین پایه ای مطابقت خوبی با نمودار شکست رادیوسوند دارد ولی از مطابقت مناسبی با نمودار شکست ایستگاه های هواشناسی برخوردار نمی باشد [۳].

در حقیقت محاسبه زاویه خمش از شیفیت فرکانس داپلر سیگنال های ماهواره GPS دیگر نیازی به راه اندازی رادیوسوند ندارد و به دلیل وجود ۲۴ ماهواره GPS که در ۴۸ ساعت در هر نقطه از جهان در حال طلوع و یا غروب است، دارای داده های پیوسته در زمان و زاویه آزیموت های مختلف می باشد و با استفاده از مشاهدات رادیوسوند و اندازه گیری های GPS که در فضا و زمان، جمع آوری شده اند و مقایسه نتایج آن ها مشخص می کند که در همه موارد نمودار شکست بدست آمده از رادیوسوند با نمودار بدست آمده از شیفیت فرکانس دارای مطابقت خوبی می باشد و در تعدادی از موارد که مربوط به زاویه سمت پایین است نمودار شکست آب و هواشناسی که مشخصه ای از شکست در آنتن گیرنده می باشد مقداری متفاوت از نمودار شکست نهفتگی رادیویی زمین پایه ای دارد [۲].

همه این موارد اشاره دارند که ماهواره های GPS می توانند برای بدست آوردن زاویه خمش از امواج رادیویی در سمت های پایین بجای رادیوسوند استفاده شوند.

تکنیک نهفتگی زمین پایه ای در ابتدا برای جبران تکنیک نهفتگی رادیویی فضایی ارائه شده است. پدیده نهفتگی رادیویی فضایی زمانی رخ می دهد که یک گیرنده روی یک ماهواره LEO یک ماهواره را هنگامی که در جو زمین طلوع و غروب می کند، مورد تعقیب قرار دهد. این تکنیک در ابتدا برای شناسایی جو سیارات در سال ۱۹۶۰ به کار گرفته شد. موفقیت در این پروژه موجب تحقیقات زود هنگام شد و امکان اعمال تکنیک نهفتگی رادیویی را در سنجش از راه دور برای اتمسفر زمین نشان داد. این

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی برق- مخابرات

۲- عضو هیئت علمی سازمان پژوهش های علمی و صنعتی ایران،
تلفن: ۰۲۱-۵۶۲۷۶۳۱۱، amiri@irost.ir (نویسنده مخاطب)

یک در نظر گرفته می‌شود. همچنین r به فاصله بین هر نقطه از سیگنال و مرکز منحنی اشاره دارد و پارامتر a بعنوان پارامتر تاثیر شناخته می‌شود. حال با دانشی که از تاخیر اضافی اتمسفر به عنوان تابعی از زمان بعنوان داپلر اتمسفر بدست آمده می‌توان به مقدار زاویه خمش هر سیگنال GPS رسید [۳].

$$\Gamma = W_T + W_R + n - f \quad (۳)$$

با مشخص بودن مقدار شیفت داپلر هر سیگنال GPS از رابطه (۱) میتوان مقدار زاویه T را بدست آورد و بدلیل مشخص بودن مقادیر nt و RT پارامتر تاثیر بدست می‌آید و با داشتن مقدار پارامتر تاثیر می‌توان R را نیز بدست آورد:

$$a = n_T \times r_T \times \sin W_T \quad (۴)$$

$$a = n_R \times r_R \times \sin W_R \quad (۵)$$

در رابطه بالا دو مجهول nr و R وجود دارد و برای بدست آوردن R ابتدا باید nr را محاسبه کرد. در ابتدا چون گیرنده در مکان ثابتی قرار دارد در نتیجه برای همه سیگنال‌های GPS ضریب شکست در مکان گیرنده دارای مقدار ثابتی است.

بر اساس نظریه ژانگ و همکارانش [۱] سیگنال‌های ماهواره GPS با زاویه سمت پایین و منفی می‌توانند با زاویه‌های ورودی مثبت، صفر و منفی به گیرنده برسند. یک ماهواره GPS در حالت طلوع و یا غروب در این سه وضعیت سیگنال منتشر می‌کند. حال در زمانی که سیگنال از ماهواره GPS مورد نظر به گیرنده می‌رسد، دارای زاویه ورودی صفر باشد بیشترین پارامتر تاثیر ایجاد می‌شود. برای سیگنال‌هایی با پارامتر تاثیر بیشتر از a_{max} ماهواره از دید گیرنده خارج شده و در نتیجه گفته می‌شود نهفتگی رادیویی زمین پایه‌ای سیگنال‌هایی با پارامتر تاثیر بالاتر از a_{max} را نمی‌تواند مشاهده کند حال ما زمانی دارای بیشترین پارامتر تاثیر خواهیم بود که $R=90^\circ$ درجه باشد [۴].

$$a_{max} = n_R \times r_R \quad (۶)$$

در نتیجه برای یک سیگنال با ورودی صفر رابطه زیر برقرار است در نتیجه:

$$n_T \times r_T \times \sin W_T = n_R \times r_R \Rightarrow n_R = \frac{n_T \times r_T \times \sin W_T}{r_R} \quad (۷)$$

با توجه به اینکه با مشخص بودن مقدار شیفت داپلر سیگنال با ورودی صفر مقدار مشخص T می‌باشد و مقادیر nt و RT دارای مقادیر مشخصی می‌باشند، می‌توان ضریب شکست در نقطه گیرنده را بدست آورد و با داشتن این پارامتر که مقداری ثابت است میتوان R را برای سیگنال‌های GPS حساب کرد. با دانستن مقدار این زاویه مقدار زاویه خمش هر سیگنال محاسبه می‌شود:

$$\Gamma = W_T + W_R + n - f \quad (۸)$$

$$n = \arcsin\left[\frac{a}{x_1}\right] - \arcsin\left[\frac{a}{x_2}\right] \quad (۹)$$

$$x = n(r) \times r \quad (۱۰)$$

با قرار دادن گیرنده نهفتگی رادیویی در کوه نمودار شکست اتمسفر در زیر ارتفاعات گیرنده مشخص می‌شود و برای مشخص کردن این مقدار شکست در زیر ارتفاعات گیرنده، زاویه خمشی به اسم زاویه خمش جزئی لازم است که این مقدار با کم کردن زاویه خمش سیگنالی با ورودی مثبت از زاویه خمش سیگنال دیگری با زاویه ورودی منفی در گیرنده از یک ماهواره GPS در حالتی که اندازه زاویه ورودی هر دو سیگنال دارای مقدار مساوی با مقادیر مثبت و منفی است بدست می‌آید [۱]:

$$\Gamma_p(a) = \Gamma(a(t_{-j})) - \Gamma(a(t_{+j})) \quad (۱۱)$$

ایده تا اواسط ۱۹۸۰ خاموش باقی ماند، یعنی تا زمانی که امکان وجود سیگنال‌های رادیویی دو فرکانسی از مجموعه ماهواره‌های GPS این ایده را از نظر اقتصادی و علمی جذاب ساخت. این سیگنال‌ها بر اساس تراکم الکترون در یونسفر و براساس دما، فشار و رطوبت در اتمسفر شکسته می‌شود. این تحقیقات اولیه در طول بررسی‌های جزئی که به دنبال داشت، نشان داد که نهفتگی GPS چندین ویژگی منحصر بفرد در مقایسه با دیگر ابزارهای سنجش از راه دور داراست. با استفاده از نهفتگی رادیویی زمین پایه‌ای می‌توانیم نمودار شکست اتمسفر را دقیقاً در همان نقطه که مورد نظرمان می‌باشد بدست آوریم در حالی که تکنیک نهفتگی رادیویی فضایی دارای داده‌های کمی در آن مکان می‌باشد [۱]. نهفتگی رادیویی فضایی می‌تواند برای بدست آوردن پارامترهای اتمسفر خنثی از نزدیک سطح زمین تا ۶۰ کیلومتر ارتفاع و همچنین نمودار تراکم الکترون یونسفر به کار رود. این تکنیک دارای داده‌های فراوان، پوشش جهانی، استفاده در همه شرایط آب و هوایی، پایداری طولانی مدت و دارای دقت بالایی است و اما دارای محدودیت‌هایی نیز می‌باشد، این روش نهفتگی دارای داده‌های بسیار کمی در پایین جو است و داده‌های مشاهده شده برای مکانی خاص دارای مقادیر کم و محدودی می‌باشد [۲].

براساس آزمایشی که اشرف موسی و همکارانش [۴] در زمینه پدیده نهفتگی زمین پایه‌ای در ارتفاع ۳/۸ کیلومتر انجام داده‌اند توانستند رابطه بین خمش سیگنال‌های هر ماهواره را با دیگر پارامترهای نهفتگی بدست بیاورند.

اگر گیرنده نهفتگی زمین پایه‌ای در قله کوه نصب شود می‌تواند نمودار شکست اتمسفر را زیر این ارتفاع مشخص کند، روشی که نبودن داده‌های نهفتگی رادیویی فضایی را جبران می‌کند. همانطور که گفته شد مکان مشاهده برای نهفتگی رادیویی زمین پایه‌ای بر روی کوه می‌باشد و این ارتفاع باید به اندازه کافی بلند باشد که مانع افقی برای جلوگیری از رسیدن سیگنال با زاویه سمت پایین و منفی وجود نداشته باشد [۳]. در نتیجه در ارتفاعات بالاتر دارای تعداد بیشتری پدیده نهفتگی خواهیم بود پس بالاترین کوه می‌تواند مکانی مناسب برای انجام این آزمایش باشد که در کشور ایران بالاترین قله، قله دماوند با ارتفاع ۵۶۷۱ متر می‌تواند مکانی مناسب برای انجام این آزمایش باشد.

بررسی تئوری

اگر گیرنده در ارتفاع مشخصی نسبت به اتمسفر قرار داشته‌باشد، مطابق شکست اتمسفر، سیگنال منتشر شده در اتمسفر خم شده و این زاویه خمش با محاسبه فرکانس شیفت داپلر از موج حامل بدست می‌آید [۳]:

$$f_d = \frac{f}{c} \times (v_T \times e_T) = -\frac{f}{c} (v_T^r \times \cos W_T + v_T^s \times \sin W_T) \quad (۱)$$

در روابط بالا f_d فرکانس شیفت داپلر، f فرکانس موج حامل و c سرعت نور می‌باشد و بالانویس‌های r و s به انتشار سیگنال در جهت شعاعی و مماسی اشاره دارد. همچنین v_T سرعت ماهواره و e_T بردار واحد از سیگنال در فرستنده است. انتقال یک سیگنال در طول یک منحنی بر اساس یک میانگین تقارون کروی به صورت فرمول زیر بیان می‌شود [۳]:

$$n_T \times r_T \times \sin W_T = n_R \times r_R \times \sin W_R = n \times r \times \sin W = a \quad (۲)$$

این تساوی در مختصات قطبی به قانون اسنل معروف است و در میانگین تقارن کروی به عنوان قانون بوگر شناخته می‌شود. nr و nt شاخص‌های شکست اتمسفر در گیرنده، فرستنده و هر نقطه‌ای از سیگنال می‌باشد و به دلیل دور بودن ماهواره‌های GPS از سطح زمین مقدار nt

گیرنده‌های نهفتگی در روش نهفتگی رادیویی زمین پایه‌ای معمولاً در بالای قله نصب می‌شوند. گیرنده‌های که بر روی کوه قرار می‌گیرند نیازمند ارتقای تکنیک بازیابی دیتای پیام سیگنال در سیستم پردازشگر خود می‌باشند. زیرا که در ارتفاعات پایین یعنی زیر ۶ کیلومتر، اختلاف فاز سیگنال به شدت تحت تاثیر انکسار جوی قرار می‌گیرد [۲]. در ارتفاعات پایین و مخصوصاً در نقاطی که میزان بخار آب زیاد می‌باشد (مانند مناطق استوایی یا جلگه‌ای)، تغییرات عمودی انکسار بسیار زیاد است. از این رو تغییرات داپلر و فاز سیگنال متأثر از آن زیاد می‌شود و این موضوع سبب ایجاد مشکل در آشکارسازی دیتای پیام گیرنده‌های نهفتگی خواهد شد. اگر گیرنده نهفتگی بر روی کوه یا هواپیما نصب شود، ارتفاع پروفایل جوی استخراج شده محدود به ارتفاع پروازی هواپیما و یا کوه می‌باشد، بنابراین سنجش اتمسفر توسط سکوهایی غیر از ماهواره‌های سنجش از دور برای تست گیرنده نهفتگی در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته است.

۴. سازی سناری

می‌توان با استفاده از نرم‌افزار STK هندسه رویداد نهفتگی رادیویی را شبیه‌سازی نمود. مجموعه نرم افزار STK شامل ابزار تحلیلی و تصویری است که برای طراحی و شبیه‌سازی ماموریت‌های پیچیده فضایی و نظامی استفاده می‌شود. توانایی‌های STK و نیازمندی‌های پروژه موجب شد که شبیه‌سازی‌های مربوط به استخراج رویداد نهفتگی از دیتای مداری دریافتی از سیگنال GPS یعنی پارامترهای مداری فرستنده GPS و گیرنده نهفتگی از طریق STK تأمین شود و پس از آن استخراج پروفایل‌های جوی در MATLAB تدارک دیده شود.

مطابق شکل (۵) یک سناریو مطابق زمان ۳۰ امین روز ژوئن سال ۲۰۱۳ برای گیرنده ساکن مستقر بر فراز قله دماوند تدارک می‌بینیم. مختصات قله دماوند را ۳۵٫۹۵ درجه عرض جغرافیایی و ۵۲٫۱ درجه طول جغرافیایی و ارتفاع ۵۶۷۱ متر در نظر می‌گیریم. از میان مجموعه ماهواره‌های GPS، gps-01_svn63 را برای شبیه‌سازی هندسه نهفتگی انتخاب می‌کنیم. همچنین یک سنسور برای گیرنده نصب شده بر قله دماوند در نظر می‌گیریم. سناریو را برای مدت ۲۴ ساعت، یعنی ابتدای ۳۰ امین روز ژوئن ۲۰۱۳ تا پایان روز مورد اجرا قرار می‌دهیم.

در زمان شبیه‌سازی، ماهواره gps-01_svn63 چهار بار در دید گیرنده مستقر بر قله دماوند قرار می‌گیرد. در اینجا اولین دسترسی که در زمان 03:34:32.153 شروع شده‌است مورد بررسی قرار گرفته است. در گیرنده واقعی الگوریتم استخراج پارامترهای نهفتگی از قرار زیر است:

- ۱) آشکارسازی دیتای پیام (افمریس) از سیگنال دریافتی
 - ۲) محاسبه موقعیت ماهواره GPS ارسال کننده سیگنال به وسیله روابط کپلر
 - ۳) محاسبه فاصله مجازی ماهواره GPS تا محل آنتن گیرنده
 - ۴) محاسبه موقعیت گیرنده با استفاده از موقعیت حداقل ۴ ماهواره GPS و فواصل مجازی آنها تا گیرنده به روش مثلث‌بندی
- در شبیه‌سازی جاری نیازی به مراحل فوق و وارد شدن به پردازش-های سیگنال GPS نیست، زیرا همانطور که بیان شد STK بردارهای مکانی object های استفاده شده را در هر دستگاه مختصات انتخابی گزارش می‌کند.

همانطور که در شکل (۶) مشهود است، اولین نقطه شکست یا همان خمش اتمسفری در ارتفاع محل گیرنده یعنی قله دماوند روی داده‌است و بتدریج از آن فاصله گرفته و با کاهش ارتفاع ماهواره GPS در دید گیرنده

این مقدار زاویه خم از طریق رابطه آبل به نمودار شکست زیر ارتفاع گیرنده مرتبط می‌شود [۳]:

$$\Gamma_p(a_0) = 2 \times a_0 \times \int_{a_0}^{a_{\max}} \frac{d \ln n(a)}{da} \times \frac{1}{\sqrt{a^2 - a_0^2}} da \quad (12)$$

در نتیجه نمودار شاخص شکست اتمسفر زیر ارتفاعات گیرنده با روش معکوس سازی آبل بدست می‌آید [۳]:

$$n(a_0) = n_R \times \exp \left[\frac{1}{f} \times \int_{a_0}^{a_{\max}} \frac{\Gamma_p(a)}{\sqrt{a^2 - a_0^2}} da \right] \quad (13)$$

مقدار ضریب شکست و پارامترهای جوی از روابط زیر بدست می‌-

آیند [۴ و ۳]:

$$N = (1 - n) \times 10^6 \quad (14)$$

$$N = 77.6 \times \frac{P}{T} + 3.73 \times 10^5 \times \frac{e}{T^2} \quad (15)$$

پارامترهای استخراج شده جوی حاصل از اندازه‌گیری گیرنده نصب شده بر ماهواره Cosmic 6 در تاریخ بیست و هفتمین روز از ماه می ۲۰۱۲ برای مختصات تهران در شکل‌های (۱) تا (۴) آمده است. همچنین برای اعتبارسنجی دقت اندازه‌گیری گیرنده Cosmic 6 از اندازه‌گیری پارامترهای جوی رادیوسوند مستقر در فرودگاه مهرآباد استفاده شده است. تطبیق خوب نمودارهای انکسار، دما، فشار و فشار بخار آب حاصل اندازه‌گیری رادیوسوند و Cosmic 6 نشان دهنده تضمین اعتبار جایگزینی سامانه نهفتگی رادیویی زمین پایه‌ای به جای سیستم رادیوسوند در استخراج پارامترهای جوی می‌باشد.

ابزار اندازه ی راد

گیرنده نهفتگی رادیویی می‌تواند با توجه به نوع ماموریت از پیش تعیین شده بر روی سکوهایی مختلف مانند ماهواره، هواپیما، یا نقاط مرتفع همچون کوه‌ها نصب شود. بدیهی است که کیفیت و رنج استخراج پروفایل‌های جوی با توجه به محل استقرار گیرنده متفاوت خواهد بود. گیرنده‌های نهفتگی رادیویی فضایی RO تجهیزاتی هستند که روی ماهواره نصب می‌شوند و سیگنال‌های RO را دریافت و ذخیره می‌نمایند. این اطلاعات پس از پردازش اولیه در ماهواره به ایستگاه‌هایی در زمین ارسال و اطلاعات مورد نیاز از آن‌ها استخراج می‌گردد. گیرنده‌های متنوعی جهت استخراج پروفایل‌های اتمسفری طراحی و ساخته شده‌اند که در میان آنها گیرنده Black Jack که ساخت آزمایشگاه NASA-JPL است از شهرت بیشتری برخوردار است.

پارامترهای نهفتگی رادیویی که خروجی گیرنده‌های نهفتگی رادیویی می‌باشند از قرار زیر می‌باشند:

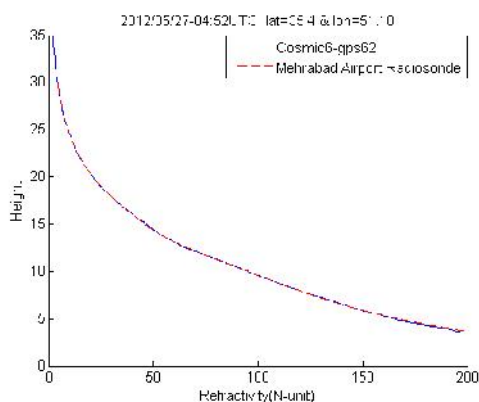
- ۱) زمان ارسال سیگنالی که دچار فرآیند نهفتگی شده از منبع ارسال سیگنال (ماهواره موقعیت‌یابی).
- ۲) زمان دریافت سیگنالی که دچار فرآیند نهفتگی شده در گیرنده نهفتگی رادیویی.
- ۳) SNR سیگنال دریافتی.
- ۴) بردارهای سرعت و موقعیت منبع ارسال سیگنال (ماهواره موقعیت‌یابی) در لحظه ارسال سیگنال.
- ۵) بردارهای سرعت و موقعیت گیرنده نهفتگی رادیویی در لحظه دریافت سیگنال.
- ۶) تاخیر اتمسفری (به روش دوپلر یا روش تک فرکانس)

را حل نمود و پارامترهای جوی را استخراج کرد (۴ و ۳). نمودارهای دما و فشار به دست آمده از حل معادله (۱۵) برای اتمسفر زیر دماوند در شکل-های (۱۱) و (۱۲) آمده است.

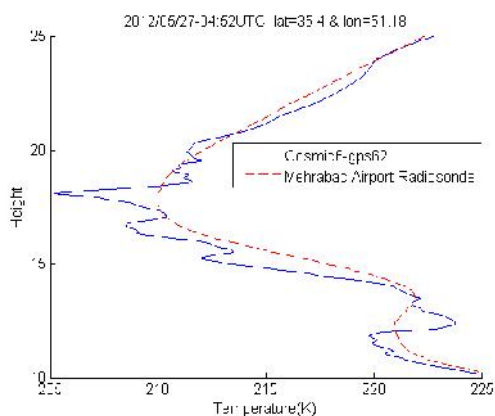
گیری

با برقراری شبکه GPS ایده استفاده از پدیده نهفتگی رادیویی که از سال‌ها پیش شناخته شده بود و به طور موردی آزمایش‌هایی نیز بین ماهواره‌ها صورت گرفته بود مطرح گردید. گیرنده واقع بر روی قله کوه با اندازه‌گیری فاز اضافی و شیفت داپلر اضافی که در اثر خمش سیگنال در اتمسفر ایجاد می‌شود و همچنین با توجه به موقعیت مداری گیرنده و ماهواره GPS و با استفاده از روابط معکوس آبل می‌تواند ضریب شکست در ارتفاع‌های مختلف را بدست آورد. مشاهدات و اطلاعات نشان می‌دهد که نهفتگی رادیویی زمین پایه‌ای برای اندازه‌گیری شکست در پایین اتمسفر روشی نو و اقتصادی است. اطلاعات بالا مشخص می‌کند با نصب یک گیرنده داخل اتمسفر مانند نصب روی هواپیما و کوه می‌توان داده‌هایی را در سرتاسر ناحیه‌ای خاص و مورد نظر فراهم کرد که این داده‌ها برای مطالعات هواشناسی سودمند می‌باشند.

ها و نمودارها



شکل - سه انکسار به دست آمده از Cosmic 6 و سامانه راد در تهران



شکل - سه دمای هوای به دست آمده از Cosmic-6 و سامانه راد و سونود در تهران

دماوند به سطح زمین نزدیک می‌شود و تا جایی که سیگنال در دید گیرنده قرار دارد ادامه می‌یابد. در ارتفاع تقریباً ۵۵۵۵ متر سیگنال از دید گیرنده خارج شده است. کاهش ارتفاع نقطه شکست از شروع رویداد نهفتگی بیانگر آن است که رویداد نهفتگی تحت بررسی یک رویداد در حال غروب می‌باشد.

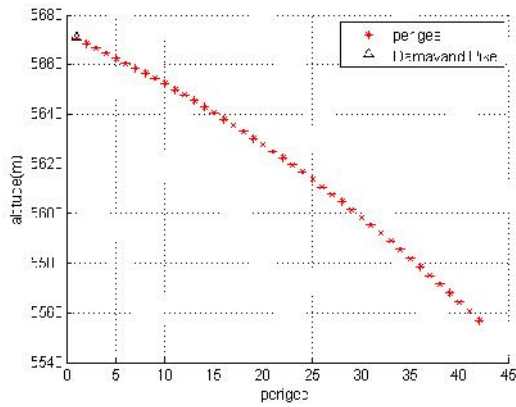
پوشش اندازه‌گیری روش نهفتگی رادیویی از جهت ارتفاع تابعی از ارتفاع سکوی حامل گیرنده نهفتگی است. هرچه ارتفاع سکوی حامل گیرنده نهفتگی بیشتر باشد رنج بازایی‌های جوی از نظر ارتفاع بیشتر می‌شود. محدودیت دیگر در رنج اندازه‌گیری از دست رفتن سیگنال می‌باشد. از دست رفتن سیگنال تابع دو عامل می‌باشد. یکی خارج شدن ماهواره GPS از دید گیرنده نهفتگی و دیگری عدم توانایی گیرنده نهفتگی در بازایی دیتای ناوبری سیگنال GPS به علت تغییرات داپلر اتمسفری زیاد سیگنال است. تغییرات زیاد داپلر اتمسفری سیگنال GPS بیشتر در نواحی استوایی و در ارتفاعات زیر ۵ کیلومتر رخ می‌دهد.

همچنین در شکل (۷) طول و عرض جغرافیایی نقاط خمش اتمسفری، محل گیرنده و نقطه نهفتگی آمده است. مشاهده می‌شود که در رویداد نهفتگی تحت بررسی نقطه نهفتگی و محل گیرنده از نظر طول و عرض جغرافیایی بر هم منطبق هستند.

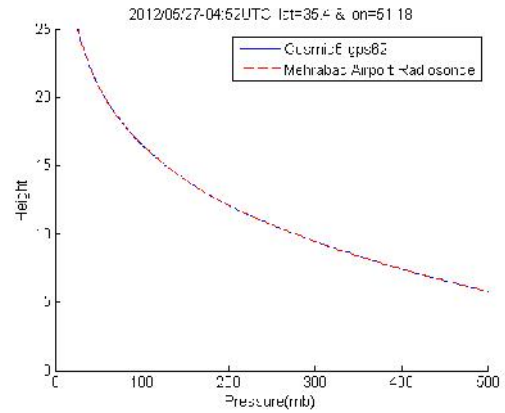
رنج پوشش اندازه‌گیری از نظر عرض جغرافیایی ۰/۲ درجه و از نظر طول جغرافیایی ۰/۱۱ درجه می‌باشد. مشاهده می‌شود که در رویداد نهفتگی تحت بررسی پوشش اندازه‌گیری از نظر عرض جغرافیایی بیشتر از پوشش طول جغرافیایی می‌باشد. این موضوع بستگی به محل قرارگیری سکوی حامل گیرنده نهفتگی و ماهواره GPS در دید گیرنده دارد.

آخرین پارامتر نهفتگی که گیرنده باید آن را محاسبه و از سیگنال دریافتی استخراج کند، تاخیر اتمسفری می‌باشد. تاخیر اتمسفری شامل اتمسفر خنثی و یونوسفر می‌باشد که در گیرنده با استفاده از سیگنال L2 تاخیر ناشی از اتمسفر خنثی از تاخیر کل کالیبره می‌شود. فاصله مجازی ناشی از تاخیر اتمسفری در گیرنده با استفاده از روشهای تفاضلی محاسبه و به اختلاف فاز تبدیل می‌شود. تاخیر اتمسفری متناسب با محل شبیه‌سازی نهفتگی (کوه دماوند)، با بررسی نمودارهای انکسار تاریخ شبیه‌سازی (۳۰ ژوئن ۲۰۱۳) که از منابع مراکز پیش گوئی هواشناسی مانند ECMWF استخراج شد، به صورت دستی و انتخابی به ماژول MATLAB اضافه گشت. مقداردهی تاخیر اتمسفری چندین بار انجام شد تا نهایتاً اعداد نمودار انکسار حاصل از شبیه‌سازی به اعداد واقعی نزدیک باشند. تاخیر اتمسفری حاصل که به صورت فاز اضافی بیان گشته، در شکل (۸) نشان داده شده است. به هر نقطه خمش یک تاخیر اتمسفری اختصاص داده می‌شود.

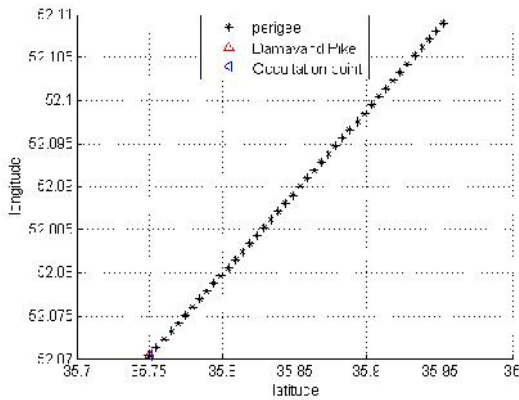
به دلیل اینکه رویداد نهفتگی تحت بررسی یک رویداد در حال غروب است و با افزایش زمان نهفتگی ارتفاع نقطه خمش سیگنال کم می‌شود، تاخیر اتمسفری را به صورت افزایشی در نظر می‌گیریم. زیرا کم شدن ارتفاع نقطه خمش به معنی آن است که سیگنال در عمق اتمسفر بیشتر نفوذ کرده و به دلیل وجود انکسار بیشتر، زمان بیشتری طول می‌کشد تا سیگنال از تروپوسفر عبور کند. اکنون با استفاده از پارامترهای نهفتگی که از دیتای دریافتی از سیگنال GPS تدارک دیده شده‌اند می‌توان به کمک روابط به استخراج زاویه شکست (خمش) پرداخت، شکل (۹). با داشتن زاویه شکست، انکسار به دست می‌آید که در شکل (۱۰) آمده است. همانطور که در رابطه (۱۵) بیان شد، انکسار با پارامترهای جوی از قبیل دما و فشار ارتباط دارد. با داشتن عدد انکسار و به کمک معادلات اضافی گازها می‌توان تحت شرایط و بازه‌های معین از ارتفاع اتمسفر، معادله (۱۵)



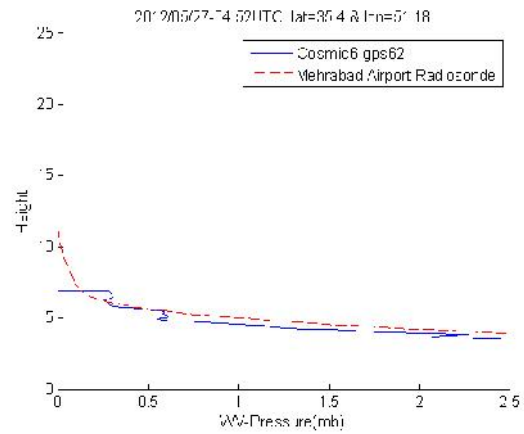
شکل - رات ارتفاع نقاط پر (خمش اتمسفری) گنال نهفتگ از شروع رو داد نهفتگ تا از دست رفتن سه گنال از د رنده دماوند.



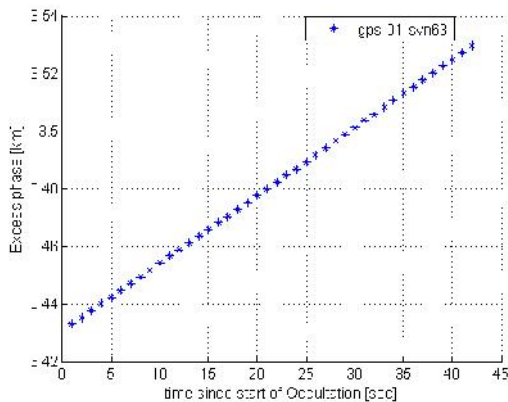
شکل - سه فشار هوای به دست آمده از Cosmic 6 و سامانه راد و سوند در تهران



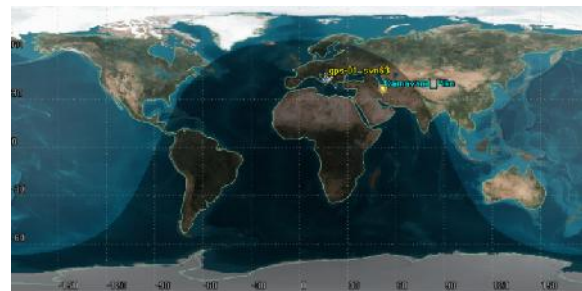
شکل - طول و عرض جغرافی محل استقرار گ رنده دماوند، نقطه و پر ی (نقاط خمش) گنال نهفتگ



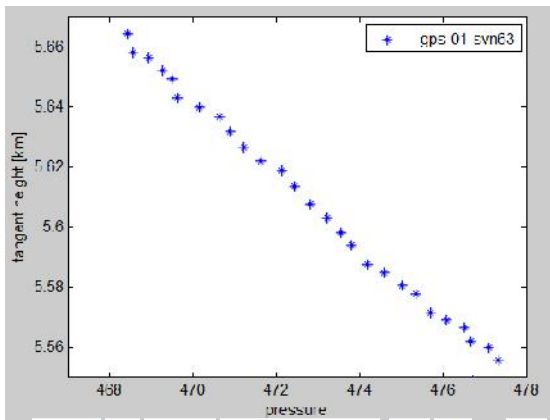
شکل - سه فشار بخار آب به دست آمده از Cosmic 6 و سامانه راد و سوند در تهران



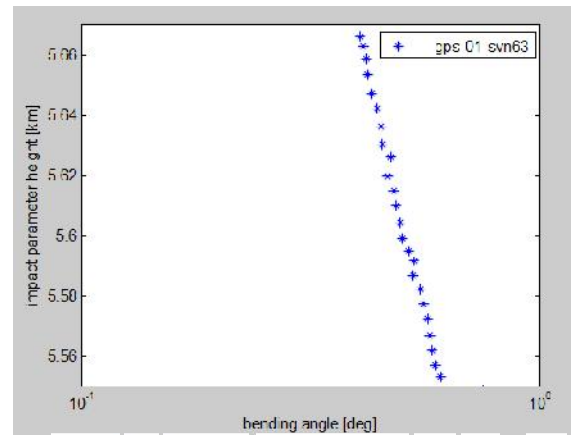
شکل - اختلاف فاز اضاف اتمسفر که متناسب با محل جغرافی انتخاب شده است



شکل - ی دو بعدی از موقعیت جغرافی رنده دماوند و ماهواره gps-01_svn63 در د رنده در نرم افزار STK



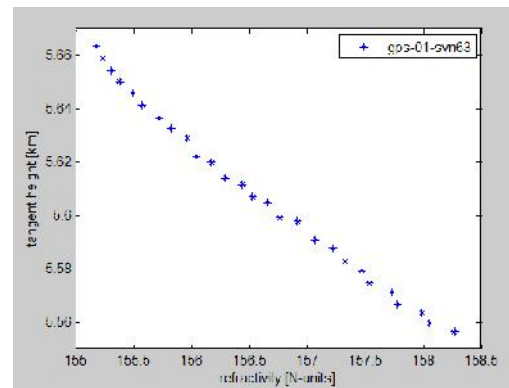
شکل - فشار هوای به دست آمده از پروفایل انکسار برای اتمسفر ز قله دماوند



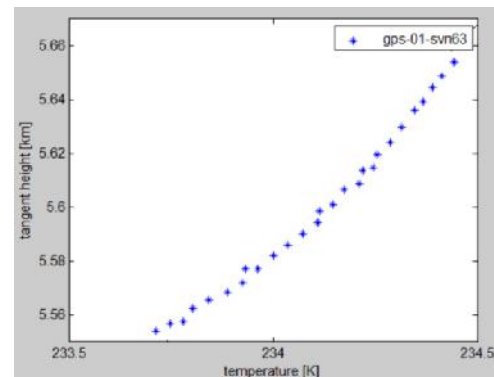
شکل - پروفایل زاویه خم شدن متناظر از تاخیر اتمسفری برای اتمسفر ز قله دماوند

راجع

1. Hu X., Zhang, X.X., Wu, X., Wu X.CH., Xiao C.Y., Zhang Z, and Gong X.Y., Mountain-based GPS Observations of Occultation and its Inversion Theory. *Journal of the Geophysics*, v. 49, n. 1, 2006, pp. 15-21.
2. Sergey V. Sokolovskiy C.R., and Anthony R.L., Modeling and Inverting Radio Occultation Signals in the Moist Troposphere. *Journal of the Radio Science*, v. 36, n. 3, 2001, pp. 473-482.
3. Hu X. Wu X.C., Gong X.Y., Xiao C.Y., Zhang X.X., Fu y. Li H. Fang Z.Y., Xia Q. Yang G.L., and Mao J.T., An Introduction of Mountain-based GPS Radio Occultation Experiments of China. *Journal of the Advances in Space Research*, v. 42, 2008, pp. 1723-1729.
4. Ashraf M., and Tsuda T., Abel Inversion for Driving Refractivity Profile from Down-looking GPS Radio Occultation: simulation analysis. *Journal of the Arab J Geosic*, 2012, pp. 781-787.



شکل - انکسار به دست آمده از پروفایل زاویه برای اتمسفر ز قله دماوند



شکل - دمای هوای به دست آمده از پروفایل انکسار برای اتمسفر ز قله دماوند

Surf and download all data from SID.ir: www.SID.ir

Translate via STRS.ir: www.STRS.ir

Follow our scientific posts via our Blog: www.sid.ir/blog

Use our educational service (Courses, Workshops, Videos and etc.) via Workshop: www.sid.ir/workshop