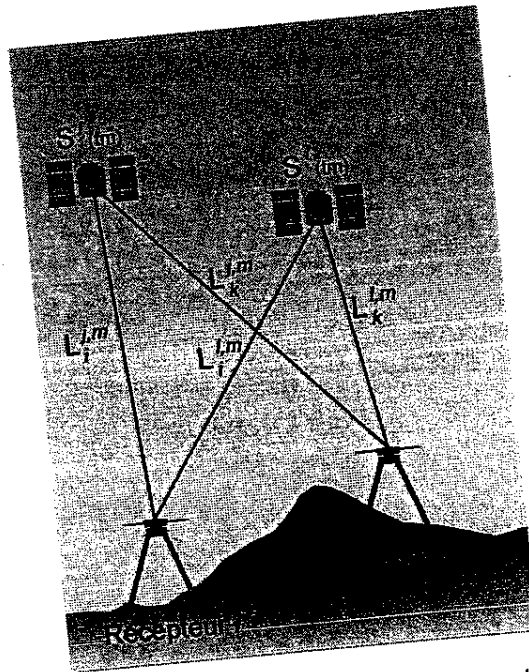


تفاضلی یگانه بزرگتر است. مطابق نگاره (۶) اولین نوع، اختلاف گیری بین دو گیرنده و دو ماهواره مختلف در یک مقطع زمانی با نماد $\nabla\Delta$ است. این نوع اختلاف گیری در واقع ترکیبی از اختلاف گیری های نوع اول و دوم در ترکیب تفاضلی یگانه می باشد. این نوع اختلاف گیری متداول ترین اختلاف گیری جهت پردازش مشاهدات GNSS است. از جمله مزایای استفاده از این نوع اختلاف گیری حذف کامل خطاهای ساعت گیرنده و ماهواره و کاهش خطاهای مداری، یونسفر و تروپوسفر می باشد. معادله مربوط به این نوع اختلاف گیری برای هر دو سنجه شبه فاصله و فاز موج حامل بصورت زیر می باشد (Liu,1993).

$$\nabla\Delta P = \nabla\Delta\rho + \nabla\Delta d\rho + \nabla\Delta d_{ion} + \nabla\Delta d_{trop} + \varepsilon(\nabla\Delta P_{multi}) + \varepsilon(\nabla\Delta P_{rx}) \quad (52)$$

$$\nabla\Delta\Phi = \nabla\Delta\rho + \nabla\Delta d\rho + \lambda\nabla\Delta N - \nabla\Delta d_{ion} + \nabla\Delta d_{trop} + \varepsilon(\nabla\Delta\Phi_{multi}) + \varepsilon(\nabla\Delta\Phi_{rx}) \quad (53)$$



نگاره ۶- تفاضل دوگانه بین دو گیرنده و دو ماهواره

نوع دوم اختلاف گیری دوگانه، اختلاف گیری بین دو گیرنده، یک ماهواره و دو مقطع زمانی با نماد $\delta\Delta$ است. این نوع اختلاف گیری از ترکیب اختلاف گیری های نوع اول و سوم در ترکیب تفاضلی یگانه بدست می آید که دارای ویژگی های آنها در حذف خطای ساعت ماهواره و ابهام فاز اولیه نیز می باشد.

$$\delta\Delta P = \delta\Delta\rho + \delta\Delta d\rho + c\delta\Delta\delta r_r + \delta\Delta d_{ion} + \delta\Delta d_{trop} + \varepsilon(\delta\Delta P_{mult}) + \varepsilon(\delta\Delta P_{rx}) \quad (54)$$

$$\delta\Delta\Phi = \delta\Delta\rho + \delta\Delta d\rho + c\delta\Delta\delta r_r - \delta\Delta d_{ion} + \delta\Delta d_{trop} + \varepsilon(\delta\Delta\Phi_{mult}) + \varepsilon(\delta\Delta\Phi_{rx}) \quad (55)$$

نوع سوم اختلاف گیری دوگانه، اختلاف گیری بین یک گیرنده، دو ماهواره و دو مقطع زمانی با نماد $\delta\nabla$ است. این نوع اختلاف گیری از ترکیب اختلاف گیری های نوع دوم و سوم در ترکیب تفاضلی یگانه بدست می آید که دارای ویژگی های آنها در حذف خطای ساعت گیرنده و ابهام فاز اولیه نیز می باشد.

$$\delta\nabla P = \delta\nabla\rho + \delta\nabla d\rho - c\delta\nabla\delta r^s + \delta\nabla d_{ion} + \delta\nabla d_{trop} + \varepsilon(\delta\nabla P_{mult}) + \varepsilon(\delta\nabla P_{rx}) \quad (56)$$

$$\delta\nabla\Phi = \delta\nabla\rho + \delta\nabla d\rho - c\delta\nabla\delta r^s - \delta\nabla d_{ion} + \delta\nabla d_{trop} + \varepsilon(\delta\nabla\Phi_{mult}) + \varepsilon(\delta\nabla\Phi_{rx}) \quad (57)$$

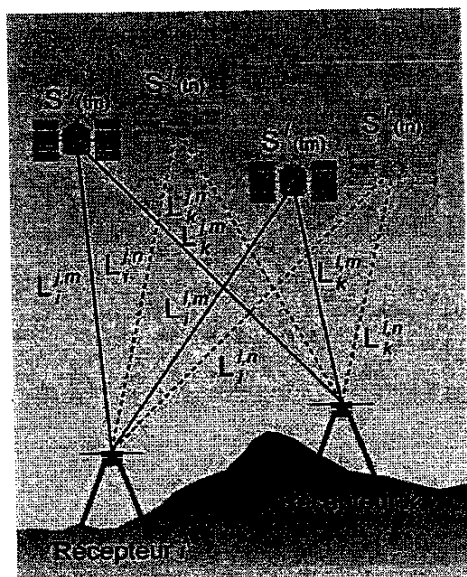
ترکیب تفاضلی سه گانه

مطابق نگاره (۷)، این نوع ترکیب تفاضلی عبارتست از اختلاف گیری سه گانه بین دو گیرنده و دو ماهواره در دو مقطع زمانی متوالی با نماد $\delta\nabla\Delta$ است. مزیت این نوع ترکیب تفاضلی، حذف کامل خطاهای ساعت گیرنده، ساعت ماهواره و ابهام فاز اولیه حذف و نیز کاهش خطاهای مداری و جوی می باشد. اما خطاهای چند مسیری و نویز گیرنده نسبت به ترکیب های تفاضلی قبلی تشدید می شود. از این نوع ترکیب تفاضلی عمدتاً برای کشف جهش فازها و برآورد بهترین مختصات اولیه ایستگاه های زمینی استفاده می شود. معادله

مربوط به ترکیب تفاضلی سه گانه برای سنجه های شبه فاصله و فاز موج حامل به صورت زیر می باشد
(Wells,1986)

$$\delta \nabla \Delta P = \delta \nabla \Delta \rho + \delta \nabla \Delta d \rho + \delta \nabla \Delta d_{ion} + \delta \nabla \Delta d_{trop} + \varepsilon(\delta \nabla \Delta P_{multi}) + \varepsilon(\delta \nabla \Delta P_{rx}) \quad (58)$$

$$\delta \nabla \Delta \Phi = \delta \nabla \Delta \rho + \delta \nabla \Delta d \rho - \delta \nabla \Delta d_{ion} + \delta \nabla \Delta d_{trop} + \varepsilon(\delta \nabla \Delta \Phi_{multi}) + \varepsilon(\delta \nabla \Delta \Phi_{rx}) \quad (59)$$



نگاره ۷- تفاضل سه گانه بین دو گیرنده و دو ماهواره در دو مقطع زمانی

فصل ششم

منابع خطا در GNSS و روشهای مقابله با آنها

همانگونه که در معادلات مشاهدات سنجی های مختلف نشان داده شد، هر یک از سه مشاهده اساسی GNSS شامل خطاهای مختلفی است که در برآورد دقیق موقعیت گیرنده یا سرعت آن می بایستی حذف یا به حداقل ممکن برسند. عوامل مختلفی از زمان انتشار سیگنال در ماهواره (مانند باقیمانده نیروهای اغتشاشی و ساعت ماهواره) تا زمان دریافت آن در گیرنده (مانند تغییرات مرکز فاز آنتن) بر روی سیگنال های ناوبری ماهواره ای اثر می گذارند که هر یک به عنوان یک منبع خطا شناخته می شود. به همین منظور در این فصل به تشریح خطاهای موثر در تعیین موقعیت ماهواره ای و نحوه مقابله با آنها پرداخته می شود.

اثرهای جوی

سرعتهای فاز و گروه گروه دکلر

چنانچه یک موج الکترومغناطیسی در حال انتشار در فضا را با طول موج λ و فرکانس f در نظر بگیریم، در آن صورت رابطه زیر بیانگر "سرعت فاز" می باشد.

$$v_{ph} = \lambda f$$

رفتار این دو وابسته به محیط انتشار آنها می باشد. سرعت فاز و گروه در محیط های هتروگن متفاوت است (۱)

موج های حامل در سامانه های GNSS با سرعت فاز انتشار می یابند. از طرف دیگر برای یک گروه از امواج که دارای فرکانس متفاوتی هستند، سرعت انتشار آنها با "سرعت گروه" تعریف می شود.

$$v_{gr} = -\frac{df}{d\lambda} \lambda^2 \tag{۲}$$

"سرعت گروه" در سامانه های GNSS برای امواج کد صادق می باشد. رابطه بین سرعت های فاز و گروه با تشکیل یک دیفرانسیل کامل از (۱) به صورت زیر به دست می آید.

$$dv_{ph} = f d\lambda + \lambda df \quad (3)$$

با تقسیم طرفین رابطه (۳) بر $\lambda d\lambda$ ، رابطه مذکور مجدداً به صورت زیر قابل باز نویسی هست.

$$\frac{df}{d\lambda} = \frac{1}{\lambda} \frac{dv_{ph}}{d\lambda} - \frac{f}{\lambda} \quad (4)$$

با جایگذاری (۴) در (۲) به رابطه جدید زیر می رسیم.

$$v_{gr} = -\lambda \frac{dv_{ph}}{d\lambda} + f\lambda \quad (5)$$

و سرانجام رابطه زیر به دست می آید.

$$v_{gr} = v_{ph} - \lambda \frac{dv_{ph}}{d\lambda} \quad (6)$$

سرعت های فاز و گروه در محیط های نا پاشنده (nondispersive) با یکدیگر یکسان و برابر با سرعت امواج الکترومغناطیسی (c) می باشند. سرعت انتشار یک موج در یک محیط به ضریب شکست (n) بستگی دارد و مطابق رابطه زیر تعریف می شود.

$$v = \frac{c}{n} \quad (7)$$

بر همین اساس سرعت های فاز و گروه با توجه به ضرایب شکست n_{gr} و n_{ph} به صورت زیر بدست می آیند.

$$v_{ph} = \frac{c}{n_{ph}} \quad (8)$$

$$v_{gr} = \frac{c}{n_{gr}} \quad (9)$$

از آنجا که طبق رابطه (۱) سرعت فاز تابعی از فرکانس و طول موج می باشد، لذا با دیفرانسیل گیری از رابطه (۸) نسبت به λ به رابطه زیر می رسیم.

$$\frac{dv_{ph}}{d\lambda} = -\frac{c}{n_{ph}^2} \frac{dn_{ph}}{d\lambda} \quad (10)$$

با جایگذاری (۸)، (۹) و (۱۰) در رابطه (۶) به روابط زیر خواهیم رسید.

$$\frac{c}{n_{gr}} = \frac{c}{n_{ph}} + \lambda \frac{c}{n_{ph}^2} \frac{dn_{ph}}{d\lambda} \quad (11)$$

$$\frac{1}{n_{gr}} = \frac{1}{n_{ph}} \left(1 + \lambda \frac{1}{n_{ph}} \frac{dn_{ph}}{d\lambda} \right) \quad (12)$$

رابطه (۱۲) را با توجه به $(1 + \varepsilon)^{-1} \cong 1 - \varepsilon$ می توان به رابطه زیر تبدیل نمود.

$$n_{gr} = n_{ph} \left(1 - \lambda \frac{1}{n_{ph}} \frac{dn_{ph}}{d\lambda} \right) \quad (13)$$

بنابراین در نهایت به رابطه زیر خواهیم رسید.

$$n_{gr} = n_{ph} - \lambda \frac{dn_{ph}}{d\lambda} \quad (14)$$

با دیفرانسیل گیری از $c = \lambda f$ نسبت به λ و f به رابطه زیر خواهیم رسید.

$$\frac{d\lambda}{\lambda} = -\frac{df}{f} \quad (15)$$

حال با جایگذاری (15) در (14) به یک رابطه جدید بر حسب فرکانس خواهیم رسید.

$$n_{gr} = n_{ph} + f \frac{dn_{ph}}{df} \quad (16)$$

انکسار یونسفری (Ionospheric refraction)

یونسفر، شامل لایه های مختلف جو از حدود ۵۰ کیلومتر تا ۱۰۰۰ کیلومتر بالای سطح زمین است که یک محیط پاشنده (dispersive) برای سیگنال های سامانه های ناوبری ماهواره ای می باشد. بنابراین سیگنال های GNSS درحین عبور از این لایه دچار تاخیر یا تقدم می شوند. از آنجا که مقدار این خطا بعد از خطای عمدی SA بزرگترین سهم را در برآیند کل خطاها دارد، مطالعات بسیار وسیعی برای مقابله با آن انجام شده است. میزان خطای یونسفری متناسب با تعداد الکترون های آزاد موجود در واحد سطح مسیر عبور سیگنال است. تعداد الکترون های آزاد موجود در واحد سطح مسیر عبور سیگنال نیز به عواملی همچون فعالیت های خورشیدی، فعالیت های مغناطیسی، زمان، موقعیت گیرنده زمینی و زاویه ارتفاعی ماهواره بستگی دارد و به همین دلیل مقدار خطای یونسفری متغیر می باشد. برای محاسبه میزان انکسار یونسفری به ترتیب زیر عمل می کنیم.

مطابق (Seeber,1989) سری زیر را می توان برای ضریب شکست فاز نوشت.

$$n_{ph} = 1 + \frac{C_2}{f^2} + \frac{C_3}{f^3} + \frac{C_4}{f^4} + \dots \cong 1 + \frac{C_2}{f^2} \quad \text{فرکانس فاز مربوطه} \quad (17)$$

ضرایب C_2 ، C_3 و C_4 مستقل از فرکانس می باشند ولی تابعی از چگالی الکترون های آزاد در امتداد مسیر انتشار سیگنال هستند. در اینجا از کمیت N_e به عنوان تعداد الکترون ها در واحد متر مکعب استفاده می شود. با دیفرانسیل گیری از (17) به رابطه زیر می رسیم.

$$dn_{ph} = -\frac{2C_2}{f^3} df \quad (18)$$

با جایگذاری (17) و (18) در (16) به یک رابطه جدید برای ضریب انکسار گروه می رسیم.

$$n_{gr} = 1 - \frac{C_2}{f^2} \quad (19)$$

از روابط (17) و (19) به سادگی پیداست که ضرایب انکسار گروه و فاز نسبت به واحد به یک اندازه با علامت مخالف انحراف دارند. با در نظر گرفتن مقدار ثابت $C_2 = -40.3N_e$ که توسط (Seeber,1989) برآورد شده است، می توان نتیجه گرفت که ضریب انکسار گروه بزرگتر از ضریب انکسار فاز است ($n_{gr} > n_{ph}$) و در نتیجه سرعت فاز بیشتر از سرعت گروه است ($v_{gr} < v_{ph}$). به روشنی در می یابیم که سرعت های مختلف فاز و گروه باعث تاخیر موج گروه (کد) و تقدم موج حامل (فاز) می شوند. بنابراین شبه فاصله های کدی و شبه فاصله های فازی به عنوان تابعی از فرکانس و چگالی الکترون های آزاد نسبت به فاصله هندسی بین ماهواره و گیرنده به ترتیب به یک اندازه بلندتر و کوتاهتر اندازه گیری می شوند.

برای تعیین مقدار انکسار یونسفری به صورت زیر عمل می کنیم. طبق اصل فرمت فاصله واقعی طی شده توسط یک موج به صورت زیر بدست می آید.

$$s = \int n ds \quad (20)$$

چنانچه ضریب انکسار در طول مسیر سیگنال برابر واحد باشد ($n=1$)، واقعی طی شده توسط موج همان مسیر مستقیم است که در مورد ماهواره ها و گیرنده ها موسوم به فاصله هندسی می باشد و از رابطه زیر بدست می آید.

$$s_0 = \int ds_0 \quad (21)$$

حال اختلاف بین فاصله منحنی و فاصله هندسی را به عنوان انکسار یونسفری برای فاز و گروه بدست می آوریم.

$$d_{ph}^{ion} = s_{ph} - s_0 \quad (22)$$

$$= \int n_{ph} ds - \int ds_0$$

$$= \int \left(1 + \frac{C_2}{f^2} \right) ds - \int ds_0$$

$$\cong \int \frac{C_2}{f^2} ds_0$$

$$= -\frac{40.3}{f^2} \int N_e ds_0$$

حداکثر الکترونهای آزاد

$$\begin{aligned}
 d_{gr}^{lon} &= s_{gr} - s_0 & (23) \\
 &= \int n_{gr} ds - \int ds_0 \\
 &= \int \left(1 - \frac{C_2}{f^2} \right) ds - \int ds_0 \\
 &\cong - \int \frac{C_2}{f^2} ds_0 \\
 &= \frac{40.3}{f^2} \int N_e ds_0
 \end{aligned}$$

برای ارائه رابطه نهایی انکسار یونسفری "حجم کل الکترون (TEC)" به صورت زیر تعریف می شود.

$$TEC = \int N_e ds_0 \quad (24)$$

حال با جایگذاری در روابط (22) و (23) به شکل جدیدتری برای انکسارهای یونسفری فاز و گروه می رسمیم.

$$d_{ph}^{lon} = -\frac{40.3}{f^2} TEC \quad (25)$$

$$d_{gr}^{lon} = \frac{40.3}{f^2} TEC \quad (26)$$

از آنجا که معمولاً مقدار TEC (انتگرال (24)) در طول امتداد قائم تعیین می شود، روابط (25) و (26) برای یک ماهواره در راستای قائم اعتبار دارد و برای سایر راستاها به صورت تابعی از زاویه زینتی ماهواره بایستی در نظر گرفته شده و به صورت زیر محاسبه شوند.

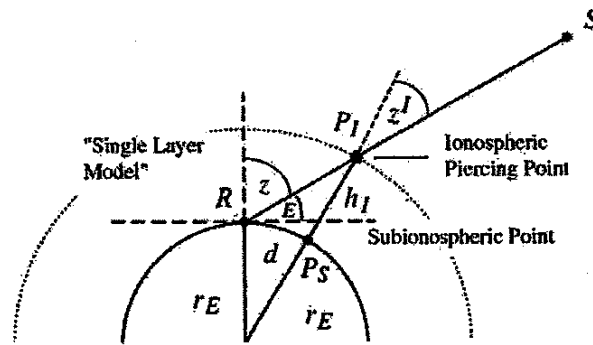
$$d_{ph}^{lon} = -\frac{1}{\cos z'} \frac{40.3}{f^2} TEC \quad (27)$$

$$d_{gr}^{Ion} = \frac{1}{\cos z'} \frac{40.3}{f^2} TEC \quad (28)$$

که در آن z' زاویه زنیتی در نقطه یونسفر با توجه به نگاره (۱) و داشتن شعاع متوسط زمین (R_E)، ارتفاع متوسط یونسفر (h_m) و زاویه زنیتی مکان مشاهده (z) به صورت زیر تعریف می شود.

$$\sin z' = \frac{R_E}{R_E + h_m} \sin z \quad (29)$$

زاویه زنیتی z می تواند برای یک موقعیت معلوم ماهواره و مختصات تقریبی ایستگاه مشاهده محاسبه شود. برای h_m نیز معمولاً یک مقدار در دامنه ۳۰۰ تا ۴۰۰ کیلومتری در نظر گرفته می شود.



نگاره ۱- هندسه مربوط به انکسار یونسفری

همانطور که نشان داده شد، انکسار یونسفری وابسته به تعیین حجم کل الکترون (TEC) است که تعیین آن خیلی پیچیده است و بستگی به فعالیت های لکه های خورشیدی (sunspot) با دوره تناوب تقریبی ۱۱ سال، تغییرات فصلی و روزانه، خط دید که شامل ارتفاع و آزیموت ماهواره، و موقعیت ایستگاه مشاهده دارد. با در نظر گرفتن این موارد شبه فاصله حاصل از سنجه های ماهواره ای می تواند تا بیش از 50m نیز ناشی از انکسار یونسفری دارای خطا باشد.

روش های مختلفی بر پایه TEC برای کاهش یا حذف انکسار یونسفری ارائه شده است. اندازه گیری مقدار TEC در رصدخانه های ویژه، برآورد TEC در حین پردازش داده های ماهواره ای بصورت تابعی از عرض ایستگاه مشاهداتی و زمان خورشیدی محلی، استفاده از مدل های استاندارد از طریق پیام های ناوبری مانند مدل کلوبوچار (klobuchar)، حذف اثر TEC با استفاده از سیگنال های با فرکانس های متفاوت و بکارگیری روش های تفاضلی پردازش داده ها در طول های کوتاه از جمله این روش ها می باشند. در این میان مهمترین و کارآمدترین روش بویژه در کارهای دقیق و فواصل نسبتا بلند، حذف اثر TEC با ترکیب خطی دو سیگنال با فرکانس های متفاوت می باشد که در ادامه به آن می پردازیم.

حذف اثر TEC

بدلیل وابستگی زمانی، پیدا کردن یک مدل مناسب برای TEC مشکل است. بنابراین خنثی سازی انکسار یونسفری بوسیله دو سیگنال با فرکانس های مختلف کارآترین روش است. در واقع دلیل اصلی تولید بیش از یک سیگنال در سامانه های تعیین موقعیت ماهواره ای همین موضوع است. برای شروع معادله شبه فاصله کدی را با عبارت انکسار یونسفری برای دو موج L_1 و L_2 در نظر می گیریم.

$$P_1 = \rho + d\rho + c\delta_r^e + d_{ion}(f_1) \quad (30)$$

$$P_2 = \rho + d\rho + c\delta_r^e + d_{ion}(f_2)$$

اکنون یک ترکیب خطی با ضرایب اختیاری n_1 و n_2 بصورت زیر بین معادلات مشاهدات کد P_1 و P_2 تشکیل می دهیم.

$$P_{12} = n_1 P_1 + n_2 P_2 \quad (31)$$

هدف اصلی از معادله فوق پیدا کردن یک مشاهده ترکیبی جدید به گونه‌ای است که انکسار یونسفری در آن حذف شود. بنابراین مطابق رابطه زیر باید عبارت انکسار یونسفری در معادله ترکیبی (۳۱) برابر صفر شود.

$$n_1 d_{ion}(f_1) + n_2 d_{ion}(f_2) = 0 \quad (32)$$

معادله (۳۲) دو مجهول n_1 و n_2 دارد. چنانچه به طور دلخواه $n_1 = 1$ انتخاب شود، به صورت زیر به دست می آید.

$$n_2 = -\frac{d_{ion}(f_1)}{d_{ion}(f_2)} \quad (33)$$

با استفاده از (۲۶) رابطه اخیر بصورت زیر در می آید.

$$n_2 = -\frac{f_2^2}{f_1^2} \quad (34)$$

حال با جایگذاری مقادیر n_1 و n_2 در معادله (۳۱) به رابطه جدید زیر می‌رسیم.

$$P_{12} = P_1 - \frac{f_2^2}{f_1^2} P_2 \quad (35)$$

این معادله ترکیب خطی همان معادله جدید عاری از انکسار یونسفری برای شبه فواصل کدی است. به طور مشابه یک ترکیب خطی عاری از انکسار یونسفری نیز برای فازهای حامل می‌توان بدست آورد. بنابراین معادله شبه فاصله فازی را با عبارت انکسار یونسفری برای دو موج L_1 و L_2 بر حسب دور در نظر می‌گیریم.

$$\Phi_1 = \frac{1}{\lambda_1} \rho + f_1 \alpha_r^* + N_1 - \frac{1}{\lambda_1} d_{ion}(f_1) \quad (36)$$

$$\Phi_2 = \frac{1}{\lambda_2} \rho + f_2 \alpha_r^* + N_2 - \frac{1}{\lambda_2} d_{ion}(f_2)$$

یک ترکیب خطی با ضرایب اختیاری n_1 و n_2 بصورت زیر بین معادلات مشاهدات فاز Φ_1 و Φ_2 تشکیل می دهیم.

$$\Phi_{12} = n_1 \Phi_1 + n_2 \Phi_2 \quad (37)$$

با استفاده از روابط (36)، معادله ترکیبی (37) به صورت زیر بازنویسی می شود.

$$\begin{aligned} \Phi_{12} = \rho \left(\frac{n_1}{\lambda_1} + \frac{n_2}{\lambda_2} \right) + \alpha_r^* (n_1 f_1 + n_2 f_2) + n_1 N_1 + n_2 N_2 \\ + \frac{n_1}{\lambda_1} d_{ion}(f_1) + \frac{n_2}{\lambda_2} d_{ion}(f_2) \end{aligned} \quad (38)$$

برای رسیدن به یک ترکیب خطی فاز عاری از خطای یونسفری، باید رابطه زیر برقرار باشد.

$$\frac{n_1}{\lambda_1} d_{ion}(f_1) + \frac{n_2}{\lambda_2} d_{ion}(f_2) = 0 \quad (39)$$

در اینجا نیز چنانچه به طور دلخواه $n_1 = 1$ انتخاب شود، n_2 به صورت زیر به دست می آید.

$$n_2 = - \frac{\lambda_2 d_{ion}(f_1)}{\lambda_1 d_{ion}(f_2)} \quad (40)$$

مجددا با جایگذاری (۲۶) و استفاده از رابطه $c = \lambda f$ می توان رابطه (۴۰) را بازنویسی نمود.

$$n_2 = -\frac{f_2}{f_1} \quad (41)$$

در پایان ترکیب خطی فاز عاری از انکسار یونسفری، که همان باقیمانده هندسی مورد بحث در فصل قبل است، بصورت زیر به دست می آید.

$$\Phi_{12} = \Phi_1 - \frac{f_2}{f_1} \Phi_2 \quad (42)$$

باید توجه نمود که نویز ترکیب عاری از خطای یونسفری در مقایسه با فاز خام افزایش پیدا می کند و بنابراین در انتخاب دو مجهول n_1 و n_2 محدودیت ایجاد می شود.

همچنین یادآوری می شود که ترکیب عاری از خطای یونسفری بطور کامل صحیح نیست، زیرا یکسری تقریب هایی ناشی از برش سری تیلور رابطه ضریب انکسار بکار رفته است. علاوه بر این در ترکیب فازهای حامل، یک ایراد مهم نیز به وجود می آید که ماهیت صحیح بودن ابهام فاز مشاهده ترکیبی از بین می رود زیرا ضرایب n_1 و n_2 هر دو صحیح نیستند. در واقع ترکیب خطی $N_{12} = n_1 N_1 + n_2 N_2$ به صورت

$$N_{12} = N_1 - \frac{f_2}{f_1} N_2$$

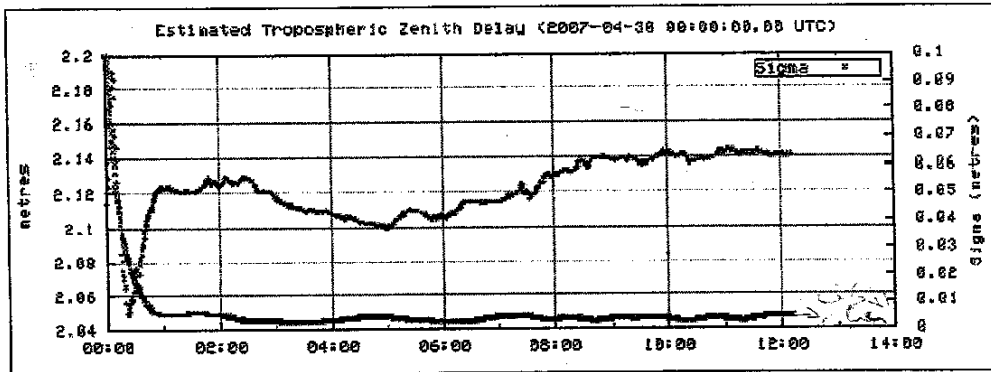
خواهد بود که دیگر یک عدد صحیح نیست.

انکسار تروپوسفری

حرایب صحیح ضرایب مشاهده نمیست

لایه تروپوسفر به بخشی از جو اطلاق می گردد که از بالای سطح زمین تا ارتفاع تقریبی ۱۰ کیلومتری قرار دارد. لایه تروپوسفر یک محیط ناپاشنده نسبت به امواج رادیویی تا فرکانس های 15GHz می باشد و بنابراین سرعت انتشار سیگنال های GNSS در این لایه مستقل از فرکانس است و حذف انکسار تروپوسفری با داشتن

دو فرکانس امکان پذیر نیست. میزان خطای تروپوسفری از ۳۰ متر تا کمتر از ۵ متر می باشد که بستگی به عواملی چون دما، رطوبت، فشار، ارتفاع گیرنده، جنس زمین در زیر مسیر سیگنال GNSS دارد. در نگاره (۲) تأخیر تروپوسفری در راستای قائم، که کمترین اثر را دارد، برای ایستگاه GPS دائم تهران نمایش داده شده است.



نگاره ۲- تأخیر تروپوسفری زینتی برای ایستگاه تهران (غلامعلی، ۱۳۸۸)

اثر تروپوسفر در افق زیاد تر از زاویه ۷۰ است

برای به دست آوردن مدل انکسار تروپوسفری، مشابه انکسار یونسفری، تأخیر مسیر تروپوسفری بصورت زیر به دست می آید.

$$d^{Trop} = \int (n-1) ds \quad (43)$$

با تقریب انتگرال گیری فوق را در طول مسیر هندسی سیگنال در نظر گرفته و بجای ضریب انکسار n از قابلیت انکسار $N^{Trop} = 10^6(n-1)$ بصورت زیر استفاده می کنیم.

$$d^{Trop} = 10^{-6} \int N^{Trop} ds \quad (44)$$

معمولا قابلیت انکسار N^{Trop} به دو مولفه خشک (N_d^{Trop}) ناشی از جو خشک و تر (N_w^{Trop}) ناشی از بخار آب موجود در جو، به صورت زیر قابل تجزیه است (Hopfield, 1969).

$$N^{Trop} = N_d^{Trop} + N_w^{Trop} \quad (45)$$

بنابراین متناظر با دو مولفه خشک و تر قابلیت انکسار، انکسار تروپوسفری خشک (d_d^{Trop}) و تر (d_w^{Trop}) به صورت زیر به دست می آیند.

$$d_d^{Trop} = 10^{-6} \int N_d^{Trop} ds \quad (46)$$

$$d_w^{Trop} = 10^{-6} \int N_w^{Trop} ds \quad (47)$$

در واقع مجموع انکسار تروپوسفری خشک (d_d^{Trop}) و تر (d_w^{Trop}) همان انکسار تروپوسفری است.

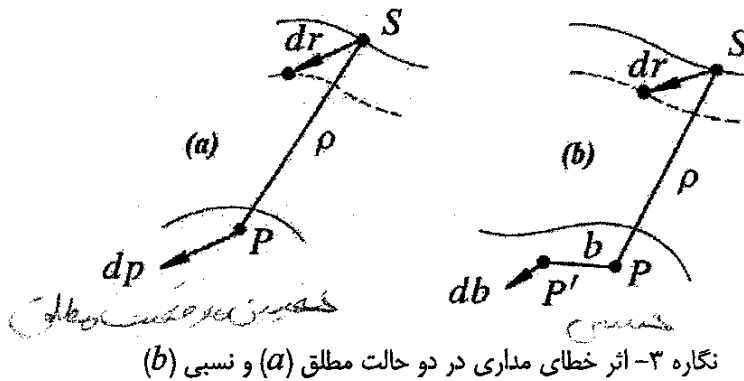
$$d^{Trop} = d_d^{Trop} + d_w^{Trop} \quad (48)$$

حدود ۹۰٪ انکسار تروپوسفری ناشی از مولفه خشک و حدود ۱۰٪ به دلیل مولفه تر است (Janes et al., 1989). نحوه برخورد با این منبع خطا متفاوت است و می تواند از طریق اندازه گیری پارامترهای جوی، برآورد انکسار تروپوسفری در حین پردازش داده ها، استفاده از مدل های استاندارد مانند Hopfield و Saastamoinen و استفاده از روش های تفاضلی پردازش داده ها در طول های کوتاه صورت گیرد. در کارهای دقیق و طول های نسبتا بلند، معمولا انکسار تروپوسفری برای هر ایستگاه در فواصل زمانی مشخص در راستای قائم برآورد می شود و سپس برای هر زاویه ارتفاعی متناظر با سیگنال ورودی از ماهواره ها به کمک توابع نگاشت مختلف به دست می آید. لازم به ذکر است یکی از دلایل اصلی ردیابی سیگنال های

ماهواره ای با زاویه ارتفاعی بزرگتر از 15° ، کاهش خطای تروپوسفری و اجتناب از پیچیده شدن مدل های موجود می باشد.

خطای مداری

خطای مداری ماهواره مجموع خطاهای ناشی از مدل سازی ناقص دینامیک ماهواره در فضا یا اثر باقیمانده نیروهای اغتشاشی (خطای اسمی dp_n) و اعمال پدیده قابلیت انتخابی dp_{SA} (SA) در صورت فعال بودن، می باشد. دقت مداری حاصل از اطلاعات مداری استاندارد (Broadcast Ephemeris) در حالت غیر فعال بودن SA، حدود چند متر می باشد و برای اطلاعات مداری دقیق (Precise Ephemeris) این دقت به حدود چند سانتی متر می رسد (Liu, 1993).



خطای مداری ماهواره می تواند بطور قابل ملاحظه ای با استفاده از اطلاعات مداری دقیق یا تعیین موقعیت های تفاضلی در فواصل کوتاه کاهش یابد. ارتباط خطای مداری و فاصله بین ایستگاه های زمینی در تعیین موقعیت تفاضلی را می توان با توجه به نگاره (۳) از معادله تجربی زیر پیدا کرد [Wells, 1986].

$$\frac{db}{b} = \frac{dr}{\rho} \quad (۴۹)$$

در اینجا ρ فاصله ایستگاه ها است