تلفیق سیستم های تعیین موقعیت ماهواره ای GPS وGLONASS و افزایش دقت موقعیت یابی در معادن روباز

غلامرضا جودکی[1]

مربی- گروه مهندسی نقشه برداری دانشکده مهندسی دانشگاه زنجان

E-mail: gh_reza@mail.znu.ac.ir

چکیده:

سیستم تعیین موقعیت ماهواره ای امروزه سیستمی توانا برای تعیین موقعیت مکانی اشیاء بصورت ایستا و پویا می باشد.انواع سیستم های تعیین موقعیت ماهواره ای که امروز موجود می باشد عبارتند از :

1-GLOBAL POSITIONING SYSTEM (GPS)
2-GLOBAL NAVIGATION SATELLITE SYSTEM (GLONASS)
3-GALILEO SATELLITE POSITIONING SYSTEM

سیستم GPS سیستم تعیین موقعیت ماهواره ای است که در حال حاضر شامل ۲۸ ماهواره می باشد که توسط وزارت دفاع امریکا پرتاب شده اند و اطلاعات تعیین موقعیت خود را در باندهای L-BAND به زمین ارسال می دارند. سیستم GLONASS سیستم تعیین موقعیت ماهواره ای است که در حال حاضر دارای ۲۱ ماهواره می باشدکه در دوره جنگ سرد توسط روس ها به فضا پرتاب شده است و آن سیستم نیز اطلاعات خود را در باند L-BAND به زمین مراسله می کند.سیستم تعیین موقعیت ماهواره ای GALILEO سیستم تعیین موقعیت ماهواره ای دیگر است که در حال حاضر توسط اتحادیه اروپا و آژانس فضایی اروپا در حال طراحی و در سال ۲۰۰۵ اولین ماهواره آن به فضا پرتاب خواهد گردید.هر کدام از این سیستم ها به تنهایی می توانند کار موقعیت یابی را برای اشیا ساکن و متحرک انجام دهند ولی در پاره ای از موارد مانند موقعیت یابی باربرهای مواد معدنی ، تیغه ها و مته های حفاری در معادن روباز ، استفاده از یک نوع سیستم تعیین موقعیت ماهواره ای کافی نمی باشد این عدم کفایت بعلت کاسته شدن تعداد ماهواره های ردیابی شده بخاطر شرایط محیطی از جمله دیواره های معدن می باشد.کاهش تعداد ماهواره های ردیابی شده باعث پایین آمدن دقت تعیین موقعیت و حتی گاهی عدم تعیین موقعیت می گردد .در این مقاله سعی گردیده است که ابتدا ضمن معرفی مختصرسیستم تعیین موقعیت های ماهواره ای ذکر شده در بالا و ضرورت کاربرد آنها در مدیریت معادن روباز، نحوه افزایش دقت تعیین موقعیت حاصله از ترکیب دو سیستم تعیین موقعیت ماهواره ای GPS و GLONASS مورد بررسی قرار گرفته و نتایج آن برای یک معدن روباز در حال پیشرفت نشان داده شود.

کلمات کلیدی: GPS ، LONASS ، GALILEO ،معدن روباز ، تعیین موقعیت ایستا ، تعیین موقعیت پویا

[1] زنجان بلوار دانشگاه ، دانشگاه زنجان ، دانشکده مهندسی ، گروه مهندسی نقشه برداری ، صندوق پستی ۳۱۳

۱- مقدمه:

الف – سیستم تعیین موقعیت ماهواره ای GPS [1]:

این سیستم در حال حاضر از ۲۸ ماهواره تشکیل یافته که در ۶ صفحه مداری با زاویه میل ۵۵ درجه و در ارتفاع ۲۰۰۰۰ کیلومتری سطح زمین قرار گرفته اند، پرید حرکت ماهواره ها ۱۲ ساعت می باشد و در باندهای L1 و L2 به ترتیب با فرکانس ۱۵۷۵ مگاهرتز و ۱۲۲۷ مگاهرتز اطلاعات اندازه گیری شده خود را به زمین مخابره می کنند.اولین ماهواره این سیستم در سال ۱۹۷۸ میلادی توسط وزارت دفاع امریکا به فضا پرتاب شده است و تا کنون آخرین پرتاب ماهواره توسط آن سازمان در سال ۲۰۰۳ انجام گرفته است.اساس تعیین موقعیت یابی در این سیستم فاصله یابی می باشد که فاصله ماهواره تا گیرنده واقع در روی سطح زمین اندازه گرفته می شود، سپس این فاصله بعنوان مشاهده برای تعیین مجهولات که عبارت از ۳ مختصه فضایی (X,Y,Z) گیرنده می باشد بکار می رود. برای تعیین مجهولات نیاز به حداقل مشاهده ۳ ماهواره از یک گیرنده می باشد ولی از آنجائیکه اختلاف زمانی مابین ساعت موجود در گیرنده و ماهواره مجهول می باشد لذا این پارامتر نیز بعنوان یک مجهول در معادله وارد شده و بنابراین حداقل ماهواره های ردیابی شده را برای حل معادله به چهار می رساند.اگر برای رسیدن به دقت بالا در جوابهای معادله بخواهیم از روش های محاسبات عددی نظیر روش کمترین مربعات استفاده نماییم در این صورت تعداد ماهواره های ردیابی شده حداقل ۴ می باشد و باید بیشتر از این تعداد ماهواره توسط گیرنده ردیابی شود.نحوه توزیع ماهواره ها در این سیستم به گونه ای است که حداقل ۴ ماهواره توسط گیرنده در هر لحظه ردیابی می شود و در جا هایی که دارای افق بهتری باشد تعداد ماهواره های بیشتری می توان ردیابی نمود.اما در بعضی محیط ها مانند معادن روباز به دلیل شرایط محیطی افق گیرنده محدود شده و تعداد ماهواره های کمتری ردیابی می شو دکه این موضوع باعث پایین آمدن دقت موقعیت یابی توسط گیرنده می شود البته عوامل محیطی دیگر نظیر محیط های انعکاسی، توپسفریک، یونسفریک نیز باعث پایین آمدن دقت می شو د که با اتخاذ روش های مناسب اندازه گیری می توان اثر این گونه خطاها را کم نمود.روش های موقعیت یابی در این سیستم متنوع می باشدکه برخی از مهمترین آنها عبارتند از روش استاتیک، روش کنیماتیک ، روش ایست – رو و...

در این مقاله برای تعیین موقعیت اشیا مورد نظر بعلت حرکتی که دارند از روش کنیماتیک استفاده شده است و همانطوری که در بالا ذکر شد دیواره های معدن در هنگام تعیین موقعیت سبب ایجاد سدی در برابر مشاهده ماهواره ها شده و از تعداد ماهواره های ردیابی شده می کاهد.این کاهش یا باعث پایین آمدن دقت موقعیت یابی می شود و یا در پاره ای از موارد باعث عدم امکان موقعیت یابی می گردد.

ب – سیستم تعیین موقعیت GLONASS [2]:

این سیستم تعیین موقعیت توسط روسیه در دوران جنگ سرد راه اندازی شده است. تعداد ماهواره های این سیستم در حالت نهایی ۲۴ عدد خواهد بود که پرتاب آنها از سال ۱۹۸۲ یعنی ۴ سال پس از پرتاب ماهواره های GPS شروع شده و تا کنون ۲۱ ماهواره به هوا پرتاب شده است.مشخصات این ماهواره ها عبارت است از:

جدول۱-مشخصات ماهواره های سیستم تعیین موقعیت ماهواره ای GLONASS [2]

تعداد ماهواره ها	۲۱
تعداد صفحات مداری	۳
زاویه میل صفحات مداری	۱۲۰
باند ارسال اطلاعات	L1(1602-1609MHZ) L2(1246-1251MHZ)

تعداد ماهواره های ردیابی شده در این سیستم معمولا ۵ عدد ماهواره و بندرت به ۸ عدد ماهواره می رسد.در این سیستم توزیع ماهواره ها مانند GPS دارای یکنواختی نیست و در عرض های جغرافیایی بالا پوشش مناسب تری از بقیه جاها دارند.اما چون در این سیستم بر خلاف سیستم GPS از خطای عمدی (خطای SA البته تا سال ۲۰۰۱)و کدهای رمزی نظامی استفاده نمی شود بنابراین تعیین موقعیت با این سیستم دارای دقت خوبی می باشد.

ج- سیستم تعیین موقعیت ماهواره ای GALILEO [3]:

طراحی و پرتاب ماهواره های این سیستم بعهده اتحادیه اروپا و آژانس فضایی اروپا می باشد.البته تا کنون ماهواره ای به فضا پرتاب نشده است و تنها مرحله مطالعات مدار ماهواره ها و طراحی آنها صورت گرفته است.در طراحی این ماهواره ها نکته ای که لحاظ شده است همخوانی بسیار این ماهواره ها با ماهواره های GPS می باشد،البته با این شرط که خطای عمدی و کد نظامی در آن تعبیه نشده است.مراحل مطالعاتی و برنامه ریزی این سیستم به شرح زیر می باشد:

جدول۲- مراحل مطالعاتی و برنامه ریزی سیستم تعیین موقعیت ماهواره ای GALILEO [3]

شروع فاز مطالعاتی	June 1999
شروع فاز عملیاتی	June 1999-Dec 2000
گسترش فاز عملیاتی	2001-2004
تست فاز عملیاتی	2005-2007
گسترش فاز نهایی	2007-2008

د-مروری بر عملیات های انجام شده در یک معدن روباز [4]:

معادن روباز بطور کلی از مته ها،بیل های مکانیکی و واگن های روباز برای استخراج مواد معدنی از منطقه عملیاتی استفاده می کنند . معدن روباز ممکن است بصورت سکوهایی که یک طرف آنها حصار کشیده شده است و با افزایش عمق معدن از تعداد آنها کاسته می شود نیز توصیف شود . ارتفاع حصار سکوها بطور کلی حداکثر به ۱۵ متر می رسد و عرض یک سکو عمدتا بوسیله نوع سنگ معدنی تعیین می شود. هر چقدر عمق معدن زیادتر شود شیب حصار دور سکوها که همان دیواره های معدن می باشند زیادتر می شود. این دیواره ها با شیب زیاد سهم زیادی در محدودیت فضای مشاهداتی گیرنده های GPS دارد .

مته ها وسایلی هستند که قادر به ایجاد نقب هایی به قطر ۲۰ سانیتمتر و عمق ۱۵ متر می باشند . نقب ها سپس با مواد منفجره پرداخت می شوند . بعد از انفجار ، حجم مواد معدنی استخراج شده با أند ازه حفاری ، حمل مواد و پردازش تجهیز معدن همسا ز است .

بیل های زنجیری الکتریکی عموما برای کندن سنگ های شکسته شده و بار کردن آن در کف یک واگن روباز بکار برده می شوند . بیل های امروزی دلو هایی با حجم ۳۰ متر مکعب دارند که قادر به بالا آوردن بیش از ۱۰۰ تن مواد معدنی می باشد .

واگن ها مواد را بر اساس نوع کاربریشان به سه بخش شستشو ، سنگ معدن فلزات و یا زباله ها حمل می کنند. بزرگترین واگن ها قادر به حمل کردن بیش از ۳۰۰ تن مواد در یک زمان هستند.

مدیریت این ترکیب بزرگ مقیاس ، اغلب بوسیله سیستم های مدیریت آنی معدنی نظیر DISPATCH™ صورت می گیرد . برای بهینه کردن عملیات توسط این سیستم های مدیریتی ، اطلاعات صحیح موقعیت همه تجهیزات بسیار مهم است .در ادامه جزییات بیشتری راجع به نیازهای تعیین موقعیت وناوبری خواهد آمد.

۲- تعیین موقعیت و ناوبری ، نیازهای پایه [5]:

الف – مته ها:

نیازهای گوناگونی برای ناوبری مته وجود دارد . امروزه این تمایل وجود دارد که با جایگزینی یک سیستم روی مته نیاز به اکیپ نقشه برداری برای تعیین موقعیت نقب مرتفع گردد . بطور ایده آل ، مته اطلاعاتی نظیر نقشه معدن و احتیاجات دیگر را از پایگاه داده معدن بر می دارد و یک عامل با راهنما برای هر نقب در منطقه تهیه می کند . عامل باید قادر به ناوبری مته حداقل با سرعت ناوبری متدهای قبلی نقشه برداری باشد . صرفنظر از چگونگی طرح ، بطور کلی دقت مسطحاتی مکان یابی مته می بایست $\pm 20cm$ باشد این در حالی است که بعضی معادن این دقت به دقت $\pm 10cm$ و در دیگر معادن به دقت $\pm 40cm$ نیاز داشته باشند و به همین خاطر دقت مسطحاتی $\pm 20cm$ برای اکثر معادن قابل قبول است . علاوه براین ، عمق مته در نقب نیز پارامتر مهمی است که باید از مفهوم منحنی های پایه در جایی که عملیات مته کاری اتفاق

می افتد ، برگرفته شود . بعنوان مثال در نقشه معدن ممکن است نیاز به یک سکو شیب دار برای زهکشی و یا ایجاد یک سطح شیبدار برای حمل مواد توسط واگن ها باشد . برای این منظور دقت ارتفاعی مطلوب برابر 10cm و ماکزیمم خطای مجاز 30cm خواهد بود . نرخ تغییر سرعت خز ش مته ها معمولا کمتر از $8\,^{km}/_{h}$ است .

ب – بیل ها :

دو پارامتر مهم برای تجهیز حفاری مهم است . اولین و مشهود ترین پارامتر ،موقعیت دلو بیل است . این پارامتر ممکن است برحسب نوع مواد معدنی یا نام مالک و یا نام کسی که آن را از صاحب امتیازش اجاره گرفته است تعریف شود . معادن زیادی ادعا می کنند که به دقت چند سانتیمتر در مورد این پارامتر نیاز دارند ، اگرچه این ادعا در برابر اندازه دلو بیل که به اندازه سه گاراژ ماشین است ، اغلب گنگ و بی معنا است. سرعت چرخش بیل ها چند درجه بر ثانیه و سرعت خزش آنها بر روی یک سطح زیر $1\,^{km}/_{h}$ می باشد. دومین پارامتر ، ارتفاع سکو است . افزایش عمق مته و مواد معدنی کاوش شده ارتفاع سکو را تعیین می کنند و این نیاز به کنترل با دقت دارد. شرکت های معدنی زیادی از سیستم های لیزری برای تعیین این کمیت استفاده می کنندکه دقت مطلوب معمولا در حدود 30cm است .

ج – واگن ها:

موقعیت واگن معمولا کمترین نیاز دقیق می باشد . معمولا این دقت تاحدود دانستن این که واگن به تقاطع یک جاده نزدیک می شود یا در منطقه صف بندی بیل رسیده است ، کافی می باشد . بعضی اوقات دانستن این نکته لازم است که پهلوی یک بیل یک واگن قرار گرفته است .واگن ها ، اصولا در سرعت های بالای $60\,^{km}/_{h}$ کار می کنند . در کل اگر واگن بصورت رباتیک رانده نشود به دقت مسطحاتی ۵-۲ متر نیاز دارد .

۳- تعیین موقعیت و ناوبری ، نیازهای دیگر [5]:

اگر معادن عمیق نبودند و نیز تجهیزات به صورت روبنایی نبود ، حل نیازهای تجهیزات به تعیین موقعیت با انواع گیرنده های GPS یک مسئله ناچیز بود . گیرنده های ارزان قیمت ۸ کاناله با قیمت تقریبی ۱۰۰ دلار می توانست همه واگن ها را تحت پوشش خود قرار دهد . همچنین گیرنده هایی با قیمت زیر ۱۰۰۰ دلار با تصحیحات مختلف می توانست نیازهای مته ها و بیل ها را برطرف سازد . متاسفانه نتایج حل مسئله تعیین موقعیت با گیرند ه های ارزان قیمت با دنیای واقعی بسیار متفاوت است . در ادامه عوامل مختلف را برای تعیین موقعیت کردن در یک معدن روباز طرح ریزی و بررسی می کنیم .

الف – واگن ها:

واگن ها در حال که پایین ترین تلورانس احتیاجات را دارند ولی با موانع جدی در موقعیت یابی روبرو هستند . دو عامل بزرگ در این موانع عبارت است از محیط و موقعیت آنتن گیرنده . مثلا یک واگن که می تواند ۳۰۰ تن مواد معدنی را حمل کند باید در دما های خیلی زیاد از زمستان های قطب شمال تا تابستان های صحرا های استرالیا کار کند و یا لرزش موتور دیزلی آن با توان ۲۰۰۰ اسب بخار نیزیک مسئله دیگر است . این ها مسائل قابل حلی است اما مطمئنا باعث افزایش هزینه سیستم می شود .

اما بزرگترین مسئله هندسه واگن ها است . این واگن ها کف های عظیمی دارند که برای به عقب راندن بارهایی که روبرداری می شو د، دارای یک سراشیبی از جلو به عقب می باشند . بطور کلی سوار شدن آنتن GPS در جلوی واگن یک کسر بزرگ از آسمان را محو می کند و بخشی از آسمان که رویت می شود تحت یک سطح انعکاسی بزرگ تقویت می گردد . این به تست الگوریتم های کاهش چند مسیره شدن امواج در گیرنده های GPS کمک می کند . البته آنتن GPS تا حد امکان باید یک منظر واضح از آسمان داشته باشد . این بدین معنی است که آنتن GPS باید در یک ارتفاع بالاتر و تا حد امکان با یک منظر واضح از آسمان در جلوی واگن سوار شود . اما آزمایش هر واگن که در خدمت معدن در یک بازه زمانی می باشد آشکار خواهد کرد که آن قسمت هایی از واگن که دارای یک منظر واضح هستند در برخورد با صخره های سرگردان به شدت پیچ خورده و دارای تورفتگی می باشند . این موضوع سبب می شود تا در جلوی واگن ها یک چنگک برای قرار دادن آنتن قرار داده شود . این چنگک ها ممکن است به صورت دکل های در جلوی واگن ها ساخته شود اما نباید از یاد برد که در جاهایی که آنتن بیرون از دکل است آنتن خراب خواهد شد .

برغم این مشکلات ، واگن هایی که با عامل انسانی کار می کنند اغلب بطور مناسبی با بکار بردن گیرنده های ارزان قیمت DGPS ۸ یا ۱۲ کاناله کار می کنند .

ب – مته ها:

مته ها دارای سازه ای به بلندی ۱۵ متر و یا بیشتر هستند که این بلندی به آنها اجازه می دهد تا عمق های مورد نیاز مته کاری شود . در صورتی که مکانیزم یک مته باید به اندازه کافی ثابت باشد ولی این سازه ها برای گیرنده های GPS با دقت زیر متر دارای ثبات کافی نیست . بنابراین آنتن های GPS باید بر روی بدنه ماشین مته کاری سوار شود . دیرک مته بطور ساده قسمتی از آسمان را محو می کند و یک منبع خطای چند مسیره ای امواج برای آنتن های GPS در یک منظر ثابت فراهم می کند . یک سیستم GPS با چندین آنتن برای عملیات مته کاری نیاز می شود ، همان گونه که جلوی ماشین مته کاری بخوبی هندسه خوب تعریف شده برای مربوط کردن موقعیت مته به آنتن ها نیاز می شود . سطح شیب دار نیز نیاز می شود اما آن می تواند بوسیله سنسور های جاذبی بخوبی تداخل سنجی GPS انجام شود .

مشکل نهایی در سیستم ها ی مته کاری این است که مته ها بخاطر طبیعت کاربردشان همیشه با یک دیواره عظیم روبرو هستند. این دیواره ها بطور موثری خیلی از آسمان را مسدود می کند .

ج – بیل ها:

بیل ها مسئله دیگری است . اطلاعات بالا باید برای تعیین موقعیت دلو نسبت به آنتن های GPS اندازه گیری شود .همچنین ارتفاع سکوها نیز نسبت به آنتن ها باید تعیین شود .

د – معادن روباز:

واضح ترین مسئله با همه این سیستم ها هندسه معدن است . معادن زیادی دیواره های معدنی باشیب متجاوز از ۵۵ درجه دارند . بطور کلی ، معادن روباز دارای عمق از ۲۰۰ متر تا ۶۰۰ متر هستند .حتی بعضی از آنها که در مجاورت کوهها هستند ، عمیق تر می باشند . طراحان سیستم های ناوبری ماهواره ای از امواج (UHF)L-Band برای ناوبری استفاده می کنند و متاسفانه این امواج نمی توانند صخره ها را بخوبی سوراخ کنند . بنابراین ما با یک محدودیت شدید در دهانه آسمان روبرو می شویم . این موضوع به اندازه کافی ناخوشایند است ، اما از توصیفات بالا بیاد می آوریم که تجهیزاتی که به تعیین موقعیت صحیح نیاز دارند عبارتند از مته ها و بیل ها و این تجهیزات نیز بطور طبیعی در هنگام کار با یک د یواره معدنی رویارو می شوند .

برای آن دسته از معدن هایی که عمق شان تنها یک یا دو سکو دارد و معدن های زیادی وجود دار دکه این معیار را دارند RTK-GPS یک راه حل کاری است . حقیقتا ، این یک راه حلی است که در چندین سالی که تا کنون به کار رفته است نتایج پایداری را نشان داده است .

اما برای اکثر معادن RTK-GPS یک راه حل کافی نیست . محدودیت های شدید دهانه ، معنی می دهد که معدن تنها می تواند اطلاعات موقعیت مناسب رابه صورت پراکنده در سراسر روز بگیرد . و این در حالی است که اکثر معادن ۲۴ ساعت روز ویا تمام مدت هفته کار می کنند و نمی توانند به این دلیل محدود شوند .تا این اواخر این معادن قادر نبودند ارزش موثر خود را از طریق استفاده از سنسورهای ناوبری ماهواره ای بر روی تجهیزاتشان افزایش دهند .

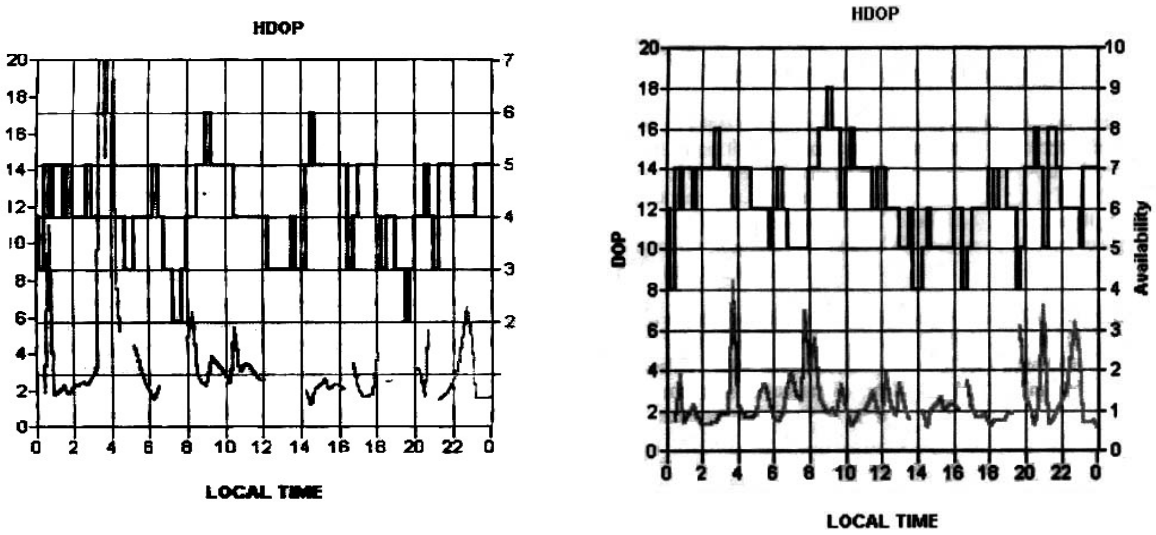
۴- افزایش دقت موقعیت یابی GPS با تلفیق GLONASS [5]:

الف – میدان مشاهده:

اگرچه با تلفیق GPS و GLONASS بهسازی دقت همراه می باشد ، اما بزرگترین منفعت این تلفیق افزایش ماهواره های مشاهده شده می باشد .هنگام کار با سیستم تلفیقی GPS و GLONASS بعلت اینکه به تعداد

ماهواره زیادتری دسترسی داریم دقت موقعیت یابی بیشتر از هنگامی است که با یک سیستم تنهای GPS کار می شود .در این مقاله سعی گردیده که این موضوع ابتدا به صورت تئوریکی وسپس با یک مثال از دنیای واقعی نشان داده شود .

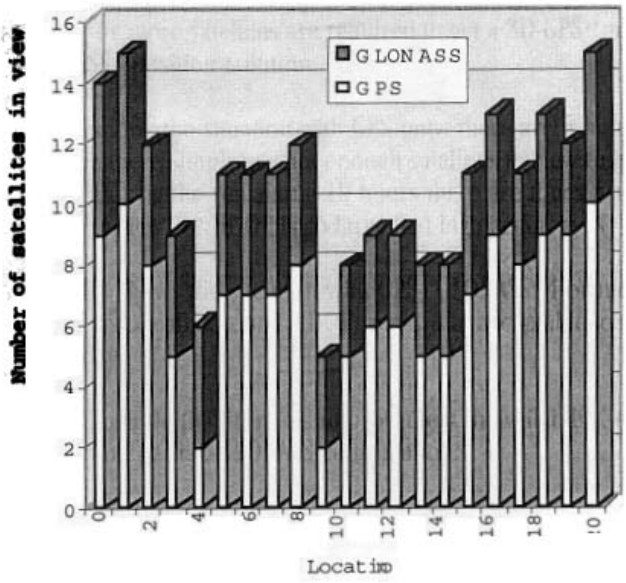
دو نمودار شکل (۱) تعداد ماهواره های مشاهده شده و هندسه قرار گرفتن انهار ا در آسمان نشان میدهد . البته برای مشاهده این ماهواره ها زاویه میدان دید با افق ۳۰ درجه در نظر گرفته شده است . هندسه قرار گرفتن ماهواره ها با کمیتی بنام DOP سنجیده می شود .DOP یک مقیاس خطی از انحراف معیار دقت است . برای تعیین موقعیت کردن با سیستم های ماهواره ای همانطور که قبلا نیز گفته شد نیاز به حداقل ۴ ماهواره و یا بیشتر داریم . نمودار بالایی بیانگر ماهواره های مشاهده شده با یک گیرنده GPS می باشد : ۵ ساعت از طول روز تعداد ماهواره ها کمتر از ۴ می باشد و تعیین موقعیت کردن ا مکان پذیر نیست در ۱۹ ساعت باقی مانده حداقل ۴ ماهواره مشاهده شده وجود دار داما به دلیل بزرگ بودن HDOP امکان تعیین موقعیت با دقت بالا میسر نیست . نمودار پایینی بیانگر وضعیت ماهواره های مشاهده شده توسط یک گیرنده تلفیقی GPS+GLONASS می باشد : در تمام مدت روز تعداد۴ یا بیشتر ماهواره مشاهده شده است و HDOP در اکثر مواقع در وضعیت قابل قبولی قرار دارد.



شکل ۱-نمودارمشاهده ماهواره هایGPS به تنهایی و نمودار دوم مشاهده ماهواره های GPS و GLONASS[5]

ب – یک مثال از یک معدن واقعی:

نمودار زیر بیانگر تعداد ماهواره های مشاهداتی توس یک گیرنده تلفیقی GPS+GLONASS در یک معدن روباز می باشد . همانطور که دیده می شود در بعضی از ساعات روز تعداد ماهواره های GPS برای تعیین موقعیت یابی سه بعدی کافی نیست و این امر با تلفیق ماهواره ها ی دو سیستم برطرف می گردد .



شکل۲-مشاهدات واقعی در موقعیت های مختلف یک معدن[5]

ج – دقت:

برای تعیین دقت نسبی ، یک آزمایش بر روی یک بیل که روی آن یک گیرنده GG24RTK سوار شده ، انجام گرفته است .

نتایج آزمایشات نشان داد دقت نسبی گیرنده GG24RTK در یک معدن عمیق بهتر از ۱۹ سانتیمتر است . این دقت درون تلورانس نیاز داشته برای کاربردهای مته وبیل که قبلا گفته شد ، بخوبی قرار دارد .

۵ – نتایج:

نیاز برای اطلاعات تعیین موقعیت تجهیزات و دقت های خواسته شده برای کاربردهای معدن کاری نشان داده شد .پیچیدگیهای قواعد هندسی معدن کاری اغلب راه حل های GPS تنها را نشدنی می سازد . تلفیق GPS+GLONASS باعث تراکم ماهواره های مشاهداتی گردیده و محدودیت دهانه در اکثر حالات را برطرف

می سازد .این موضوع حتی با قسمتی از GLONASS و یا بخش های در حال جریان آن درست است . مثال های تئوریکی و واقعی از محدودیت دهانه نشان داده شد . بالاخره نتایج واقعی از معادن عملیاتی بیان می کند که گیرنده های تلفیقی می توانند دقت لازم را تهیه کنند و نیز قادر به تکرار راه حل های تعیین موقعیت برای کاربردهای دنیای واقعی می باشند .

مراجع:

[1] Richard B.Langley, (2001), "The Global Positioning System: Past, Present, and Future", the Future of Geodesy and Geomatics Research and Education, Fredericton, N.B 23 June 2001.
[2]Jorgen Borjesson, (2000), "Glonass Contributions to Space Geodesy", Thesis for the Degree of Licentiate of Engineering, Goteborg, Sweden
[3] http://www.aatl.net/publications/galileo.htm
[4]Troy Forward, (1999), "Implementation Issues of An Integrated Satellite-Based Monitoring System for Open-Pit Mine Walls" 6th South East Asian Surveyors' Congress, Fremantle, Western Australia, 1-6 November 1999
[5]Lyle Johnson, Frank Van Diggelen, (1998), "Advantages of a Combined GPS+GLONASS™ Precision Sensor for Machine Control Applications in Open Pit Mining", IEEE PLANS, Agriculture And Machine Control Applications