

کاربرد GPS در کنترل و نگهداری سازه‌ها

رضا قطبی‌زاده^۱، دکتر مسعود حسامی^۲

۱- دانشجوی مهندسی عمران دانشگاه شهید باهنر کرمان

۲- استادیار بخش مهندسی عمران دانشگاه شهید باهنر کرمان

rezaghotbizadeh@gmail.com

خلاصه

سیستم موقعیت‌یابی جهانی (GPS) که ابتدا فقط کاربردهای نظامی داشت، امروزه در بسیاری از علوم کاربردهای فراوانی یافته است. علاوه بر ایجاد تحول در علوم نقشه‌برداری و تعیین موقعیت هر نقطه از زمین، دستگاه‌های GPS اکنون به یکی از مهم‌ترین ابزارهای مهندسی عمران برای بررسی تغییرات روی سازه‌ها و پیش‌بینی خطرات احتمالی در طول عمر آن‌ها تبدیل شده‌اند. کرنش‌سنج‌های GPS می‌توانند اثرات بار باد بر ساختمان‌ها و برج‌های بلند را ثبت کنند که نتایج مفیدی از تحلیل آن‌ها به دست آمده است. تغییر شکل‌های پوسته‌ی زمین باعث ایجاد پدیده‌هایی از جمله زلزله، سونامی، رانش زمین، نشست و تغییر مکان‌های کوچک، اما اثرگذار در درازمدت روی سازه‌ها به‌ویژه سدها، پل‌ها، تونل‌ها و دیگر سازه‌های حساس و حیاتی می‌شود. با استفاده از GPS فعالیت‌های منطقه‌ای پوسته‌ی زمین مورد بررسی قرار گرفته است و به‌وسیله‌ی اطلاعات به‌دست آمده می‌توان تخریب و دیگر اثرات منفی محیطی روی سازه‌ها را پیش‌بینی و تا حدی کنترل کرد.

کلمات کلیدی: سیستم موقعیت‌یابی جهانی، کرنش‌سنج GPS، تغییر شکل پوسته‌ی زمین

مقدمه

روش‌های نقشه‌برداری مرسوم که برای ردیابی تغییر شکل‌های استاتیکی سازه‌ها استفاده می‌شوند، دارای ایرادهایی ذاتی در دستگاه‌های خودکار نقشه‌برداری، دوربین‌های تئودولیت و ترازبایی یا فتوگرامتری زمین می‌باشند، که موارد استفاده از این سیستم‌ها را محدود کرده است. هزینه‌ی خرید، نصب و نگهداری و تنظیم مکرر، از ایرادهای موجود در این دستگاه‌ها می‌باشند. به‌علاوه برای دریافت مفاهیم مهندسی، احتیاج به تفسیر و ترجمه‌ی داده‌های حاصل از این دستگاه‌ها می‌باشد، که در برخی موارد بسیار پیچیده است. گذشته از این، روش‌های نقشه‌برداری معمول نیاز به گستره‌ی دید خاصی دارند و مانند GPS^۱ به‌طور خودکار، مداوم، با سرعت بالا و تکنیک ارتباط وسیع قابل استفاده نیستند. هم‌چنین روند محاسبات روی داده‌های حاصل از GPS، پیچیدگی روش‌های سنتی را ندارد. این دلایل به‌خوبی نشان‌دهنده‌ی فواید استفاده از GPS است. دلایل اصلی کارآمد بودن نقشه‌برداری به‌وسیله‌ی GPS به شرح زیر می‌باشد:

- شرایط جوی؛
 - دقت قابل تنظیم از ۱ cm تا ۱ mm که باعث می‌شود استفاده از GPS در موارد مختلف امکان‌پذیر باشد؛
 - موقعیت سه‌بعدی با ساختار یکنواخت با مبنای جهانی (WGS۸۴)^۲؛
 - استفاده مداوم داده‌ها با سرعت بالا تا ۲۰ Hz؛
 - عملیات اتوماتیک و بدون دخالت حواس بشری؛
 - روش‌های سینماتیکی مناسب برای جمع‌آوری داده‌ها.
- GPS کاربردهای بسیار وسیعی در مهندسی عمران دارد. در این مقاله سعی شده تا بعضی از آن‌ها را به‌طور خلاصه مورد بررسی قرار دهیم. کاربردهای GPS در مهندسی عمران را به‌طور کلی می‌توان به چند دسته‌ی زیر تقسیم‌بندی کرد:
- سازه‌ها؛
 - راه‌سازی؛
 - محیط زیست؛
 - ترافیک و حمل‌ونقل؛
 - علوم زمین‌شناسی؛
 - شهرسازی.

۱- Global Positioning System

۲- World Geodetic System ۱۹۸۴

۱- سازه‌ها

تجربه نشان داده است که با استفاده از دستگاه GPS در سازه‌ها، می‌توان به نتایج مفیدی برای پایداری و دوام سازه‌ها دست یافت. مهم‌ترین کاربردها در قسمت سازه عبارتند از:

- کنترل جابه‌جایی ساختمان‌ها و برج‌های بلند؛
- بررسی جابه‌جایی پاشنه‌ی سدها در درازمدت؛
- بررسی اثر نیروی باد بر سازه‌های بلند؛
- نظارت بر وضعیت پل‌ها جهت اندازه‌گیری شکست، جابه‌جایی و تغییرشکل.

۲- راه‌سازی

- ساخت بزرگراه‌ها و جاده‌ها؛
- تشخیص نقاط خطرناک جاده‌ها؛
- کنترل ماهواره‌های سنجش از راه دور؛
- طراحی و اجرای تونل‌های یک‌طرفه و دو‌طرفه؛
- مدیریت و حفظ جاده‌ها؛
- نقشه‌کشی، نقشه‌برداری و مساحت‌سنجی.

۳- محیط زیست

- نمایش زمینی اکوسیستم‌ها؛
- نمایش آلودگی آب‌های زیرزمینی؛
- جلوگیری از آلودگی آب‌های زمین و تشخیص مسیر حرکت آلاینده‌ها در آب‌های زیرزمینی؛
- حفاظت محیط زیست؛
- مدیریت رودخانه‌ها و جلوگیری از حوادث طبیعی؛
- توانایی کنترل سیلاب‌ها.

۴- ترافیک و حمل‌ونقل

- استفاده در سیستم حمل و نقل هوشمند ITS^۱ برای کاهش ترافیک؛
- مدیریت سیستم‌های حمل‌ونقل زمینی، هوایی و دریایی.

۵- زمین‌شناسی

- پیش‌بینی زلزله و سونامی؛
- اثر زلزله بر ساختمان‌های بلند و کنترل جابه‌جایی آن‌ها؛
- بررسی تغییر شکل پوسته‌ی زمین.

۶- شهرسازی

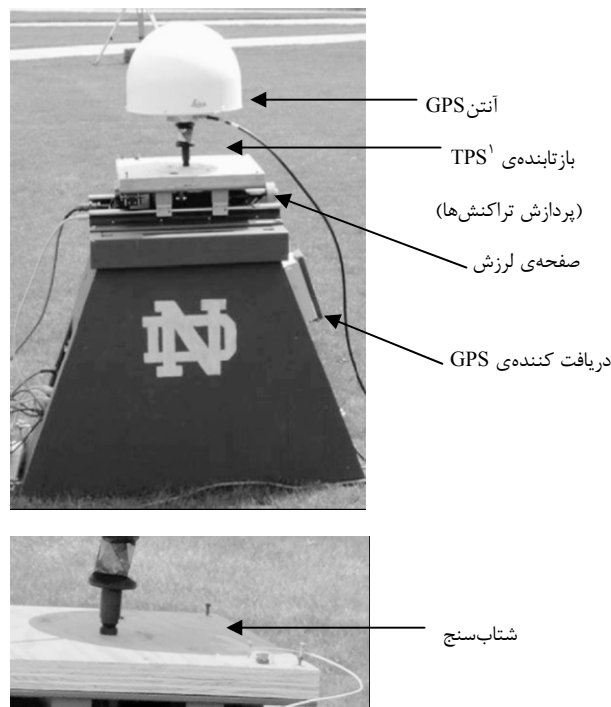
- مکان‌یابی مناسب جهت طراحی شهرسازی؛
- مکان‌یابی فضای سبز شهری؛
- مکان‌یابی مناسب جهت اجرای سازه‌های خاص.

اکنون به بیان مختصری از مهم‌ترین کاربردهای هر قسمت می‌پردازیم:

بررسی اثر القای باد بر ساختمان‌های بلند با GPS

ساختمان‌های بلند که از پیچیده‌ترین و گران‌قیمت‌ترین پروژه‌ها در سراسر دنیا می‌باشند، به‌طور اساسی تحت اثر بار باد هستند و تأثیرات باد روی آن‌ها، در سه شاخه‌ی اصلی، زمینه و تشدید تقسیم‌بندی می‌گردد. باوجود پیشرفت محاسبات در مدل‌های کامپیوتری و تست تونل بادی، هنوز عدم قطعیت‌هایی در پیش‌بینی اثر باد روی ساختمان‌های بلند به‌چشم می‌خورد. بنابراین، روشی ارائه شده است که پدیده‌ی باد را به‌وسیله‌ی طیف‌سنج موجی و کرنش‌سنج GPS توصیف می‌کند. بررسی‌های اخیر اثرات دو جانبه‌ی باد را در آزمایش‌های صحرائی نشان می‌دهد. در هر صورت حتی زمانی‌که کرنش‌سنج GPS در دسترس نباشد، می‌توان از اثر دوجانبه‌ی باد در مقایسه با پدیده‌ی تشدید، صرف‌نظر نمود.

کرنش‌سنج GPS قادر به ردیابی حرکت‌های دینامیکی ۵mm به بالا با بسامد ۱۰ Hz می‌باشد. این دستگاه را در فاصله‌ی حدود ۱/۵ m از ساختمان مورد نظر، روی زمین نصب می‌کنند. این دستگاه شامل یک صفحه‌ی لرزان است که آنتن مربوطه روی آن نصب می‌شود. پس از کنترل صفحه‌ی لرزان برای اینکه ثابت بماند، چرخش کلاهک آنتن ثبت شده و به‌صورت جابه‌جایی فیزیکی بر صفحه‌ی لرزان اعمال می‌شود. از طرفی صفحه‌ی لرزان به پایه‌ی مجهز به کرنش‌سنج GPS متصل است. حرکات صفحه‌ی لرزان به‌وسیله‌ی دستگاه GPS محلی با امتداد شمال- جنوب مقایسه می‌شود [۱].



شکل ۱- نحوه‌ی قرارگیری تجهیزات کرنش‌سنج GPS [۱]

تشخیص جابه‌جایی پل‌ها با استفاده از GPS

باتوجه به شرایط دشوار بازدیدهای محلی از تغییرشکل پل‌ها، لوازم مورد استفاده برای اندازه‌گیری باید سبک، قابل حمل، قابل اطمینان و با نصب آسان باشند تا نتایج به‌دست آمده از آن‌ها را بتوان به‌آسانی تعبیر نمود. با توجه به محدودیت‌های ذکر شده و ایرادهای روش‌های مرسوم نقشه‌برداری، استفاده از روش‌های سنتی برای ردیابی^۲ تغییرشکل‌های دینامیکی سازه‌ها امکان‌پذیر نیست. در عوض در بازدید از پل‌ها از شتاب‌سنج‌ها، شیب‌سنج‌ها و کرنش‌سنج‌ها برای اندازه‌گیری تغییرشکل و میزان جابه‌جایی استفاده می‌شود.

در سال‌های اخیر تلاش‌هایی برای استفاده از دریافت‌های GPS از فرستنده‌های دوگانه و شتاب‌سنج‌های سه‌بعدی^۳ در ردیابی دینامیک سازه‌ها از ساختمان‌های بلند گرفته تا پل‌ها، صورت گرفته است تا بدین طریق استفاده از شتاب‌سنج‌ها کاهش یابد. زیرا شتاب‌سنج‌ها قادر به اندازه‌گیری حرکات آهسته‌ی سازه‌ها با فرکانس کمتر از 0.2 Hz نیستند. در هر صورت، استفاده از شتاب‌سنج برای حرکات دینامیکی سریع سازه مفید است. چراکه گیرنده‌های دوگانه‌ی GPS، تنها قادرند فرکانس‌های 20 Hz به پایین را ثبت کنند.

یک سیستم ردیابی ایده‌آل برای ثبت حرکات دینامیکی سازه شامل موارد زیر می‌باشد: گیرنده‌های GPS، شتاب‌سنج، ترانسفورماتور جابه‌جایی، کرنش‌سنج، دستگاه هواشناسی و یا حتی گیرنده‌ی زمینی. در حالت عادی می‌توان ترکیبی از گیرنده‌ی GPS و شتاب‌سنج سه‌بعدی را به‌کار برد. به علت پیچیدگی زیاد دستگاه، تکنیک ثبت اطلاعات به‌طور تمام اتوماتیک، در این زمینه حاصل نشده است و دستگاه Post-Processing، جداگانه اطلاعات به‌دست آمده را از گیرنده‌های GPS و شتاب‌سنج دریافت می‌کند.

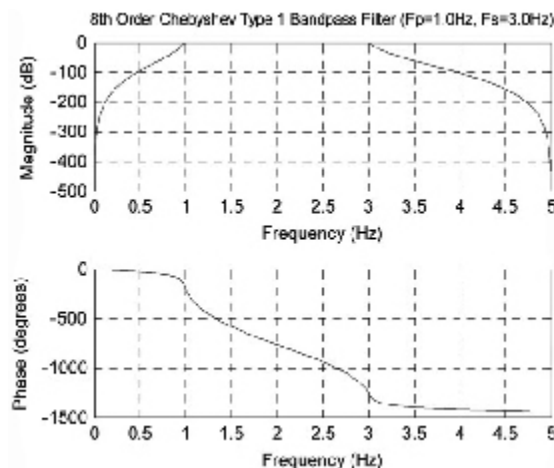
در مورد ثبت تغییرشکل‌های یک پل، یک محور ثابت میان محور دستگاه ثبت و محور اصلی پل تنظیم می‌شود. اگر محور ثابت به‌درستی تنظیم نشود، حرکات دینامیکی سازه بیش از مقدار حقیقی نشان داده می‌شود و تطابق مقادیر به‌دست آمده از آزمایش با داده‌های ثبت شده امکان‌پذیر نیست. فاصله‌ی دستگاه GPS گیرنده و دستگاه سنسور نصب شده بر روی پل می‌تواند تا 20 km باشد. به‌عبارت دیگر، مشاهدات دستگاه GPS می‌تواند داده‌های حاصل از مشاهدات فیزیکی با وسایلی هم‌چون شتاب‌سنج و کرنش‌سنج را به فضای سه‌بعدی ببرد و هم‌چنین روند عملیات را اتوماتیک سازد. یک سیستم GPS که قادر به ردیابی تغییرشکل‌های گسترده‌ی خارج از پیش‌بینی باشد، برای آن منظور مناسب است. علاوه بر آن، اگر سازه‌ی مورد نظر تحت بارگذاری نامعمولی مانند طوفان یا بارهای ناگهانی قرار گیرد که موجب جابه‌جایی قابل توجهی خواهد بود، سیستم GPS قادر به پیش‌بینی و هشدار خطر می‌باشد تا در صورت لزوم استفاده از پل محدود یا مسدود شود.

استفاده از ردیاب GPS سینماتیکی در نقاط استراتژیک بر روی عرشه‌ی پل، به ما کمک می‌کند تا نتایج حرکات دینامیکی پل را به‌آسانی برداشت نماییم. با برداشت مداوم نتایج حاصل از حرکات دینامیکی پل، می‌توان حرکات و تغییرشکل‌های خطرناک پل را پیش‌بینی و گزارش کرد و یا تغییرشکل‌های درازمدت پل را تعیین نمود.

۱- Terrestrial Positioning System

۲- Triaxial Accelerometer

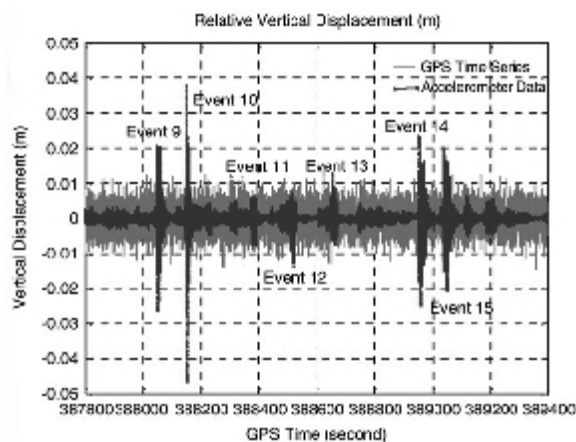
۳- Monitoring



نمودار ۱- ثبت فرکانس‌های تغییر شکل‌های پل از ترکیب GPS با شتاب‌سنج سه‌بعدی [۲]

باتوجه به مسایل ذکر شده، طراحی‌های آینده برای سازه‌ی پل‌ها می‌تواند بهتر و راحت‌تر صورت گیرد. برای آزمایش داده‌ها از مدلی برای پل استفاده می‌شود. این مدل قادر است اختلاف زمانی بین ساعت ماهواره و ساعت گیرنده‌ی GPS را اصلاح نماید. همچنین اشکالات ناشی از تأثیر اتمسفر بر ماهواره‌ی موجود در مدار زمین را می‌توان با ردیاب GPS سینماتیکی برطرف نمود. زیرا خطاهای مدار و اتمسفر در ارتباط با فاصله‌ی میان نقطه‌ی مبنا و نقطه‌ی مورد ردیابی می‌باشند و آنتن گیرنده‌ی GPS باید در نزدیکی پل مورد نظر در نقطه‌ای به عنوان ایستگاه مبدأ نصب گردد. این نقطه باید ثابت باشد و در فاصله‌ی ۵۰ متری آن واقع شده باشد تا بدین وسیله سیگنال‌های دریافتی منعکس نشوند. یک آنتن دیگر گیرنده‌ی GPS در نقطه‌ی مورد بررسی نصب می‌شود که معمولاً در دهانه‌ی میانی یا دهانه‌ی نصف میانی و یا در بالای برج پل باشد. حداقل ۵ دریافت ماهواره‌ای در یک زمان لازم است و داده‌های به‌دست آمده هم‌زمان در کامپیوتر ثبت می‌شوند. نقطه‌ی مبدأ و نقطه‌ی مورد بررسی، ۱۵ تا ۲۰ دقیقه داده را به‌طور هماهنگ ثبت می‌کنند که این میزان داده را یک مرحله‌ی نظارت می‌نامیم. در فرآوری داده‌ها، داده‌های حاصل از ۲۰۰ دریافت (حدود ۳ دقیقه) با دریافت نتایج مبهم ناگهانی استفاده می‌شود و جابه‌جایی افقی و قائم پل، به‌وسیله‌ی سیستم‌های هماهنگ‌کننده، ترجمه شده و وارد کامپیوتر می‌شود. این روش، پیشرفتی در اندازه‌گیری دقیق فرکانس‌های لرزش سازه‌ای حاصل نموده است که نیازمند یک فیلد اصلاح‌کننده برای تشخیص فرکانس‌های خاص، و الگوریتم فوریر مشهور به FFT^۱ برای تشخیص صحیح فرکانس غالب می‌باشد. برای اثبات امکان‌پذیر بودن این روش، تعادلی میان داده‌های زمانی و شتابی که از گیرنده‌های GPS و شتاب‌سنج‌های سه‌بعدی بر روی یک پل حقیقی به‌دست آمده‌اند، برقرار می‌شود و سپس نتایج حاصل، با پیش‌بینی‌های به‌دست آمده از مدل پل مقایسه می‌گردد.

نتایج به‌دست آمده ثابت می‌کند که مقادیر خوانده شده از دستگاه GPS و شتاب‌سنج قابل استفاده است و می‌توان این روش را در ردیابی حرکات دینامیکی سازه در تغییر شکل‌های کوچک به‌کار برد. نمودار زیر بیانگر ارتباط نتایج به‌دست آمده از دستگاه GPS و شتاب‌سنج می‌باشد [۲،۳].



نمودار ۲- نمونه‌ای از تغییر مکان محاسبه شده با استفاده از آنالیز سری زمانی GPS و اندازه‌گیری شتاب سنج [۲]

۱- Fourier Series Transform

ردیابی پایداری زمین در تونل‌ها با GPS

تونل‌های آزادراه برای اجرا در مناطق خارج از شهر طراحی می‌شوند. بنابراین بسیار مهم است که رفتار زمین بالای تونل برای حفظ امنیت آن کنترل شود.

استفاده از روش و وسایل موجود، مانند محدوده‌سنج‌ها و انحراف‌سنج‌های الکترونیکی که برای ردیابی رفتار زمین استفاده می‌شوند، تا حدی گران‌قیمت هستند و به نیروی انسانی زیادی احتیاج دارند. بنابراین از روش جدید برای ردیابی جابه‌جایی به‌وسیله سیستم مکان‌یاب GPS استفاده می‌شود که این روش برای ردیابی پایداری دامنه اکتیاس شده است.

این سیستم قادر است به‌طور پیوسته و خودکار، جابه‌جایی‌های سه‌بعدی را با دقت ثبت نماید و علاوه بر آن، نتایج اندازه‌گیری برای استفاده‌ی کاربران در اینترنت قرار داده می‌شوند. این بدان معنی است که کاربران می‌توانند رفتار و پایداری زمین را به‌طور هم‌زمان در هر کجا که باشند، زیر نظر بگیرند. در این روش هزینه‌های کلی کم‌تر و دقت آن بیش‌تر از سایر روش‌ها خواهد بود.

در صورتی که نیاز به احیای رفتار زمین در برابر تغییر شکل‌ها باشد (که این مسأله ممکن است در هنگام بهره‌برداری از تونل رخ دهد)، از خاک‌دوزها و شمع‌های فولادی و بتنی استفاده می‌شود که این شمع‌ها و خاک‌دوزها در تونل‌هایی دورتادور محورهای جنوبی تونل نصب می‌گردند. چندین سنسور ردیابی GPS در دامنه‌های زمین بالای تونل، در هر دو امتداد شمالی و جنوبی نصب می‌شوند تا رفتار تغییرشکل زمین را ردیابی کرده و حد مجازی برای آن تعیین کنند. در زمان ساخت تونل، جابه‌جایی‌های سه‌بعدی زمین به‌طور واضح مشخص می‌شوند و این ثابت می‌کند که سیستم ردیابی GPS، روشی مناسب برای تعبیر پایداری زمین و تشخیص مشاهدات ساختار تونل است [۴].

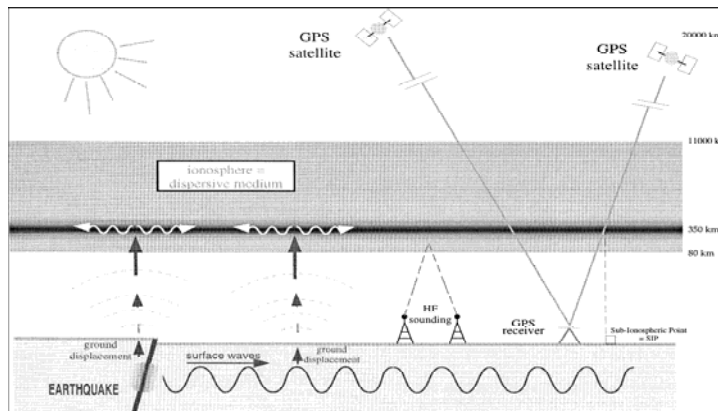
استفاده از GPS برای اندازه‌گیری زمین‌لرزه

برای مطالعه‌ی دگرشکلی در حال وقوع پوسته‌ی کالیفرنیا جنوبی، توسط گسل سن آندریاس و سایر گسل‌های منطقه به‌وسیله دانشمندان، شبکه‌ی GPS هم‌هنگ کالیفرنیا^۱ SCIGN به‌کار گرفته شده است که حرکات میلیمتری پوسته‌ی زمین، بین زمین‌لرزه‌ها را اندازه گرفته و جابه‌جایی ایستگاه‌ها در حین زمین‌لرزه را نیز ثبت می‌کند. اما لرزش واقعی زمین در اثر یک زمین‌لرزه را ثبت نمی‌کند.

زمین‌لرزه به شیوه‌های مختلف اندازه‌گیری می‌شود. به‌طور سنتی، اندازه‌ی زمین‌لرزه به‌وسیله روش‌های لرزه‌نگاری متنوعی تعیین می‌شود. میزان لرزش، وابسته به انرژی آزاد شده در یک زمین‌لرزه می‌باشد. GPS، اندازه‌ی یک زمین‌لرزه را با استفاده از تخمین مقدار جابه‌جایی نهایی یک ایستگاه بعد از حادثه، اندازه می‌گیرد. این کار با محاسبه‌ی کلیه‌ی جابه‌جایی‌های طولی، عرضی و قائم ایستگاه، پس از زمین‌لرزه انجام می‌گیرد.

دانشمندان پی برده‌اند که بین میزان جابه‌جایی حاصل از زمین‌لرزه، و بزرگی زمین‌لرزه ارتباطی وجود دارد. با استفاده از این ارتباط، می‌توان اندازه‌ی نسبی یک زمین‌لرزه را با استفاده از GPS تعیین کرد. GPS، برای اندازه‌گیری لرزش واقعی زمین استفاده نمی‌شود. زیرا برای جمع‌آوری، داده‌های واقعی وجود ندارد. داده‌ها در نرخ معینی که نرخ نمونه گرفته می‌شود، برداشت می‌شوند. بدین معنی که دریافت‌کننده، اطلاعات دریافت شده‌ی خود را در طول روز با فواصل زمانی مشخص ثبت می‌کند. برای مثال، داده‌ها می‌توانند در وقفه‌های ۳۰ ثانیه‌ای برداشت شوند. این بدین معنی است که اگر لرزش یک زمین‌لرزه بیش از ۳۰ ثانیه به‌طول انجامد، آن زمین‌لرزه توسط دریافت‌کننده ثبت نخواهد شد.

به‌همین دلیل، داده‌ها فرآوری، و هر روز تحلیل می‌گردند که به معنی محاسبه‌ی روزانه‌ی تغییر موقعیت دریافت‌کننده، با ترکیب داده‌های جمع‌آوری شده در طول روز است. داده‌ها می‌توانند در وقفه‌های دیگری نیز فرآوری شود. برای مثال، می‌توان آن‌ها را در نرخ یک ثانیه‌ای هم برداشت و فرآوری نمود. اما نتایج نسبت به نتایج روزانه، صحت کمتری خواهد داشت. به‌همین دلیل است که GPS برای اندازه‌گیری مستقیم لرزه‌زمین، حین زلزله بکار برده می‌شود. لرزه‌سنج‌ها برای ثبت دقیق‌تر این لرزه‌ها بهتر تجهیز شده‌اند. به‌طوری که هر حرکت با طول موج بلندتر از GPS را ثبت می‌کنند. بنابراین اندازه‌ی زمین‌لرزه، با اندازه‌گیری جابه‌جایی نهایی ایستگاه‌ها، و استفاده از رابطه‌ی جابه‌جایی در مقابل زمین‌لرزه، تعیین می‌شود [۵].



شکل ۲- نمایش طرح کلی انتشار امواج زلزله زیر سطح زمین و روی اتمسفر با استفاده از GPS [۵]

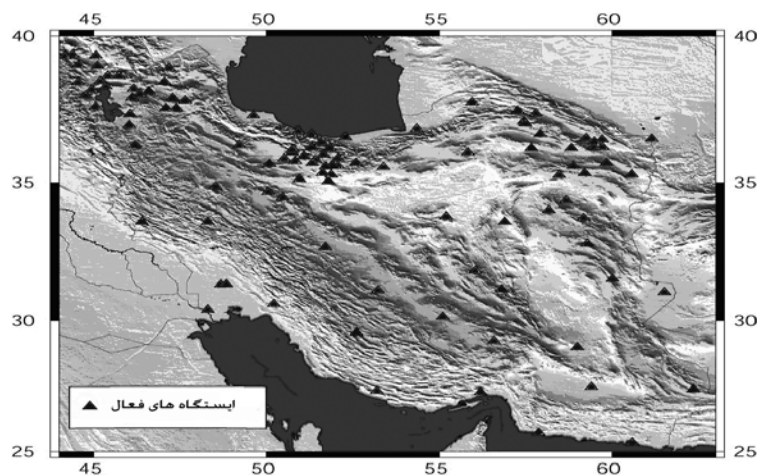
۱-Southern California Integrated GPS Network

کاربرد GPS جهت بررسی تغییر شکل و جابه‌جایی پوسته‌ی زمین

از مهم‌ترین اهداف علم ژئودزی، بررسی تغییر شکل‌ها و جابه‌جایی‌های پوسته‌ی زمین می‌باشد. با مطالعات در این زمینه می‌توان بسیاری از آسیب‌های ناشی از رفتارهای پوسته‌ی زمین از جمله زلزله، رانش، نشست و ... را پیش‌بینی کرد. یکی از راه‌های بررسی این تغییرات استفاده از شبکه‌ی GPS در منطقه‌ی مورد مطالعه می‌باشد. مشاهدات شبکه‌ی GPS باید به‌صورت پیوسته انجام شود. از پردازش روزانه‌ی آن‌ها، یک سری زمانی به‌دست می‌آید که با به‌کارگیری روش آنالیز طیفی کم‌ترین مربعات بر روی سری‌های زمانی، تغییرات موقعیت ایستگاه‌ها به‌دست می‌آید. هم‌چنین سرعت تغییرات صفحات زمین را نیز می‌توان با استفاده از GPS بررسی کرد.

از آن‌جایی که کشور ما نیز از لحاظ زمین‌شناسی یک آزمایشگاه طبیعی برای مطالعات ژئودینامیکی محسوب می‌شود، اتفاقات و حوادث اخیر توجه مسئولان را به ایجاد شبکه‌ی دائم GPS برای مطالعات رفتار پوسته‌ی زمین جلب کرده است. سری‌های زمانی به‌دست آمده در ایستگاه‌های این شبکه حاوی اطلاعات جامع و گران‌بهایی از جمله اثرات ناشی از فعالیت‌های ژئوتکنیکی منطقه‌ی مورد مطالعه و مناطق اطراف می‌باشد. I¹PGN یا شبکه‌ی دائم GPS ایران، یک ایستگاه متراکم دائمی از شبکه GPS در ایران است که مرکز آن در شهرهای تهران، تبریز و مشهد می‌باشد و در سایر قسمت‌های فعال کشور به‌وسیله مرکز ملی نقشه‌برداری ایران فعالیت می‌کند.

از اوایل سال ۲۰۰۵، این شبکه به‌منظور ردیابی تغییر شکل‌های پوسته‌ی زمین و آرایه‌ی خدمات دقیق شبکه‌ی جغرافیایی در ایران طراحی شد. این شبکه از ۱۰۶ ایستگاه مرتبط در فاز اول تشکیل شده است. فاصله‌ی میانگین میان ایستگاه‌های متراکم در حدود ۲۵ تا ۳۰ کیلومتر است. گیرنده‌ی GPS، فرکانس‌های دوگانه را از مرکز Ashtech uz۱۲ دریافت کرده، و برای دریافت داده‌های دوگانه برنامه‌ریزی شده است و داده‌ها را به‌صورت کد در هر ۳۰ ثانیه در طول ۲۴ ساعت در می‌آورد. مرکز اصلی داده‌ها برای کنترل شبکه و آنالیز داده‌ها در تهران، در مرکز ملی جغرافیایی ایران واقع شده است. داده‌های به‌دست آمده به‌وسیله آنالیز دقیق کامپیوتری که Gamit-Globk نام دارد و توسط MIT و SIO گسترش یافته است، پردازش می‌شوند. نتایج به‌دست آمده شامل هماهنگی‌ها، زمان‌بندی‌های مکان‌های مرتبط دو پایگاه، بردارهای جابه‌جایی و سرعت آن‌هاست [۶،۷].



شکل ۲- نحوه‌ی استقرار ایستگاه‌های دائم GPS در ایران [۶]

استفاده از GPS برای بررسی تغییرات پوسته‌ی زمین در مقیاس‌های بزرگ نیز انجام شده است. به‌عنوان مثال، با مطالعات اطلاعات به‌دست آمده از GPS، صفحه‌ی هند - استرالیا در طول حاشیه‌ی شرقی‌اش در حال کشیده‌شدن به زیر صفحه‌ی آسیا می‌باشد. در ناحیه‌ی سوماترا - آندامان، این کشیدگی کاملاً مشخص است و به‌عنوان نمونه‌ای از پروسه‌ی کشیدگی زمین مورد توجه قرار گرفته است. در ناحیه‌ی کشیدگی سوماترا، سرعت حرکت صفحه در حدود ۴۵ mm/yr به سمت جلو و ۲۸ - ۱۱ mm/yr به سمت راست می‌باشد. اندازه‌گیری‌های GPS حین سال‌های ۱۹۸۹ تا ۱۹۹۴ در ناحیه‌ی غرب سوماترا، نشان می‌دهد که کل جابه‌جایی صفحه‌ی زمین در زیر جزیره‌ای که به‌عنوان مبنای GPS بوده است، در حدود ۵۰ mm/yr تخمین زده شده است [۸].

تغییر شکل‌های پوسته‌ی زمین، در پاشنه‌ی سدها نیز باعث ایجاد جابه‌جایی و شکست می‌شود. در بسیاری از سدها، باتوجه به موقعیت ساخت آن‌ها، امنیت جانی و مالی ساکنین نزدیک سد به پایداری سد وابسته است. چرا که تخریب و شکسته شدن دیوار یک سد می‌تواند در حد یک زلزله و یا بیشتر خطرآفرین باشد. بنابراین، کنترل پایداری و حفاظت از سد، امری بسیار مهم و حیاتی بوده و بعد از ساخت سد و تأسیسات مربوط به آن، باید مراقبت‌های ویژه‌ای در جهت حفظ و نگهداری آن‌ها انجام داد.

فعالیت‌های ژئودینامیکی نظیر لغزش زمین اطراف دریاچه‌ی سد، از جمله عوامل طبیعی است که پایداری سد را به خطر می‌اندازد. چرا که در صورت لغزش زمین به داخل دریاچه‌ی سد، امواج سهمگینی تشکیل شده که باعث شکسته شدن دیوار سد و جاری شدن سیل عظیم آب شده که می‌تواند تهدیدی بسیار جدی برای تخریب سد و تأسیسات مرتبط با آن باشد [۹].

امروزه علم ژئودزی در مواردی مثل فوق، نقش اول را عهده‌دار می‌باشد و با تئوری‌ها و تکنیک‌های خاص خود، و با کمک گرفتن از GPS، قادر به اندازه‌گیری میزان لغزش زمین و آنالیز تغییر شکل در منطقه‌ی مورد مطالعه می‌باشد و خطرات احتمالی را یادآوری می‌کند.

نتیجه‌گیری

پروژه‌های عمرانی که همیشه برای ساخت آن‌ها هزینه‌های بسیار زیادی پرداخت می‌شود، نیازمند کنترل و نگهداری اصولی برای طول عمر بیشتر و پیش‌بینی خرابی‌های احتمالی می‌باشند. با استفاده از دستگاه GPS می‌توان بسیاری از رفتارهای سازه در طول عمر خود، تحت بارهای خارجی را بررسی کرد و تغییرات آن‌ها را مورد توجه قرار داد تا در صورت مشاهده‌ی اثرات منفی بتوان آن‌ها را به‌موقع ترمیم کرد. دستگاه GPS مانند هر تکنولوژی پیشرفته‌ی دیگر، محدودیت‌هایی برای اندازه‌گیری خرابی‌های سازه‌های عظیم مهندسی دارد ولی با این وجود به‌وسیله‌ی قدرتمند و موثر در کاهش هزینه‌ها، برای ردیابی برخی از خرابی‌های سازه‌ی تبدیل شده است. سیستم مکان‌یابی GPS توسط بسیاری از کشورها برای بررسی الگوی خرابی‌های پوسته‌ای، در اثر زمین‌لرزه یا سایر فعالیت‌های زمین‌ساختاری و هم‌چنین برای ردیابی خرابی‌های سازه‌های عظیم مهندسی، مانند سدها، ساختمان‌های بلند، پل‌ها و غیره مورد استفاده قرار می‌گیرد. شبکه‌ی GPS ارزیابی مختصر و دقیقی از خرابی‌های ساختار سد ارائه می‌دهد و هم‌چنین تغییر شکل‌های پوسته‌ای در مجاورت سد و مخازن آب را نمایان می‌سازد. این ارزیابی‌ها، پس از انجام مشاهدات کافی در طول یک مدت طولانی حاصل می‌شود و لازم است که چنین مطالعاتی حداقل دو بار در سال تکرار شود.

با توجه به مطالب گفته شده، استفاده از این دستگاه در پروژه‌های بزرگ عمرانی به‌خوبی جایگاه آن را در مهندسی عمران نشان می‌دهد. GPS در مقایسه با دیگر شتاب‌سنج‌ها، کرنش‌سنج‌ها و سایر وسایل اندازه‌گیری بسیار ارزان‌تر، دقیق‌تر و کم‌حجم‌تر می‌باشد. از مهم‌ترین ویژگی‌های GPS، ساده بودن کار با آن‌ها است که از طریق آن به نتایج ارزشمندی می‌توان دست یافت [۱۰].

مراجع

۱. Kijewski, C.T, Kochly, M., "Monitoring the wind-induced response of tall building: GPS performance and the issue of multipath effects". ۲۰۰۷
۲. Meng, X., Dodson, A.H., Roberts, G.W. "Detecting bridge dynamics with GPS and triaxial accelerometers". ۲۰۰۷
۳. Hooshmandzadeh, M., "Principles of Using Integrating GPS and Neural Networks in Surveying Displacement of Large Span Bridges"
۴. Shimizu, N., Tayama, S., Hirano, H., Iwasaki, T., "Monitoring the ground stability of highway tunnels constructed in a landslide area using a web-based GPS displacement monitoring system". ۲۰۰۶
۵. Calais, E., Minster, B., "GPS, Earthquakes, The Ionosphere, and The Space Shuttle". ۱۹۹۶
۶. Aghamohamadi, A., Nankali, H., Djamuor, Y., "Transformation between ITRF ۲۰۰۰ and WGS۸۴ (Case Study: Iranian Permanent GPS Network, IPGN)". ۲۰۰۵
۷. روحی، ش. "آنالیز تغییر شکل پوسته‌ی زمین در ایران بر اساس سری زمانی ایستگاه‌های دایم GPS"
۸. Gahalaut, V.K., Catherine, J.K., "Rupture characteristics of ۲۸ March ۲۰۰۵ Sumatra earthquake from GPS measurements and its implication for tsunami generation". ۲۰۰۵
۹. Kulkarni, M.N., "Crustal & Dam Deformation Studies Using GPS". ۲۰۰۱
۱۰. Duff, K., Hyzak, M. "Structural Monitoring With GPS". ۱۹۹۷