استفاده از جاروب کنندهٔ لیزری هوایی برای تهیهٔ نقشه‌های ارتفاعی

عنوان مقاله : Airborne Laser Scanning for Elevation Mapping

نام نشریه : GIM, November 1995

نویسنده : Ir Chung San Han

مترجم : لهراسب جعفری بی‌بالان

پیشگفتار

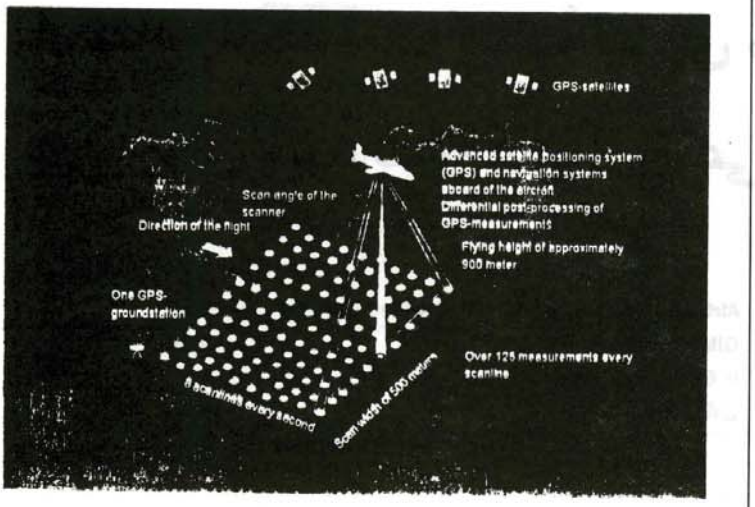
پیشرفت تکنولوژی در سالهای اخیر و بکارگیری سیستم‌های پردازش و ارایه اطلاعات به صورت کامپیوتری، موجب گردیده تا ضمن بکارگیری مؤثّر این عوامل، رشته‌های مختلف علوم به پیشرفتهای زیادی نایل آیند.

مقاله‌ای که از نظر شما می‌گذرد نمونه‌ای از بکارگیری تکنولوژی لیزر و سیستم‌های کامپیوتری در ارایه اطلاعات جغرافیایی و تهیه نقشه‌های کارتوگرافیکی می‌باشد. روش مورد آزمایش که در این مقاله مورد بررسی قرار می‌گیرد عبارت از ترکیب سیستم فتوگرامتری معمولی اندازه‌گیری ارتفاع نقاط با استفاده از سیستم لیزر و نیز استفاده از سیستم تعیین موقعیت GPS می‌باشد. دلیل استفاده از این سیستم این است که در اغلب کشورهای اروپایی نقشه‌های بزرگ مقیاس کشورها وجود دارد. (در بعضی از این کشورها حتّی نقشه‌های ۱:۵۰۰ مناطق وجود دارد).

لذا نقشه‌برداری مجدد به مفهوم واقعی آن در این مناطق معنایی ندارد. تنها مسئله موجود لزوم به روز درآوردن نقشه‌های فوق‌الذکر می‌باشد.

در کشور هلند نیز، با توّجه به شرایط توپوگرافی خاص آن که مراحل آن دائماً در حال تغییر می‌باشد این مسئله از اهمیّت زیادی برخوردار می‌باشد. ولی استفاده از روشهای معمولی نقشه‌برداری علاوه بر زمان طولانی پردازش، هزینهٔ زیادی نیز در بردارد، در حالی که استفاده از روش جاروب لیزری هوایی که در این مقاله مورد بررسی و تحلیل قرار می‌گیرد ضمن کاهش هزینه‌های مربوطه، زمان ارایه اطلاعات ارتفاعی را نیز کاهش می‌دهد. بکارگیری سیستم تعیین موقعیت GPS نیز به همراه سیستم جاروب لیزری در نهایت منجر به ارایه اطلاعات مسطحاتی و ارتفاعی نقاط موجود در منطقه مورد نظر می‌گردند.

مقاله ارایه شده به بررسی کارهای انجام شده در این خصوص می‌پردازد، امید آنکه مورد توجّه علاقه‌مندان قرار گیرد.



نگارهٔ (۱):
اصول جاروب کنندهٔ
لیزری هوایی

استفاده از جاروب کننده لیزری هوایی برای تهیه نقشه‌های ارتفاعی

رشد عملی و اجرای GIS باعث افزایش نیاز به روز درآوردن اطلاعات جغرافیایی گردیده است. وجود اطلاعات دقیق جغرافیایی برای بخشهای متعدد فعالیتهای GIS امری ضروری است. از مجموعهٔ اطلاعات جغرافیایی‌ای که غالباً مورد استفاده قرار می‌گیرد اطلاعات ارتفاعی دیجیتال (Digital) است. این اطلاعات از منابع مهم برای مقاصد اطلاع رسانی در خصوص تغییرات خطوط ساحلی، کاهش و افزایش جزرومد، مطالعات مورفولوژیکی (Morphologic)، اطلاعات هیدروگرافیک (Hydrographic) و مطالعات محیطی می‌باشد. اطلاعات ارتفاعی دقیق برای محاسبهٔ معیار[1] یافتن مناطق خشک شده، ساختمانها و به خصوص ابنیهٔ اصلی نظیر جاده‌ها، راه‌آهنها، سدها و پروژه‌های ارتباط ازدور[2] مورد نیاز می‌باشد. تا به حال روشهای فتوگرامتری معمولی و نقشه‌برداری زمینی تنها روشهای عملی شناخته شده جهت بدست آوردن اطلاعات دقیق ارتفاعی و نیز به روز درآوردن این اطلاعات بوده است.

در سال ۱۹۹۳ م، مؤسسه‌های Geodan Geodesie b.v. و TopScan GmbH یک روش عملی جدید را جهت به دست آوردن ارتفاع در کشور هلند ابداع نمودند که عبارت است از جاروب لیزری هوایی.

این روش مخصوص دریافت اطلاعات ارتفاعی در مناطق وسیع می‌باشد. این روش در یک DEM به دقّت ارتفاعی ۱۵ - ۱۰ سانتی‌متر دست می‌یابد. متوسط دانسیتهٔ اندازه‌گیری، یک نقطه در هر۱۲ مترمربع می‌باشد. به عبارت دیگر اندازه‌گیری بیش از ۸۰۰ نقطه همزمان در هر جریب[3] برای مقاصد بخصوص به تراکم یک نقطه در هر ۴ مترمربع یا حتّی بیشتر می‌توان دست یافت.

اصول جاروب لیزری هوایی

در اواخر دههٔ ۱۹۸۹-۱۹۸۰ م مطالعات اولیّه در خصوص تکنولوژی لیزر هوایی انجام گرفت. در این مراحل اولیّه یک سیستم پروفیل برداری لیزری[4] مورد استفاده قرار گرفت. به کمک این سیستم ارتفاع زمین از هواپیما با دقّت خیلی زیادی (بیش از ۱۵ سانتی‌متر) محاسبه گردید.

به دلیل محدودیت پوشش، این سیستم جهت انجام اندازه‌گیری در مناطق وسیع نظیر سواحل مناسب نبود. نیاز به اطلاعات ارتفاعی دقیق و متراکم باعث انجام تحقیقات تکنولوژی لیزری در خصوص ایجاد سیستم جاروب لیزری گردید.

اصول سیستم جاروب لیزری هوایی کاملاً ساده است. یک جاروب کننده[5] لیزری روی یک هواپیمای فتوگرامتری نصب می‌گردد. اسکنرلیزری

اشعه‌های لیزری را با فرکانس بالا منتشر می‌کند، جاروب کنندهٔ مذکور اختلاف زمانی بین ارسال اشعه و دریافت انعکاس آن را در هواپیما ثبت می‌کند، در مقابل لیزر یک آینه نصب گردیده است. این آینه با فرکانس بالایی می‌چرخد (بیش از ۲۰۰۰ دور در ثانیه). اشعهٔ لیزری در جهتهای ثابت[۶] مختلفی منتشر می‌گردد. این تکنیک دقیق انعکاس، لیزر را تبدیل به یک اسکنر لیزر می‌کند. زاویهٔ جاروب و فرکانس آن قابل تنظیم و تصحیح است. جهت رسیدن به پوشش مناسب مناطق توسط لیزر و نیز رسیدن به بهترین دقّت ارتفاعی و نیز کاهش هزینهٔ پرواز به حداقل، ارتفاع پرواز متوسط تقریباً ۹۰۰ متر بالای سطح زمین انتخاب گردیده است. تحت زاویهٔ جاروب ۳۲° یک خط جاروب دارای عرض ۵۰۰ متر خواهد بود. چنانچه یک اشعهٔ منفرد لیزر، انحرافی به اندازهٔ ۰/۲۵ میلی رادیان داشته باشد، منطقه‌ای به شعاع ۲۱ سانتی‌متر را روی سطح زمین تحت پوشش قرار می‌دهد. در یک پرواز استاندارد، جاروب کننده لیزری در هر ثانیه بیش از ۱۰۰۰ شعاع نورانی لیزر انعکاس یافته (از سطح زمین منطقه) را ثبت می‌کند. در هر ثانیه ۸ خط جاروب اندازه‌گیری می‌شود و در نهایت هر خط جاروب شامل ۱۲۵ اندازه‌گیری می‌باشد. زمان پرواز می‌تواند حتّی بیش از ۱۲ ساعت نیز باشد.

یک گیرندهٔ ژئودتیک GPS (Geodetic) نیز موقعیت مکانی هواپیما را هنگام اندازه‌گیری با لیزر ثبت می‌کند.

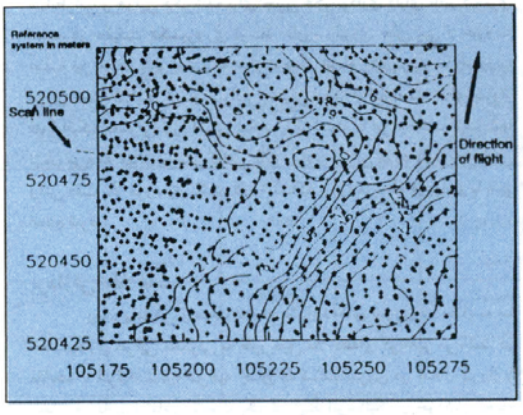
چنانچه یک گیرندهٔ GPS دیگر نیز در حوالی منطقهٔ مورد عملیات استقرار یابد سیگنالهای ارسالی از GPS را دریافت می‌کند. بدین طریق موقعیت نسبی نقاط مورد اسکن لیزری با دقّت بسیار زیادی محاسبه می‌گردد. به‌منظورمحاسبهٔ موقعیت وجهت جاروب کنندهٔ لیزری یک سیستم ناوبری ثقلی[۷] جهت[۸] هواپیما را در خلال پرواز محاسبه می‌کند. با ترکیب این مشاهده‌ها تعیین موقعیت نسبی با GPS و INS و نیز اندازه‌گیریهای جاروب کنندهٔ لیزری تهیهٔ یک DEM بسیار دقیق امکان پذیر می‌گردد.

اختلاف قابل ملاحظه

مرحلهٔ تولید، مدّت پردازش، میزان دسترسی به اطلاعات ارتفاعی، سهولت روش و مقرون به صرفه بودن از لحاظ اقتصادی، برخی از مزیّتهای سیستم جاروب لیزری نسبت به سیستم عکسبرداری هوایی معمولی است.

آماده سازی پرواز، اجرا وعوامل

در حال حاضر در عکسبرداری هوایی[۹] از نقاط کنترل زمینی زیادی استفاده می‌شود. انتخاب نحوهٔ نقشه‌برداری و محاسبات نقاط کنترل زمینی یک کار وقت گیر و در نتیجه پرهزینه خواهد بود. در حالی که در واقع



نگارهٔ (۲): اندازه‌گیریهای همزمان لیزری در یکی از مناطق مورد کنترل (بیش از ۱۰۰ اندازه‌گیری در یک هکتار)

	Area in hectares	Number of measurements	Standard deviation in centimeters	Average density in square meters.
Overall	12.6	15013	12.5	2.9*2.9
Low vegetation	1.0	1153	12.0	2.8*2.8
Pine forest	2.2	1904	14.0	3.4*3.4
Open terrain	6.2	7591	4.9	2.8*2.8
Decidious forest	1.4	1293	16.0	3.2*3.2
Low bushes	1.8	3072	11.5	2.4*2.4

نگارهٔ (۳): نتایج کنترل کیفیّت در مناطق مربوط به PWN

جاروب لیزری هوایی فقط نیازمند یک نقطهٔ کنترل زمینی GPS می‌باشد که زمان طراحی، آماده سازی و هزینه‌های مربوط به طراحی پرواز را به حداقل ممکن کاهش دهد. در یک پرواز فتوگرامتری وجود چند عامل اجتناب ناپذیر است که عبارتنداز: شرایط جوّی، تغییرات فصلی نظیر موقعیت مکانی خورشید، میزان پوشش گیاهی و میزان روشنایی که این عوامل اجرای پرواز فتوگرافیک (Photographic) را تحت تأثیر قرار می‌دهند. جاروب کنندهٔ لیزری پالسهای لیزری را منتشر کرده و ثبت می‌کند. بنابراین ◄

شرایط آب و هوایی ذکر شده برای چنین عکسبرداری دارای تأثیر کمتری است. در حقیقت عکسبرداری توسط جاروب لیزری حتّی پس از غروب آفتاب نیز امکان پذیر است. به عبارت دیگر انجام یک پرواز با جاروب لیزری تحت شرایط آب و هوایی خیلی بدتر از آنچه که برای پرواز فتوگرافیک معمولی لازم است، امکان پذیر است. با این وصف آزمایشها نشان می‌دهد میزان پوشش گیاهی تأثیر زیادی در این مورد دارد. به عبارتی وقتی دقّت بالا مورد نیاز باشد، لازم است که پروژهٔ مربوطه در بهار و یا پاییز انجام شود.

پردازش اطلاعات

زمان پردازش و مدّت انجام مشاهده‌های لیزری در مقایسه با عکسبرداری هوایی معمولی به طور قابل ملاحظه‌ای کوتاهتر می‌باشد. در مقایسه با فتوگرامتری، توجیه جاروب کنندهٔ لیزری در خلال پرواز و محاسبهٔ مقادیر ارتفاعی تحت یک شرایط اتوماتیک و خودکار انجام می‌شود. بنابراین زمان تولید به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد. برای مثال در بهار سال ۱۹۹۴م بیش از ۱۲ میلیون نقطهٔ ارتفاعی برای دو شرکت سازندهٔ سد خاکی اندازه‌گیری گردید.

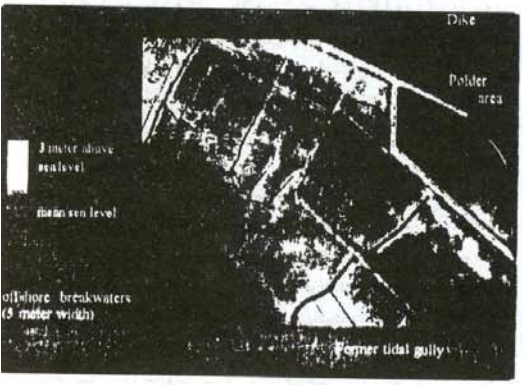
نقاط ارتفاعی حاصله در نهایت پس از مدّت ۵ ماه از خاتمهٔ پرواز به دست کاربر اصلی رسید. در این مرحله ارایه نقاط ارتفاعی نهایی به صورت یک DEM یا یک نقشهٔ توپوگرافی به مدت ۳-۲ ماه پس از انجام پرواز امکان پذیر است.

قابلیّت اجرایی جاروب لیزری هوایی

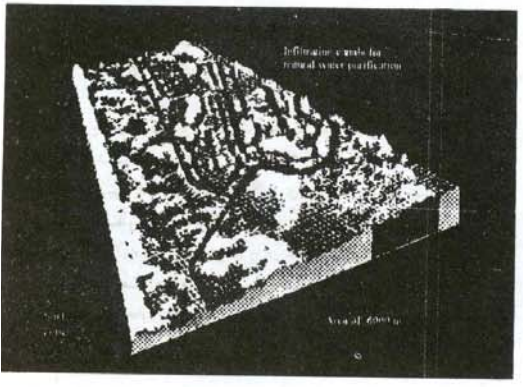
توصیه شده است که ابتدا باید موقعیّت نقطهٔ کنترل زمینی GPS در منطقهٔ مورد نظر معلوم گردد. بنابراین شناسایی زمین کلّ منطقه برای انجام پرواز جهت جاروب لیزری لازم نیست. این مسئله از مزیّتهای مهم این روش است. در مقایسه با روشهای نقشه‌برداری معمولی، این روش فقط در مناطقی قابل اجرا است که دارای عوارض طبیعی شدیدی نباشند. نظیر مناطق ساحلی شنی و محدودهٔ جزرومدّی و نیز زمینهای شخصی. جاروب کنندهٔ لیزری فقط نقاط ارتفاعی نوک درختان و سطح زمین را ثبت می‌کند. نرم افزار فیلترکنندهٔ عوارض مورفولوژیکی[10] غیرطبیعی (مجازی) می‌تواند انعکاسهای حاصل از برگهای درختان را از ارتفاعات زمینی جدا کند. در فتوگرامتری و نقشه‌برداری معمولی مشکلات بسیار زیادی جهت انجام اندازه‌گیریها در مناطقی که پوشیده از جنگل انبوه باشد وجود دارد. در حالی که برای سیستم جاروب لیزری چنین نیست.

تواناییهای سیستم جاروب کننده لیزری

در سالهای ۱۹۹۶ م و ۱۹۹۵ م ژئودن ژئودزی (Geodan Geodesie) پروژه‌های لیزری مختلفی را به انجام رسانده است.



نگارهٔ (۴): اسکن کنندهٔ لیزری شامل داده‌های ارتفاعی دیجیتال مناطق وسیعی می‌باشد. در این مثال DEM مربوط به منطقهٔ جزر و مدّی به وسعت ۲ کیلومترمربع نشانداده شده است.



نگارهٔ (۵) : با تراکم یک نقطه درهر ۱۲ مترمربع یا بیشتر یک نقشهٔ تفضیلی دقیق از مورفولوژی زمین می‌توان به دست آورد.

یکی از این پروژه‌ها در خصوص تهیهٔ نقشهٔ ارتفاعی دیجیتال مناطق ساحلی برای دو شرکت سازندهٔ سدهای خاکی در مناطق ساحلی کشور هلند می‌باشند. مناطق مورد اندازه‌گیری شامل محدوده‌ای از سواحل کشور هلند به مساحت ۴۰×۴۰ کیلومترمربع می‌باشد. بخش بسیار مهمی از پروژهٔ مذکور مشتمل بر کنترل کیفیّت کامل پروژه توسط شرکتهای مذکور بوده است. کنترل کیفیّت انجام شده به منظور کنترل چگونگی وضعیت نقاط ارتفاعی حاصل از جاروب لیزری می‌باشد. شرکتهای مذکور[11] خواستار این

بودند که نقاط مورد اندازه‌گیری دارای خصوصیات زیر باشند.

■ خطای انحراف معیار[12] مسطحاتی و ارتفاعی حداکثر ۱۵ سانتی‌متر باشد؛

■ میانگین تراکم مشاهده‌ها؛ یک مشاهده در هر ۱۲ مترمربع برای شرکت GWA و حداقل یک مشاهده در هر ۴ مترمربع برای شرکت PWN باشد.

مناطق ساحلی مورد نقشه‌برداری شامل جنگلهای برگ ریز و برگ سوزنی، بوته‌زار انبوه و تُنُک، چمنزار و زمین باز با اختلاف ارتفاع حداکثر ۳۰ متر بوده است. به منظور محاسبهٔ دقّت داده لیزری انتخاب یک رفرانس (Reference) یکنواخت و مطمئن لازم است. به این منظور ۶۰۰ نقطهٔ ارتفاعی توسط GPS در مناطق بازومناطق جنگلی مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. مجموعهٔ داده‌های ارتفاعی حاصل از جاروب لیزری و اندازه‌گیریهای زمینی به طور جداگانه و غیروابسته به هم انجام شد. در نتیجه موقعیت نقاط ارتفاعی لیزری منطبق بر موقعیت اندازه‌گیریهای رفرانس زمینی نبودند، به منظور یکی کردن موقعیت دو مجموعهٔ داده‌ها، داده‌های لیزری به روی موقعیتهای رفرانس انترپوله (Interpolate) گردید. برای این منظور از روش انترپولاسیون سیبسون[13] استفاده گردید. در این روش از واریانس مخصوص[14] و فاصلهٔ نقطهٔ مورد نظر از نقطهٔ ثابت جهت انترپوله کردن موقعیت هر نقطهٔ ارتفاعی استفاده می‌شود.

جدول ۱ نتایج حاصل از کنترل کیفیّت را نشان می‌دهد.

انحراف معیار اندازه‌گیریهای رفرانس حدود ۵ سانتی‌متر بوده است. انحراف معیار نهایی محاسبه شده در مناطق مربوط به شرکت PWN، ۱۲/۵ سانتی‌متر بوده در حالی که نتایج حاصل از کنترل کیفیّت GWA، ۱۴/۸ سانتی‌متر بود. تراکم داده‌های لیزری به دلیل حدّ کمترین دید در مناطق جنگلی کمترازحدّ مورد نیاز برای این شرکتها بوده است. حدّ کمترین دید در مناطق جنگلی به دلیل تعدّد نقاط اندازه‌گیری شده روی نوک درختان بوده است که در نهایت از DEM نهایی حذف گردیده‌اند. با این حال نتایج حاصل از کنترل کیفیّت برای تولید DEM مناسب و کافی بوده است.

نتیجه

پروژه‌های لیزری انجام شده در دورهٔ سالهای ۱۹۹۳م و ۱۹۹۵م حاکی از دقّت و تراکم بالای نقاط ارتفاعی اندازه‌گیری شده توسط جاروب لیزری را دارد. دقّت نهایی نقاط ارتفاعی بین ۱۵-۱۰ سانتی‌متر می‌باشد. این دقّت، قابل مقایسه با دقّت روش فتوگرامتری هوایی می‌باشد. جاروب لیزری هوایی تراکم بسیار بالایی را در اندازه‌گیری ارایه می‌دهد، به عبارتی بیش از یک اندازه‌گیری در هر ۱۲ مترمربع. مشاهده‌های اتوماتیک و ساده و روش پردازش، جاروب لیزری را به صورت یک تکنیک سنجش از دور پیشرفته و عملی که احتیاجات اطلاعاتی مناطق ساحلی متغیّر را با کیفیّت بیشتر و هزینهٔ کمتر مرتفع می‌کند، درآورده است. □

□ □ □

پاورقی:

1) Gauge determination
2) Telecommunication
۳) منظور از جریب در اینجا ۴۰۴۷ مترمربع می‌باشد.
4) Laser profiling system: (Laser Profiler)
5) Scanner
6) Fix
7) Inertial Navigation System : (INS)
8) Orientation
9) Aerial Photogrammetry
10) Sophisticated morphological filtering software
11) Gemeentewaterleidingen Amsterdam (GWA), NV PWN Waterleidingb edrijf Noord-Holland (PWN)
12) Standard deviation
13) The Sibson interpolation method
14) Spatial Variance