معرفی و ارزیابی کیفی داده‌های لیدار

مهندس احمد جواهری
کارشناس ارشد فتوگرامتری

دکتر علی محمدپور
دکتری جغرافیا، دانشگاه تهران

چکیده

امروزه سنجنده‌های فعال و غیرفعال بسیاری به امر برداشت اطلاعات از اشیاء و عوارض می‌پردازند و اطلاعات مختلفی از اشیاء در طول موج‌های مختلف و با قدرت تفکیک‌های متفاوت تهیه می‌کنند. به صورت بالقوه هرکدام از این داده‌ها می‌توانند به عنوان یکی از منابع تأمین مؤلفه‌های سه‌گانه طیفی، بافتی، و هندسی (ساختاری) مورد استفاده قرار گیرند. به دلیل توانایی سنجنده لیدار در ارائه اطلاعات هندسی از شیء و همچنین جدید بودن این سنجنده، در این تحقیق به بررسی قابلیتها و رفتار مختلف این سنجنده در تشخیص عوارض مختلف پرداختیم.

۱- مقدمه

استفاده از امواج لیزر برای مقاصد فاصله‌یابی، تکنولوژی جدیدی نیست و طی چند دههٔ گذشته به طور گسترده‌ای در علوم مختلف از جمله ژئوماتیک مورد استفاده قرار گرفته است. امکان به کارگیری دستگاه‌هایی از جمله طولیاب‌ها و توتال استیشن‌ها مرهون تکنولوژی است. طی دهه گذشته این تکنولوژی در فتوگرامتری نیز مورد استفاده بوده است. از مثالهای بارز به کارگیری این تکنولوژی می‌توان به تهیه یک پروفیل ارتفاعی از پای هواپیما در امتداد پرواز در طی یک عملیات عکسبرداری هوایی اشاره کرد به طوری که این مشاهدات ابزار قدرتمندی برای سرشکن کردن بلوکهای فتوگرامتری و تعیین المانهای توجیه خارجی عکسها بوده است. اما امروزه امکان قابلیت تلفیق و به کارگیری همزمان از داده‌های فاصله‌سنجی لیزر (Laser Ranging) و سیستم تعیین موقعیت جهانی (GPS) و تکنیکهایی برای تعیین وضعیت هواپیما در هر لحظه باعث گسترش روزافزون استفاده از داده‌های فاصله‌سنجی لیزر شده است. استفاده همزمان از این سه مجموعه داده باعث حل المانهای توجیه خارجی هر دسته اشعه لیزر و در نتیجه محاسبهٔ مختصات زمینی نقطهٔ برخورد می‌گردد.

استفاده از این تکنولوژی باعث ایجاد تحولی بنیادین در تهیه اطلاعات ارتفاعی و تهیه مدل رقومی ارتفاعی زمین و استخراج مؤلفه‌های ساختاری شیء به منظور شناسایی اتوماتیک اشیاء شده است. لیدار همانند سیستم راداری است که به جای استفاده از امواج الکترومگنتیک، در محدوده طول موجهای رادیویی، از محدوده طول موجهای بینایی و به صورت محدودتر از امواج مادون قرمز و ماورای بنفش استفاده می‌کند. به همین خاطر امواجی که مورد استفاده قرار می‌دهد بین ده تا صد هزار برابر کوچکتر از امواج مورد استفاده در سیستم رادار است. این نوع رادار با اسامی دیگر از قبیل:

1- LIDAR
2- LADAR
3- Laser Radar, ...

نیز خوانده می‌شود و ما آن را به نام لیدار می‌شناسیم.

۲- چگونگی عملکرد سیستم لیدار

سیستمهای لیدار ابزار قدرتمندی برای استخراج اطلاعات هندسی سه بعدی از سطح عارضه می‌باشد. برای جمع‌آوری این اطلاعات، سیستم جاروبگر لیزر اندازهٔ برداری از روزنه پرتاب لیزر در راستای خط دید تا شیء را مشاهده می‌کند. موقعیت سه‌بعدی این شیء، در صورتی قابل محاسبه است که در هر لحظه موقعیت و وضعیت سیستم نسبت به یک سیستم مرجع مشخص باشد. برای این منظور، در حین عملیات فاصله‌سنجی توسط سیستم جاروب کننده لیزری، از IMU و GPS نیز استفاده می‌شود. سیگنال ارسالی از سیستم لیدار پس از برخورد با سطح، ممکن است با چندین انعکاس به سمت فرستنده باز گردد. علت این امر وجود اشیائی با منافذ در سر راه دسته اشعه است که باعث عبور دادن قسمتی از لیزر فرستاده شده و بازگرداندن قسمتی دیگر به سمت فرستنده می‌شود. هر دو موج بازگشتی لیزر از اولین و آخرین شیء که لیزر به آن برخورد می‌کند به عنوان پالس اولیه و ثانویه طول ثبت می‌گردد. ثبت این اطلاعات علاوه بر این که اطلاعات مناسبی برای استخراج مدل رقومی ارتفاعی زمین در اختیار قرار می‌دهد، توصیفگر مناسبی نیز در امر تشخیص پوشش گیاهی می‌باشد. سیستم دریافت امواج لیزر علاوه بر ثبت داده‌های طول، قدرت دو سیگنال لیزر بازگشتی را نیز به عنوان شدت روشنایی اولیه و ثانویه ثبت می‌کند. این داده، توصیفگر شرایط فیزیکی سطح جسم می‌باشد. هر سیستم لیدار از سه بخش تعیین موقعیت، وضعیت و سیستم جاروب کنندهٔ لیزری تشکیل شده است.

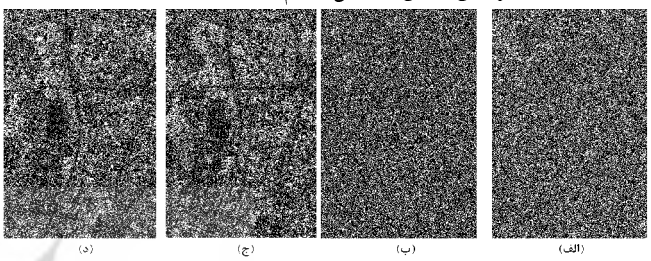
GPS

تعیین موقعیت هواپیما از روش تفاضلی دوگانه فاز موج حامل بین گیرنده‌ای که روی هواپیما نصب شده است و گیرنده‌ای که در یک موقعیت معلوم قرار گرفته است به دست می‌آید. دقت تعیین موقعیت هواپیما با این

روش به کمتر از چند سانتی‌متر می‌رسد. تأثیرات اتمسفر از قبیل یونسفر و تروپسفر، خطای چند مسیری، نویز گیرنده و... باعث کاهش دقت می‌گردد ولی لزوم دستیابی به دقتهای بالا، مدل کرئن و حذف این خطاها را گریزناپذیر می‌کند.

IMU

وضعیت هواپیما در لحظهٔ عکس‌برداری نیز با یکی از روشهای، چندین INS, GPS، یا ترکیبی از این دو قابل انجام است.



نگاره ۱: مجموعه داده: پالس اولیه و ثانویه طول (الف و ب)، پالس و ثانویهٔ شدت روشنایی (ج و د)

سیستم‌های جاروب کننده لیزری

سیستم‌های جاروب کننده لیزری از دو قسمت مجزا تشکیل شده‌اند. سیستم مولد لیزر و سیستم نوری و مکانیکی ارسال و دریافت امواج. وظیفهٔ سیستم مولد لیزر تولید امواج لیزر می‌باشد. به طور کلی این طول موج‌ها بسته به نوع کاربرد از محدوده طول موج مادون قرمز تا مادون بنفش، تغییر می‌کند. در کاربردهای عمق‌یابی از لیزر با طول موجهای کوچکتر و در تهیه اطلاعات از سطح زمین از طول موج‌های بزرگتر استفاده می‌شود. قدرت لیزر تولید شده نباید آنقدر زیاد باشد که به چشم آسیب برساند.

دو ایدهٔ مختلف در اندازه‌گیری طول باعث به وجود آمدن دو نوع مختلف از مولدها شده است.

۱- مولدهایی که به طور منقطع به تولید لیزر می‌پردازند.

این نوع مولد پالس لیزر را تولید و به صورت منقطع به قسمت ارسال امواج فرستاده و پس از ثبت بازگشت این پالس از سطح زمین توسط قسمت دریافت امواج، پالس جدید لیزر را تولید می‌کند.

در این روش تک پالس لیزر فرستاده می‌شود و بازگشت این پالس پس از برخورد با زمین توسط سیستم نوری و مکانیکی دریافت می‌گردد. با اندازه‌گیری زمان رفت و بازگشت لیزر، می‌توان فاصله را از فرمول (۱-۱) محاسبه کرد. در این فرمول t زمان رفت و بازگشت یک پالس لیزر و پارامتر c اندازهٔ سرعت نور می‌باشد.

$$R = c \frac{t}{2} \qquad (۱)$$

با نتیجه‌گیری از رابطهٔ بالا، قدرت تفکیک در اندازه‌گیری طول، ΔR در صورتی که بتوان زمان را با دقت Δt اندازه‌گیری کرد، از فرمول (۲-۱) قابل محاسبه است. این محدودیت در اندازه‌گیری فاصله، به خاطر محدودیت دستگاه در اندازه‌گیری دقیق زمان به وجود آمده است.

$$\Delta R = c \frac{\Delta t}{2} \qquad (۲)$$

۲- مولدهایی که لیزر را به صورت پیوسته تولید می‌کنند.

این نوع مولدها پالس لیزر را به صورت پیوسته تولید می‌کنند.

(Continuous - Wave Laser) Waveform

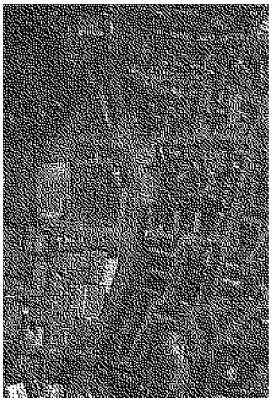
روش امواج پیوستهٔ لیزر

$$R = \frac{1}{4\pi_1} \times \frac{c}{f} \varphi \qquad (۳)$$

$$\Delta R = \frac{1}{4\pi} \times \frac{c}{f} \Delta\varphi \qquad (4)$$

استفاده از سیستم‌های اول بیشتر در استخراج اطلاعات از سطح زمین کاربرد دارد. این سیستمها با ارسال منفصل پالس‌های لیزر و ثبت امواج بازگشتی کار می‌کند. اما در سیستم دوم امواج به صورت پیوسته فرستاده می‌شود و تقریباً به همان صورت نیز دریافت می‌شود. عکس هوایی رنگی از منطقه اسکن شده توسط لیدار در ذیل ملاحظه می‌شود.

امکان استفاده همزمان این دو نوع داده در نرم‌افزار PCI امکان تشکیل مدل سه بعدی را فراهم می‌آورد. در نگاره ۳ نمونه مدل سه بعدی ملاحظه می‌گردد که از تلفیق عکس هوایی رنگی و پالس ثانویه لیدار تشکیل شده است.



نگاره ۲: از مجموعه داده، دادهٔ عکس هوایی

نگاره ۳: مدل سه بعدی منطقه (عکس هوایی رنگی و پالس ثانویه لیدار)

برخی خصوصیات

کوچکترین شیء قابل شناسایی در پای لیزر به ابعاد شیء بستگی ندارد. عوامل زیادی روی کوچکترین شیء قابل تشخیص تأثیر می‌گذارند. از جمله قدرت لیزر، شرایط اتمسفر، قابلیت انعکاس سطح، شیب زمین، میزان حساسیت سنسور، طول موج لیزر و... می‌باشد. کابلی با قطر ۱ سانتیمتر قابل شناسایی است ولی شاخهٔ سیبی با قطر ۳ سانتیمتر قابل شناسایی نمی‌باشد.

در یک برنامه‌ریزی برای جمع‌آوری داده‌ها، پارامترهای زیر باید مورد توجه قرار گیرد. LIDAR Spot Spacing، یا فواصل بین نقاط برداشت شده، سرعت اسکن یک خط و سرعت جاروب شدن منطقه. سه پارامتر اول به خصوصیات فرستنده و گیرندهٔ لیزر و خصوصیت آخر به سرعت سکو بستگی دارد. پیشرفتهای اخیر تکنولوژیکی باعث ایجاد و به کارگیری فرستنده‌هایی است که توانایی بیشتری در فرستادن و دریافت تعداد پالس بیشتری در یک ثانیه است. پارامتر دیگری نیز که باید مورد توجه قرار گیرد اندازهٔ Footprint است. همیشه کاهش اندازه پای لیزر منجر به نتایج بهتری نمی‌شود. این داده‌ها در مناطق عاری از درخت با مدل رقومی ارتفاعی زمین را با دقت بیشتری نسبت به روشهای معمول تهیه این نقشه‌ها، تهیه می‌کنند.

چگالی نقاط ارتفاعی برداشت شده نیز به نسبت روشهای قبل بیشتر است. به طور مثال با استفاده از سیستمهای لیدار می‌توان به چگالی ۵ نقطه در هر مترمربع نیز رسید. با استفاده از این روش می‌توان با هزینهٔ کمتری به تهیه مدل رقومی زمین پرداخت. مخصوصاً اگر روند پس پردازش داده‌ها برای حذف نقاط اضافی روی DSM به صورت اتوماتیک انجام پذیرد، کاهش در هزینه‌ها چشمگیرتر است.

۳ - ارزیابی کیفی داده‌های لیدار

به منظور شناسایی عوارض مناسب برای تشکیل فضای توصیف کاندید، خصوصیات داده‌های لیدار و عکس هوایی باید به صورت کیفی مورد ارزیابی قرار گیرند تا داده‌ها و یا توصیف‌گرهایی که پتانسیل بیان ویژگی‌های خاص از عوارض دوبعدی جاده و پوشش گیاهی و عوارض سه‌بعدی خانه و درخت را دارند، مشخص گردند تا نسبت به انتخاب و یا استخراج آنها اقدام گردد. به این منظور شناسایی و تشخیص فضای داده‌ها از دو منظر باید مورد بررسی قرار گیرد.

● امکان بکارگیری مستقیم اطلاعات سنجنده‌ها

این دسته به ارزیابی توانایی داده‌ها در استخراج عوارض، به صورت مستقیم و بدون انجام پردازش و یا انتقال به فضای عارضه روی آنها می‌پردازد و این داده‌ها، به صورت مستقیم، به عنوان عضوی از فضای توصیف مورد استفاده قرار می‌گیرند.

● بررسی کیفی داده‌ها به صورت نسبی

این دسته به ارزیابی توانایی اطلاعات در شناسایی اشیاء، بعد از انجام پردازش روی آنها می‌پردازد. این پردازش‌ها شامل تمام عملیاتی است که برروی تصویر انجام می‌گیرد تا اشیاء روی تصویر بارزتر گردیده و عملیات شناسایی با دقت و قابلیت اعتماد بالاتری انجام پذیرد. در صورت مثبت بودن ارزیابی، روی داده‌های پردازش شده، این داده‌ها که از این به بعد، توصیف‌گر نامیده می‌شوند، به عنوان کاندیدی برای حضور در فضای توصیف مورد استفاده قرار می‌گیرند.

کیفیت داده‌های مورد نظر پس از ارزیابی چه به صورت نسبی یا مطلق در سه سطح تقسیم‌بندی می‌گردند.

ضعیف: داده‌ها و یا توصیف‌گرهای این گروه، دارای اطلاعات مناسبی برای توصیف شیء نمی‌باشند. یعنی علاوه بر این که به صورت خام حاوی اطلاعات مناسبی نمی‌باشند، پردازش روی این داده‌ها نیز تأثیری روی این داده‌ها، در بیان بارزتر اشیاء ندارد.

خوب: به داده و یا توصیف‌گرهایی اتلاق می‌گردد که بتوان از آن اطلاعات مناسبی برای توصیف شیء مورد نظر استخراج کرد. با این وجود، در حالت فوق، امکان تمایز شیء مورد نظر با برخی اشیاء میسر نمی‌باشد. در حقیقت داده‌های این دسته، بیانگر عارضهٔ خاصی نمی‌باشند ولی وجود این داده‌ها در کنار دیگر اعضای توصیف، به شناسایی الگوهای مختلف کمک می‌کند.

عالی: به داده‌ها و یا توصیف‌گرهایی اتلاق می‌گردد که علاوه بر این که حاوی اطلاعات مناسبی برای توصیف اشیاء می‌باشند، خلوص بیشتری نیز در توصیف آنها دارند.

۳-۱- داده‌های لیدار در شناسایی عارضه جاده

در این بخش نقش هر کدام از داده‌ها در تشخیص الگوی جاده به عنوان یک عارضهٔ دو بعدی، مورد بررسی قرار گرفت. به عنوان یک قاعدهٔ کلی، در امر تشخیص و استخراج عوارض دو بعدی از داده‌های لیدار، استفاده از پالس طول و روشنایی ثانویه، کمترین مقدار اغتشاش با اشیاء سه بعدی را ایجاد می‌کند. چرا که پالس ثانویه، آخرین نقطهٔ برخورد با سطح شیء می‌باشد. داده‌های پالس اولیه و ثانویه طول به صورت خام، تنها زمانی قابل استفاده می‌باشند که مدل رقومی تغییرات ارتفاعی زمین DTM موجود باشد. در غیر این صورت می‌توان انتظار وقوع هر شیء را با هر ارتفاعی داشت. در صورت وجود DTM می‌توان توصیف‌گر تغییرات ارتفاع اولیه و ثانویهٔ طول را استخراج کرد، در صورتی که این توصیف‌گر با دقت مناسبی ساخته شود می‌توان عوارض دوبعدی و سه بعدی را از یکدیگر متمایز ساخت. ولی این توصیف‌گر کمکی به جداسازی عوارض دوبعدی از یکدیگر نمی‌کند و این توصیف‌گر هر عارضهٔ دوبعدی را به عنوان جاده خواهد شناخت. بنابراین توصیف‌گر تغییرات ارتفاع، که از هر دو پالس اولیه و ثانویه طول ساخته می‌گردند، توصیف‌گرهای خوبی در امر تشخیص عوارض دوبعدی جاده از عوارض سه بعدی می‌باشند. باتوجه به سطح تقریباً صاف جاده‌ها، می‌توان انتظار داشت شدت پالس بازگشتی لیزر از این عارضه، تقریباً یکسان باشد. باتبعیت از قاعدهٔ کلی ذکر شده، شدت پالس بازگشتی ثانویه نیز کمتر از شدت پالس اولیه، با عوارض سه بعدی مغشوش می‌گردد. بنابراین شدت پالس ثانویه، توصیف‌گر خوبی در توصیف جاده می‌باشد. با استفاده از این داده‌ها می‌توان به طور نسبی عارضهٔ جاده را از باقی کلاسها تشخیص داد. البته ساختمانها با سقف صاف یا آسفالت نیز دارای رفتار مشابهی با عارضهٔ جاده می‌باشند. همچنین، توصیف‌گری که بیان کنندهٔ ناهمواری سطوح عوارض باشد نیز در جداسازی عارضهٔ جاده از عوارض دیگر که سطوح صافی ندارند، از جمله پوشش گیاهی، مفید است. بنابراین توصیف‌گر ناهمواری نیز، توصیف‌گر خوبی در توصیف جاده می‌باشد.

۳-۲- داده‌های لیدار در شناسایی عارضه پوشش گیاهی

استفاده از اطلاعات شدن روشنایی برای استخراج اطلاعات متعلق به کلاس پوشش گیاهی مفید است. پوشش گیاهی با شدت روشنایی کمتری نسبت به بقیه اشیاء، تصویر می‌گردد و همچنین تغییرات درجه روشنایی روی آن نیز خیلی زیاد نیست. با رعایت قاعدهٔ کلی ذکر شده در قسمت قبل، در اینجا نیز به خاطر دو بعدی بودن این عارضه، استفاده از پالس ثانویه شدت روشنایی منجر به اخذ نتایج بهتری خواهد شد. در مورد استفاده عارضهٔ دو بعدی جاده در پالس طول لیدار رفتاری مشابه با کلاس جاده دارد.

۳-۳- داده‌های لیدار در شناسایی عارضه درخت

تفاوت عددی داده‌های فاصله سنجی اولیه و ثانویه لیزر به خاطر امکان عبور پالس‌های ارسالی از اشیاء متخلخل، باعث امکان تعریف توصیف‌گری می‌شود که بیانگر این اختلافات باشد. بررسی‌ها نشان می‌دهد این توصیف‌گر قابل استخراج یک دادهٔ عالی در شناسایی الگوی درخت می‌باشد. می‌توان انتظار داشت، ارتفاع درختان، در توصیف‌گری که به بیان تغییرات ارتفاع بپردازد، در محدوده‌ای نه چندان گسترده تغییر کنند. بنابراین توصیف‌گر تغییرات فاصله‌سنجی پالس اولیه که نسبت به پالس ثانویه حاوی اطلاعات مناسب‌تری می‌باشد توصیف‌گر خوبی در امر تشخیص درختان می‌باشد.

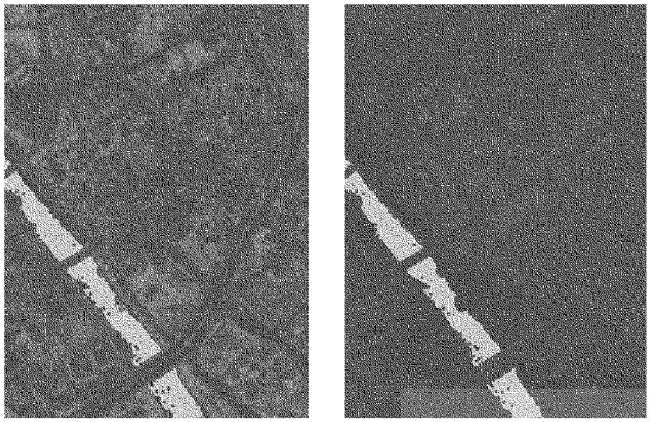
۳-۴- داده‌های لیدار در شناسایی عارضه ساختمان

در اینجا نیز به عنوان یک قاعدهٔ کلی می‌توان گفت، اولین پالس بازگشتی لیزر، که به عنوان پالس اولیه طول و شدت روشنایی ثبت می‌گرد، دادهٔ مناسبتری برای تشخیص اشیاء سه‌بعدی نسبت به پالس ثانویه می‌باشد. با بررسی نمودارهای پراکندگی، که استفاده از اطلاعات شدت روشنایی برای استخراج اطلاعات متعلق به کلاس ساختمان مفید باشد. هر چند که با استفاده از این داده‌ها تمایز بین کلاس ساختمان و پوشش گیاهی، پیچیده به نظر می‌رسد.

این پیچیدگی در ساختمانهایی با سقف سفالی، مشهودتر است. همچنین رفتار داده‌های شدت روشنایی سقف‌های صاف یا آسفالت نیز مانند رفتار جاده در همین داده می‌باشد. استفاده از داده‌های طولی باعث ایجاد پیچیدگی‌هایی در جدا کردن کلاس ساختمان از کلاس درخت می‌گردد ولی به خاطر این که کلاس درخت با دقت خوبی با توصیف‌گرهای دیگری از جمله اختلافات نرمال شده،[1] قابل استخراج است همچنین تفکیک نسبتاً خوبی که بین کلاس ساختمان و کلاس عوارض دوبعدی با توصیف‌گرهای اختلاف ارتفاع، قابل تصور است، لذا استفاده از داده طول دادهٔ خوبی برای شناسایی کلاس ساختمان است.

۳-۵- داده‌های لیدار در شناسایی پهنه‌های آبی

رفتار انعکاسی شدید عوارضی مانند آب، باعث عدم بازگشت اطلاعات به سمت سنجنده و در نتیجه، عدم ثبت اطلاعات در این مناطق می‌گردد. در داده‌های فوق، منطقهٔ سفیدرنگ، رودخانه‌ای است که به علت رفتار انعکاسی بالا، هیچ بازگشتی از این عارضه ثبت نشده است.



(الف) (ب)

نگارهٔ ۴: داده‌های مختلف لیدار پالس اولیهٔ طول (الف) پالس اولیهٔ شدت روشنایی (ب)

۴- نتیجه گیری

بررسی‌ها در این تحقیق نشان می‌دهد داده‌های لیدار پتانسیل بسیار زیادی در شناسایی و استخراج عوارض مختلف از یکدیگر دارند. البته روند اتوماتیک‌سازی این شناسایی مستلزم اضافه کردن مؤلفه‌های طیفی نیز می‌باشد. اما برخی عوارض مانند جاده به تنهایی نیز از این داده‌ها قابل استخراج می‌باشند.

۵- منابع

1- "An Introduction to Laser Scanning" Surveying Engineering Department Ferris State University.

2- Michael Crane, et All 2002,"Report of the U.S. Geological Survey Lidar" Remote Sensing Program, 2002.

3- Greeal, M.S, et all 2002, "Global Positioning System, Inertial Navigation and Integration". John Wiley.

4- Wehr A., Lohr U. ,1999., "Airborne laser scanning-an introduction and overview"., ISPRS journal of Photogrammetry & Remote Sensing 54, 68 - 82.

5- Toposys Gmbh, URL http://www.toposys.com/

۶- دکتر فرهاد صمدزادگان، احمد جواهری، بهینه سازی در فضای توصیف به منظور افزایش دقت طبقه بندی، سازمان نقشه برداری، ژئوماتیک ۸۶.

۷- احمد جواهری، ۲۰۰۵، طبقه بندی عوارض سه بعدی با استفاده از یک روش تلفیق اطلاعات در سطح عارضه، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده فنی دانشگاه تهران.

پی‌نوشت

1- Normalised Distances different Image