

# کاربرد داده‌های LIDAR در تعیین توپوگرافی سطح و بستر آب و ارائه روشی جهت حذف نویز از آن

مهندس حمید عنایتی

شیمای توری

دانشجوی فتوگرامتری دانشکده فنی نقشه برداری سازمان جغرافیایی

## چکیده

استفاده از لیزر اسکنرهای هوایی جهت تعیین توپوگرافی بستر آب، چندی است که در دنیا مطرح شده و جنبه‌ی کاربردی به خود گرفته است. عمق یابی بالیزر اسکنرها روشی است دقیق تر، مقرون به صرفه تر و سریع تر از سایر روش‌های عمق یابی، که مبنای آن اندازه‌گیری دقیق زمان رفت و برگشت دو نور ارسالی به سطح و بستر آب می‌باشد. از این رو کاربرد سخت افزار و نرم افزار مناسب که در آن‌ها منبع خطاهای مهم تشخیص داده شده و به حداقل میزان رسانده شود در نتیجه پرواز بسیار مؤثر است. این مقاله به معرفی انواع لیزر اسکنرهای عمق یاب، تکنیکهای مختلف مورد استفاده در هر یک از آنها و شرح چگونگی عملیات عمق یابی می‌پردازد. همچنین علاوه بر بیان عوامل طبیعی بروز خطا و علل نویز در داده‌های عملیات، الگوریتمی نیز جهت تصحیح داده‌ها و روشی جهت حذف نویز ارائه می‌کند.

**واژگان کلیدی:** لیدار (LIDAR)، لیزر اسکنر، SST، عمق یابی.

## ۱- مقدمه

تغییرات در زمین ما، به عنوان جزئی از جهان هستی که دائم در حال تغییر است، از مسائل مهم قرن می‌باشد. همچنانکه می‌دانیم، میزان گرم شدن زمین ارتباط مستقیمی با دما و میزان آبهای اقیانوسها دارد. تحقیقات نشان می‌دهد که سطح آبهای آزاد از سال ۱۹۹۲ حدود ۳/۳ میلیمتر در سال افزوده شده که نیمی از آن به دلیل تغییرات درجه حرارت جهانی می‌باشد. [۷] اطلاع از تغییرات سطح آبها، کمک زیادی به مدیریت تغییرات آب و هوایی جهانی می‌نماید.

عمق یابی به کمک لیزر اسکنرها تکنیکی است که به دلیل کارایی بالا و با توجه به درخواست‌های روزافزون مشتریان قابلیت‌های آن اشکال جدیدتری پیدا کرده است.

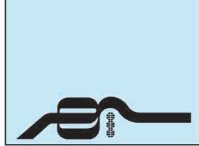
از این رو ALB<sup>(۱)</sup> فرصت‌ها، توانایی‌ها و محصولات منحصر به فردی را برای نقشه برداری در آب‌های کم عمق و در مرزهای آبی فراهم می‌کند که

## ۲- تاریخچه

مفهوم ALB یا همان عمق یابی با استفاده از لیزر اسکنرها در اواسط دهه ۱۹۶۰ بعد از تلاش‌های بسیار پا به عرصه ظهور نهاد که کاربردهای اولیه آن در پیدا کردن زیر دریایی‌ها بود. [۱۰] در اوایل دهه ۱۹۷۰ آزمایش تعدادی از اولین نسلهای سیستم‌های لیدار توسط نیروی دریایی ایالات متحده آمریکا و سازمان هوانوردی و فضایی آمریکا (NASA) در کانادا و در استرالیا با موفقیت انجام شد. پس از آن می‌توان به آزمایش موفقیت آمیز AOL در سال ۱۹۷۷ اشاره کرد که در نتیجه همکاری NOAA، NASA، و چند سرمایه‌گذار دیگر بود. در اواخر ۱۹۸۰ اولین سیستم ALH<sup>(۲)</sup> دنیا یعنی WRELADA II در کانادا ساخته و آزمایش سیستم در استرالیا کامل شد. [3]

در سال ۱۹۹۰ شاهد ظهور سیستمهای LADS در استرالیا، SHOALS در ایالات متحده آمریکا و HAWK EYE در سوئد بودیم. در اواخر دهه ۹۰، SHOALS از قابلیت K-GPS استفاده کرد [۴] و در نتیجه امکان انجام عملیات بدون همراهی داده‌های جزر و مد فراهم شد. در سال ۲۰۰۱ اولین عمق یاب لیزری هوایرد LARSEN پس از ۱۶ سال فعالیت از عرصه خارج شد.

در سال ۲۰۰۴ سیستم SHOALS تا ۲۰۰۰ پالس در ثانیه ارتقا پیدا کرد.



۲۰ سانتی متر در هر پیکسل نمایش می‌دهد. ارتفاع پرواز CHARTS حدود ۴۰۰ متر و سرعت آن ۱۵ KNOT است.

### EAARL

این سیستم تحقیقات پیشرفته ناسا، یک لیزراسکنر هوایی است که از پالسهای نورآبی و سبز با قدرت ۵۰۰۰ pps و مادون قرمز استفاده می‌کند و بیشتر برای ارزیابی شدت طوفان و صدمات وارد بر سواحل استفاده می‌شود. علت تفکیک این سیستم از سایرین پالسهای نور آن است که طول موج کوتاهی دارند و این نکته موجب افزایش دقت در عمق‌یابی می‌شود! EAARL دارای گیرنده با میدان دید باریک و ارتفاع پرواز ۳۰۰ متر است.

### HAWK EYE II

این سیستم از ۴۰۰۰ pps برای عمق‌یابی آب و ۶۴۰۰۰ pps برای ارتفاع سنجی توپوگرافی استفاده می‌کند. ارتفاع پرواز آن ۲۰۰-۴۵۰ متر با پهنای باند نصف ارتفاع و سرعت آن ۲۵ KNOT طراحی شده است.

### ۴- روش کار

ALB یک تکنیک برای اندازه‌گیری عمق‌های نسبتاً کم آبهای ساحلی از هوا، با استفاده از پرتولیزر است و از آنجایی که در ابتدا در نمودارهای دریایی کاربرد داشت به عنوان هیدروگرافی هوایی نیز شهرت دارد. در این روش اساس کار ما بر مبنای اندازه‌گیری دقیق زمان رفت و برگشت نور و تعیین فاصله هواپیما تا سطح و بستر آب می‌باشد. آب دریا و آبهای ساحلی، بر خلاف آب خالص، خواص نوری مشابهی دارند.

آب دریا در مقایسه با آب خالص به علت وجود نمکها، گیاهان دریایی و ذرات آن مقدار کمی از نورهای سبز و آبی طیف‌های مختلف را جذب می‌کند. مقدار زیادی از نورهای سبز و آبی عمیقاً در آب نفوذ کرده و از عمق آب منعکس می‌شوند. نور قرمز و اشعه مادون قرمز نفوذ خیلی کمی دارند و تقریباً تمام آنها در سطح آب انعکاس می‌یابند. اساس کار لیزراسکنرهای عمق‌یاب معمولاً با دو موج مادون قرمز نزدیک (1064 nm) و نور سبز (532 nm) است [۱]، که با اندازه‌گیری زمان رفت و برگشت مادون قرمز و نور سبز، فاصله هواپیما تا سطح و تا بستر آب، جداگانه محاسبه می‌شود. از اختلاف این دو، ارتفاع سطح آب بدست می‌آید.

نکته مورد توجه در عملیات، موقعیت هواپیما، موقعیت لیزراسکنر نسبت به هواپیما و موقعیت نقطه‌ی مورد اندازه‌گیری نسبت به لیزراسکنر است. موقعیت هواپیما توسط GPS مشخص می‌شود، در نتیجه موقعیت نقطه مورد بررسی که به زاویه نادر پالس ارسالی و ارتفاع هواپیما از سطح آب بستگی دارد، محاسبه می‌شود.

بیشترین عمق قابل اندازه‌گیری بستگی به سخت‌افزار، نرم‌افزار، پارامترهای لجستیک و شرایط محیطی منطقه دارد. [۷] این عمق کمی کمتر از عمق ماکزیمم - بیشترین عمقی که پالسهای ضعیف و دارای نویز قابل

سال ۲۰۰۶ ناوگان دریایی سلطنتی استرالیا نسل بعدی USACE به نام CZMIL را توسط Optech International به همراهی دانشگاه میسیسیپی جایگزین LADS کرد. [۴]

### ۳- انواع لیزر اسکنرها

عمق‌یابی به کمک لیزر اسکنرها رشته‌ای جوان است که هنرهای مهندسی رادر زمینه‌های لیزر، عدسیها، الکترواپتیک و الکترونیک به نمایش می‌گذارد. در میان سیستمهایی که در دنیا به طور فعال مورد استفاده قرار گرفته‌اند نام ۶ سیستم زیر به چشم می‌خورد. این سیستم‌ها با وجود تفاوت‌هایی در طراحی تکنیکی و نوری، همگی از دقتی بالا برخوردارند. [۴]

### LADS

سیستم LADS از لیزر 168 pps استفاده می‌کند که فضایی در وسعت ۱۰×۲۴ متر را شامل می‌شود. این سیستم قادر به پرواز در ارتفاع ۵۰۰ متر و با سرعت ۷۵ متر بر ثانیه است که می‌تواند در هر ساعت ۵۰ کیلومتر مربع را پوشش دهد. این سیستم از نور سبز و مادون قرمز استفاده می‌کند. مدل اسکن آن مستطیلی است. زاویه نادر آن حداکثر ۱۵ است.

### LADS MARK II

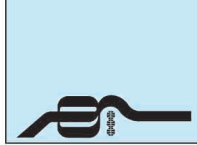
این دستگاه علاوه بر سیستم مادون قرمز و نور سبز دارای یک سیستم لیزر و یک کامپیوتر حاوی تکنولوژی ناوبری است. ماکزیمم عمق قابل اندازه‌گیری آن ۷۰ متر می‌باشد که از جمله عملیات قابل توجه آن در ۶ ماهه اول سال ۲۰۰۲ می‌توان به عمق‌یابی ۳۵ متری در آبهای داغ خلیج فارس و ۵۰ متری در آبهای یخ زده نروژ اشاره کرد. [۴]

### SHOALS-1000

دارای یک لیزر عمق‌یاب ۱۰۰۰ pps، یک دوربین دیجیتال DT-4000 و یک لیزر توپوگرافی ۹۰۰۰ pps است. ارتفاع پرواز آن ۳۰۰-۴۰۰ متر، الگوی اسکن آن دایره‌ای و زاویه پالس آن ۲۰° نادر است. استراتژی SHOALS در ردیابی سطح آب آن را به یکی از دقیق‌ترین سیستمها تبدیل کرده است. SHOALS از چهار پالس مجزا برای اندازه‌گیری سطح و عمق استفاده می‌کند: دو نور سبز، یک مادون قرمز و یک نور قرمز.

### CHARTS

به طور تکنیکی SHOALS-3000 است که شامل یک لیزر اسکنر SHOALS-3000T, OPTECH یک ITRES Research LTD و یک شبیه ساز بسیار حساس CASI-1500 می‌باشد. SHOALS-3000 حاوی یک لیزر عمق‌یاب ۳۰۰۰ pps، یک لیزر توپوگرافی ۲۰۰۰۰ pps و یک دوربین دیجیتال DT-4000 است. CASI-1500 دارای مادون قرمز نزدیک است که طراحی آن بسیار حساس و هماهنگ با سیستم CHARTS صورت گرفته است. DT-4000 نیز کامپیوتری است که در هر ثانیه ۱ تصویر را با رزولوشن



● **باران:** به دلیل بازتابش اشعه لیزر توسط قطرات باران عملیات حتی الامکان در مواقع بارانی انجام نمی پذیرد.

● **مه:** سیستم هایی که تنها از مادون قرمز یا نور سبز استفاده می کنند توسط مه بازتاب یافته و خطا در اندازه گیری سطح آب را در پی دارند. البته مه صبحگاهی برفراز آبهای آرام یک استثنای قابل توجه است!

● **ابره های کم ارتفاع (گرمسیری):** یکی دیگری از منابع خطا هستند که این مشکل با کاهش ارتفاع برطرف می شود.

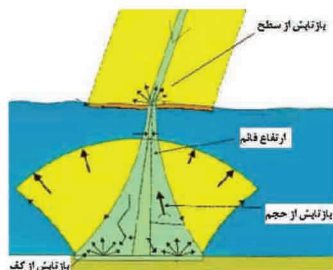
● **بادهای شدید:** این بادهای باعث صدمه به هواپیما مخصوصاً حین پرواز مجاور صخره های ساحلی می شوند. همچنین باعث ایجاد امواج عظیم می شوند که خود از عوامل خطا می باشند.

● **موج های شدید:** وجود امواج با ارتفاع زیاد اولاً باعث تغییراتی در سطح واقعی آب و متعاقباً بروز خطا در سنجش عمق می شوند. ثانیاً افشانه های از قطرات آب ناشی از آنها نیز مانند مه از دقت سیستم می کاهد. شیب زیاد این امواج نیز باعث انکسار و تغییر جهت پالس لیزر می شود و مهمترین اثر آنها جابجایی رسوبات ته نشین در کف دریا است که کاهش وضوح آب، کاهش نفوذ پالس و خطا در مکانیابی بستر آب را در پی دارد.

● **تلاو خورشید:** تابش قوی در مواقعی باعث کور شدن گیرنده لیزراسکنر می شود و اجتناب از انجام عملیات در نزدیک ظهر ضروری است. برای مثال LADS عملیات خود را هنگام غروب انجام می دهد. [۹]

● **خطوط جزرومد:** داده های مادر برخی از محدوده های جزرومدی به علت تجمع زیاد کف، دارای خطا است.

همچنین وضوح آب و توپوگرافی بستر آب نیز از دلایل مؤثر در افزایش خطای اتفاقی اند. ذکر این نکته ضروری است که در آبهای کدر عمق یابی میسر نیست! در صورت کثیف بودن آب منطقه، عملیات می بایست در چند روز مختلف (که آب صاف تر است) و در مراحل مختلف جزرومد انجام پذیرد. [۴]



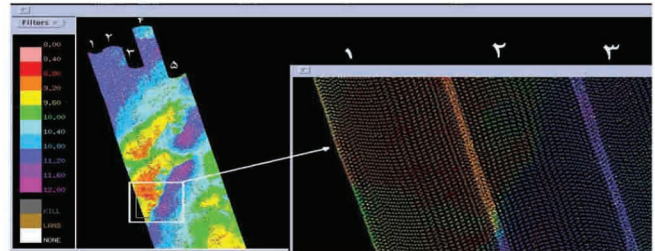
نگاره ۲: نمایش بازتاب از سطح، حجم و کف آب

## ۶- فیلترینگ داده ها

داده های لیزراسکنر هوایی اغلب با نویزهای فراوان اخذ می شوند و حذف نویز از آنها یکی از ابتدایی ترین پردازشهای مورد نیاز جهت آماده سازی داده ها برای استفاده می باشد.

نویز موجود در داده های ما به دو گروه تقسیم می شود. نوع اول به شکل نویز زمینه و خطای تدریجی است که توسط تکنیک یک بعدی پروسه کردن

تشخیص است- می باشد. تیرگی آب، آب و هوا، ساختار کف دریا و... در تعیین عمق دخالت دارند، به طوری که در شرایط عادی در آبهای صاف اقیانوس حداکثر عمق قابل اندازه گیری 40-50 متر، آبهای نزدیک ساحل 20-40 متر و آبهای تیره داخلی کمتر از ۲۰ متر می باشد. [۱]



نگاره ۱: ابر نقاط برداشت شده در ۵ رن پرواز را نشان می دهد. [۳]

## ۵- خطاها و عوامل آنها

اندازه گیری عمق، بر مبنای محاسبه دقیق زمان رفت و برگشت پالس ارسالی، زمانی قابل انجام است که داده های دریافتی عاری از نویز باشد. فیلترینگ داده های خام لیزراسکنر برای شناسایی و حذف نقاط اشتباه صورت می گیرد. در این عملیات بازگشت نور سبز برحسب فاصله به زمان توسط گیرنده هوایی ثبت می شود.

پالس ارسالی به سه جزء مهم بازتاب از سطح، بازتاب از کف و بازتاب از حجم یا میانه آب تفکیک می شود. (نگاره ۲) بازگشت از حجم آب در نتیجه ی انعکاس پالس ها پس از برخورد به ذرات معلق موجود در حجم آب است. مقدار داده های بدست آمده از انعکاس سطحی به نسبت شدت باد و امواج آب تغییر می کنند اما مقدار داده های بدست آمده از حجم آب به علت وابستگی آنها به وضوح آب معمولاً ثابت است. [۳]

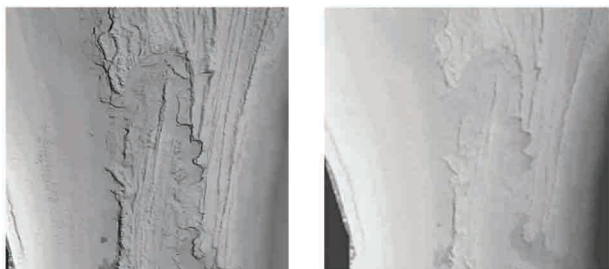
معمولاً سیستمهایی که تنها از نور سبز استفاده می کنند برای عملیات ما نامناسب اند زیرا اگر انرژی نور بازگشته از سطح آب ضعیف تر از انرژی نور بازگشته از حجم باشد صفحه ای از حجم آب اشتباهاً به عنوان سطح آب ثبت می شود [۳] که موجب بروز خطا در محاسبه ی زمان و متعاقباً عمق خواهد شد. از این رو فیلتر کردن داده ها و حذف نویز از مهمترین قسمت های عملیات خواهد بود.

در روش ALB ما کزیمم مقدار ارتفاع ۱۰۰۰ متر است.

در سطح دریاها ارتفاع عموماً از ۳۰۰ متر بالاتر نمی رود، چرا که در غیر این صورت پالسهای منعکس شده (به دلیل انکسار) در هوا پراکنده شده و داده های کمتری توسط گیرنده و سیستم ثبت می شوند. در یک پرواز که توسط علائم لیزر پوشش داده می شود، در ارتفاع ۳۰۰ متر، میزان انکسار حدود 2.3mm یا 7.7 ppm می باشد [۷]. حرارت، فشار هوا و بخار آب موجود در هوا، سه عامل مؤثر در انکسار نور هستند. عوامل محیطی متعدد دیگری نیز در عملیات عمق یابی ما تأثیر گذارند و در مواقعی ایجاد خطا می کنند. باران، مه، ابرهای نزدیک زمین، بادهای شدید و خطوط جزرومد از جمله ی این عوامل اند. [۴]

و بقیه عبور داده می‌شوند.

در این روش دو نوع فیلتر وجود دارد. ابتدا فیلترهای lowpass فرکانس‌های بالا را متوقف می‌کنند، نویزهای ریز را کاهش می‌دهند و تصاویر را هموارسازی و جنرالیزه می‌کنند، سپس فیلترهای highpass هستند که فرکانس‌های بالا را عبور می‌دهند و بر جزئیات و لبه‌ها تأکید دارند. [۱۲ و ۱۳]

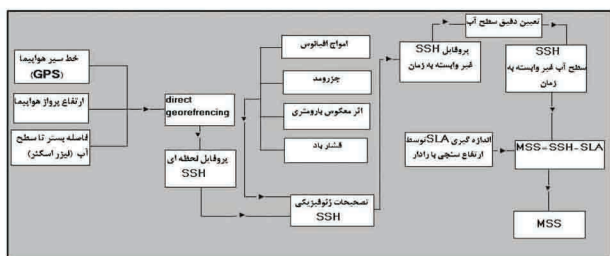


نگاره ۵: فیلترینگ lowpass (تصویر راست) و highpass (تصویر

چپ)، تصویر سمت راست همواره سازی شده و تنها شمای از بستر آب را نمایان می‌کند، سپس تصویر سمت چپ با دقتی بالاتر بر جزئیات بستر آب و لبه‌ها تأکید می‌کند. [۱۳]

## ۷- تصحیحات

آب دریا به علت سیال بودن، بسته به شرایط محیطی، نجومی و زمان، به راحتی تغییر ارتفاع می‌دهد. از این رو اعمال تصحیحات لازم و تعیین ارتفاع واقعی آب همواره یک چالش بزرگ تلقی می‌شود که در ادامه به بررسی تصحیح آن می‌پردازیم.



نگاره ۶: فلوجارت الگوریتم پیشنهاد شده جهت تصحیح سطح آب

## ۷-۱) آنامولی سطح آب

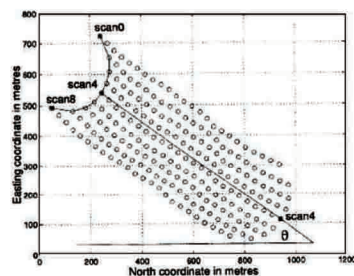
آنامولی سطح آب (SLA) اختلاف بین ارتفاع آب غیر وابسته به زمان و میانگین سطح آب (MSS) است.

$$SLA = SSH_c - MSS \quad (1)$$

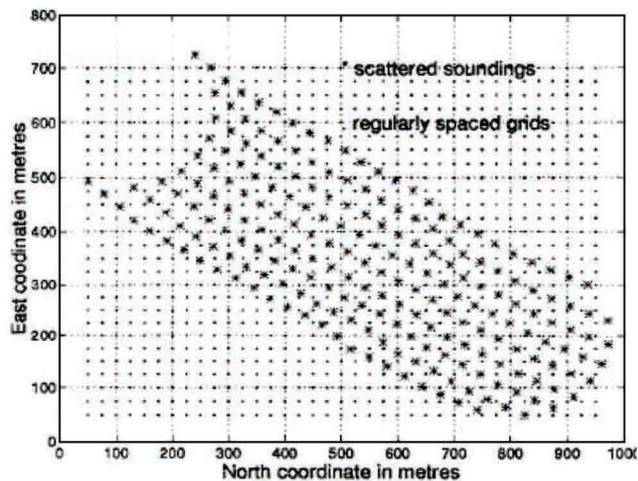
ارتفاع لحظه‌ای آب (SSH<sub>c</sub>) وابسته به زمان و تحت تأثیر عوامل ژئوفیزیکی است. چهار عامل: امواج، جزر و مدهای عظیم، فشار اتمسفر (یا اثر معکوس بارومتری) و فشار باد عوامل مؤثر در ارتفاع لحظه‌ای آب هستند که با اعمال تصحیحات آنها، می‌توان به ارتفاع آب غیر وابسته به زمان (SSH<sub>c</sub>) رسید.

سیگانالها برطرف می‌شود. نوع دوم نویز، نویز ذاتی است که دو بعدی است و معمولاً به دلیل موقعیت جغرافیایی قرار گرفتن سیستم لیزری، حالت دریا در زمان نقشه برداری و خطاهای موجود در سیستم لیدار می‌باشد. برای مثال مکان تجمع ماهی‌ها، گیاهان دریایی شناور و یا ذرات معلق در آب باعث انعکاس‌های اشتباه و وقوع نویز در داده‌ها می‌شوند. [۲ و ۳] این نوع نویز توسط تکنیک دو بعدی پروسه سیگانالها بدین شکل حذف می‌شود که ابتدا اطلاعات وارد شده به سیستم را به اجزای کوچکتری تقسیم نموده (segmentation)، سپس به روش انتروپولاسیون، نقاط با فواصل منظم را استخراج می‌نماییم.

کاهش فضای بین نقاط اندازه‌گیری و تصحیح پارامترهای پرواز مثل ارتفاع هواپیما، افزایش تعداد پالسها و پروازهای متوالی در منطقه بر صحت داده‌های ما تأثیرگذار است. [۲]



نگاره ۳: نقاط ثبت شده پراکنده [۲]



نگاره ۴: بخش بندی ابرنقاط (segmentation) و تعلق هر نقطه به

یک بخش [۲]

روش رایج دیگر فیلترینگ، آنالیز فوریر است که توسط آن تصاویر به مؤلفه‌های جدا با فرکانس‌های مختلف تفکیک می‌شوند. در این آنالیز به کمک اطلاعات حاوی فرکانس‌های بالا، ساختارهای غیرعادی دقیقاً مشخص می‌شوند و توسط الگوریتمهای آن، فرکانسهای غیر عادی متوقف

بودن تأثیرات (کمتر از  $1\text{cm}$ )، لحاظ نمی‌شوند. [۷]

#### ۴-۷) تصحیح فشار اتمسفر

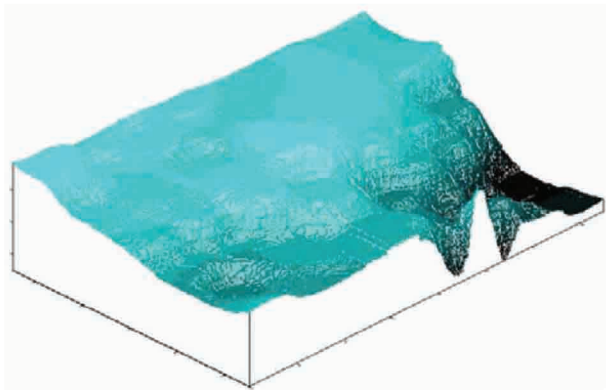
ارتفاع سطح آب با افزایش یا کاهش اتمسفر تغییر می‌کند، که به آن اثر معکوس بارومتري می‌گویند. واکنش سطح آب به فشار اتمسفر وابسته به فاصله و زمان است و در نواحی مختلف جغرافیایی تغییر می‌کند.  $p$  چگالی آب دریا و حدوداً  $1.025(\text{g}/\text{cm}^3)$ ,  $g=980.7(\text{cm}/\text{s}^2)$  فشار اتمسفر در سطح دریا و  $p_{\text{ref}}$  میانگین متوسط فشار اتمسفر در زمانهای مختلف برحسب hpa می‌باشد. [۷]

$$IB=(1/pg)(p-p_{\text{ref}})=-0.9948(p-p_{\text{ref}}) \quad (6)$$

فاکتور  $-0.9948$  بیانگر این است که اگر فشار اتمسفر در محلی  $1\text{hpa}$  افزایش پیدا کند، سطح آب حدود  $1\text{cm}$  کاهش می‌یابد.

#### ۵-۷) تصحیح اثر باد

برای این منظور تأثیر باد در طی  $10$  روز محاسبه می‌شود، سپس مقدار تصحیح اعمالی تعیین می‌شود.



نگاره ۷- مدل سه بعدی بستر آب پس از فیلترینگ و تصحیحات

[۱۴]

#### ۸- موارد استفاده

به دلیل سرعت بالا، دقت و مقرون به صرفه بودن، روز به روز بر کاربردهای ALB جهت تعیین تغییرات عوارض هیدروگرافی افزوده می‌شود که در ادامه به برخی از این کاربردها اشاره شده است.

تهیه نقشه‌های خطوط ساحلی، جزایر مرجانی، محل تجمع و مسکن طبیعی ماهی‌ها، مخازن نفتی، توپوگرافی بستر دریا، پوشش گیاهی بستر اقیانوسها، رسوبات کف آب، مدیریت نواحی ساحلی و... عمق یابی کانالهای ناوبری فدرال، مناطق بزرگ آبی دور از ساحل و بندرها، پروژه‌های حفاظت از سواحل از قبیل اسکله‌ها، موج شکن، جزایر مرجانی، خطوط ساحلی، لایروبی و... ترسیم چارتهای مهندسی سواحل، مدیریت منابع، مدلسازی و مکان یابی جهت استقرار ارتش از جمله مهمترین کاربردهای آن می‌باشد. [۳ و ۷ و ۱۱]

(2) (تصحیح امواج+ تصحیح فشار اتمسفر+ تصحیح جزر و مد+ تصحیح فشار باد)  $SSH_e=SSH_i-$

#### ۲-۷) تصحیح امواج اقیانوس

دامنه تغییر ارتفاع امواج اقیانوس از نیم متر تا چندین متر به چشم می‌خورد. امواج به طور متوالی از برآمدگی و فرورفتگی‌هایی تشکیل شده‌اند. ارتفاع موج ( $H$ )، فاصله عمودی بین یک فرورفتگی و برآمدگی بعدی است که تصحیح آن با در نظر گرفتن  $1/3$  ارتفاع بلندترین موج ثبت شده اعمال می‌شود. [۷]

#### ۳-۷) تصحیح اثر جزر و مد

Solid Geocentric Tide=Pole Tide+ Ocean Tide+ Earth Tide. Loading (3)

#### ● جزر و مد اقیانوس

در سطح زمین، نیروی گرانش ماه و خورشید در برخی نقاط موجب تغییر در ارتفاع سطح آب می‌شود و می‌توان از طریق رابطه زیر آن را تصحیح کرد.

در این رابطه  $h_t$  اختلاف در ارتفاع سطح آب در محل  $x$  و زمان  $t$  است و  $k$  مؤلفه جزر و مد است. با نوسان  $w_k$ ، فاز نجومی  $V_k$  و دامنه  $A_k(X)$  و  $G(X)$  نیز تأخیر فاز از گرینویچ می‌باشد.

$$h_t(x,t)=\sum A_k(X)\cos[w_k t+V_k-G_k(X)] \quad (4)$$

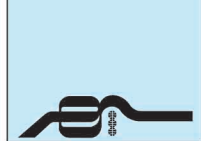
#### ● جزر و مد زمین

تغییر شکل زمانی سطح زمین و بستر اقیانوس در اثر نیروهای ماه و خورشید و کهکشان است که دامنه‌اش در حدود  $10-20$  سانتیمتر است و در فرکانس‌های جزر و مد اقیانوس اتفاق می‌افتد؛ با این تفاوت که می‌توان برای آن مدلسازی دقیق‌تری ارائه کرد. از آنجایی که این تغییرات بر داده‌های ما تأثیر می‌گذارد، تصحیح آن نیز باید به اطلاعات ارتفاعی اعمال شود. جزر و مد زمین در دو نقطه  $H_1$  و  $H_2$  اندازه‌گیری می‌شود و اصلاح ارتفاع از طریق اختلاف دو ایستگاه اندازه‌گیری میسر می‌شود.  $H_1$  و  $H_2$  ارتفاعهای بدون تصحیح نقاط اول و دوم،  $\Delta h_{\text{obs}}$  اختلاف ارتفاع دو نقطه در لحظه  $t_1$  و  $t_2$  تصحیح جزر و مد زمین در لحظه  $t_1$  و در نقاط اول و دوم می‌باشد.

$$H_2=H_1+\Delta h_{\text{obs}}(t_1)+\text{tide}_1(t_1)-\text{tide}_2(t_1) \quad (5)$$

#### ● اثر بارگذاری اقیانوس و جزر و مد قطبی

به علت جرم آب نوساناتی در بستر اقیانوس و سواحل فلات قاره ایجاد می‌شود که به طور غیرمستقیم با نیروهای خورشید و ماه و کهکشان در ارتباط می‌باشد (loading tide). (ocean) جزر و مد های قطبی نیز ناشی از نیروی گریز از مرکز و میل محور دوران زمین است و معمولاً به علت ناچیز



Report NO.5583,Stanford Research Institute.

11-Stream Studies With Small-FootprintGreenLidar,2009, EOS, VOL.90,NO.39.

12- W.Baker J.Brandon,2005,Fourier Error Analysis of Ray Tracing on a Geospatial Polygonal Model, University of Utah,Department of Electrical and Computer Engineering.

13- W.Finkl Charles, Benedet Lindino, Andrews Jeffrey,2006, Seabed Classification Based on Interpretation of Airborne Laser Bathymetry in Classll Waters off Southeast Florida.

14- Yan Lei,Yan Ming, Zhang Feizhou,2002,Seabed Terrain Simulation and its Matched Filter Design,Institute of Remote sensing and GIS, Beijing.

## ۹- نتیجه گیری

کسب اطلاع از تغییرات ژئومورفولوژی بستر عوارض هیدرولوژی و هیدروگرافی، که به دلیل حرکت آب دائماً در حال تغییر است، کاری مشکل است که از طریق داده‌های لیزراسکنرها ممکن می‌شود. تجربه نشان داده که بسته به وضعیت لجستیکی، برای پروژه‌های برنامه‌ریزی شده با ALB هزینه عملیات 1/2 تا 1/5 تکنیک‌های آبی - مانند سونار- بوده [۸۳]. همچنین داده‌های بدست آمده از لیدار در خیلی از عملیات با داده‌های بدست آمده از سونار مقایسه شده و نتیجه آن عالی ارزیابی شده است. با توجه به مزایای یاد شده و اینکه کشورهای توسعه یافته با سرعت زیادی به سمت استفاده وسیعتر از این سیستمها پیش می‌روند، برای همگام بودن با تکنولوژی روز باید به بررسی بیشتری در این زمینه پرداخت.

## منابع و مأخذ

### پی‌نوشت

1- Airborne Laser Bathymetry.

2- National Oceanic and Atmospheric Administration.

3- Airborne Laser Hydrography.

1- Banic John, Cunningham Grant, 2008, Airborne Laser Bathymetry A Tool For The Next Millennium, EEZ Technology, Optech Inc., Toronto, Canada.

2- Cheng W,Lu W.S, Antoniou A,1995, Noise Filtering and Enhancement of Seabed Topography for Airborne Laser Bathymetry.

3-GuentherGary, CunninghamGrant, LaRocquepaul,Reid David, 2000, Meeting the Accuracy Challenge in Airborne Lidar Bathymetry.

4- Guenther Gary,2006, Airborne Lidar Bathymetry, Chapter 8.

5- Guide to Wave ANALYSIS And Forecasting, 1998, World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland,2nd edition,WMO-No.702.

6- Irish JL., Thomas J, Parson L,Lillycrop W,1996,Monitoring Storm Response With High Density Lidar Bathymetry: The Effects of Hurricane Opal on Florida's Panhandle, Proc.2nd Int.Airborne Remote Sensing Conf.,June 24-27,Sanfrancisco,CA.,Vol.3,723-732.

7- Limpach Philippe,Sea Surface Topography and Marine Geoid by Airborne Laser Altimetry and Shipborne Ultrasound in the Aegean Sea,2009,Prof.Kahle H.G,Prof.Becker M,Prof.Geiger A, ETHZURICH University.

8- Robertson William,Airborne Laser Quantification of Florida Shoreline and Beach Volume Change Caused by Hurricanes, 2007, Prof. Walker George,Florida International University, College of Sciences.

9-SinclairM, 1997, LADSMKII Aircraft Launched, Hydro International,11,December,29-31.

10- Sorenson G,Honey R,Payne J,1966,Analysis of the Use of Airborne Laser Radar for Submarine Detection and Ranging, SRI