به سوی کارآیی بیشتر در کاربرد داده‌های ارتفاع سنجی راداری

نگارنده: J. Benveniste
از واحد مشاهدات زمینی، ESRIN، فراسکاتی، ایتالیا
مترجم: مهندس عباسعلی صالح‌آبادی

چکیده

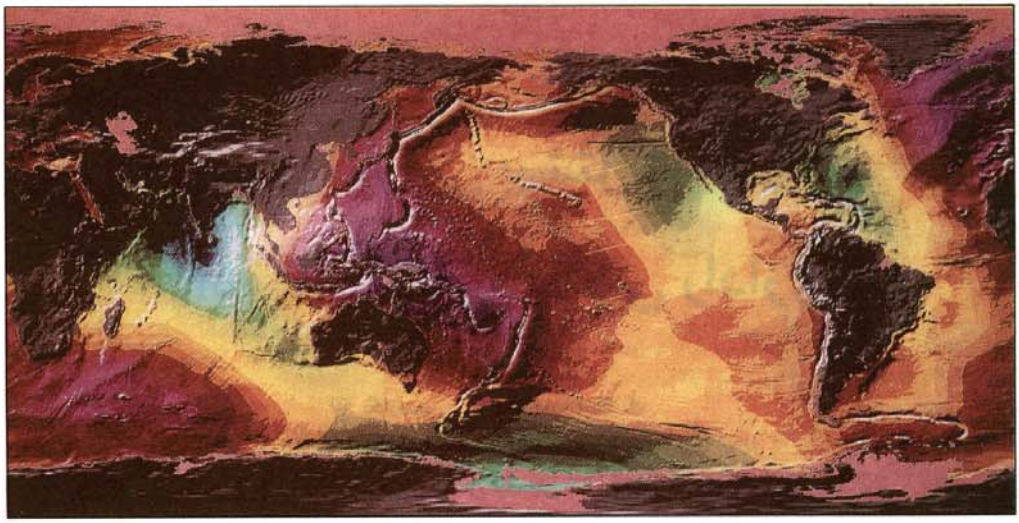
یک ارتفاع‌سنج راداری نصب شده در جلوی یک ماهواره، پالسهای الکترونیکی را به سوی زمین ارسال می‌کند و سپس انعکاسهای برگشتی از سطح زمین را که در حال گذر از ماهواره می‌باشند دریافت می‌نماید. سرعت انتشار این امواج در فضا برابر با سرعت نور می‌باشد. رادار ماهواره، زمان سپری شده بین ارسال یک پالس و دریافت انعکاس آن را اندازه‌گیری می‌کند. این زمان معادل مدت زمانی است که یک پالس می‌تواند دوبرابر مسافت بین ماهواره و زمین را طی نماید. بنابراین فاصله ماهواره از زمین با دقت خیلی خوبی از طریق زمان اندازه‌گیری شده قابل دستیابی می‌باشد. الکترونهای آزاد (یونهای آزاد) موجود در لایه یونسفر و ذرات معلّق بخار آب موجود در لایه تروپوسفر زمین، سرعت انتشار امواج در هنگام عبور از این دو لایه را کاهش می‌دهند. لذا این کاهش سرعت را جهت جلوگیری از بروز خطاهای بزرگ در محاسبات برآورد ارتفاع ماهواره از سطح زمین باید همواره در نظر داشته باشیم. پس از تصحیح این خطاها و با توجه به این که موقعیت مدار ارتفاع‌سنج راداری به طور مستقل معلوم می‌باشد، بنابراین از اندازه‌گیریهای ارتفاع ماهواره از سطح زمین، می‌توان جهت دستیابی دقیق به توپوگرافی سطح زمین استفاده نمود. از طرفی برروی اقیانوسها، جدایی سطح توپوگرافی از سطح هم‌پتانسیل میدان جاذبه زمین (ژئوئید)به وسیله تعادل بین نیروهای تولید شده از دوران زمین و جریانات اقیانوسی ایجاد می‌شود. جریانات اقیانوسی که سهم بزرگی در تبادل حرارت بین مناطق استوایی و قطبی دارند، نهایتاً از طریق اندازه‌گیریهای ارتفاع ماهواره قابل دسترسی هستند.

بنابراین ارتفاع سنج راداری جهت مطالعه نقش اقیانوسها در امر سیستم آب و هوایی زمین و همچنین برای شناخت تغییرات آب و هوایی در مقیاس جهانی، یک وسیله منحصر بفرد می‌باشد.

پیشگفتار:

از ۲۰ سال پیش دستگاههای ارتفاع سنج تجربی موجود در ماهواره Skylab و ماهواره GEOS-3، توان بالای وسایل فضایی اندازه‌گیری ارتفاع را مشخص نموده بودند. این موضوع موجب توجه بیشتر، به گسترش مأموریت ماهواره اقیانوس‌شناسی Seasat گردید. این ماهواره توسط مرکز فضایی آمریکا (ناسا) در سال ۱۹۷۸ به فضا پرتاب شده. دو ماهواره Geos-3 و Seasat در مأموریتهای اکتشافی خویش بسیار موفق و کارآمد بودند. اما هر دو ماهواره دارای محدودیتهای خاصی بودندو به طور نمونه پوشش و تقارب ضعیف حوضه مأموریت ماهواره Geos-3 و از طرفی کوتاه بودن زمان مأموریت، و مدت چرخش ماهواره Seasat به گرد زمین از جمله محدودیتهای ذکر شده بودند. با این حال، نتایجی که انجمن بین‌المللی تحقیقات علمی از این دو مأموریت فضایی کسب کرد برای دو مرکز فضایی اروپا[1] و آمریکا[2] کاملاً امیدبخش و مفید واقع شد. به گونه‌ای که این دو مرکز تصمیم به گسترش مأموریت ارتفاع‌سنجهای فضایی به نامهای ERS-1 و Topex - poseidon گرفتند. در حال حاضر این دو ماهواره ارتفاع‌سنج در حال چرخش به گرد زمین می‌باشند.

Geosat در ابتدا یک ماهواره ژئودتیکی با مأموریتهای صرفاً نظامی بود، که بعدها به یک ماهواره اقیانوس‌شناسی با مأموریتهای غیرنظامی و طبقه‌بندی نشده تبدیل شد. این ماهواره جهت ارتباط داده‌ها به یکدیگر و جبران ضعف پوشش جهانی داده‌ها، به صورت پلی بر روی فضای خالی پوشش



نگارهٔ (۱) سطح جهانی متوسط دریاها

اطلاعات در طول نیمه دوم از مدار هشتاد روزه‌اش به گرد زمین عمل نموده است، به گونه‌ای که اولین مجموعه بلند از سری داده‌های ارتفاع سنجی با پوشش جهانی فراهم می‌نماید. مأموریتهای امیدبخش پیشین و جریان یکنواخت داده‌های روزانه از ماهواره‌های ERS-1 و Topex-poseidon آن سوی تردیدها را برای ما مشخص می‌سازند. داده‌های ارتفاع سنجهای راداری ابزاری قوی و یا در مفهوم بسیار پیچیده هستند. این ابزار پیچیده سهم بزرگی در شناخت ما از وضعیت جهانی سیستم آب و هوایی سیاره‌مان و همچنین بررسی تأثیر فعالیتهای بشری برروی زمین دارند.

در ادامه، تعدادی نمونه آورده شده که توسط انجمن بین‌المللی تحقیقات علمی[۳] از طریق کاربرد داده‌های ارتفاع سنجی راداری به دست آمده است.

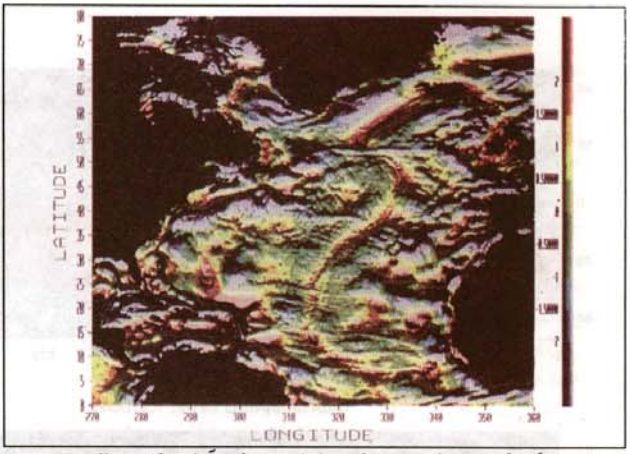
سطح دریا و ژئویید دریایی

سیستمهای ارتفاع سنجی فضایی، همانند ارتفاع سنج راداری و توابع مربوط به آن مانند ارسال کننده امواج میکروویوسیستم تعقیب‌گر اجسام به نام Tracking، فاصله بین سفینه فضایی و سطح زمین را اندازه‌گیری می‌کنند. در هنگام پرواز بر روی اقیانوسها این اندازه‌گیریهای راداری، تبدیل به ارتفاع از سطح دریا (مشاهده نگاره‌های ۱ الی ۳) می‌شوند. این سطح دارای تغییرات دینامیکی در دامنه حدود ۲۰۰ متر است و به سختی برای ما یکی از سطوح هم پتانسیل میدان ثقل زمین به نام ژئویید را نمایان می‌سازد. ژئویید در واقع شکل تولید شده به وسیله جاذبه ثقل آبهای ساکن می‌باشد. سطح دریا نیز دارای جابجاییهای قائم کوچکی در حدود یک متر نسبت به ژئویید است این جابجاییها که مربوط به جریانات اقیانوسی می‌باشد به نام توپوگرافی دینامیکی معروف شده است، (نگاره ۴ مشاهده شود). برای آنکه حرکات دینامیکی اقیانوس را تجزیه و تحلیل نماییم، می‌توان ارتفاع ماهواره نسبت به ژئویید را از اندازه‌گیریهای سطح دریا مشاهده شده تا ماهواره تفریق نمود.

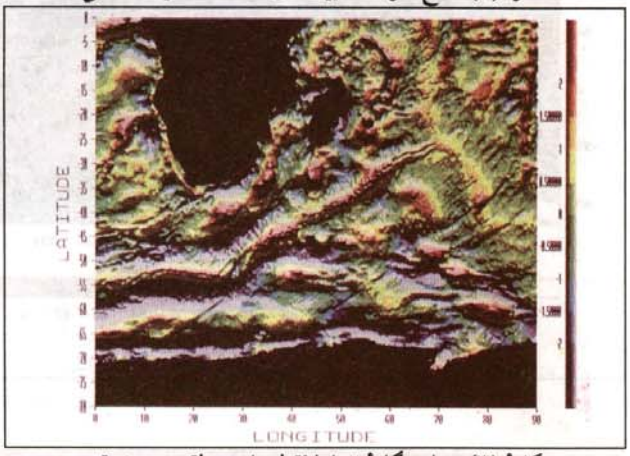
برجستگیها، به وسیله منحنیهای میزان همسان[۴] رنگ‌آمیزی شده‌اند به طوری که برای ما یک مدل ارتفاعی از سطح دریاها را نمایان می‌سازند. این مدل مجموعه‌ای از داده‌های رقومی، شامل مجموعه جهانی از مقادیر نقطه‌ای ارتفاع سطح دریاها نسبت به یک بیضوی مرجع می‌باشد. این مدل به وسیله پردازش کننده آلمانی D-PAF و یا (German Processing and Archiving Facillity) از داده‌های ژئوفیزیکی ثبت و تولید شده در PAF فرانسه تهیه شده است. از طرفی حل سری اطلاعات ترمهای بلند[۵] و کوتاه[۶] مورد قبول می‌باشند. حل ترمهای بلند، در واقع سطح متوسط دریاها برروی طولانیترین زمان چرخش ماهواره نشان می‌دهد. این مقادیر از سطح متوسط دریاها هر شش ماه به هنگام و به روز می‌شوند. حل ترمهای کوتاه براساس یک سیکل ۳۵ روزه یا ده سیکل ۳ روزه می‌باشند. (گردآوری شده از دپارتمان ثبت و پردازش آلمان).

شکل ناهمگن و غیریکنواخت سطح متوسط دریاها که به وسیله ماهواره‌های Topex-poseidon, ERS1, Geosat مشاهده شده است، کاملاً در این نقشه حاصل از تغییرات کوچک مقیاس نشان داده شده است. در نقشه حاصل از تغییرات کوچک مقیاس سطح متوسط دریاها، از تغییرات با طول موج بلندتر از ۱۵۰۰ کیلومتر صرفنظر شده است. گودالها و برآمدگیهای موجود در نقشه مترادف با بی‌نظمیهای موجود در میدان جاذبه زمین هستند. این موضوع آشفتگی ناهمگن و توزیع غیریکنواخت جرم در داخل زمین را نشان می‌دهد. و از طرفی گویای وجود برجستگیهای موجود در کف دریاها است.

وقتی که ماهواره ERS-1 در سیکل مداری ۱۷۶ روزه‌اش قرار



نگارهٔ (۲) سطح متوسط دریاها در منطقه آتلانتیک شمالی



نگارهٔ (۳) مشابه نگارهٔ ۲، اما فقط برای منطقه جنوبشرقی اقیانوس هند است.

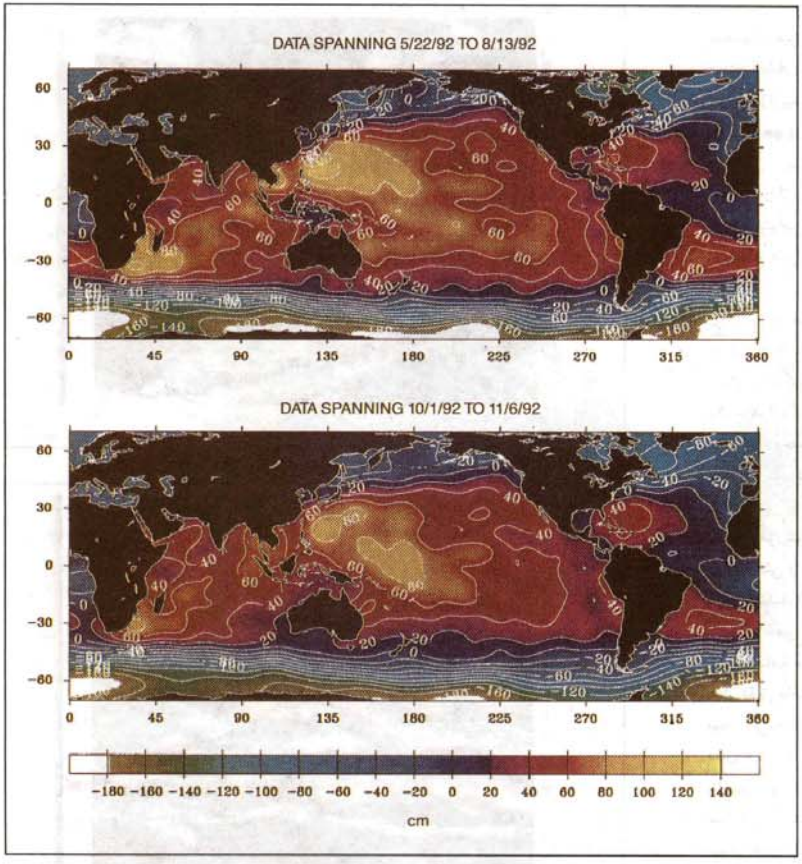
بگیرد، انتظار می‌رود که قدرت تفکیک بالاتری برای اطلاعات به دست اید. این امر موجب بهبود عمده در این نقشه، و در کل منجر به بالا رفتن شناخت ما از درون زمین خواهد شد.

(نگارهٔ ۴) توپوگرافی دینامیک اقیانوس، به گونه‌ای که توسط ماهواره ERS-1 در طول تابستان سال ۱۹۹۲ مشاهده شده است. داده‌های ارتفاع‌سنجی ERS-1 به مبناء سطح متوسط دریاها تبدیل شده است. این عمل به وسیله کاربرد محاسبات مدار دقیق ماهواره در سیستم UT/CSR انجام گرفته و این توپوگرافی، مورد فرآیند و فیلترنیگ قرار گرفته تا فقط تغییرات با مقیاس بزرگ را نشان دهد. جریانات بسیار بزرگی در محلی که منحنیهای میزان همسان به همدیگر نزدیک هستند، نشان داده می‌شود.

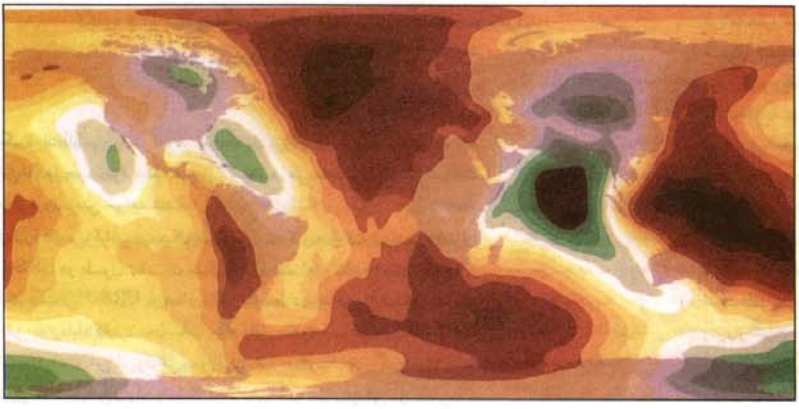
امروزه، ژئویید را نمی‌توان با دقت خوبی برای طول موجهای زیر ۳۰۰۰ کیلومتر معین نمود. بنابراین برای آن که بتوانیم دانش شناخت خودمان را از رفتار اقیانوس بیشتر افزایش دهیم، بایستی بتوانیم توپوگرافی دینامیک را از ژئویید در سطح طول موجهای متوسط[۷] تشخیص دهیم.

به علاوه دانش ژئویید مستقیماً به خودی خود یک مرحله مهم در جهت فهم بیشتر از حرکات و دینامیک داخل زمین است. یک ماهواره ارتفاع‌سنج راداری را می‌توان به منزله یک وسیله اندازه‌گیری مشاهده‌گر تصور نمود که برروی صفحه مدار خویش میدان جاذبه زمین را معین می‌نماید. بنابراین می‌توان گفت مأموریتهای ماهواره‌های ارتفاع‌سنجی در بهبود دانش و شناخت ما از میدان جاذبه زمین سهیم هستند. (نگارهٔ ۵ مشاهده شود).

سطوح هم پتانسیل میدان ثقل، تولید کننده شتاب عمده برروی زمین هستند. یک مدار دقیق ماهواره، کاربرد مدلهای دینامیکی را بهبود می‌بخشد. بنابراین نیازمند به یک مدل دقیق با قدرت تفکیک خوب برای سطح هم پتانسیل می‌باشیم، که این امر بستگی به ارتفاع ماهواره دارد، از طرفی زمین نیز دارای یک میدان جاذبه یکنواختی نیست. میدان جاذبه زمین در جنوب هندوستان ضعیفتر از منطقه اندونزی است. ارزیابی سطح متوسط مطلق دریاها هنوز بسیار مشکل است، ولی روشهای ما برای مشاهده تغییراتی در جریانات اقیانوسی بسیار بهبود یافته‌اند. این روشها براساس تجزیه و تحلیل بین دو مجموعه از اندازه‌گیریها می‌باشند. جاذبه مداومی که مربوط به سطح متوسط دریاها می‌باشد، دو مجموعه از اندازه‌گیریها را شامل می‌شود. یکی قسمتهایی که حذف می‌شوند و دیگری قسمتی که در حال تغییر است و بعداً می‌توان آن را آنالیز نمود. این قسمت، توسط مشاهده اختلافهای بین پروازهای موفقیت‌آمیز ماهواره بر روی مسیرهای زمینی، یکسان حاصل خواهد شد و یا به وسیله مشاهده اختلافها از نقاطی که محل



نگارهٔ (۴)
توپوگرافی دینامیک اقیانوس، به گونه‌ای که توسط ماهواره ERS-1 در طول تابستان سال ۱۹۹۲ مشاهده شده است.



نگارهٔ (۵) مدل میدان جاذبه بهبود یافته با استفاده از ماهواره ERS- 1

تلاقی مسیرهای بالا رونده و مسیرهای پائین رونده ماهواره در مدارش به گرد زمین هستند و اصطلاحاً cross- overs نامیده می‌شوند، حاصل می‌شوند. یا این که می‌توان از طریق اختلاف اندازه‌گیریهای ارتفاع‌سنجی ناشی از شیب سطح دریاها در طول مسیر حرکت ماهواره به گرد زمین به دست آورد.

عقیده بر این است که ژئوییدی که به طور تقریبی تعیین شده است در طول پردازشهای مختلف حذف می‌گردد و تنها تغییرات محلی را می‌توان به صورت نقشه ترسیم و نمایش داد.

از طرفی می‌توان سیستمهای جریانی عمده، که یک نقش کلیدی را در تبادل حرارت بازی می‌کنند کشف و حتی می‌توان تغییرات آنها را تعیین مقدار نمود. تغییرات سطح دریاها گرفتار یک دامنه وسیعی از مقیاسهای زمانی و فضایی است. نقشه‌برداری تغییرات موقتی رایج در مقیاسهای متوسط (۳۰۰ تا ۳۰۰۰ کیلومتر) و در حوزه وسیع جریانات اقیانوسی، نیازمند به یک تکنیک تعیین مدار دقیق ماهواره تا دقت زیر دسیمتر می‌باشد. محاسبه مدار دقیق ماهواره، متکی به داشتن یک جریان مداوم از داده‌های مشاهداتی با کیفیت خوب و میدان جاذبه (State-of-the-art) است. کیفیت اندازه‌گیریهای ارتفاع سنجی مستقیماً وابسته به کیفیت محاسبه مدار ماهواره می‌باشد. در پنج سال اخیر پیشرفتهای برجسته‌ای به وسیله گروههای بین‌المللی مشغول کار برروی محاسبه دقیق مدار ماهواره‌های حاصل شده است. این پیشرفتها به وسیله تبادل پایدار داده‌ها و کارکرد فعالانه گروههای بین‌المللی با همدیگر حاصل گشته است. برای مثال محاسبه مدار دقیق و عملی ماهواره ERS-1 به طور مؤثر و جدی به روز می‌شود و اطلاعات مداری جدید (اصطلاحاً اِفمریزها) مجدداً برای کل زمان مأموریت ماهواره محاسبه می‌گردند.

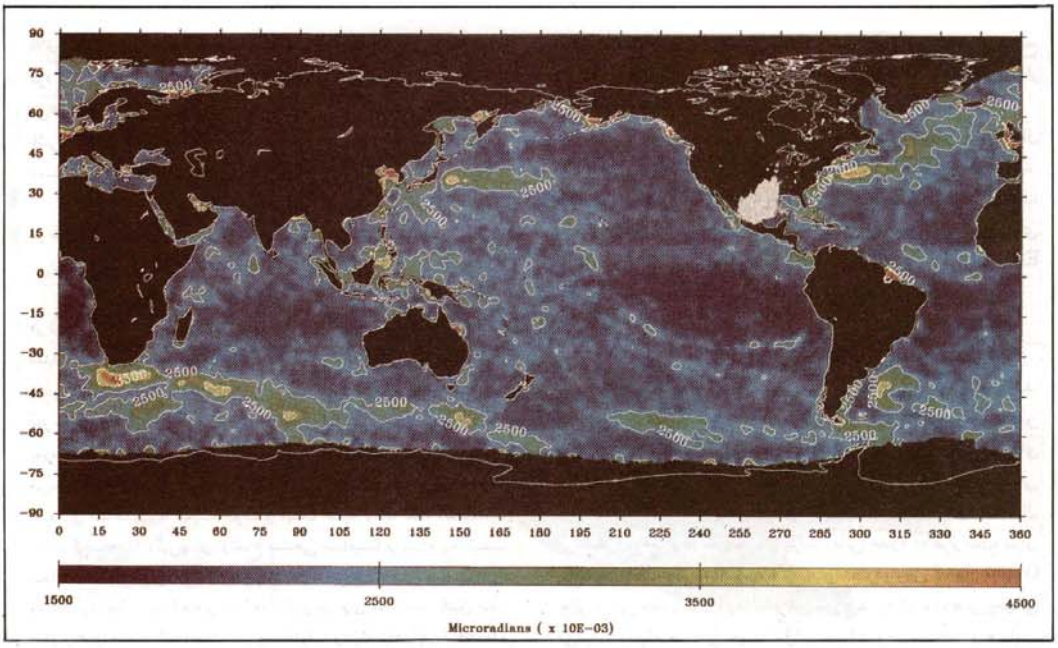
اینینو[8] یک پدیده دیگر در مقیاس بزرگ می‌باشد. در واکنش به ضعیف شدن بادهای جریانی[9] سطح دریاها در شرق اقیانوس آرام بالاتر از حد معمول می‌شود و در ساحل غربی آمریکای جنوبی بالارفتن درجه سرما و اکسیژن و نیتروژن و آب سنگین متوقف می‌شود.

یکی از نتایج موضعی و سریع این پدیده، آن است که مهاجرت ماهیان کوله یا مرگ آنان منجر به ایجاد یک ذخیره بزرگ از ماهیان برای مصارف بشری است. از آرد ماهی کوله برای غذادادن به دامها استفاده می‌شود. نهایتاً آرد ذرت باید در طول سال اینینو جایگزین آرد ماهی شود. تغییرات شدید آب و هوایی مربوط به پدیده اینینو هنوز به طور کامل شناخته نشده است. اما آنچه که از قبل آشکار می‌باشد موضوع جهانی بودن این پدیده است. پدیده مزبور تمامی خصوصیات آب و هوایی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. از جمله این تأثیرات ایجاد زمستانهای سردتر در نیم کره شمالی و خشکسالی در منطقه استرالیا را می‌توان نام برد. نگارهٔ ۶ تغییرات متوسط مقیاس محاسبه شده به عنوان انحراف معیار شیب سطح دریا بین آوریل ۱۹۹۲ و ژوئن ۱۹۹۳ استخراج شده از داده‌های ارتفاع سنجی ماهواره ERS-1 را نشان می‌دهد. این نگاره تصویر سیستم جهانی جریانات اقیانوسی را نشان می‌دهد. این تصویر توسط ماهواره ERS-1 در طول اولین سال از مدار گردش ۳۵ روزه تکراری به دور زمین به دست آمده است. جریانات اصلی به عنوان نواحی دارای تغییرات بالا برجسته شده‌اند. در این نواحی سطح متوسط دریاها به طور اساسی نسبت به نواحی که شامل جریانات بسیار بزرگ نمی‌باشند در حال تغییر است.

در واکنش به بادهای جریانی غیرعادی، یک وضعیت اینینو در زمستان سال ۱۹۹۱ شروع شد، و این واکنش در بهار سال ۱۹۹۲ به نقطه اوج خود رسید. سطح دریا در پائیز سال ۱۹۹۲ به حالت عادی خود بازگشت نمود. این پدیده یک دوره تناوب سه تا هفت ساله دارد و گرمای آب و هوایی غیرمنتظره‌ای از سال ۱۹۹۳ آغاز گردیده است. از اطلاعات ارتفاع‌سنجی ماهواره ERS-1 جهت مشاهده دو واقعهٔ اینینو از نگارهٔ (۷) استفاده شده است.

ارتفاع‌سنجی قطعات و توده های یخی

تقریباً ۹۴ درصد تمامی آبهای سطح زمین در داخل اقیانوسها قرار دارند. ضمن اینکه ۱/۵ درصد آنان به صورت برف و یخ ذخیره شده‌اند که بیشترین مقدار آنها در قطب جنوب شناسایی شده است. وسایل انتقال دهنده ترمهای کوتاه تغییرات سطح متوسط دریاها، به طور نسبی توده های یخچالی کوچک می‌باشند که مقیاس زمانی تغییرات آن‌ها در حدود صدسال می‌باشد. این مقدار در مقایسه با تغییرات زمانی حدود ده هزار سال، برای یخچالهای قطب جنوب‌بیان‌شده‌است. تغییرات توده یخی Green land جایی در بین مقادیر فوق دارد. لذا بر این باور باید بود که توده های یخچالی می‌توانند وسیله حساسی جهت نمایش تغییرات وضعیت آب و هوایی باشند. اما مشکلی که در اینجا وجود دارد، این است که تأثیرات شدید توده‌های یخچالی برروی تغییرات سطح متوسط دریاها، ممکن است توسط توده یخی قطب جنوب که هنوز در حال تعدیل در اثر تغییرات آب و هوایی است، جایگزین و پنهان شود. از آنجاییکه مبداء تا مقیاس زمانی و تأخیر و حجم آب یخ‌زده در کریوسفر (هسته مرکزی یخ و برف) در حال تغییر می‌باشند. اندازه‌گیری نرخ این تغییرات در واقع حکم پیش‌بینی تغییرات سطح متوسط دریاها را به اجرا می‌رساند. در مورد تعادل جرم واقعی کریوسفر مطالب اندکی می‌دانیم. تلاشهای اخیر در تحقیقات علم یخبندان‌شناسی، علمی که درباره تجمع برف و یخ و انجماد در دوره‌های یخبندان بحث و بررسی می‌کند، مشخص نموده است که اندازه‌گیریهای زمینی نمی‌توانند مشاهدات لازم رابرای اندازه‌گیری حجم‌یخها فراهم سازند. مدار قطبی ماهواره ERS-1 می‌تواند آن را برروی دورترین نقطهٔ قطب شمال و دورترین نقطهٔ قطب جنوب دنبا قرار دهد. این موضوع باعث می‌گردد که این ماهواره، داده‌های باارزش و بی‌نظیری برحسب مشاهدهٔ ارتفاع قطعات یخی جمع‌آوری نماید. به علاوه سیستم مشاهده‌گر و ارتفاع‌سنج راداری ماهواره ERS-1 مجهز به یک مدول خاص انتقال دهنده اطلاعات می‌باشد. این مدول این امکان را به ماهواره می‌دهد تا بدون از دست دادن ارتباط و گم نمودن عارضه، از برجستگیهای پرفراز و نشیب کپی‌برداری نماید. در ابتدا ماهواره های ارتفاع سنج راداری قبلی، جهت انجام مشاهدات رضایت‌بخش برای اقیانوسها طراحی شده بودند. در این طراحی به نکته مراقبت از گم شدن امواج ماهواره‌ای ارسالی از میدان دید آن در هنگامی که توپوگرافی تؤام با شیب تند می‌گشت، توجه خاص نموده



نگاره (۶) تغییرات با مقیاس متوسط (Mesoscale)

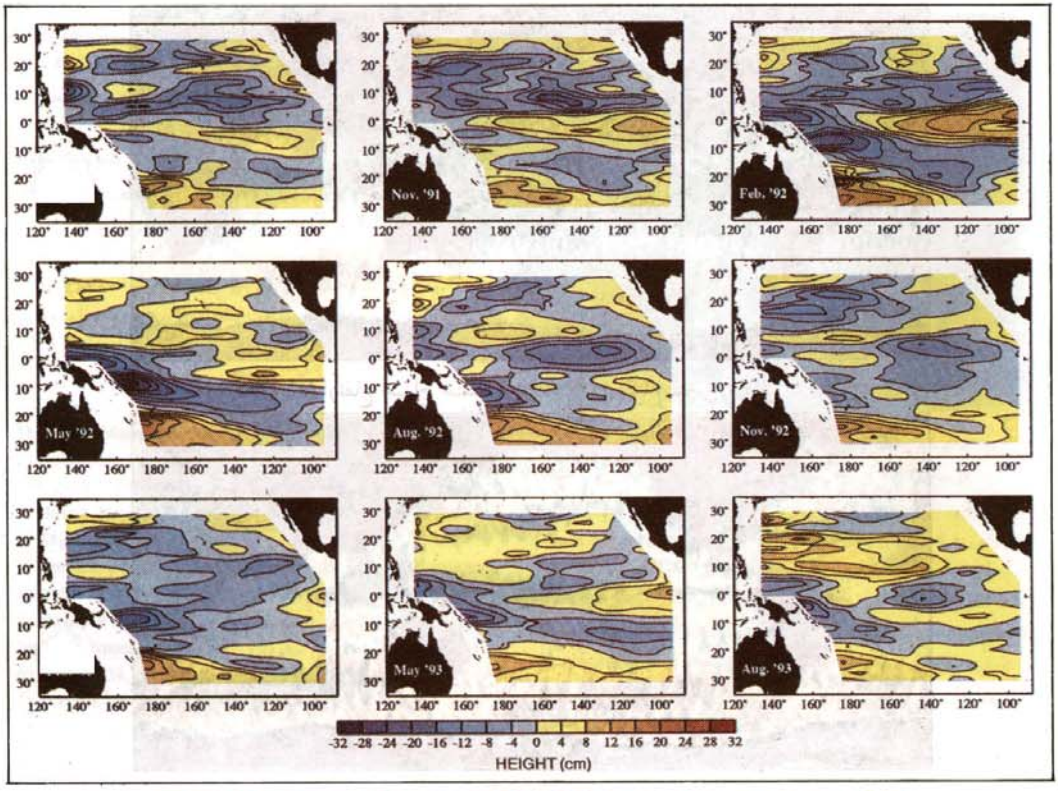
بودند. به علاوه نمودار پروفیلهای نیروی بازگشتی از سطح اقیانوس[10] منعکس شده از توده های یخی و خشکیها، خصوصیات مشابه امواج بازگشتی از سطح اقیانوسها را نداشتند. زیرا که امواج بازگشتی از اقیانوسها باریک و نوک تیزتر هستند. آلگوریتم دستگاههای مشاهده‌گر راداری به طور مناسب برروی امواج بازگشتی از خشکیها و توده های یخی عمل نمی‌نماید، زیرا که این امواج باید مجدداً روی زمین آنالیز شوند تا بتوان فاصله مورد نظر ماهواره را مجدداً از روی آنها برآورد نمود، این فرآیند و پردازش اضافی به عنوان مشاهده مجدد[11] شناخته شده است. متأسفانه در مأموریتهای قبلی، ماهواره‌های ارتفاع سنج راداری نمی‌توانستند هیچ چیزی را توسط تخلیه داده‌های وسیع[12] جمع‌آوری شده، کپی نمایند، چون ابتدا داده‌های خام برروی بردهای الکترونیکی فشرده شدند. در نتیجه مشاهدات مجدد زمینی، تمامی امواج منعکس شده اولیه را استفاده نمی‌کنند. بلکه مقدار متوسط آنها را به کار می‌برند. و این عمل محاسبه دقیق خطاها را غیرممکن می‌سازد. ماهواره ارتفاع‌سنج راداری ERS-1 امواج منعکس شده را به نسبت دوبرابر ماهواره‌های ارتفاع‌سنج قبلی تخلیه داده‌ها را انجام می‌دهد. بنابراین این عمل، بیشتر به ما امکان انجام مشاهدات مجدد دقیق را می‌دهد. داده‌های تهیه شده ماهواره ارتفاع‌سنج راداری ERS-1 برروی توده های یخی، اطلاعات لازم برای بسیاری از مطالعات علم یخبندان‌شناسی[13] را در اختیار ما قرار می‌دهد. این اطلاعات در زمینه‌هایی همچون توصیف حوضه های متغیر رودخانه‌ها، توصیف خصوصیات خطوط جریانی، محاسبه فشارهای متحرک جریان یخها، تنظیم و ایجاد شرایط کرانه‌ای برای مدلهای محاسبات عددی، ایجاد مدلهای ارتفاعی رقومی دقیق، مطالعات مربوط به توازن و تعادل جرم درون زمین، تشخیص خطوط تعادل بین تجمع و ساییدگی (ذوب شدن و خردشدن کوههای یخی) می‌تواند باشد.

امواج

همان طوری که توان منعکس شده از قسمتهای پایه امواج اقیانوسی دیرتر از توان منعکسه از قله امواج می‌باشد، می‌توان ارتفاع امواج عمده را از توان برگشتی امواج به دست آورد. اندازه‌گیریهای ارتفاع امواج از داده‌های ارتفاع سنجی راداری برای پیش‌بینی وضعیت دریاها و آب و هوا، برای کاربردهای لحظه‌ای[14] همچون کشتیرانی، عملیات دور از ساحل و مهندسی ساحل و پیش‌بینی جذرومد و طغیان دریاها استفاده نمود. نگارهٔ ۸ توزیع ماهانه ارتفاع امواج عمده برروی اقیانوسهای دنیا را نشان می‌دهد.

بادها

سرعت باد برروی اقیانوس، از داده‌های ارتفاع‌سنجی راداری[15] قابل بازیافت است. زیرا فشار باد برروی سطح دریا، خواص ضدپراکندگی آن را تحت تأثیر قرار می‌دهد.



نگارهٔ (۷) نقشه‌های تغییرات غیرعادی سطح دریا تهیه شده از داده‌های ارتفاع‌سنجی ماهواره ERS-1

به علاوه کاربردهای جوی و آب و هوایی، سرعت باد بازیافت شد از داده‌های ارتفاع‌سنجی راداری، جهت بهبود و تصحیح اندازه‌گیریهای امواج میکروویو ارسالی از ماهواره نیز استفاده می‌شوند.

مشابه‌سازی و مدله‌نمودن

در فوق نمونه‌ای از تغییراتی که یک ماهواره ارتفاع‌سنج راداری می‌تواند مشاهده نماید ذکر شده است. در بسیاری اوقات تعیین تغییرات وضعیت یک سیستم، به طور مثال اقیانوس، به وسیله چندین وسیله اندازه‌گیری مستقل مشاهده می‌شود. هیچ کدام از این وسایل یک وضعیت کاملی از سیستم مشاهده شده را به دست ما نمی‌دهند. اندازه‌گیریهای منحصر به فرد نیز به نوبه خودشان یا اغلب درگیر خطاهای کوچک هستند و یا این که دچار نمونه‌برداریهای محدود شده‌اند.

ارتفاع امواج عمده از آنالیز انعکاسهای برگشتی امواج ارتفاع سنجی راداری ماهواره ERS-1 به دست می‌آید.

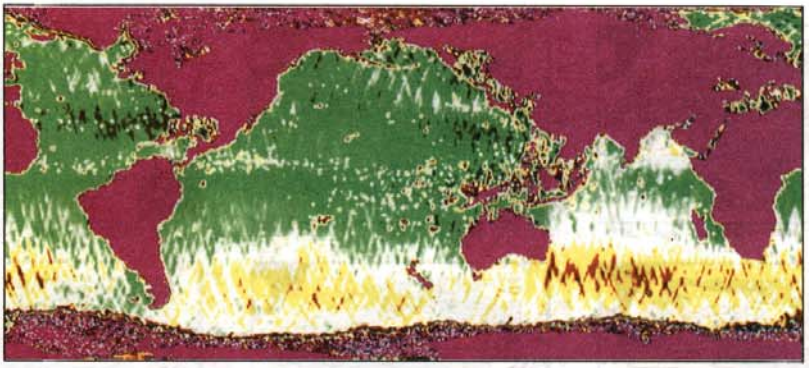
این داده‌ها به طور جهانی نمونه‌برداری شده‌اند و در داخل تصاویر Quick-look و از سطح دریاها قابل ارائه می‌باشد. این تولیدات که به طور هفتگی تولید می‌شوند یک تکرار از چرخش کامل ۳۵ روزه مدار ماهواره را پوشش می‌دهد.

این نمونه‌ای برای ۲۷ آوریل الی اول جولای سال ۱۹۹۲ می‌باشد.

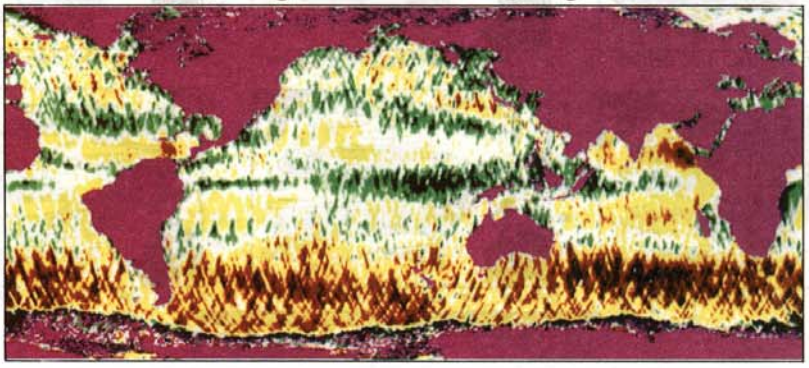
سرعت باد سمت‌القدم (حضیض) از آنالیز توان برگشتی امواج ارتفاع سنج راداری ماهواره ERS-1 به دست می‌آید. این داده‌ها به طور جهانی نمونه‌برداری شده است. و در داخل تصاویر Quick-look از سطح دریاها قابل ارائه می‌باشد. این تولیدات که هر هفته تولید می‌شود، یک تکرار از چرخش کامل ۳۵ روزه مدار ماهواره را پوشش می‌دهد.

این نمونه‌ای برای ۲۷ آوریل الی اول جولای سال ۱۹۹۲ می‌باشد.

راه حل این مسئله اپتیمم نمودن کاربرد هر مجموعه از داده‌ها، و سپس جدا نمودن و حذف خطاها و استخراج امواج و سیگنالهای صحیح از اندازه‌گیریها می‌باشد. برای انجام این موضوع، داشتن یک توزیع آماری از خطاهای محتمل در انواع اندازه‌گیریها، اهمیت بسیاری دارد. محدودیتهای هر کدام از دستگاهها می‌تواند در فرآیند پردازش ترکیبی داده‌ها به وسیله



نگارهٔ (۸) ارتفاع امواج عمده از داده‌های ارتفاع‌سنجی راداری



نگارهٔ (۹) سرعت باد از ارتفاع سنج راداری

ارزیابی فاکتور وزن اندازه‌گیریها به حساب بیاید. بدین وسیله داده‌های مختلف براساس محتوای خطای محتمل آنهامنشعب می‌شوند.

برای نشان دادن مفهوم فرآیند ترکیب داده‌های دستگاههای مختلف در این روش می‌توان این چنین تصور نمود که سطح متوسّط دریاها به وسیله تایدگیجهای (شاخصهای جذرومد) ساحلی اندازه‌گیری شده است. این امر از طریق سنجش فشارهای تحتانی دریا و یا به وسیله اندازه‌گیری امواج صوتی منعکس شده از کف دریا، به وسیله اکوساندر و در نظرگرفتن پروفیل درجهٔ شوری آب دریا و غیرو انجام پذیرفته است. ارتفاع سنجی ماهواره‌ای، مستقیماً به جای خودش در هنگام کالیبراسیون و یا هر کدام از فازهای معتبر از مأموریتهای فضایی آنها از طریق اندازه‌گیریها، سود بسیاری را ارائه نموده‌اند. اما سودهای عظیم دیگری موجود می‌باشد که این سودها زمانی نصیب ما خواهد شد که تمامی داده‌ها اندازه‌گیری شده از طرق مختلف، همراه با تغییرات مشابه آنها بتوانند به طور اپتیمم با یکدیگر در یک فرآیند ترکیب شوند. این عمل بهترین روند ساختاری مدل رقومی و یک روش شبیه‌سازی برای جذب مجموعه داده‌های مختلف و واسطه‌یابی برونی اطلاعات نسبت به فضا و زمان می‌باشد. روند رقومی نمودن مدل مسئله، کلیدی برای واسطه‌یابی برونی مقادیر بسیار بزرگ اطلاعات سطح متوسط دریاها است. این اطلاعات از طریق ارتفاع سنجی راداری برروی تمامی سطح اقیانوسها جمع‌آوری شده است. حتی در بعضی زمینه‌ها نمی‌توان تنها به یک مدل رقومی تکیه نمود، لذا بهبود آن را می‌توانیم از ترکیب داده‌های به دست آمده از ماهواره‌های ارتفاع سنج راداری بیشتر انتظار داشته باشیم. البته این امر تنها روش برای مجموعه داده‌های کم‌دقت نمی‌باشد. علاوه بر بهبود دقتهای آشکار، ترکیب داده‌های به دست آمده، از تعداد ماهواره‌های ارتفاع‌سنج راداری مختلف به سرعت می‌توانند راه‌حلهای خاص و ذاتی را بهبود بخشند.

به طور مثال می‌توان داده‌های ارتفاع سنجی راداری ماهواره‌های ERS-1 و Topex - poseidon را با همدیگر ترکیب نمود. بدان معنی که در آغاز امواج با مقیاسهای کوتاهتر (هردو امواج ذاتی و خاص) می‌توانند نسبت به امواج بزرگ مقیاس ترکشف و سپس حل شوند.

آماده نمودن تولیدات داده‌ای استفاده کنندگان

قبل از آنکه هر داده‌ای بتواند با دیگر داده‌ها ترکیب شود و یا این که در داخل یک مدل رقومی شبیه‌سازی شود و یا حتی به طور مستقیم مورد استفاده قرار گیرد، آنها مجبور هستند که از سطح مبناء تراز دستگاه اندازه‌گیری به سطح تراز سطوح هم پتانسیل عمده پردازش و تبدیل شوند. سطوح تراز بسیاری در طول مسیر امواج ارسالی ماهواره می‌توانند تشکیل شوند، سطوح تشکیل شده می‌توانند شامل هر بخش از سیگنالهای الکترونیکی خام ارسالی به ایستگاههای گیرنده و از آنجا به کامپیوتر پردازشگر باشند. مجموعه داده‌هایی که در آخرین سطح کامپیوتر پردازشگر جمع‌آوری می‌شود، اصطلاحاً سطح تراز ثبت کننده داده‌ها[16] یا به اختصار (GDR) نامیده می‌شوند. هواشناسان بیشتر علاقه‌مند به خواندن سرعت مورد انتظار بادسنج برحسب متر بر ثانیه می‌باشند. و هیچ گونه علاقه‌ای به برق تولید شده توسط دینام ندارند. استفاده کنندگان از داده‌های فضایی نیز چندان انتظار کمی از سیستم ماهواره‌ای ندارند. بخش زمینی باید به گونه‌ای طراحی شود که نه تنها داده‌های ارتفاع‌سنجی راداری را جمع‌آوری کند بلکه این داده‌ها را برای بهره‌وری استفاده کنندگان آماده سازد. ماوراء قضیه تولید GDR که به خودی خود یک وظیفه پیچیده‌ای را شامل می‌شود، وظیفه علامتگذاری کمترین ناهماهنگیها و ناسازگاریها در اطلاعات خروجی دستگاه ثبت اطلاعات را نیز دربرمی‌گیرد. از جمله این ناسازگاریها می‌توان آشفتگی اندازه‌گیری امواج میکروویو برروی اقیانوسها ناشی از وجود جزایر کوچک را عنوان نمود. از طرفی داده‌های تولید شده باید آن چنان معتبر باشند که کیفیت خودشان و تلاشهای به عمل آمده جهت تصفیه آنها و یا توسعه آلگوریتمهای پردازشی آنها را تصدیق نمایند. بهترین کانال برای این تلاشها و از طرفی اپتیمم نمودن تولیدات و استفاده از داده‌ها این است که آژانسهای تولید کننده و استفاده کنندگان آنان ارتباط نزدیک خودشان را با یکدیگر حفظ نمایند. امروزه ماهواره‌های ERS-1 و Topex-poseidon داده‌های تکمیلی ارتفاع‌سنجی راداری را فراهم می‌سازند و در آینده ماهواره‌های ERS-2 و Envisat و Topex-poseidon و Geosat طراحی شده‌اند تا مأموریت فوق را دنبال نمایند. هر کدام از این مأموریتها به مشاهده سطوح تراز سیگنالهای مختلف همراه با نمونه عملکرد متفاوتی اختصاص یافته‌اند. اجرای همزمان این مأموریتهای ارتفاع سنجی جدید، عظمت هدف همکاریهای مشترک در زمینه ارتفاع سنجی راداری و ارزیابی سنسورهای صوتی و امواج میکروویو (سیستم ATSR/M روی ERS) را آشکار می‌سازد. از طرفی این قضیه علاوه بر تولید اعتماد و اطمینان بیشتر برای استفاده کنندگان داده‌های ارتفاع سنجی راداری باعث رسیدن به حد کمال برای اهداف ژئوفیزیکی خواهد شد. این فضای چندمنظوره از مأموریتهای فضایی داده شده، شامل بررسیهایی، همچون کالیبراسیون سنسورها، ثبات داخلی آلگوریتمهای پردازشی، خصوصیات تولید و منابع داده‌های خارجی می‌باشند. تمامی این بررسیها باید معین، و با یک روش معتبر و مستحکم قابل حل باشند. تنها با انجام موارد فوق ما قادر خواهیم بود تضمین نماییم که استفاده کنندگان در وضعیتی قرار خواهند گرفت که مستقیماً و به طور مطمئن می‌توانند از داده‌های مأموریتهای فضایی مزبور بهره‌برداری نمایند. هدف باید هماهنگ نمودن ثبت داده‌های ژئوفیزیک ارتفاعی جمع‌آوری شده از مأموریتهای مختلف، و تشخیص کیفیت آنها، و نهایتاً اپتیمم نمودن مجدد کیفیت داده‌ها باشد. در عصری که شرایط آب و هوایی و اقتصادی به ما الزام می‌کند که سیاره خاکی خویش را از نزدیک مورد مشاهده قرار دهیم، می‌توان انتظار داشت که شیوهٔ دستیابی به داده‌ها به طور هنرمندانه‌ای افزایش بیابد. حتی این موضوع موجب مشکل شدن قضیه خواهد شد، که ما هر تلاشی را برای ساده نمودن استفاده از داده‌ها به عمل می‌آوریم. به عبارت دیگر این تلاش موجب بالا رفتن کارآیی رشته اندازه‌گیریها می‌شود.

ESRIN تصمیم دارد که متحد شود و ابزارهای مورد نیاز خودش را توسعه بدهد تا تولیدات سریعتری از داده‌های دستگاه ERS تولید نماید. کنترل و ارزیابی این تولیدات می‌تواند به خوبی به صورت کالیبراسیون متقابل و ارزیابی متقابل بین مأموریتهای مختلف ESAها انجام بپذیرد. بنابراین ESRIN یک پردازشگر دقیق را برای وسایل مأموریت ارتفاع‌سنجی توسعه می‌دهد. ارتفاع سنج راداری و ارسال کننده امواج میکروویو جزو وسایل مأموریتی می‌باشند. این توسعه پردازشگر دقیق منحصراً به سنسور و آلگوریتم و ارزیابی تولیدات اختصاص دارد. این پردازشگر توانایی رفتار با داده‌های چندمنظوره تولید شده از مأموریتهای مختلف و امکان خروج از محیطهای اجرایی نرم افزارهای استاندارد را دارا می‌باشد. این ابزار در بررسیهای آینده تجهیز و به کار برده شده‌اند و دسترسی سریع استفاده کننده به تولیدات و حتی خود سیستم نیز بازنگری و مورد آزمایش قرار گرفته‌اند. یک درسی که به وضوح از تمامی مأموریتهای قبلی ارتفاع سنجی راداری آشکار می‌شود، این است که نیاز به یک الگوریتم قوی و معتبر و ارزیابی مهندسی از مدتها قبل در هر تلاشی برای انجام ماموریتهای قبلی درنظر بوده است. این موضوع علاوه بر فازهای منظم توسعه مأموریتها می‌باشد. بنابراین موفقیت تنها به وسیله ابزارهای مناسب می‌تواند حاصل گردد.

نتیجه

مأموریتهای فعلی ERS و مأموریتهای آتی Envisat نمی‌توانند جدای از همدیگر در نظر گرفته شوند. آنها ناگزیرند پله‌های موفقیت برای برنامه فضایی تحقیقات هواشناسی جهان باشند. مأموریتهای فضایی که برای آینده طراحی شده است همانند دنبال نمودن اندازه‌گیریهای ارتفاع‌سنجی، امری اساسی برای مطالعه ترمهای بزرگ تغییرات در توده‌های یخ و توپوگرافی سطح دریاها[17] می‌باشد. از طرفی این مأموریتها نیازی مهم، برای بررسیهای هواشناسی و پیش‌بینی تغییرات وضع آب و هوا می‌باشند. استفاده کنندگان مدرن داده‌ها، همیشه جویای راه‌حلهای اپتیمم با بهره‌وری بیشتر از انواع منابع مختلف داده‌ها هستند.

علاوه بر استاندارد نمودن ذخیره سازی داده‌ها فرمت محصولات، استاندارد نمودن ثبت داده‌های ژئوفیزیکی به دست آمده از انواع مأموریتهای ارتفاع سنجی راداری انجام می‌پذیرد. عمل استاندارد نمودن، به خوبی امر برآورد خطاها و کیفیت هر متغیر سنجیده شده از فضا، یک جزء

اساسی، برای کاربرد اپتیمم داده‌های مشاهداتی زمین در مأموریتهای آینده می‌باشد. انجمن ماهواره های مشاهداتی زمین[18] از سال ۱۹۸۴ تلاش نموده‌اند تا فرمت تولیدات را استاندارد نمایند. مخصوصاً این امر از طریق گروه کاربری داده‌ها[19] به وسیله شبکه‌بندی، آرشیو، ذخیره‌سازی، اداره داده‌ها و غیرو انجام پذیرفته است. در مجموع توافق عمومی وا ضحی برروی نحوهٔ ساخت مجموعهٔ داده‌های ژئوفیزیکی وجود ندارد. به طوری که استفاده‌کنندگان هرگز نمی‌خواهند به وسیله تغییرات در فرمت محصولات محافظت و مراقبت شوند.

در مورد ارتفاع سنجی راداری هر نوع توسعه همکاریهای علمی در این قضیه به طور نسبی کوچک می‌باشد و به طور سنتّی دسته‌بندی تمامی مجموعه داده‌های جهانی مورد قبول می‌باشد.

بنابراین ارتفاع سنجی یک حوزهٔ مناسبی می‌باشد که فکر نمودن در مورد تولیدات از قبل هماهنگ شده با سطح تراز داده‌های ژئوفیزیکی یکی آرزو نخواهد بود. □

جدول (۱) مأموریتهای ماهواره های ارتفاع سنج راداری

مأموریتهای فضایی گذشته

ماهواره Skylab	سال۱۹۷۳
ماهواره Geos-3	بین سالهای ۱۹۷۵الی سال ۱۹۷۸
ماهواره Seasat	از ماه جولای تاماه‌اکتبرسال ۱۹۷۸
ماهواره Geosat	از ماه مارس سال ۱۹۸۵الی ماه نوامبر سال ۱۹۸۹

مأموریتهای فضایی فعلی

ماهواره ERS-1	از ماه جولای سال ۱۹۹۱ تا حال توسط سازمان ESA اروپا
ماهواره Topex-poseidon	از ماه آگوست سال ۱۹۹۲ تا حال توسط NASA/CNES آمریکا

مأموریتهای فضایی آینده

ماهواره ERS-2	در سال ۱۹۹۵ توسط سازمان ESA اروپا
ماهواره Envisat	در سال ۱۹۹۹ توسط سازمان ESA اروپا
ماهواره Topex-poseidon	توسط NASA/CNES آمریکا در حال اقدام می‌باشد.
ماهواره Geosat	توسط نیروی دریایی آمریکا در حال اقدام می‌باشد.

پاورقی

1) ESA
2) NASA/CNES
3) International Scientific Community
4) Iso-Contours
5) Long-term
6) Short-term
7) Mesoscale
8) Einiño
9) Trad winds
10) Wave forms
11) Re-Tracking
12) Downlink
13) Glaciological
14) Real-Time
15) Radar - Altimeter
16) Geophysical Data Records
17) Sea-Surface topography
18) CEOS
19) Working group on data