ویژگی‌ها و آثار دریالرزه‌ی اقیانوس هند به روایت داده‌های ماهواره‌ای

فرخ برزگر*

مقدمه

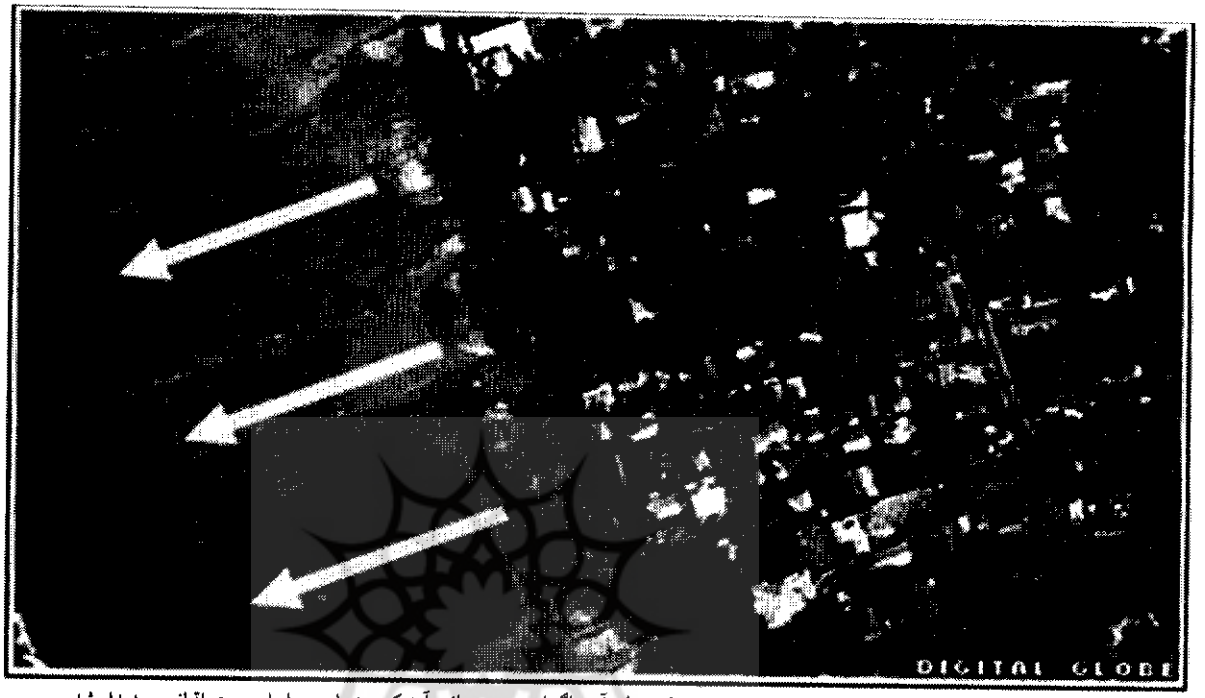
دریا لرزه‌ی روز ۲۶ دسامبر ۲۰۰۴ ، (۶ دی ماه ۸۳) تمام ویژگی‌های لازم را، چه از نظر پارامترهای (فراسنج) علمی، چه از نظر ابعاد تأثیر، و چه از نظر تنوع پیامدها، برای اطلاق واژه‌ی «فاجعه»، با خود به همراه داشت. اگرچه درباره‌ی این رویداد سهمگین و دهشتناک، مطالب و نکات بسیاری در رسانه‌های همگانی منتشر شده است، ولی این دلیل نمی‌شود که چندباره به آن نپردازیم و درباره‌ی داده‌های گوناگون اخذ شده در مورد این پدیده‌ی عظیم که هرچند نسل یک‌بار ممکن است روی دهد، ننویسیم. آنچه که در ادامه می‌آید، مجموعه‌ی دیگری از مطالب و تصویرهایی فضایی است که هم‌زمان یا در فاصله‌ی کوتاهی از پیدایش پیامدها و آثار این رخداد مرگبار تهیه شده و از سایت‌های گوناگون جمع‌آوری و یا توسط برخی از همکاران و یاران، برای گردآورنده ارسال شده است که برای آگاهی شما همکاران فرزانه و تلاشگر، به صورت این نوشته، تنظیم و تقدیم می‌شوند.

****

دریا لرزه‌ی ۲۶ دسامبر ۲۰۰۴ اقیانوس هند، با قدرتی معادل ۲۷ هزار برابر بمب اتمی هیروشیما و گشتاور لرزه‌ای حدود ۱۰ هزار برابر زمین‌لرزه‌ی بم و تلفات انسانی ۲۲۶۰۰۰ نفر (که این رقم با گذشت حدود دو ماه از آن تا زمان تنظیم مطلب و با کشف هزار جسد در روز در محدوده‌ی تأثیر آن، درحال افزایش نیز هست)، در حال حاضر شاید تنها رویدادی باشد که با رخداد در هزاره‌ی سوم و اوج پیشرفت روزمره‌ی دانش بشری، دانشمندان توانسته‌اند، آن‌را به کمک حسگرهای نصب شده روی ماهواره‌های منابع زمینی، فناوری‌های نوین و بهره‌گیری از مدل‌های پیچیده‌ی رایانه‌ای، مطالعه کنند و بدین‌سان مجموعه‌ای از داده‌های بی‌نظیر را برای نخستین‌بار ثبت و برای پژوهش‌های بیش‌تر جمع‌آوری کنند. در ادامه، مهم‌ترین و جالب‌ترین این یافته‌ها که ابعاد فاجعه را به سادگی و روشنی نشان می‌دهند، ارائه می‌شوند:

۱. پیش‌نشانه

همان‌گونه که آگاه هستید، به دلیل نبودن یک سامانه‌ی آگاهی‌بخش در محدوده‌ی رویداد، اطلاعات مربوط به پیش نشانه‌های این رخداد سهمگین ـ که قاعدتاً به کمک این سامانه‌ها



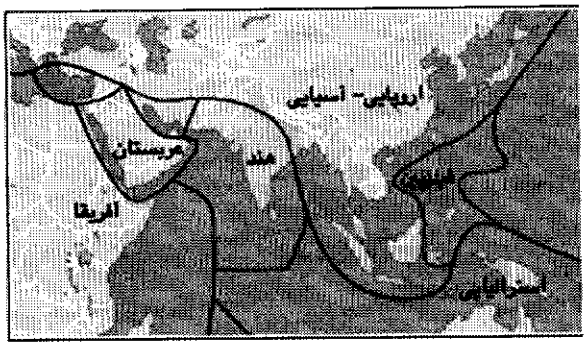
شکل ۱ ـ تنها نشانه، درست کمی پیش از حمله‌ی امواج سونامی دیده شد که سطح آب ناگهان به حدی پائین آمد که صدها متر ساحل و بستر اقیانوس پدیدار شد.

قابل ثبت و اعلام بود ـ جمع‌آوری نشد و به تبع آن، آگاهی لازم به کشورهای پیرامونی و مردم ساحل‌نشین در معرض خطر، نرسید. تنها داده‌ای که پس از رویداد دریالرزه و آن‌هم پس از بازنگری و اعمال دقت در داده‌های تصویری ماهواره‌ای اخذ شده از یکی از مناطق محدوده‌ی تأسیس دیده شده، عقب‌نشینی آب اقیانوس در زمان رویداد از ساحل بود که طبیعتاً توسط ساکنان قابل تشخیص نبود و تنها عبور ماهواره از فراز منطقه‌ی مذکور که در لحظه‌ای مناسب، سبب ثبت آن و تولید این تصویر شد (شکل ۱).

شکل ۲ ـ روز ۲۶ دسامبر ۲۰۰۴ بزرگ‌ترین زلزله در چهل سال گذشته بین صفحه‌های استرالیایی و آسیایی ـ اروپایی در اقیانوس هند رخ داد. این زلزله امواج سونامی را پدید آورد که هزاران کیلومتر را در بر گرفت و ساعت‌ها ادامه داشت.

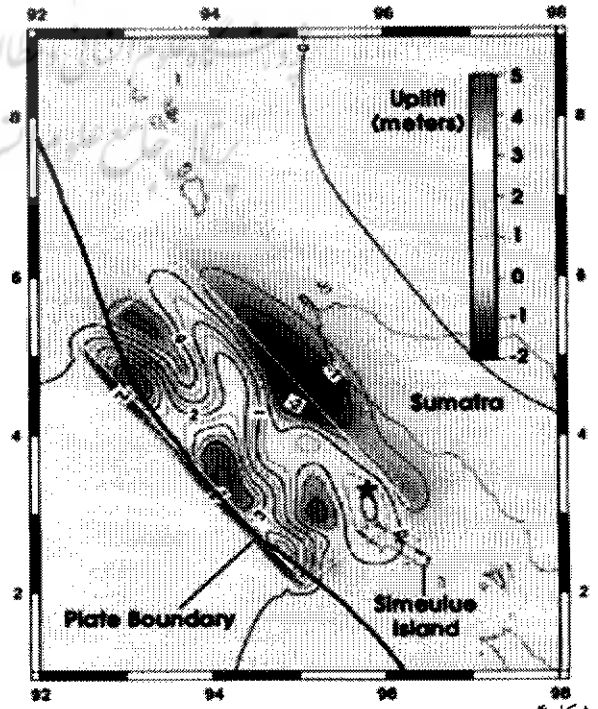
۲. گسل مسبب لرزه

اندازه‌گیری لرزه‌ای و مدل‌های رایانه‌ای تولید شده بر مبنای این اندازه‌گیری‌ها از این حکایت دارد که «صفحه‌ی برمه»[1] (شکل‌های ۲ و ۳) ر ژرفای ۱۸ کیلومتری زیر بستر دریا، ۲۰ متر جابه‌جا شده است، ولی این میزان در بستر دریا کم‌تر بود و طبق نتایج به دست آمده از این مدل‌ها، مقدار این جابه‌جایی در راستای قائم ۵ متر و در راستای افقی ۱۱ متر بوده است. صفحه‌ی بعد که حرکت ناشی از رویداد دریالرزه و گسل مسبب



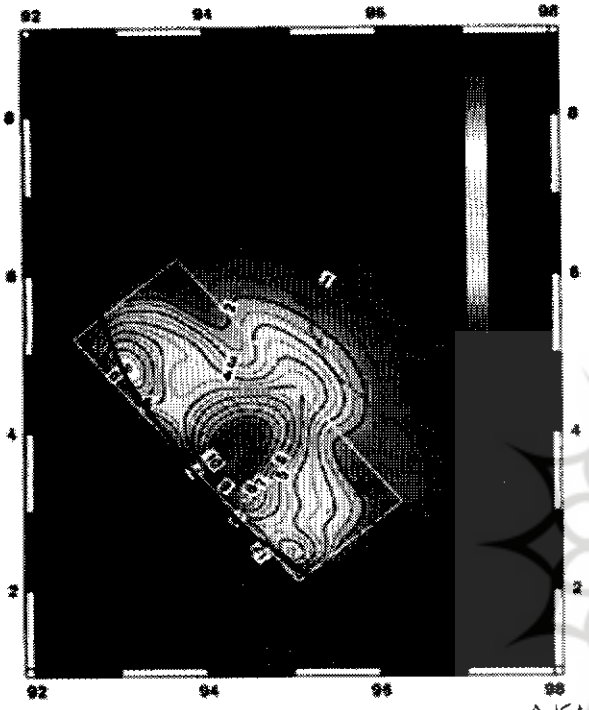
شکل ۳ـ حرکت ناگهانی صفحه های تشکیل دهنده ی پوسته زمین به طرف هم، علت وقوع زلزله است.

آن را به طور تخمینی نشان می دهند، حاصل محاسبات رایانه‌ای هستند که بر مبنای جمع آوری اندازه گیری های لرزه نگاشتی اخذ شده توسط شبکه ی جهانی لرزه نگاری تهیه شده‌اند. ستاره ی سیاه‌رنگ، محل «رومرکز» دریالرزه را نشان می دهد. در نقشه ی سمت راست، حرکت افقی نشان داده شده است که بیش‌ترین میزان آن در بستر دریا ۱۱ متر تخمین زده شده است. ساحل شبه‌جزیره سوماترا حدود سه متر و انتهای شمالی جزیره ی «سیمه ئولوئه»[۲] حدود دو متر جابه‌جا شده است.



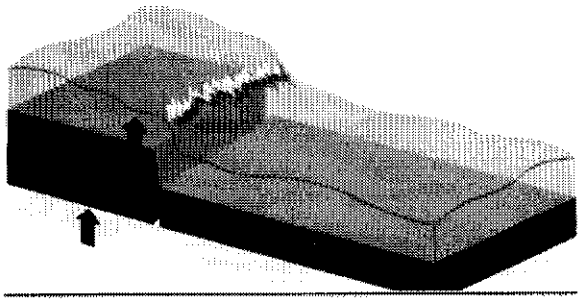
شکل ۴

پژوهشگران زمین شناس در تلاش هستند تا با استفاده از داده های دورسنجی و تلفیق آن با اندازه گیری انجام شده توسط سامانه های مکان‌یابی جهانی (GPS)، میزان حرکات تخمین



شکل ۵

زده شده بر اساس مدل های رایانه‌ای را، ارزیابی و کنترل کنند. دانشمندان کشور هند نیز در تلاش هستند، با استفاده از کشتی های پژوهشی و روش های ژرفایابی مبتنی بر ثبت پژواک امواج صوتی، راستا و میزان جابه‌جایی های رویداده در امتداد گسل یا گسل های احتمالی را به نقشه درآورند و بدین سان، آگاهی کامل و دقیقی از این پارامترها (فراسنج ها) به دست آورند. مدل های سه بعدی زیر، چگونگی تشکیل گسل مسبب رویداد دریالرزه را در زیر لایه آب موجود نشان می دهد.

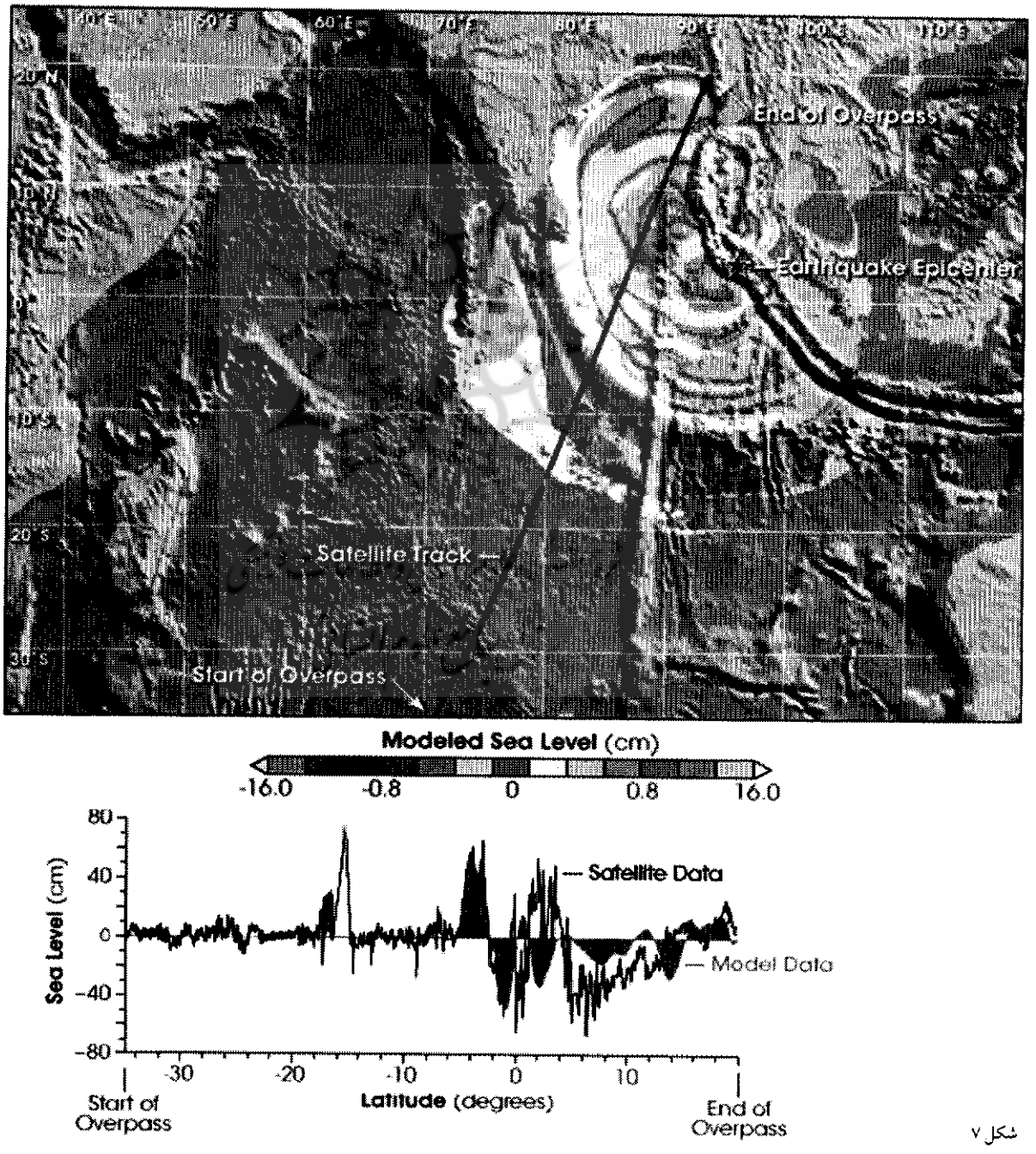


شکل ۶ـ امواج سونامی زمانی شکل گرفت که انرژی آزاد شده از زلزله به طور عمودی بستر اقیانوس را چندین متر از جا کند و میلیون ها متر مکعب آب را جابه‌جا کرد.

۳. تشکیل امواج

یکی دیگر از داده‌هایی که از طریق حسگرهای موجود در ماهواره بدان دست یافته شد، نقشه‌ای است که از پردازش داده‌های تهیه شده توسط ماهواره‌های اقیانوس‌شناسی Jason-1 و Topex -Poseidon (که برای ثبت تغییرات شکل رویه‌ی اقیانوس‌ها در مدار قرار گرفته است) تولید شده است و دانشمندان را در آگاهی بیش‌تر از دینامیسم (پویایی) مرگ‌آور دریالرزه یاری کرده است.

در عمل برای نخستین بار، حسگر راداری ارتفاع سنج نصب شده در این ماهواره‌ها، این توانایی را به‌وجود آورد که ارتفاع امواج ناشی از دریالرزه در زمان رخداد (۲۶ دسامبر ۲۰۰۴) ثبت شود. دانشمندان «آزمایشگاه پیشرانه‌های جت» وابسته به ناسا،

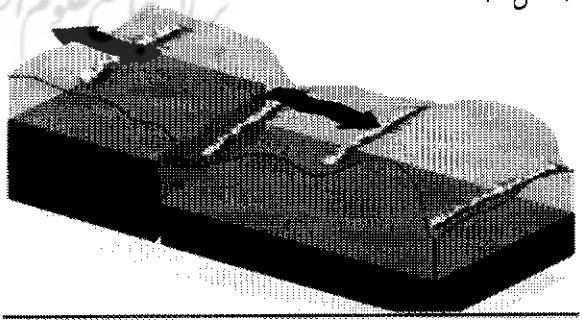


شکل ۷

سازمان ملی اقیانوس شناسی و اتمسفری (NOAA)، و سازمان فضایی فرانسه (CNES)، با مقایسه‌ی این اندازه گیری‌ها و مقادیر اندازه گیری شده قبلی توانسته‌اند، نقاط اوج و حضیض امواج ناشی از رویداد دریالرزه را هنگام طی مسیر در اقیانوس هند، دقیقاً اندازه گیری کنند. در نقشه‌ی پیش روی، مدل گسترش امواج در سطح دریا که با استفاده از اختصاص رنگ های متفاوت مشخص شده در مقیاس زیرین، تقسیم‌بندی محدوده‌های دارای ارتفاع متفاوت آن نیز میسر شده است، دیده می شود. در برش زیرین (در امتداد مقطع موجود روی نقشه) نیز، تغییرات موج های آغازین که به هنگام برخورد با مرز فلات قاره‌ای کرانه کشورهای پیرامونی، ارتفاعی تا حدود ۱۵ متر پیدا کرده و مرگ هزاران انسان را به همراه داشته، نشان داده شده است.

اگرچه نتوانستند این داده‌ها را با سرعت لازم برای آگاهی مردم نواحی کرانه پیرامونی مخابره کنند، ولی دست‌کم دانشمندان سازمان ناسا به یاری این داده‌ها توانستند، مدل‌های رایانه‌ای را که بر مبنای داده‌های لرزه‌نگاری و ژرفاسنجی استوارند، تصحیح کنند و اطلاعات دقیق‌تری از اثرات ناشی از چنین بلایایی به دست آورند. (شکل ۷)

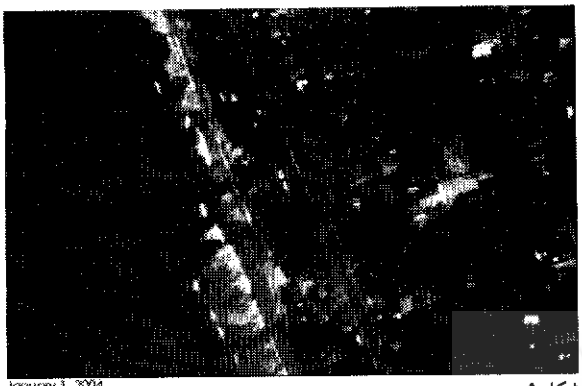
اهمیت فوق‌العاده‌ی این داده‌ها، در تعیین روز رویداد دریالرزه، آن‌هم در منطقه‌ای بسیار دور از محل استقرار ابزارهای اندازه‌گیری است. چگونگی تشکیل این امواج در ارتباط آن با گسلش نیز در نمودار سه‌بعدی زیر نشان داده شده است. (شکل ۸)



شکل ۸ ـ امواج از مرکز زلزله دور شده، در تمام اقیانوس به حرکت درآمدند و بدین شکل فاجعه‌ی سونامی آغاز شد.

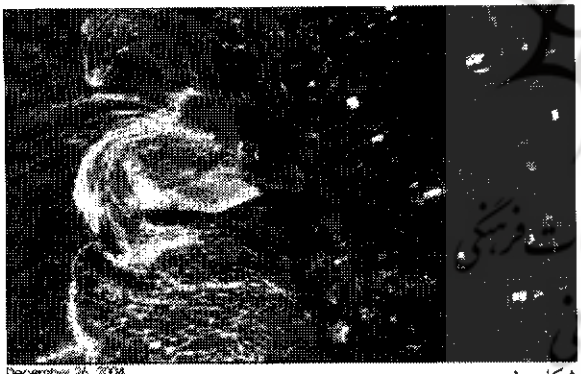
۴. پیامدها

الف) تصویرهای تهیه شده توسط ماهواره «کوئیک برد»[3]، دارای دقت مکانی ۰/۶۲ سانتی‌متر از نواحی پیرامونی شهر کالوتارا[4] در سریلانکا، در شرایط عادی (اخذ شده در روز اول ژانویه ۲۰۰۴) که امواج پس از گسترش روی پهنه‌ی جزرمدی غرقابی در حال بازگشت به دریا بوده و ساحلی مواج را سبب شده‌اند (شکل ۹)



شکل ۹

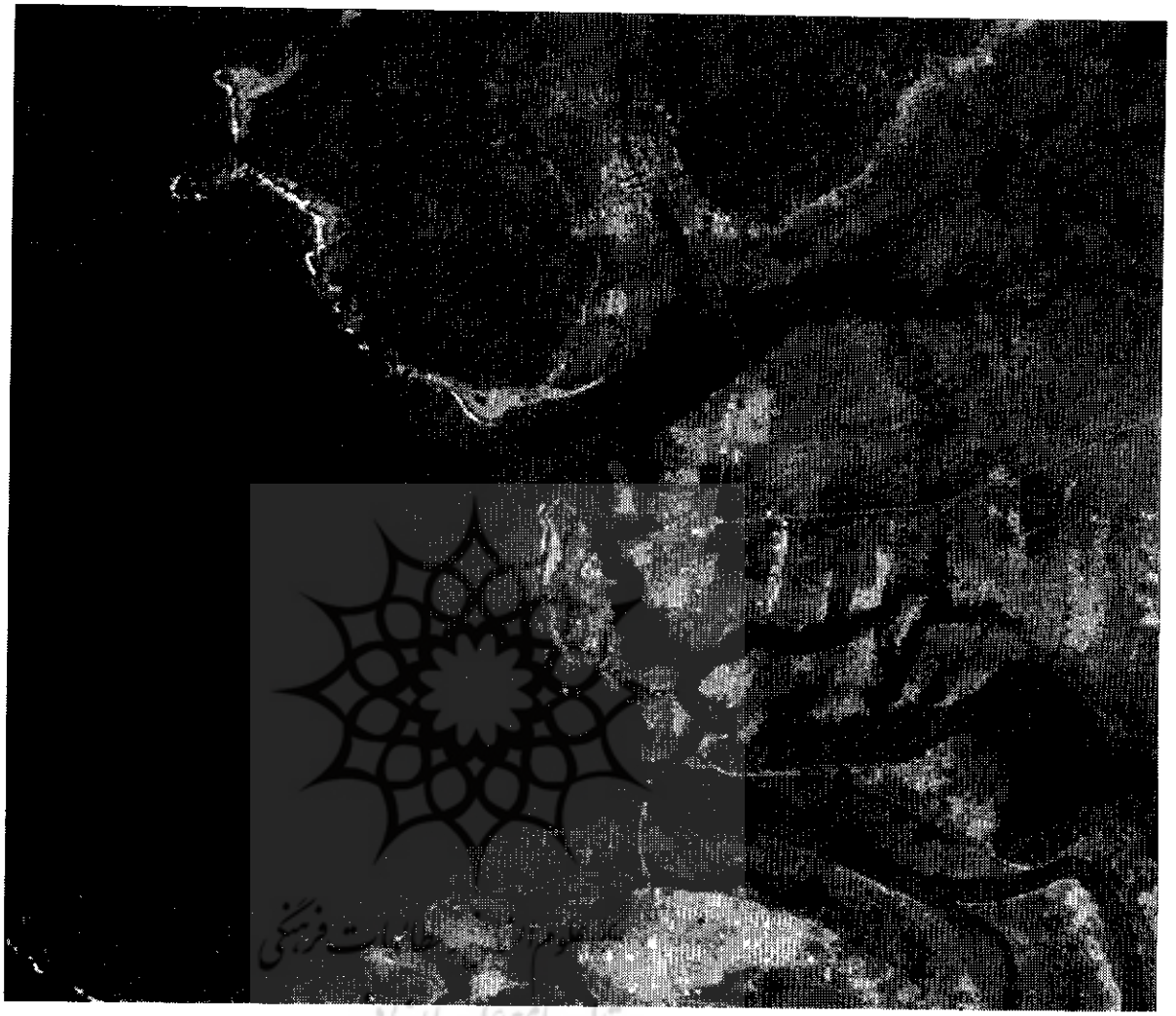
تصویر همان ناحیه (اخذ شده در روز ۲۶ دسامبر ۲۰۰۴)، به دقت محلی، ساعت ۱۰/۲۰ دقیقه، (شکل ۱۰)،



شکل ۱۰

یک ساعت پس از برخورد نخستین امواج حاصل از دریالرزه.

ب) تصویر ماهواره‌ی «آیکونوس»[5] با دقت مکانی چهارمتر (در شکل رنگی آن) از ایالت آچه در سوماترای شمالی (شکل ۱۱). این منطقه که در باختر رومرکز دریالرزه قرار دارد، جزو نخستین مناطقی بود که تحت تأثیر این رویداد قرار گرفت. همان گونه که مشاهده می شود، فقط بخش هایی از جنگل ساحلی موجود در این ناحیه که در فرازای بالاتری قرار داشتند، بر جای مانده‌اند و بقیه‌ی نواحی پوشیده از درخت واقع در ترازهای پایین‌تر که تحت تأثیر ضربات امواج دریالرزه قرار گرفتند، اکنون عاری از درخت هستند و در پیرامون مصب رودهای منتهی به اقیانوس و خورهای موجود، به صورت



شکل ۱۱

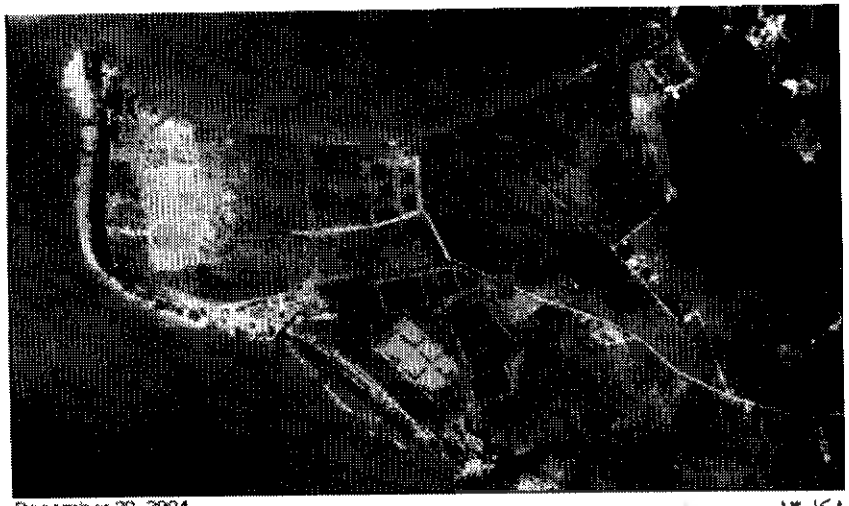
January 3, 2003

شکل ۱۲

زمین‌های عریان و بی‌درخت درآمده‌اند.

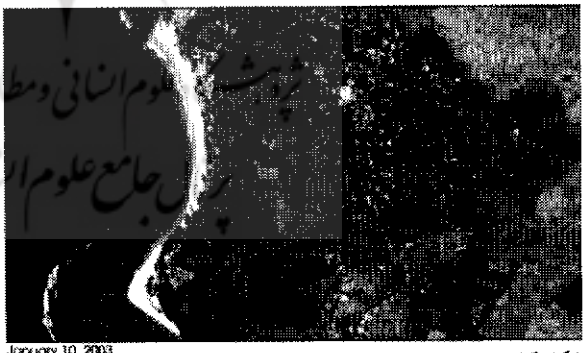
ج) کرانه‌های «خائولاک»[۶] در تایلند، دو تا سه ساعت قبل از حمله‌ی امواج به ساحل. این ناحیه در ۵۰۰ کیلومتری رومرکز دریالرزه قرار داشت و امواجی به ارتفاع ۱۰ متر، این منطقه‌ی توریستی را که سخت مورد توجه گردشگران شمال اروپا بود، مورد حمله قرار داد. هجوم امواج، همان‌گونه که

در شکل‌ها مشخص است. تمامی ساختمان‌ها و پوشش گیاهی موجود را نابود کرده و تنها پی ساختمان‌ها روی زمین عریان باقیمانده است. ماسه‌های ساحلی نیز توسط امواج مهاجم جابه‌جا شده‌اند. این تصویرها (شکل ۱۲ و ۱۳) توسط ماهواره آیکونوس گرفته شده‌اند. و تاریخ اخذ آن‌ها، قبل از رویداد (در پایین) و بعد از رویداد (در بالا) نیز نوشته شده است تا مقایسه و ارزیابی گستره‌ی تخریب شده آسان شود.



شکل ۱۳

د) بخش دیگری از استان آچه اندونزی که بیش‌ترین تخریب حاصل از رویداد دریالرزه را تحمل کرده است. تصویرهایی که توسط ماهواره آیکونوس از منطقه‌ی «لوکنگا»[۷] گرفته شده، این استان را بعد از رویداد (شکل ۱۴) و قبل از رویداد (شکل ۱۵) نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، کلیه‌ی ساختمان‌ها و پوشش گیاهی ناحیه توسط امواج، تخریب، شسته و نابود شده است. محدوده‌ی کشاورزی موجود در بخش خاوری عکس، به مدت ۴ روز توسط آب آورده شده به ساحل، مغروق شد. ارتفاع امواج به هنگام برخورد به این ناحیه ۱۵ متر بود. همان‌گونه که آشکار است، نوار ماسه‌ای ساحلی نیز کاملاً توسط امواج شسته و به درون اقیانوس حمل شده و در نتیجه،

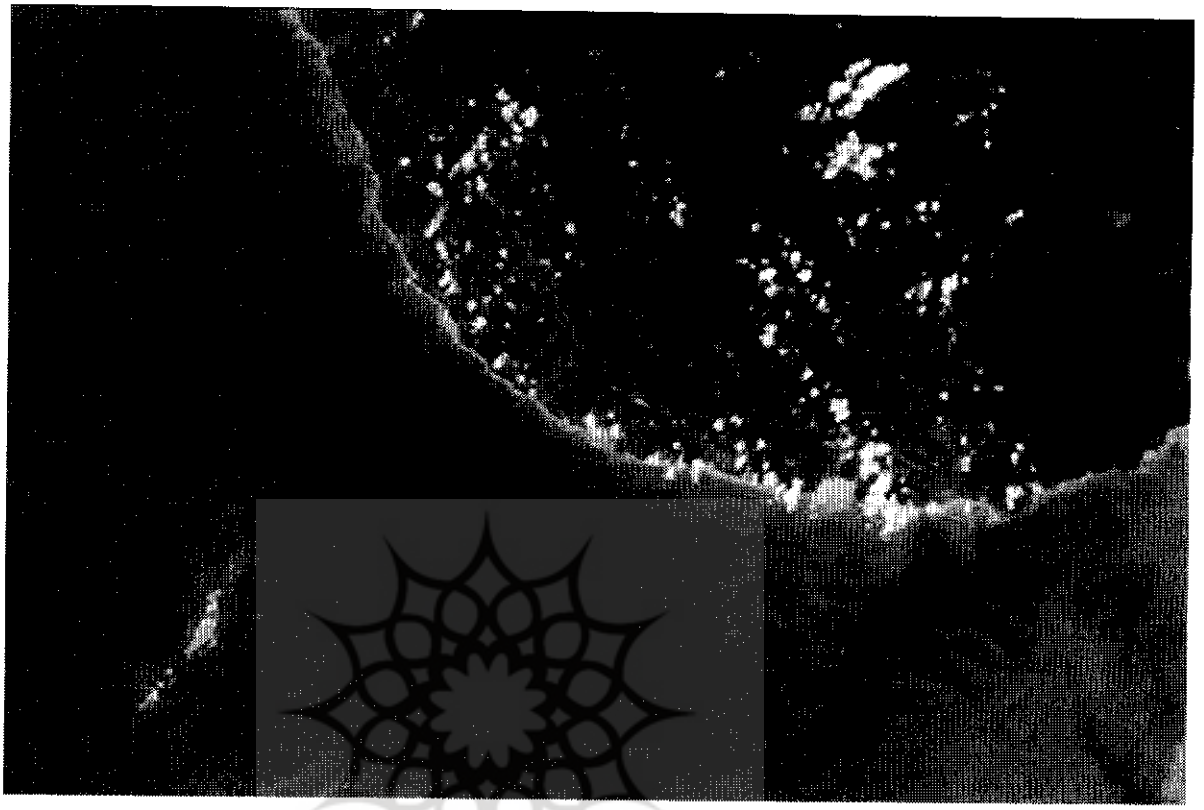


شکل ۱۴

شکل ۱۵

شکل ۱۶

شکل ۱۷



شکل ۱۸

دیگر ساحلی برای احیا و بهره‌برداری در آینده باقی نمانده است.

هـ) تصویرهای تهیه شده توسط ماهواره‌ی کوئیک برد از منطقه مئولبوث[8] در اندونزی، اخذ شده در روز ۷ ژانویه ۲۰۰۵ و ۱۰ روز بعد از رویداد دریالرزه. این ناحیه در کرانه‌های سوماترا و در فاصله‌ی تقریباً ۱۵۰ کیلومتری «رومرکز» دریالرزه قرار داشت. شدت و گستره‌ی اثرات تخریبی امواج مهاجم و نابودی ساختمان‌ها و تأسیسات بندری موجود در این محدوده با مقایسه‌ی دو تصویر، کاملاً آشکار است و نیاز به هیچ گونه توضیحی ندارد. (شکل‌های ۱۶ و ۱۷)

و) نخستین امواج ناشی از دریالرزه که در ساعت ۰۰/۵۸/۵۳ در نزدیکی کرانه‌های سوماترای اندونزی روی داد، بعد از دو ساعت به کرانه‌های سرزمین قطره‌ای شکل سریلانکا رسید. امواج بعدی، چند ساعت بعد، یعنی حدود ساعت ۵/۱۵ به سواحل اطراف رسیدند و این درست زمانی بود که، ماهواره‌ی «ترا»[9] آثار آن‌ها را در ۴۰ـ۳۰ کیلومتری سواحل جنوب باختری سریلانکا، به کمک حسگرهایش اخذ و ثبت کرد. امواج ایجاد شده، سبب تغییر میزان بازتاب از رویه‌ی دریا شده‌اند که این تغییر در محدوده‌ی تحت پوشش این تصویر، با توجه به این که بیش‌ترین تأثیر دریالرزه در راستای خاوری ـ باختری دیده شد، بیشینه‌ی اثرات تخریبی را داشته است. الگوی امواج سطحی، تقریباً با مرز دریایی ناحیه‌ی فلات قاره‌ای[10] این جزیره مطابقت دارد. به نظر می‌رسد، این الگو معلول تأثیر متقابل امواج ژرفی به هنگام برخورد با مرز این ناحیه است و در کل، این الگوی هم‌مرکز، انعکاس تأثیر نقطه‌ی خشکی قاره‌ای بر شکل امواج است.

* کارشناس سازمان فضایی ایران

زیرنویس

1. Burma Plate
2. Simeulue
3. Quickbird
4. Kalutara
5. Ikonos
6. Khaolak
7. Lhoknga
8. Meulboth
9. Terra
10. Continental shelf