سونامی؛ تعریف، نحوه شکل‌گیری و بررسی زلزله و سونامی ۲۰۱۱ ژاپن

سونامی (Tsunami) به امواج عظیم و بلند اقیانوسی گفته می‌شود که در پی جابجایی ناگهانی حجم زیادی از آب به وجود می‌آیند . .این پدیده برخلاف موج‌های عادی دریا که عمدتاً بر اثر باد ایجاد می‌شوند، حاصل نیروهای ناگهانی و شدید زمین‌شناختی است. مهم‌ترین عامل پیدایش سونامی، وقوع زمین‌لرزه‌های بزرگ زیر دریا یا در نزدیکی اقیانوس است که بستر دریا را به طور ناگهانی بالا یا پایین می‌برد. از دیگر عوامل ایجاد سونامی می‌توان به فوران‌های آتشفشانی زیردریایی، لغزش‌های بزرگ در شیب‌های قاره‌ای و حتی سقوط توده‌های عظیم سنگ یا یخ به داخل آب اشاره کرد. اصطلاح قدیمی «موج کشندی» (tidal wave) که گاه برای سونامی به کار می‌رفت نادرست است، زیرا این امواج ارتباطی با جزر و مد ندارند.

معنای لغوی سونامی

واژه سونامی (tsunami) یک کلمه ژاپنی است که از دو بخش تشکیل شده:

- (津) "tsu"به معنی بندر
- (波) "nami"به معنی موج

پس "tsunami" یعنی "موج بندر" یا "موجی که به بندر می‌رسد."

این نام‌گذاری به این دلیل است که سونامی‌ها در دریاهای آزاد معمولاً خیلی قابل مشاهده نیستند (ارتفاع موج کم است)، اما وقتی به نزدیکی ساحل یا بندر می‌رسند، ناگهان ارتفاع زیادی پیدا می‌کنند و خسارت زیادی وارد می‌کنند. به همین دلیل، ماهیگیران ژاپنی در گذشته متوجه می‌شدند که دریا آرام بوده ولی وقتی به بندر برمی‌گردند، بندر ویران شده و موجی عظیم آن را نابود کرده است—از این تجربه لغت "سونامی" به وجود آمده.

نحوه شکل‌گیری سونامی (به‌ویژه در اثر زلزله)

اکثر سونامی‌های مخرب بر اثر زمین‌لرزه‌های بزرگ زیردریایی در مناطق موسوم به زون فرورانش (محل برخورد و فرورفتن یک صفحه تکتونیکی به زیر صفحه دیگر) رخ می‌دهند. در این نواحی معمولاً یک صفحه اقیانوسی به زیر یک صفحه قاره‌ای یا اقیانوسی دیگر می‌لغزد و در طول سالیان تحت فشار قرار می‌گیرد. هنگام وقوع زلزله در منطقه فرورانش، بخشی از این انرژی انباشته‌شده به صورت لغزش ناگهانی گسل آزاد می‌شود و اگر گسل در زیر اقیانوس باشد، سطح بستر دریا را به طور ناگهانی بالا یا پایین می‌برد.

این تغییر شکل ناگهانی بستر دریا (بالاآمدگی یا فرورفتگی) باعث جابجا شدن حجم عظیمی از آب بالای آن می‌گردد و موج‌های سونامی از محل منشاء به صورت دایره‌وار در اقیانوس منتشر می‌شوند .به بیان دیگر، سونامی زمانی متولد می‌شود که ستونی از آب اقیانوس به دلیل حرکت ناگهانی زمین (مثلاً بالارفتن یک بلوک پوسته) از حالت تعادل خارج شده و تحت تأثیر گرانش زمین تلاش می‌کند تعادل خود را بازیابد؛ این نوسان جرم آب همان امواج سونامی است. نوع سازوکار گسل در زلزله زیردریایی برای ایجاد سونامی بسیار مهم است. گسل‌های رانده (معکوس)

که حرکت عمودی قابل توجهی دارند بسیار بیشتر از گسل‌های امتدادلغز (با حرکت افقی غالب) توان ایجاد سونامی را دارند.

زلزله و سونامی ۲۰۱۱ ژاپن (توهوکو)

در ۱۱ مارس ۲۰۱۱ (۲۰ اسفند ۱۳۸۹) زمین‌لرزه‌ای بسیار قدرتمند در نزدیکی سواحل شمال‌شرقی ژاپن رخ داد که به زلزله بزرگ شرق ژاپن یا زلزله توهوکو شهرت یافت .این زمین‌لرزه و سونامی پس از آن، یکی از مخرب‌ترین بلایای طبیعی عصر مدرن بوده و آثار گسترده‌ای بر جای گذاشت.

کانون این زمین‌لرزه در زیر بستر اقیانوس آرام و در حاشیه شرقی ژاپن واقع شد. بر اساس گزارش سازمان زمین‌شناسی آمریکا (USGS) و مرکز اطلاعات محیطیNOAA ، بزرگی این زلزله ۹٫۱ در مقیاس گشتاوری (Mw) ثبت شد که آن را در رده یکی از قوی‌ترین زمین‌لرزه‌های تاریخ ثبت‌شده قرار می‌دهد .این بزرگ‌ترین زمین‌لرزه ثبت‌شده در تاریخ ژاپن و سومین زمین‌لرزه بزرگ جهان از سال ۱۹۰۰ میلادی تاکنون بود.

محل وقوع آن در مرز بین صفحه زمین‌ساختی اقیانوس آرام و صفحه آمریکای شمالی (یا میکروصفحه اوخوتسک) بود؛ جایی که صفحه اقیانوسی آرام با سرعت حدود ۸ سانتی‌متر در سال به سمت غرب و به زیر ژاپن فرو می‌رود. گسل مسبب زلزله یک گسل رانده در ناحیه فرورانش (سابداکشن) بود که در امتداد گودال ژاپن (Japan Trench) قرار دارد .این گسل ده‌ها سال تحت تنش حاصل از حرکت نسبی صفحات بود و نهایتاً در ۲۰۱۱ با لغزشی عظیم آزاد شد. به گفته پژوهشگران، طول گسیختگی گسل حدود ۳۰۰ تا ۵۰۰ کیلومتر و میزان لغزش بر روی گسل در برخی بخش‌ها تا ۳۰ تا ۴۰ متر بود که یک رکورد بی‌سابقه محسوب می‌شود .چنین لغزش بزرگی نشان‌دهنده آزاد شدن انرژی خارق‌العاده‌ای بود که مستقیماً منجر به جابجایی گسترده بستر دریا و ایجاد سونامی شد.

زمین‌لرزه توهوکو عمق نسبتاً کمی داشت (حدود ۲۴ کیلومتر در زیر بستر دریا) که برای تولید سونامی شرایط مناسبی بود . زمین‌لرزه‌های کم‌عمق انرژی خود را مؤثرتر به سطح آب منتقل می‌کنند. دانشمندان دانشگاه UCSB با تحلیل داده‌ها برآورد کرده‌اند که بخش‌هایی از کف اقیانوس بر اثر این رویداد تا ۹ متر بالا آمده است .این میزان بالاروی ناگهانی بستر اقیانوس به خوبی توضیح می‌دهد که چرا سونامی حاصل چنین شدت عظیمی داشت. انرژی آزادشده در زلزله با جابجا کردن حجم بزرگی از آب اقیانوس، موج‌های سونامی را به وجود آورد که بلافاصله در منطقه وسیعی گسترش یافتند .شتاب لرزه‌ای زلزله نیز در مناطق ساحلی ژاپن بسیار شدید گزارش شد؛ شهرهایی مانند سندای لرزش شدیدی را تجربه کردند و سامانه‌های هشدار فوری زلزله در ژاپن تنها ده‌ها ثانیه پیش از رسیدن امواج مخرب توانستند هشدار بدهند.

ایجاد سونامی در پی این زلزله

گسل زیردریایی که در زلزله ۲۰۱۱ ژاپن لغزید، بخش وسیعی از کف اقیانوس آرام را دچار تغییر شکل کرد. همان‌طور که اشاره شد، برخی مناطق بستر دریا تا ۹ متر بالا آمدند و احتمالاً بخش‌هایی نیز دچار فرورفتگی شدند .این جابجایی عمودی عظیم، آب بالای خود را بلند کرده و یک سونامی بزرگ محلی در سواحل ژاپن ایجاد کرد .حدود ۱۰ دقیقه پس از زلزله، نخستین امواج بلند به سواحل استان‌های شمال‌شرقی ژاپن (نظیر میاگی و ایواته) رسیدند . ارتفاع امواج اولیه در برخی مناطق به قدری بود که از دیوارهای حفاظتی ساحلی (با ارتفاع تا ۱۰ متر) عبور کرده و مستقیماً به شهرها و روستاهای پشت دیوارها هجوم بردند .به گزارش منابع خبری و شاهدان عینی، دیوارهایی از آب به ارتفاع حدود ۹ تا ۱۲ متر (۳۰ تا ۴۰ فوت) مناطق ساحلی را درنوردیدند .موج سونامی در بندر میرای (Miyako)در استان ایواته به ارتفاع بی‌سابقه ۴۰٫۵ متر (۱۳۳ فوت) نیز ثبت شد. که تقریباً معادل ارتفاع یک ساختمان ۱۲ طبقه است. این موج عظیم وقتی به خلیج‌های باریک رسید، ارتفاعش بیشتر هم شد و با قدرت بیشتری پیشروی کرد. سونامی ژاپن ۲۰۱۱ در برخی نواحی تا ۱۰ کیلومتر به داخل خشکی نفوذ کرد و همه‌چیز را در مسیر خود ویران ساخت.

تأثیرات اقتصادی

زمین‌لرزه و سونامی ۲۰۱۱ ژاپن از لحاظ اقتصادی پُرهزینه‌ترین بلای طبیعی ثبت‌شده در تاریخ است. گستردگی خسارت‌ها به حدی بود که کل اقتصاد ژاپن و حتی اقتصاد جهانی را به طور محسوس تحت تأثیر قرار داد.

طبق برآورد بانک جهانی و منابع ژاپنی، خسارت مستقیم ناشی از تخریب ساختمان‌ها، زیرساخت‌ها و دارایی‌ها حدود **۲۲۰ میلیارد دلار آمریکا** (معادل تقریباً ۱۰ تریلیون ین ژاپن) برآورد شد .این رقم بی‌سابقه، سونامی توهوکو را از نظر هزینه مالی در صدر فجایع طبیعی تاریخ قرار داد.

برای مقایسه، خسارت زلزله مهیب کوبه در سال ۱۹۹۵ حدود ۱۰۰ میلیارد دلار بود .البته برخی برآوردهای اولیه رقم‌های پایین‌تری (مثلاً ۱۲۲ میلیارد دلار) ارائه کردند، اما با گذشت زمان و احتساب هزینه‌های پاکسازی و بازسازی، رقم واقعی بسیار بالاتر ارزیابی شد. دولت ژاپن و بخش خصوصی میلیاردها دلار صرف بازسازی شهرها، زیرساخت‌ها و اسکان موقت آسیب‌دیدگان کردند. هزینه‌های مرتبط با پاکسازی نخاله‌ها (حدود ۲۵ میلیون تُن آوار) و بازسازی دیوارهای ساحلی، شبکه‌های حمل‌ونقل و تأسیسات عمومی، بخش عمده‌ای از این خسارت را شامل می‌شد . همچنین بحران فوکوشیما هزینه‌های اضافی عظیمی برای مهار نیروگاه و پاکسازی رادیواکتیو به کشور تحمیل کرد که تخمین زده می‌شود ده‌ها میلیارد دلار و چند دهه زمان برای مدیریت کامل آن مورد نیاز باشد.

جمع بندی

زلزله و سونامی توهوکو در سال ۲۰۱۱ یک آزمون سخت برای مردم ژاپن و دانش بشر در مواجهه با بلایای طبیعی بود. این رویداد نشان داد حتی کشوری مثل ژاپن که به داشتن آماده‌ترین سیستم‌های هشدار و مقاوم‌ترین زیرساخت‌ها شهره است، می‌تواند در برابر خشم طبیعت آسیب‌پذیر باشد .با این حال، واکنش سریع مردم و مسئولان ژاپن، نظام‌مند بودن عملیات امداد، و تجربه‌اندوزی از این فاجعه توانست تلفات و خسارات را به حداقل ممکن (نسبت به شدت رویداد) برساند. سونامی ۲۰۱۱ ژاپن به عنوان یک مطالعه موردی مهم، اکنون در محافل علمی و مدیریتی جهان تحلیل می‌شود تا راهکارهای بهتری برای کاهش مخاطرات این‌گونه حوادث ارائه گردد. امید است با به‌کارگیری این درس‌ها و تقویت همکاری‌های بین‌المللی، در آینده شاهد کاهش آثار مخرب چنین بلایایی بر جوامع انسانی و محیط زیست باشیم.

منابع مورد استفاده:

گزارش‌ها و داده‌های سازمان زمین‌شناسی آمریکا(USGS) ، مرکز ملی اطلاعات محیطی NOAA و سازمان‌های ژاپنی، همراه با تحلیل‌های آژانس بین‌المللی انرژی اتمی (IAEA) و پژوهش‌های علمی مرتبط.

usgs.gov

oceanservice.noaa.gov

ncei.noaa.gov

en.wikipedia.org

www.automotivelogistics.media

legacy.geog.ucsb.edu