

درس ششم: امواج لرزه‌ای

همان طور که در درس 1 تا 5 مطرح گردید، دانشمندان اولیه، پیش از آنکه قادر باشند طبیعت زلزله و علت اصلی آن را تشریح کنند، ابتدا امواج ناشی از زلزله را مورد ملاحظه قرار دادند. بنابراین تیم دانشمندان اولیه، بیشتر در زمینه لرزه‌شناسی امواج زلزله پیش رفتند. همان طور که در درس 5 مورد بحث قرار گرفت، هنگامی که انرژی کشسانی ناشی از حرکات تکتونیکی صفحه‌ای که به آرامی در پوسته زمین انباشته شده است، به طور ناگهانی در محل شکستگی‌های پوسته که گسل نامیده می‌شود، آزاد شود، زمین لرزه روی می‌دهد. انرژی آزاد شده به شکل موج‌هایی تحت عنوان امواج لرزه‌ای، حرکت می‌کند و در واقع همین انرژی آزاد شده، انسان‌ها و تشکیلات انسانی را به خطر می‌اندازد. بنابراین ضروری است که بدانیم این انرژی کجا و به چه شکلی آزاد می‌شود.

در این درس، دانش آموزان تفاوت انواع انرژی‌های لرزه‌ای، بر مبنای مکان و چگونگی حرکت آنها را فرا گرفته و همچنین در این زمینه که دانشمندان، چطور از امواج لرزه‌ای برای بررسی ساختار درونی زمین استفاده می‌کنند، بحث می‌کنند.

این فعالیت برای یک کلاس یک ساعته طراحی شده است.

مواد لازم:

- تعدادی اسلینکی (یک نوع فنر: slinkies)
- 2 سانتیمتر نوار پلاستیکی سفید (یا یک رنگ روشن)
- یک طناب دو متری
- یک آجر
- یک چکش

مقدمه:

1. از دانش‌آموزان بخواهید که بر مبنای دانش بدست آمده از درس 5، تعریفی از زمین‌لرزه ارائه دهند. به آنها یادآوری کنید که زلزله زمانی روی می‌دهد که انرژی کشسانی ناشی از حرکات صفحه‌ای که به آرامی در پوسته زمین انباشته شده است، به طور ناگهانی در محل شکستگی‌های پوسته که گسل نامیده می‌شود، آزاد شود. همچنین به دانش‌آموزان بگویید که این انرژی آزاد شده می‌تواند در داخل زمین و یا در روی سطح آن حرکت کرده و برای انسان‌ها و تشکیلات انسانی، خطراتی را به همراه داشته باشد.
2. دانش‌آموزان را تشویق کنید که در مورد اینکه انرژی کشسانی چطور در داخل زمین و یا در روی سطح آن حرکت می‌کند، بحث کنند. یک مثال ساده بکار ببرید: از دانش‌آموزان بخواهید تا پیش‌بینی کنند که اگر یک انتهای آجر را در دست گرفته و با چکش به انتهای دیگر آن ضربه بزنند، چه اتفاقی خواهد افتاد. اگر یک آجر و یک چکش دارید، اجازه دهید تا آنها این آزمایش را تجربه کنند. دانش‌آموزان باید بتوانند انرژی چکش را در نوک انگشتانشان حس کنند و همچنین آنها را ترغیب کنید که حدس بزنند چرا می‌توانند این انرژی را حس کنند. سپس برای آنها توضیح دهید که آنها به این علت می‌توانند انرژی را حس کنند، چون که انرژی ضربات چکش به شکل امواج به سمت نوک انگشتانشان حرکت می‌کند.

3. به دانش‌آموزان توضیح دهید که انرژی زمین‌لرزه نیز به صورت امواج حرکت می‌کند. این امواج، امواج لرزه‌ای و یا امواج زلزله نامیده می‌شوند و شامل دو نوع مختلف امواج عمقی (body waves) و امواج سطحی می‌باشد. در واقع، امواج عمقی از میان بخش‌های درونی زمین عبور کرده در حالی که امواج سطحی در امتداد سطح زمین حرکت می‌کنند. این مطلب را تشریح کنید که امواج لرزه‌ای ذرات مواد را به روش‌های مختلفی حرکت می‌دهند. امواج فشاری (compressional) حرکات عقب، جلو، موازی با مسیر حرکت موج ایجاد می‌کند در حالیکه امواج برشی چنین حرکاتی را عمود بر جهت حرکت موج به وجود می‌آورد.

4. از دانش‌آموزان بخواهید که در مورد منشا امواج لرزه‌ای فکر کنند. آنها ممکن است پاسخ دهند که در امتداد صفحه گسل و یا در یک نقطه منفرد در گسل می‌باشد. در اینجا، دو اصطلاح هیپوسنتر (مرکز درونی زلزله) و اپیسنتر (مرکز بیرونی زلزله) را معرفی کنید. در حقیقت، مرکز درونی زلزله مکانی است که شکستگی سنگ و لغزش صورت گرفته در حالی که مرکز بیرونی زلزله، محلی در سطح زمین می‌باشد که دقیقاً در بالای مرکز درونی زلزله واقع شده است.

توجه: هنگامی که اولین امواج لرزه‌ای از مرکز درونی زلزله منتشر می‌شوند، امواج بعدی می‌توانند از هر جایی در اطراف منطقه لغزش سرچشمه بگیرند بنابراین تمام انرژی یک زمین‌لرزه از مرکز درونی آن ساطع نمی‌شود و به همین دلیل مرکز درونی یک زلزله تنها یگانه منبع سرچشمه امواج لرزه‌ای نمی‌باشد (Wampler, 2002).

5. دانش‌آموزان را تشویق کنید که تا در مورد انواع انرژی‌هایی که به شکل امواج حرکت می‌کنند (مانند: صدا، نور و ...) فکر کنند. برای آنها توضیح دهید که وقتی یک قطار سوت می‌کشد، صدایی که آنها می‌شنوند به واسطه هوا و به شکل امواج صوتی به سمت گوش آنها حرکت می‌کند. همچنین برای آنها تشریح کنید که این امواج آشفته، انرژی را با ایجاد یک سری حرکات متناوب (جلو، عقب) از نقطه‌ای به نقطه دیگر انتقال می‌دهند. در واقع، صدای سوت باعث می‌شود تا مولکول‌های هوای اطرافش به لرزه درآمده و همزمان با شروع ارتعاش مولکول‌ها، آنها به یکدیگر ضربه زده و موجب می‌شوند که مولکول‌های مجاور نیز مرتعش شوند و هنگامی که مولکول‌هایی که کنار گوش قرار دارند، مرتعش شوند، در این زمان، صدای سوت شنیده می‌شود. از دانش‌آموزان سوال کنید که آیا می‌توانند صداها را در جو زمین که هیچ هوایی وجود ندارد، بشنوند. جواب منفی است. انرژی صوتی نمی‌تواند در خلا حرکت کند، به این دلیل که واسطه‌ای برای ایجاد آشفته‌گی و یا ارتعاش وجود ندارد. اکنون، از دانش‌آموزان بپرسید که آیا انرژی صوتی قادر است از میان جامدات و یا مایعات عبور کند. اینجا، جواب مثبت است. زیرا انرژی صوتی می‌تواند موجب شود که مولکول‌های جامد و یا مایع مرتعش شوند. در این مرحله، از آنها سوال کنید که چرا انرژی صوتی در جامدات، می‌تواند سریعتر از مایعات حرکت کند. برای آنها توضیح دهید که از آنجایی که در جامدات مولکول‌ها به هم نزدیکتر هستند، بنابراین می‌توانند سریعتر به هم ضربه بزنند و در نتیجه انرژی سریعتر حرکت می‌کند.

نکته: بعضی از مردم ممکن است هنگامی که زمین‌لرزه رخ می‌دهد، صدای آن (از صدای ریز تا صدای غرش ناگهانی) را بشنوند. این موضوع به این علت است که زمین‌لرزه‌ها می‌توانند یک سری امواج صوتی، در محدوده فرکانس شنوایی انسان تولید کنند. این انرژی صوتی نه تنها می‌تواند از میان لایه‌های زمین عبور کند بلکه می‌تواند درون هوا نیز پراکنده شود.

روش کار:

1. دانش‌آموزان را به تیم‌های دو نفره یا گروه‌های چهارتایی تقسیم کنید و به هر گروه یک فنر (اسلینکی) و چند نوار چسب بدهید.
2. دانش‌آموزان را راهنمایی کنید که هر گروه، با استفاده از نوار چسب، دو نقطه را روی فنر، در نزدیک مرکز و در بالای حلقه‌های مجاور علامتگذاری کنند. در واقع، دانش‌آموزان از طریق علامتگذاری روی حلقه‌ها می‌توانند حرکت انرژی را در طول فنر مشاهده کنند.
3. از دو دانش‌آموز درخواست کنید که تا هر کدام یک سر فنر را برای گروهشان در دست بگیرند و آن را موازی با امتدادش بر روی سطح زمین، میز و یا هر سطح صاف دیگری بکشند. سپس از دانش‌آموزان بخواهید که فنر را به اندازه 10 تا 20 حلقه فشرده کرده و پس از آن، به طور سریع آن را رها کنند. در واقع، دانش‌آموزان وقتی انتهای فنر را نگه می‌دارند، با اطمینان مشاهده می‌کنند که انرژی موج در طول فنر حرکت می‌کند.
4. پس از چند بار تکرار، از دانش‌آموزان بخواهید که مشاهداتشان را درباره حلقه و نوار چسب بیان کنند. در حقیقت، حلقه‌ها در طول فنر به صورت حرکت به جلو و عقب (به شکل رفت و برگشت) و به صورت انقباضی و انبساطی حرکت می‌کنند. از دانش‌آموزان سوال کنید که کدام نوع از امواج لرزه‌ای حرکتی مشابه این حالت فنر را دارد. پاسخ امواج فشاری (compressional) است. به آنها یادآوری کنید که در این نوع امواج، ذرات به صورت حرکات جلو به عقب و موازی با جهت موج حرکت می‌کنند. هنگامی که امواج فشاری عبور می‌کنند، ابتدا مواد منقبض و سپس منبسط می‌شوند. امواج پی (P)، از واژه Primary به معنای اولیه گرفته شده است) همان امواج فشاری زمین‌لرزه می‌باشند که از داخل زمین عبور می‌کنند. این امواج حجم موادی را که در داخل آن انتشار می‌یابند، را تغییر می‌دهند.
5. **نکته:** امواج پی، در هوا صوتی هستند و در درون زمین نسبت به هوا سریعتر حرکت می‌کنند. اما تمام انرژی صوتی این امواج در محدوده شنوایی انسان نیست و از این رو، تنها هنگامی که امواج در محدوده فرکانس شنوایی باشند، عده‌ای از افراد می‌توانند آنها را بشنوند.
6. اکنون انتهای طناب دو متری را به دستگیره در گره بزنید و از یکی از دانش‌آموزان بخواهید تا انتهای آزاد طناب را در دستش بگیرد و سپس آن را به قدری به عقب بکشد که با یک شل افتادگی جزئی، صاف شود. پس از آن، طناب را به آرامی به بالا و پایین بردن مرتعش کند. به هر دانش‌آموز اجازه دهید این حرکت را ایجاد کند. پس از چندین بار تکرار، از دانش‌آموزان بخواهید که حرکت طناب را تشریح کنند. از آنها بپرسید که چه نوعی از حرکات امواج لرزه‌ای شبیه این مورد است. پاسخ درست، امواج برشی است. در اینجا، یادآوری کنید که در امواج برشی ذرات مواد در راستای عمود بر جهت حرکت موج به عقب و جلو حرکت می‌کنند. امواج اس، (S)، از واژه Secondary به معنای ثانویه گرفته شده است) امواج برشی زمین‌لرزه هستند که از داخل زمین عبور می‌کنند. این امواج حجم موادی را که در داخل آن انتشار می‌یابند، را تغییر نمی‌دهند اما آنها را می‌برند.

نکته: حرکت طناب ناشی از امواج برشی بسیار راحتتر از امواج فشاری مشاهده می‌شود اما امواج برشی آهسته‌تر از امواج فشاری حرکت می‌کنند. در یک زمین‌لرزه، دانشمندان با استفاده از لرزه‌نگار می‌توانند بروز امواج فشاری را زودتر از امواج برشی مشاهده کنند. شما می‌توانید یک نمونه از ثبت توسط یک لرزه‌نگار در هنگام زلزله را انتخاب نموده و از دانش‌آموزان بخواهید که به امواج لرزه‌ای مختلف اشاره کنند. بعلاوه، از آنجا که امواج برشی نسبت به امواج فشاری، سنگ‌های سطح زمین را راحتتر مرتعش می‌کند لذا این امواج موجب خرابی بیشتری می‌شوند.

7. دانش‌آموزان را تشویق کنید که با یک دید انتقادی وضعیت فنر و طناب را ارزیابی کنند. از آنها بپرسید که آیا محدودیتی را در ارتباط با وضعیت آنها مشاهده می‌کنند. سپس از آنها بخواهید که وضعیت ساده آنها را با ارتعاشات واقعی ناشی از امواج لرزه‌ای که در عمق و سطح زمین حرکت می‌کنند، مقایسه کنند. به عنوان مثال، امواج لرزه‌ای، انرژی را از منبع شکست در تمام جهات انتقال می‌دهند. (نه مانند وضعیت‌های نشان داده شده، تنها در یک جهت).

8. (اختیاری) هر دو موج اولیه و ثانویه جز امواج عمقی هستند، یعنی از درون زمین عبور می‌کنند. امواج سطحی آن دسته از امواج هستند که در امتداد سطح زمین حرکت می‌کنند. دو نمونه از امواج سطحی، امواج ریلی و لائو می‌باشند. به دانش‌آموزان توضیح دهید که امواج ریلی موجب می‌شوند که زمین به صورت موجی به بالا و پایین حرکت کند. (همانند حرکت امواج آب در اقیانوس، قبل از برخورد با خط ساحل) در حالیکه امواج لائو باعث می‌شوند که زمین به صورت حرکت جلو به عقب مرتعش شود. (مانند حرکت مار)

9. از دانش‌آموزان بخواهید که مجدداً در مورد اینکه دانشمندان چگونه امواج لرزه‌ای را برای تحقیق در مورد ساختار زمین مورد استفاده قرار می‌دهند، توضیح دهند. این کار شبیه این است که رسیدگی هندوانه را با ضربه زدن به آن بررسی کنیم. برای فهمیدن اینکه دانشمندان چگونه با استفاده از ارتعاشات درون زمین را مشاهده می‌کنند، نیاز است تا بفهمیم که امواج یا ارتعاشات، چگونه با سنگ‌های ساختار زمین در هم کنش انجام می‌دهند. در اینجا، دو نوع از ساده‌ترین اندرکنش امواج با سنگ‌ها را به دانش‌آموزان معرفی کنید: بازتاب و انکسار (شکست). از دانش‌آموزان بخواهید که بازتاب را تعریف کنند. آنها باید بتوانند مثال‌های ساده‌ای از قبیل انعکاس صدا (اکو) و یا بازتاب در یک آئینه را عنوان کنند. برای آنها تشریح کنید که در واقع پدیده اکو، همان امواج صوتی بازتاب شده‌اند و بازتاب تصویر دانش‌آموزان در آئینه ترکیبی از بازتاب امواج نور می‌باشد. اکنون، برای دانش‌آموزان بگویید که یک بازتاب لرزه‌ای هنگامی اتفاق می‌افتد که یک موج با یک تغییر در نوع سنگ مواجه شود. همواره، بخشی از انرژی به وسیله امواج در مواد انتقال یافته و بخش دیگری از آن به محیط حاوی امواج بازتاب می‌شود. پدیده انکسار را می‌توان با انداختن یک سکه در یک بطری آب نشان داد. سکه، هنگامی که به سطح آب برخورد می‌کند تغییر جهت می‌دهد و به طور عمود به کف فرو نمی‌رود. به عبارت دیگر، مسیر سکه هنگام حرکت از هوا به داخل آب منکسر می‌شود (تغییر جهت می‌دهد).

10. برای دانش‌آموزان توضیح دهید که امواج لرزه‌ای با سرعت کیلومترها در ثانیه حرکت می‌کنند. سرعت امواج لرزه‌ای به عوامل زیادی بستگی دارد. از دانش‌آموزان بخواهید که در مورد بعضی از عواملی که می‌توانند سرعت امواج لرزه‌ای را تغییر دهند، فکر کنند. (مانند ساختار سنگ، دما، فشار). از

آنها سوال کنید تا توضیح دهند که این عوامل چگونه می‌توانند سرعت موج لرزه‌ای را تغییر دهند. دانش-آموزان باید بتوانند این سوالات را بر مبنای دانشی که در خلال این درس به دست آورده‌اند، پاسخ دهند. امواج لرزه‌ای در سنگ‌های متراکم‌تر سریع‌تر حرکت می‌کنند. دما گرانش به کاهش سرعت امواج لرزه‌ای دارد و فشار می‌تواند سرعت این امواج را افزایش دهد.

توجه: سرعت یک موج لرزه‌ای عمدتاً با افزایش عمق، افزایش می‌یابد. با این وجود، افزایش دما و عمق توأم مؤثر واقع می‌شوند تا سرعت را کاهش دهند.

منابع:

Wampler, J.M., 2002, Misconceptions – A column about errors in geoscience textbooks, Journal of Geoscience Education, v. 50, no. 5, p. 620-623