

درس پنجم: ماشین زلزله

همان طور که در درس 4 آموختیم، زلزله به جابجایی گسل‌ها مربوط می‌شود. گسل‌ها در یکدیگر جفت می‌شوند و هنگامی جابجایی رخ می‌دهد که تنش ایجاد شده در طول گسل، تقویت شده و به حدی برسد که منجر به گسستگی گسل شود. این فرآیند به حرکت چسبنده-لغزنده مشهور است. در این درس، دانش آموزان ضمن با ساختن و استفاده از یک مدل ساده از سیستم گسلی می‌آموزند که چگونه حرکت چسبنده-لغزنده در امتداد گسل‌ها اتفاق می‌افتد.

توجه: حرکت چسبنده-لغزنده نباید با حرکات از کنارهمگذشتگی (Strike-slip) در امتداد گسل‌های جانبی اشتباه گرفته شود. این فعالیت، برای 2 نوبت کلاس یک ساعته و یا یک جلسه آزمایشگاه 2 ساعته طراحی شده است.

این درس از درس منتشر شده (Hubenthal et al (2008) تطبیق یافته است.

مواد مورد نیاز:

دو بلوک چوبی 10×10 سانتیمتر و با ارتفاع 4 سانتیمتر
دو عدد حلقه پیچدار (گیره قلابدار)
یک تسمه سمباده به ابعاد 10×60 سانتیمتر (درجه 50)
یک ورق کاغذ سمباده به ابعاد 10×10 سانتیمتر (درجه 60)
یک عدد نوار (تسمه) لاستیکی
چسب نواری قوی و زخیم
یک متر نواری
یک قیچی
یک عدد چسب مایع

نکته: مواد بالا برای ساختن یک مدل کافی می‌باشد ولی بهتر است تا دانش‌آموزان، به گروه‌های 5 نفری تقسیم شده و برای هر گروه، بطور جداگانه، مصالح بالا، تهیه گردد تا هر گروه بتواند یک مدل مجزا برای خودش بسازد. اما به منظور کاهش هزینه مصالح، می‌توانید تنها یک مدل برای تمام دانش‌آموزان بسازید و هر دانش‌آموز را به آزمایش با آن جلب کنید.

قبل از کلاس، حلقه‌های پیچدار را به مرکز مقطع انتهایی هر بلوک چوبی متصل نمایید (تصویر 1). از یک انبردست برای خم کردن انتهای حلقه‌های پیچدار استفاده کرده و آنها را به قدر کافی باز کنید که امکان اتصال نوار لاستیکی و متر نواری به آنها فراهم شود.

مقدمه:

1. از یکی از دانش‌آموزان بخواهید تا خلاصه‌ای از آنچه را که در درس 4 یاد گرفته، بیان کند. اطمینان حاصل کنید که دانش‌آموزان رابطه بین گسل و زلزله را فرا گرفته اند. (مثلاً بدانند که: زمانی یک زلزله اتفاق می‌افتد، که یک گسل گسیخته شده و انرژی ذخیره شده در سنگ‌های اطراف آن آزاد می‌شود).

2. به دانش‌آموزان یادآوری کنید که حرکت در امتداد یک گسل نامنظم و ناصاف است. این بدین دلیل است که سطح صفحه گسل، درست مثل یک کاغذ سنباده، نامنظم می‌باشد.

3. در اینجا، مبحث اصطکاک را مطرح کنید. سوالات ساده‌ای از قبیل موارد زیر از دانش‌آموزان بپرسید: "چه چیزی منجر به توقف یک اتومبیل می‌شود؟ چه چیزی موجب می‌شود که بازیکن اسکیت روی یخ، سرعت خود را کاهش دهد یا متوقف شود؟" پس از این، برای دانش‌آموزان بیان کنید که این مثال‌ها نیروهایی را شامل می‌شوند که می‌توانند منجر به کاهش سرعت، توقف یا سختی در حرکت یک شیء شوند. این نیروها، نیروهای اصطکاکی نامیده می‌شوند. از دانش‌آموزان بخواهید تا به مثال‌ها یا تصورات دیگری که شامل اصطکاک می‌شود، فکر کنند. (به عنوان مثال، مالش دستانشان در یک صبح سرد زمستانی، روشن کردن یک کبریت، پوشیدن کفش‌های کوهنوردی هنگام بالا رفتن یا پایین آمدن از سراشیبی کوه).

4. برای دانش‌آموزان توضیح دهید که مقدار اصطکاک به دو چیز بستگی دارد: نوع سطح تماس (کف صاف آشپزخانه در قیاس با یک جاده خاکی) و نیروهای فشاری وارد به سطح (کشیدن یک گاری خالی در مقایسه با یک ارابه پر از خواربار).

5. برای دانش‌آموزان بیان کنید که گسل‌ها به دلیل سطوح نامنظمشان، در یکدیگر جفت می‌شوند. این، نیروی اصطکاک است که این سطوح را در هم جفت می‌کند.

6. برای دانش‌آموزان توضیح دهید که قرار است آنها یک مدل ساده بسازند تا این فرصت فراهم شود که بطور عینی آنچه در امتداد یک گسل جفت شده اتفاق می‌افتد را تجسم کنند.

تذکر: به دانش‌آموزان یاد آور شوید که مدل‌ها، ساده شده یک سیستم پیچیده هستند. در درس یکم، دانش‌آموزان از یک تخم مرغ، به عنوان مدلی برای درون زمین استفاده کردند. از دانش‌آموزان بخواهید تا به طور مختصر برخی از محدودیت‌های مدل تخم مرغ را شرح دهند. سپس، برای آنها توضیح دهید که هر مدل محدودیت خاص خود را دارد. آنها را تشویق کنید تا درباره بعضی از محدودیت‌های مدلی که در خلال این درس ساخته اند، بیندیشند.

روش کار:

1. دانش‌آموزان را به گروه‌های 5 نفری تقسیم کنید. برای هر گروه بلوک‌های چوبی 10×10 (که قبلاً حلقه‌های پیچ‌دار را به آنها متصل شده است)، یک متر نواری، یک عدد نواری (تسمه) لاستیکی، یک تسمه سمباده به ابعاد 10×60 سانتیمتر (درجه 50)، یک ورق کاغذ سمباده (درجه 60)، چسب نواری، چسب مایع و یک قیچی تهیه کنید.

2. به دانش‌آموزان دستور عمل‌هایی به شرح ذیل را ارائه دهید:

- تسمه سمباده را ببرید. در این صورت دیگر به صورت یک حلقه ای بسته نیست.
- دو انتهای تسمه سمباده را به میز کلاس با استفاده از چسب نواری محکم کنید و مطمئن شوید که موجی در آن ایجاد نشده است.
- با استفاده از یکی از بلوک‌ها، در پشت کاغذ سنباده علامت گذاشته و سپس با استفاده از قیچی یک مربع را بریده و آن را به کف بلوک با استفاده از چسب مایع بچسبانید.
- بلوک را روی تسمه سمباده قرار دهید. بلوک باید در انتهای سمت چپ تسمه سمباده، از بعدی که کاغذ سنباده به آن چسبانده شده است، روی تسمه سمباده قرار گیرد. حلقه‌های پیچ‌دار باید در مرکز بعدی که کاغذ سنباده به آن چسبانده شده است، قرار گیرند. اکنون نواری (تسمه) لاستیکی را به حلقه پیچ‌دار گیر بیندازید.
- انتهای نواری لاستیکی را به متر نواری وصل کنید.
- بلوک دیگر را روی لبه خودش در انتهای سمت راست تسمه سمباده قرار دهید. حلقه پیچ‌دار این بلوک باید در مرکز تسمه سمباده باشند.
- انتهای آزاد متر نواری باید از میان حلقه‌های پیچ‌دار متصل به بلوک (تشریح شده در مرحله قبل) عبور داده شود.

تذکر: تصویر 2 یک مدل کامل را نشان می‌دهد. بهتر است که تصویری از این مدل را همانطور که در دستور عمل تشریح شد؛ روی تخته سیاه ترسیم کنید.

3. از یک دانش‌آموز از هر گروه بخواهید تا در انتهای سمت راست تسمه سمباده بایستد و انتهای آزاد متر نواری را نگه دارد. سپس از او بخواهید تا متر نواری را از میان حلقه پیچ‌دار با استفاده از یک حرکت کشاندن یکنواخت و آهسته عبور دهد (تصویر 3). از دیگر دانش‌آموزان هر گروه درخواست کنید تا مدل را همزمان با اینکه دانش‌آموز نواری را می‌کشد، مشاهده کنند. از آنها بخواهید تا مشاهداتشان را لیست کنند: چه اتفاقی برای نواری پلاستیکی همزمان با اینکه متر نواری کشیده شد، پیش آمد؟ نواری پلاستیکی قبل از اینکه بلوک شروع به حرکت کند، کشیده شد و هنگامی که بلوک شروع به حرکت کرد، نواری پلاستیکی، دیگر بیشتر از این کشیده نشد.

4. به دانش‌آموزان بگویید که آنها یک مدل ساده ساخته اند که به آنها اجازه می‌دهد تا تجسم کنند که در یک سیستم گسل چه اتفاقی می‌افتد. از آنها بخواهید تا مدلشان را با یک سیستم گسل واقعی مقایسه کنند. بلوک چوبی نمایانگر چیست؟ نواری پلاستیکی نمایانگر چیست؟ دانش‌آموزی که متر نواری را می‌کشد،

چطور؟ قطعات کاغذ سنباده چطور؟ اصولاً، بلوک چوبی و کاغذ سنباده در این مدل، نمایانگر بخش فعال یک گسل هستند. در واقع، صفحات گسل سطوح ناصافی دارند که در این مدل با کاغذ سنباده نشان داده شده‌اند. دانش‌آموزی که متر نواری را می‌کشد، حرکات تکتونیکی صفحه‌ای را نشان می‌دهد و نوار لاستیکی نماینده خواص ارتجاعی مواد پوسته زمین بوده که قابلیت ذخیره انرژی ارتجاعی را دارد.

5. از یکی از دانش‌آموزان هر گروه، بخواهید تا مجدداً نشان دهد که چه اتفاقی در یک سیستم گسلی رخ می‌دهد. همزمان با اینکه دانش‌آموز نشان می‌دهد از سایر دانش‌آموزان گروه بخواهید تا تصور کنند که در حال دیدن یک سیستم گسلی هستند و این بار، در این حالت، توضیح بدهند که چه اتفاقی در این سیستم رخ می‌دهد. در این هنگام، برای آنها تشریح کنید که در واقع، به خاطر حرکات تکتونیکی صفحه‌ای در یک مسیر (دانش‌آموز نوار را می‌کشد). انرژی کشسانی شروع به جمع شدن در سنگ‌های اطراف گسل نموده (نوار پلاستیکی کشیده می‌شود) و هنگامی که استرس در سرتاسر آن به حد کافی بالا برود، گسل شروع به لغزش می‌کند (بلوک‌ها شروع به حرکت می‌کنند). از دانش‌آموزان سوال کنید که حرکات در مدل بلوک چوبی نمایانگر چه چیزی در یک سیستم گسلی می‌باشد؟ پاسخ زمین‌لرزه است.

6. اکنون، از آنها سوال کنید که در کدام قسمت مدلشان می‌توانند اصطکاک را مشاهده کنند. از یکی از دانش‌آموزان بخواهید تا اصطکاک را دوباره تعریف کند. اصطکاک، نیرویی است که مانع از حرکت دو سطح در تماس، نسبت به هم، می‌شود. در این زمان، دانش‌آموزان باید قادر باشند که اصطکاک ایجاد شده بین سطوح تماسی تسمه سمباده و بعدی از بلوک که با کاغذ سنباده پوشیده شده است، را متذکر شوند. از دانش‌آموزان بپرسید که آیا قادرند بدون به حرکت درآوردن بلوک، نوار پلاستیکی را بکشند. آنها را تشویق کنید که اگر تاکنون این کار را انجام نداده‌اند، امتحان کنند. سپس از آنها سوال کنید که چرا آنها قادر به انجام این کار هستند. پاسخ این است که قطعات کاغذ سنباده با هم جفت شده‌اند و در نتیجه، مانع حرکت بلوک می‌شوند. به عبارت دیگر، اصطکاک بین این دو سطح ناصاف مانع از حرکت بلوک به سمت جلو می‌گردد. اکنون، برای دانش‌آموزان توضیح دهید که در یک گسل فعال نیز، گسل‌ها در هم جفت شده‌اند. همین مسئله، به استرس اجازه می‌دهد تا در سنگ‌های اطراف گسل افزایش یافته و هنگامی که این استرس بر نیروهای اصطکاک غلبه می‌کند، گسل می‌لغزد و زلزله اتفاق می‌افتد. زمانی که یک زمین‌لرزه رخ می‌دهد، انرژی ذخیره شده، از طریق گرمایی اصطکاک، شکسته شدن سنگ‌ها و انتشار امواج زمین‌لرزه، در سطح گسل آزاد می‌شود.

7. از دانش‌آموزان بخواهید که بعد از حرکت بلوک، با دقت بیشتری به نوار لاستیکی، نگاه کنند. آیا نوار لاستیکی پس از هر حرکت به طور کامل شل می‌شود؟ به آنها اجازه دهید تا این آزمایش را چند مرتبه امتحان کنند. جواب منفی است. از آنها سوال کنید که این چه چیزی را در مورد آزاد سازی انرژی ذخیره شده در یک گسل در هنگام رخ دادن زلزله، بیان می‌کند؟ در اینجا، توضیح دهید که پس از یک زمین‌لرزه، بخشی از انرژی ذخیره شده، در سنگ‌های اطراف باقی مانده و منجر به پس‌لرزه‌ها می‌شود. پس‌لرزه‌ها، زلزله‌هایی هستند که پس از بزرگترین شوک زلزله ایجاد می‌شوند. آنها معمولاً کوچکتر از شوک اصلی هستند.

8. برای دانش‌آموزان توضیح دهید که مدل آنها، فرآیندی را تحت عنوان نظریه برگشت‌پذیری ارتجاعی است، نمایش می‌دهد. در واقع، نظریه برگشت‌پذیری ارتجاعی، بیان می‌کند که همزمان با اینکه صفحات تکنیک نسبت به یکدیگر حرکت می‌کنند، انرژی کشسانی (یا استرس) در سنگ‌های اطراف سطوح گسلی افزایش می‌یابد و از آنجایی که صفحات گسل نامنظم اند در یکدیگر جفت شده و این انرژی شروع به جمع شدن می‌کند. زمانی که انرژی کشسانی بر نیروهای اصطکاک که صفحات گسل را در کنار یکدیگر نگه داشته، غلبه می‌کند، گسستگی اتفاق می‌افتد. برای مشاهده این نظریه شکل 4 را ببینید.

9. اکنون زمان خوبی است تا در مورد بعضی از محدودیت‌های این مدل بحث کنیم. دانش‌آموزان را تشویق کنید تا افکار خود را در این زمینه مطرح کنند. از آنها بپرسید که چگونه مدل آنها ممکن است متفاوت با یک گسل و زمین‌لرزه واقعی باشد. مثلاً سطح گسل در مدل آنها نسبت به جهت جاذبه زمین، افقی است در حالی که طبیعتاً چنین گسل‌هایی وجود ندارد.

10. در این مرحله، از دانش‌آموزان سؤال کنید که آیا با استفاده از این مدل می‌توانند میزان جابجایی، پس از هر حرکت بلوک و همچنین زمان انتظار بین هر حرکت بلوک را پیش‌بینی کنند و تخمین بزنند. به دانش‌آموزان اجازه دهید تا مدل خود را به کار گیرند تا بدین سؤالات پاسخ دهند. از یک دانش‌آموز در هر گروه بخواهید تا این مدل را بسازد و استفاده کند. برای اطمینان بیشتر، از دانش‌آموزان بخواهید تا هنگام کشیدن نوار متری، حرکت یکنواخت و مداوم به کار گیرند. از آنها سؤال کنید که آیا آنها قادر هستند تا رفتار قاعده‌مندی را در مدلشان داشته باشند، هنگامی که تمام متغیرها را یکسان در نظر می‌گیرند. جواب منفی است. همین نکته، نشان می‌دهد که پیش‌بینی زمین‌لرزه کار آسانی نیست. وقتی که ما نمی‌توانیم رفتار قاعده‌مندی پیرامون مدل ساده خود بدست آوریم، پس بسیار سخت است که آن را در رفتار پیچیده سیستم زمین مشاهده کنیم.

11. برای دانش‌آموزان توضیح دهید که اندازه‌گیری‌های کمی، اطلاعاتی را برحسب اعداد، نسبت‌ها و دیگر کمیت‌های قابل اندازه‌گیری فراهم می‌سازد. از آنها بخواهید تا تعدادی دیگر از انواع اندازه‌گیری‌های کمی را نام ببرند (دقیقه، ساعت و سانتیمتر). اکنون، از دانش‌آموزان سؤال کنید که چه جنبه‌هایی از مدل آنها می‌تواند به صورت کمی اندازه‌گیری شود؟ دانش‌آموزان می‌توانند جابجایی پس از حرکت هر بلوک را با استفاده از یک خط کش و زمان بین هر حرکت را با استفاده از یک ساعت مچی اندازه‌گیری کنند. از دانش‌آموزان سؤال کنید که آیا حرکت کشیدن یکنواخت که در متر نوار توسط یک دانش‌آموز ایجاد شد، می‌تواند اندازه‌گیری شود؟ انرژی (یا استرس) در نوار لاستیکی چگونه؟

12. برای دانش‌آموزان توضیح دهید که دانشمندان روش‌های متنوعی را به کار گرفته اند تا میزان جابجایی در امتداد گسل‌ها، زمان مابین رخداد زلزله‌ها، حرکات صفحات تکنیکی و انرژی کشسانی ذخیره شده را اندازه‌گیری کنند. این اندازه‌گیری‌ها به دانشمندان کمک می‌کند تا زمین‌لرزه‌ها را بهتر بشناسند و پیش‌بینی‌هایی را راجع به آن ارائه دهند.

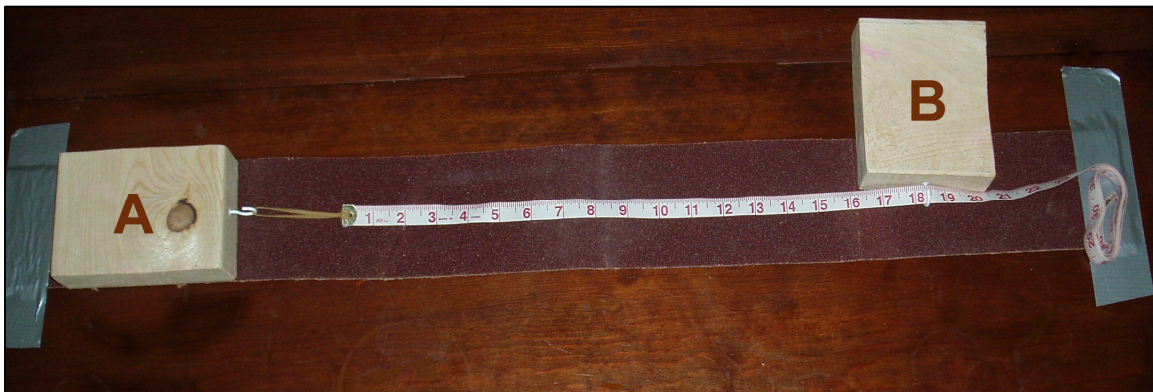
13. در اینجا، از یکی از دانش‌آموزان بخواهید که با استفاده از اطلاعاتی که از اجرای مدل بدست آورده، تعریفی از زمین‌لرزه ارائه دهد، و سپس بحث را خاتمه دهد.

منابع مفید:

Hubenthal, M., Braile, L., & Taber, J. Redefining earthquakes and the earthquake machine. *The Science Teacher* 75, 32–36 (2008).



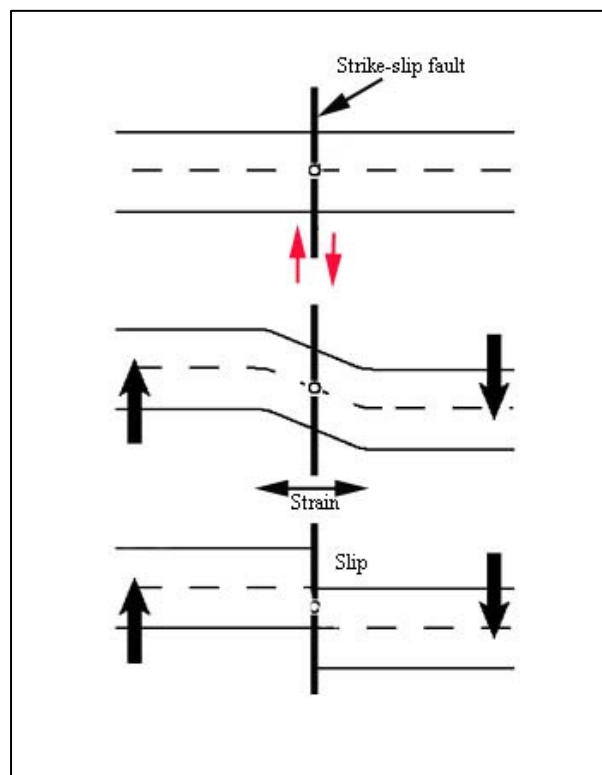
تصویر 1، بلوک های به کاررفته در مدل



تصویر 2، مدل نهایی - کاغذ سنباده، تنها به کف بلوک A چسبانده شده است.



تصویر 3: دانش آموزی مشغول استفاده کردن مدل است.



تصویر 4 : نمایش تئوری برگشت پذیری ارتجاعی (از بالا به پایین): موقعیت اصلی مسیر، افزایش تنش هنگامی که گسل ها در هم جفت می شوند و سپس آزاد شدن آن در جریان زمین لرزه.