

## درس نهم: خطرات ناشی از سازه ها

این درس دانش آموزان را با برخی از مفاهیم پایه در باره خطرات ناشی از سازه ها در زمینه زمین لرزه آشنا میکند. بسیاری از شهر ها ساختمانهای متنوعی از لحاظ اندازه، شکل، سبک معماری و مواد ساختمانی دارند. این درس با استفاده از یک فعالیت تحلیلی و سه آزمایش عملی به بررسی مسایل پایه در چگونگی رفتار سازه های مختلف در برابر زمین لرزه می پردازد. کار رومیزی شامل تحلیل بصری تصاویر واقعی از مناطق زلزله زده در آسیای مرکزی میباشد. آزمایش های عملی به بررسی نحوه عملکرد سازه های مختلف در زیر بار می پردازد.

در این درس، آزمایش میز لرزان برگرفته از مجموعه (Rathjen (2004 می باشد. آزمایش دیوار مدل برگرفته از (Beven et al. (1995 می باشد.

فعالیت تحلیلی به 45 تا 60 دقیقه زمان احتیاج دارد. آزمایشهای عملی به 2 تا 3 ساعت زمان احتیاج دارند.

### مقدمه:

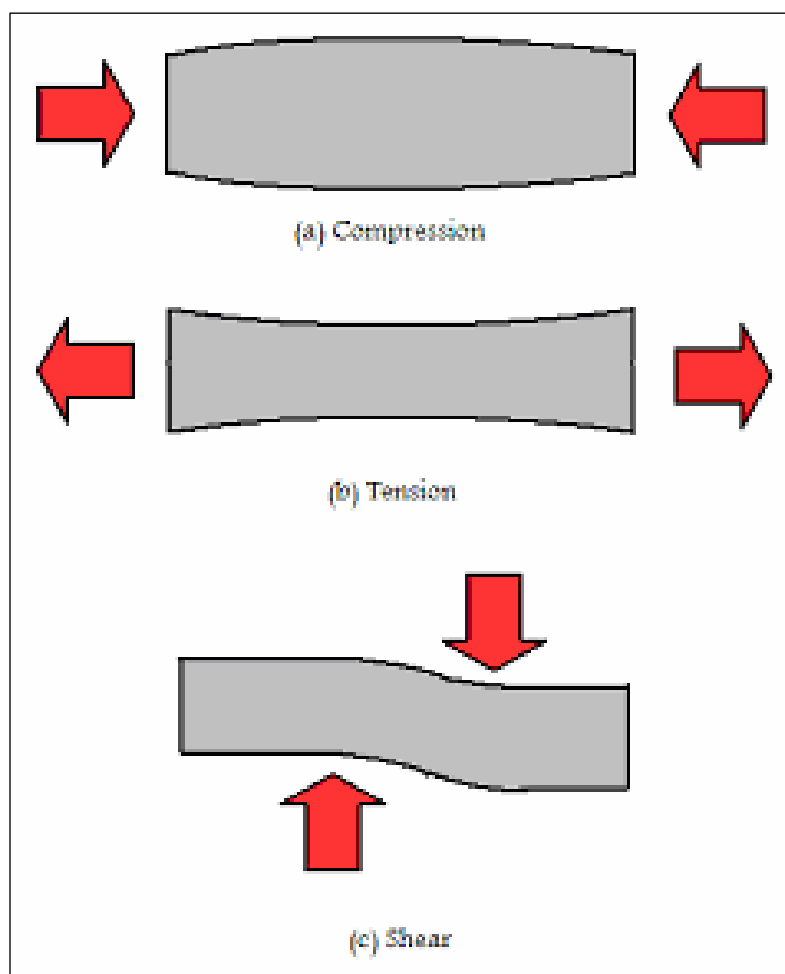
1. با دانش آموزان مروری بر دو نوع اصلی امواج زلزله: امواج P و S، داشته باشید. تفاوت های این دو نوع موج را مقایسه کنید. ( امواج نوع P از نوع فشاری و طولی هستند و در مجموع از قدرت تخریبی کمتری نسبت به امواج نوع S برخوردارند؛ امواج نوع S عرضی میباشند و عمود بر مسیر انتشار حرکت میکنند). امواج سطحی که ترکیبی از امواج P و S هستند بیشترین تخریب را در زمین لرزه ایجاد می کنند، زیرا که این امواج در هر دو راستای عمودی و افقی حرکت میکنند و باعث تخریب در سازه ها میشوند. لطفاً برای اطلاعات بیشتر در باره امواج زلزله به درس 6 رجوع کنید.

2. سه نیروی وارده (بار) مختلف وجود دارند که عبارت اند از: نیروی فشاری، کششی و متقاطع (برشی) که در این درس به بررسی آنها خواهیم پرداخت. نیروی فشاری از خارج سطح به داخل عنصری از سازه وارد میشود و آن را فشرده میکند. نیروی کششی از سطح عنصری از سازه به سمت خارج وارد میشود و آن عنصر را به جهت های متقابل میکشد و باعث کشیده گی در آن میشود ( بطور مثال، وقتی که یک بند کشی را می کشید). نیروی برشی به موازات سطح به صورت عمود بر نیروهای فشاری و کششی به عنصری از سازه وارد میشود. مقداری خمیر را به شکل یک استوانه در بیاورید تا دانش آموزان این سه نیرو را به آن وارد کرده و تغییر حالت را در شکل این عنصر مشاهده کنند. به دانش آموزان درس 4 را یاد آوری کنید که در آن از خمیر پیتزا به شکل یک توپ برای این مشاهدات استفاده کردند. به دانش آموزان بگویید که حتی عناصر بسیار مستحکمی از یک سازه که از فلز یا سنگ ساخته شده اند نیز در واکنش به این نیروها تغییر حالت میدهند، هر چند که به چشم غیر مصلح نمیتوان تغییر حالت های کوچک را مشاهده کرد. نموداری از بارگذاری های مختلف و نتایج آنها در تغییر حالت بر روی عناصر سازه در شکل شماره 1 نشان داده شده است.

3. برخی از مواد و ساختار ها میتوانند مقاومت بیشتری در مقابل بارگذاری های مختلف از خود نشان بدهند. بطور مثال، سنگها تحمل بیشتری در برابر نیروهای فشاری دارند، اما به دلیل شکننده بودنشان تحمل چندانی در برابر نیروی کششی ندارند. بیشتر فلزات، مانند آلومینیوم و استیل، توانایی تحمل انواع بارگذاری ها را دارند به شرط آنکه شکل مناسبی داشته باشند. بطور مثال، یک لوله فلزی میتواند انواع بارگذاری ها را به خوبی تحمل کند، اما با یک ایراد کوچک در شکل آن (مانند فرورفتگی یا سوراخ در بدنه لوله) به شدت ضعیف میشود. جهت نشان دادن این قضیه، از دو لوله مقوایی (لوله ی مقوایی دستمال حوله ای) استفاده کنید. یکی از لوله ها را 90 درجه خم کنید، و سپس آن را به حالت اولیه باز گردانید. دو لوله را به حالت عمودی در فاصله ی 30 سانتیمتر از یک دیگر در روی سطح صاف میز قرار دهید. سپس جسم سنگینی را (مانند یک کتاب قطور) روی هر کدام

به نوبت بگذارید. در نهایت مشاهده خواهید کرد که لوله ای که خم شده بود توانایی کمتری در تحمل بار نصب به لوله خم نشده دارد.

4. در جهت ساخت یک عنصر سازه ای میتوان از ترکیب مواد مختلفی با یکدیگر استفاده کرد که میتواند عکس العمل خوبی به انواع بار گذاری ها نشان دهد. از بتون که ماده ای با خواص سنگی میباشد، میتوان در ترکیب با میله های آهنی در طول آن برای ساخت سازه ای استفاده کرد که در هنگام وارد آوردن نیروی فشاری، بتون بار آن را تحمل کند و در مقابل نیروی کششی وارده، میله های آهنی بار آن را تحمل کنند.



شکل 1. انواع مختلف بارگذاری

## فعالیت تحلیلی: عمو معمار

**تذکره!** این فعالیت تحلیلی جهت تشریح خطرات ناشی از سازه ها در هنگام زمین لرزه آماده شده است. خطرات سازه ها بسته به توپوگرافی، جغرافیای منطقه و معمارسازنده بنا از ناحیه ای با ناحیه دیگر و همچنین طرز کار و کیفیت مصالح استفاده شده متفاوت می باشد. این تمرین به بررسی مطالب پایه ای می پردازد که میتوان آن را با مشاهده نمونه های واقعی سازه هایی که در زمین لرزه سالم ماندند و یا بعد از زمین لرزه ساخته شده اند آموخت.

سناریوی زیر را مطالعه کنید، این مطالب را با دانش آموزان خود به بحث بگذارید و برای پاسخگویی به پرسشهایی که مربوط به بحث خطرات زمین لرزه میباشد توقف کنید:

سامی با خانواده اش در شهری زندگی میکند که زمین لرزه بسیار قدرتمندی به تازگی بخشهای زیادی از شهرشان را ویران کرده است. خوشبختانه، خانواده سامی با رعایت برخی مسائل پایه (مانند، جعبه کمکهای اولیه، مقداری آب و غذا و طرح ارتباطات بین اعضای خانواده؛ آماده سازی برای زمین لرزه با جزئیات در درس 11 مورد بحث قرار میگیرد) آمادگی لازم را برای مقابله با زمین لرزه داشتند. حال که زمین لرزه تمام شده است، بسیاری از مردم شروع به کار دشوار بازسازی شهر کرده اند.

عمو سامی آقای جلالی، یک معمار میباشد و با مردمی که شب و روز به خانه او می آیند تا از او برای تعمیر، بازسازی و یا مقاوم سازی خانه ها ایشان برای زمین لرزه بعدی کمک بگیرند، بسیار مشغول شده است. آقای جلالی تا حدی گرفتار کار شده است که بسیاری از بهترین همدستانش نیز غرق در کار هستند و او از سامی درخواست کمک کرده است. سامی کار خود را به عنوان شاگرد نزد آقای جلالی شروع میکند، وظایفی به او واگذار میشود که او را قادر به تشخیص بهترین جنبه های طرح یک بنا در جهت سالم ماندن آن در زلزله میکند. نخستین کار سامی بررسی ساختمانهایی در اطراف شهر میباشد که در مقابل زمین لرزه ایستادگی کرده اند. او با برادرش مشغول به گردش در اطراف شهر شد، عکس و یادداشت های بسیاری ثبت کرد و اکنون به جهت یافتن الگوی مناسب به بازبینی آنها پرداخته است.

در ابتدا تعداد عکس ها به قدری زیاد بودند که سامی نمی دانست از کجا شروع کند.

**پرسش 1:** تصاویر موجود چگونه میتوانند به سامی در بررسی دلایل مقاومت بعضی از ساختمانها در مقابل زمین لرزه در حالی که دیگر ساختمانها فرو ریخته اند، کمک کنند؟ و چرا یادداشت برداری در ارتباط با عکس ها مهم میباشد؟

**تذکره!** این پرسش به صورت بسیار کلی طراحی شده است تا دانش آموزان را با محدود بودن روش های جمع آوری اطلاعات آگاه سازد. پاسخ های بسیار متنوعی میتوان به این پرسش داد که بسیاری از آنها ممکن است هیچگونه ارتباطی با موضوع درس (خطرات ناشی از سازه ها) نداشته باشند. دانش آموزان را تشویق کنید تا نظراتشان را با یکدیگر به اشتراک بگذارند و در صورت لزوم، اجازه دهید تا تصاویر و یادداشت های ضمیمه را نگاه کنند تا ایده ای برای شروع داشته باشند.

**پاسخ های ممکن:** ذهن و حافظه انسان به صورت انتخابی بر روی موضوعات خاص یا نکته های مورد علاقه تمرکز میکند، در صورتی که تصاویر کل منظره را ثبت میکنند. تصاویر حاوی اطلاعات بسیاری هستند که ذهن انسان ممکن است به آنها در لحظه توجهی نکند و یا زمان بیشتری برای پردازش احتیاج داشته باشد، لذا، تصاویر روش بسیار مفیدی برای نگهداری اطلاعات در باره سازه ها میباشد.

یادداشت برداری در هنگام عکاسی بسیار مهم می باشد زیرا که به آسانی میتوان فراموش کرد که یک عکس کی و کجا گرفته شده است، به خصوص وقتی تعداد زیادی عکس در یک روز گرفته شده باشد. همچنین تصاویر نمیتوانند اطلاعات مهمی را که به فهم دلایل سالم ماندن یک سازه خاص کمک کرده اند را ثبت کنند، مانند قدمت سازه، مرطوب بودن یا نبودن خاک و یا اینکه سازه بر روی سطح شیبدار بنا شده. این اطلاعات میتوانند در پیشبینی مشکلات آینده ای که ساختمان ممکن است تجربه کند کمک کنند، مانند میعان (رجوع شود به درس 7) یا رانش زمین (رجوع شود به درس 8).

سامی تصمیم گرفت تا بر روی تصاویری تمرکز کند که در آنها ساختمان هایی که پس از زمین لرزه سالم مانده اند در کنار ساختمانهایی هستند که به طور کامل و یا قسمتی از آنها ویران شده است (مانند تصویر شماره 1 تا 6). در این صورت، شدت زمین لرزه و ترکیبات خاک برای ساختمانهای به تصویر کشیده شده یکسان می باشد. این روش به مقایسه سازه هایی که ویران شده اند و سالم مانده اند در شرایط یکسان کمک میکند.

**پرسش 2:** تصاویر شماره 1 و 2 را با هم مقایسه کنید. چه شباهتها و تفاوتهایی را در مورد سبک و مصالح سازه ها می بینید؟ آیا دلایلی وجود دارد که ساختمان تصویر شماره 1 کاملاً ویران نشده است در صورتی که ساختمان تصویر شماره 2 ویران شده است؟

**پاسخ های ممکن:** با توجه به یادداشتها، هر دو تصویر در نزدیکی خرابه های باستانی شهر گرفته شده اند. در هر دو ساختمان از آجر استفاده شده است، اما در خرابه های باستانی از آجرهای گلی استفاده شده است در صورتی که در ساختمانهای قدیمی از آجرهای سنگی مدرن استفاده شده است. با این حال که خرابه های باستانی بسیار قدیمیتر از ساختمان های ویران شده در تصویر 2 می باشند، از زمین لرزه جان سالم به در برده اند بدون فروریختن سقفهایشان. احتمالاً، خرابه های باستانی از زمین لرزه های قدرتمند دیگری نیز در صد سال گذشته جان سالم به در برده اند.

برخی از دلایل ممکن عبارت اند از: خرابه های باستانی از سازه های گنبدی شکل به عنوان تکیه گاه برای سقف استفاده کرده اند، در صورتی که ساختمانهای جدیدتر از دیوارهای صاف با زاویه عمود استفاده کرده اند، بنابراین سطوح منحنی و گنبدی مقاومت بیشتری در برابر زمین لرزه نصبت به دیوار های صاف و ساختمان های مکعبی شکل دارند. این نظریه با تکیه کردن بر تصویر شماره 1، که در آن، در حالی که سقف ها و دیوارهای متصل به آنها سالم مانده اند، دیوار صافی که جزئی از گنبد نبوده است ویران شده است. همچنین، ساختمانهای باستانی در تصویر 1 ممکن است توسط بنا بهتری نسبت ساختمانهای تصویر 2 ساخته شده باشند. سامی باید بررسی های بیشتری با بازدید مجدد بناها و جمع آوری اطلاعات بیشتر بکند قبل از آنکه نتیجه گیری قطعی بکند.

سامی وقتی که تصاویر را نگاه می کرد متوجه شد که او فقط بر روی ساختمانها تمرکز میکرد، چیزهای بیشتری از ساختمانها وجود دارد که باید توجه کرد.

**پرسش 3:** به تصاویر 3 و 4 نگاه کنید. چه اشیاء دیگری در تصاویر در کنار ساختمانها در زمان زمین لرزه ویران نشده اند؟ چه ویژه گی هایی در این اشیاء از ویران شدنشان جلوگیری کرده است، در حالی که ساختمانهای دیگر ویران شده اند؟ آیا خطرات دیگری مربوط به این اشیاء وجود دارد که با خطرات مربوط به ساختمانها متفاوت باشند؟

**پاسخهای ممکن:** انتظار پاسخهای متفاوتی را از دانش آموزان خود داشته باشید. برخی از اشیاء ممکن است، درختان، تیر برق و تلفن، خودروها و تابلوها باشند.

درختان در مقابل زمین لرزه مقاومند زیرا ساختار ریشه های آنها در عمق زمین آنها را مهار کرده است و نیز آنها از توازن خوبی در هر جهت برخوردارند. چوب، به عنوان یک ماده، بسیار قوی و سبک میباشد. هرچند که درختان نسبت به ساختمانها پایداری بیشتری در برابر با زلزله دارند، نباید زیر آنها پناه گرفت، مگر آنکه به شدت لازم باشد زیرا که در هنگام زمین لرزه شاخه های آنها شکسته و بر زمین می افتد. در کل، بهتر است که مقدار مواد بالای سر را در کمترین حد در هنگام زمین لرزه نگه داشت.

تیرهای برق و تلفن نیز در زمین مهار شده اند، اما بعضی اوقات نه به خوبی یک درخت. آنها باید وزنی که در راستای کابلها به آنها وارد میشود را تحمل کنند، چنانکه هرگونه برهم زدن این تعادل (مثلاً، با افتادن ساختمانها یا شاخه های درخت بر روی سیم ها و ...) باعث واژگون شدن آنها میشود. خودروها و تابلوها به دلیل آنکه بسیار به سطح زمین نزدیک اند و هیچ وزن خارجی بر آنها نیست، به خوبی در مقابل زمین لرزه مقاومت میکنند مگر آنکه شیئی بلندتر از آنها بر رویشان بی افتد.

درختان شاخه های شکسته تولید میکنند و تیرهای برق و تلفن در صورت واژگون شدن بر سر مردم خطر برق گرفتگی دارند. سوخت خودروها در صورت افتادن شیئی بر آنها میتواند نشت کند. ساختمانها باید طوری طراحی بشوند که این خطرات را به حد اقل برسانند.

سامی متوجه شد که ساختمانهای تصاویر 4 و 5 همچنین از سنگ و آجر در ساختارشان استفاده کرده اند مانند ساختمانهایی که در تصویر 2 ویران شده اند، اما بیشتر این ساختمان ها هنوز سالمند در صورتی که دیگر ساختمان های اطرافشان ویران شده اند.

**پرسش 4:** با دقت به ساختمانهای تصاویر 4، 5 و 6 نگاه کنید. چه چیزی در این ساختمانها متفاوت است، و چرا این تفاوتها به سالم ماندن آنها در زمین لرزه کمک کرده است؟

**پاسخ های ممکن:** اگر با دقت نگاه کنید، خواهید دید که دیوار های عمودی در تصاویر 4، 5 و 6 با فلز مستحکم شده اند، هر چند چگونگی مستحکم سازی در هر یک از آنها متفاوت است. در تصویر 4 از تیر آهن های ضرب دری در دیوار آجری استفاده شده است. در تصویر 5، دیوار ها از سیمان و سنگ ساخته شده اند و دیوار مستحکم نشده مقابل آنها فرو ریخته است. اما در دیوار های سالم مانده ای که سر بازکرده اند در تصویر 5، میتوانید میلگردها را در طول آنها ببینید. (در جلوی دیوار بالایی میله گرد های فلزی را که بیرون زده اند متوانید ببینید. میلگردها را به موازات دیوار در طول در طبقه پایینی در جاهایی که سیمان ریخته است را میتوانید مشاهده کنید). در تصویر 6، به صورت مشابه، بنا ی کوچکی در کنار یک بنا ی بزرگتر، در این بنا نیز میتوانید میلگردهایی را که از بالای آن بیرون زده اند را ببینید و احتمالاً توسط همان گروهی که ساختمان پشت آن را ساخته اند ساخته شده است. این بدیهی است که دیوار ساختمان بزرگ در قسمت پایین سمت راست، به طور کامل از آجر ساخته نشده است، بلکه آجر کاری ها در میان یک چهارچوب مستحکم شده میباشند. ترک ها در طبقه بالایی ساختمان بزرگتر در سمت راست، نشان میدهد که هر چند چهارچوب از آجرها جدا شده است اما حتی رنگ سطح خارجی دیوار همچنان سالم است.

مستحکم سازی توسط فلز در جهت مقاوم کردن دیوار های آجری یا سنگی بسیار مهم میباشد زیرا که توان کششی را به آنها اضافه میکند (قابلیت مقاومت در برابر نیرو های کششی). این بدان معنی است که دیوار میتواند کشیده شود (در طول یا در عرض) بدون آنکه به سادگی شکسته شود. سنگ و آجر نیروهای فشاری را میتوانند به خوبی تحمل کنند. به هر حال، دیوار های سنگی و آجری وقتی که کشیده میشوند در پاسخ به نیروهای کششی و یا برشی با تحمل بار بسیار کمتری نسبت به نیروهای فشاری ترک بر میدارند و یا فرو می ریزند. در طول زمین لرزه، لرزشها تمام نیروهای کششی، برشی و فشاری را به تمام اجزاء سازه وارد میکنند. فلز بسیار انعطاف

پذیرتر از موادی مانند سنگ میباشد. بنابراین، ترکیب فلز و آجر یا سنگ میتواند نیروهای فشاری، کششی و برشی را به خوبی تحمل کند و انتظار میرود که از زمین لرزه جان سالم به در برد.

سامی در طول روز متوجه شد که فرو ریختن دیوارها همیشه باعث فرو ریختن سقف نمیشوند، به ویژه اگر دیوارها با فلز مستحکم شده باشند. چنانچه سامی با مردم در سطح شهر صحبت کرد، بارها و بارها از آنها شنید که فرو ریختن سقف خطری بسیار جدی میباشد. مردم بسیاری از فرو ریختن سقفهای سنگین بر سرشان آسیب دیدند، در زیر آوار گیر افتادند و یا کشته شده اند.

**پرسش 5:** تصاویر 7 و 8 را با یکدیگر مقایسه کنید. چه چیزی در مورد سقف این ساختمانها در قیاس با سقف ساختمانهای دیگر در دیگر تصاویر متفاوت است؟ چرا این سقفها مقاومت بیشتری در مقابل زمین لرزه دارند؟

**پاسخ های ممکن:** سقف بیشتر ساختمانها در تصاویر 7 و 8 از مواد سبک و انعطاف پذیر ساخته شده اند، از جمله چوب و ورقه نازک فلزی. در تصاویر دیگر سقف ساختمانها اصولاً از مواد سنگین و غیر قابل انعطاف مانند خشت گلی، آجر، سنگ و سیمان ساخته شده بودند.

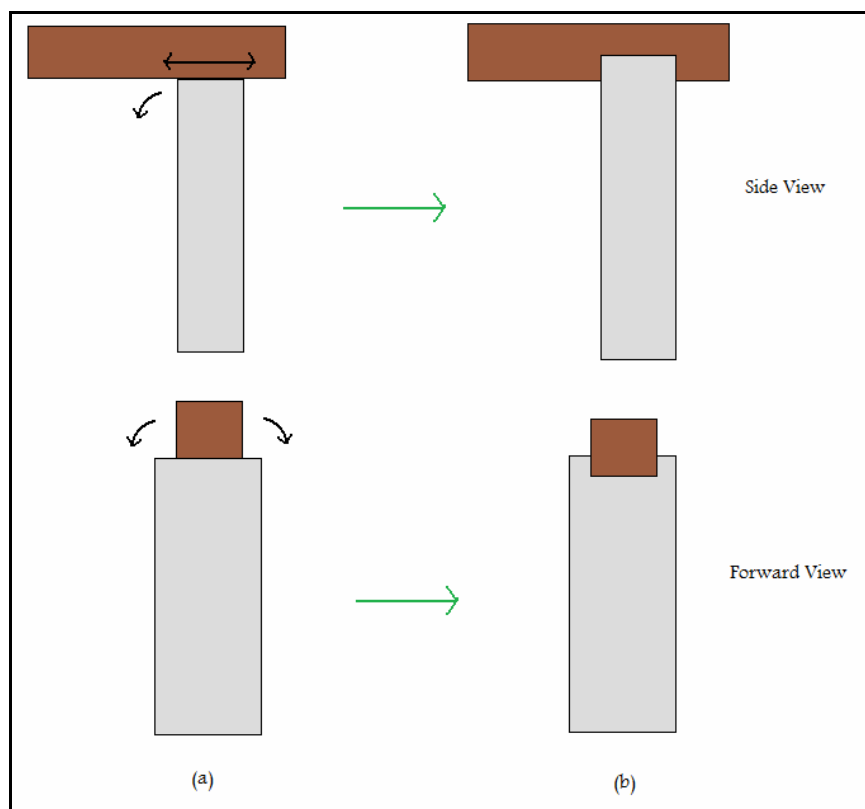
به دلایل مختلفی چوب و فلز در مناطق زلزله خیز بهتر از مواد سنگین میباشند. واضحترین دلیل این است که وقتی این سازه های سبک فرو میریزند، وزن مواد تشکیل دهنده سقف بسیار سبکتر میباشند و در نتیجه جراثت کمتری را به افراد حبس شده در ساختمان وارد میکنند. به علاوه، به دلیل آنکه این مواد سبک وزن دارای انعطاف پذیری بیشتری میباشند، شکل خود را وقتی که در هنگام زمین لرزه فرومی ریزند حفظ میکنند. این بدان معنی است که در زیر آوار میتواند فضای خالی بیشتری وجود داشته باشد و افراد زیر آوار شانس بیشتری برای نجات دارند (بلعکس، سقفهای آجری یا سنگی به صورت کپه ای فرو میریزند و فضای خالی کمتری باقی میگذارند).

سامی خانه ای را بازدید کرد که توسط عمویش با استفاده از سقف سبک وزن ساخته شده بود، اما چیزی در مورد نحوه اتصال ستون بتونی به تیرچه های چوبی او را آزار می داد. او از اتصالات عکس گرفت تا در خانه به آنها نگاه کند و در مورد چیزی که ذهنش را مشغول کرده بود فکر کند. وقتی که او با نجات یافتگان زمین لرزه صحبت میکرد یاد گرفت که تیرچه های چوبی در هنگام زمین لرزه در جای خود به شدت تکان می خورند و حتی میتوانند به سمت بالا و پایین جهش کنند.

**پرسش 6:** با دقت به اتصالات سقف در تصویر 8 نگاه کنید. به نظر شما چه چیزی در مورد قرار دادن تیرچه چوبی بر روی ستون بتونی سامی را آزار می داد؟ شما چگونه این اتصالات را برای مقاوم بودن در برابر زمین لرزه طراحی میکنید؟

**پاسخهای ممکن:** تیرچه های چوبی بر سطح صاف ستون بتونی قرار گرفته اند. اگر تیرچه چوبی و سطح ستون بتونی در هنگام زمین لرزه به جلو و عقب، به کناره ها و یا به بالا و پایین بلغزند، به احتمال زیاد این امر باعث فرو ریختن سقف میشود.

یک راه بهتر برای طراحی این اتصال میتواند این باشد که شیاری را در ستون بتونی ایجاد کنیم تا تیرچه چوبی در آن جای بگیرد. بدین ترتیب، در هنگام لرزه های شدید ساختمان تیرچه چوبی به سختی ممکن است که از محل اتصال جدا شود و پس از لرزه ها باز در شیاری به جای خود باز می گردد. چنانچه در شکل شماره 2 میتوانید مشاهده کنید.



**شکل 2. (a)** شمایل اتصال تیرچه چوبی بر روی سطح صاف ستون بتونی. **(b)** اتصال تیرچه چوبی با ستون بتونی با قرار گرفتن در شیار. پیکان‌های سیاه جهت‌های ممکن‌ی که تیرچه می‌تواند در آن حرکت کند و بیفتد را در شکل (a) نشان می‌دهد، اما این حرکتها در شکل (b) با استفاده از شیار مهار شده‌اند.

### فعالیت تحلیلی : ساخت و مستحکم سازی سازه ها

حالا که دانش آموزان شانس مشاهده و تفکر درباره سازه های واقعی که در طول زمین لرزه سالم مانده اند یا فرو ریخته اند را داشته اند، میتوانند خطرات سازه ها و مهارتهای کاهش آنها را در این کلاس 3 روزه بررسی کنند. در روز اول، دانش آموزان یک سازه مدل را میسازند و واکنش آن به بارگذاری را توضیح میدهند. در روز دوم، دانش آموزان مدل هایی را میسازند و بر روی میز لرزان آنها را مورد آزمایش قرار میدهند تا نحوه واکنش سازه ها را به فرکانسهای مختلف بفهمند و با پدیده تشدید آشنا بشوند. در روز سوم، دانش آموزان با ساخت یک دیوار مدل چگونگی مستحکم سازی یک سازه را با استفاده از اجزایی مانند اتصال قطری، دیوار متقاطع و بستهای صلب می آموزند.

### مواد لازم

#### روز اول:

- یک مجموعه از مکعب های فومی، در اندازه های مختلف
- قطعات سیم، هر یک به طول 30 سانتی متر
- گیره کاغذ
- خلال دندان
- یک آجر یا یک جسم سنگین

- یک اره مویی برای برش فم
- نی پلاستیکی
- سوزن ته گرد

### روز دوم:

- یک عدد میز لرزان زمین لرزه – به [http://www.exo.net/~donr/activities/Shake\\_Table.pdf](http://www.exo.net/~donr/activities/Shake_Table.pdf) رجوع شود.
- یک مجموعه از مکعب های چوبی در ابعاد مختلف
- یک مجموعه از مکعب های فومی، در ابعاد مختلف

### روز سوم:

- کپی پیوسته های 1 الف و 1 ب (یک کپی برای هر گروه، پیوسته ها در پایان درس میباشند)
- مواد لازم برای یک دیوار مدل:
- 21 عدد چوب بستنی به ابعاد تقریبی  $2 \times 15$  سانتی متر و ضخامت 2 میلی متر
- دریل برقی با مته 16.3 اینچ
- یک تکه نوار چوبی به ابعاد 45 سانتی متر طول و 6 سانتی متر عرض و ضخامت 2 میلی متر
- یک قطعه چوب ضخیم به مقطع  $2 \times 6$  سانتی متر به طول 45 سانتی متر
- 16 عدد پیچ،  $10 \times 24$  به طول 2 سانتی متر
- 16 عدد مهره  $10 \times 24$
- 32 عدد واشر شماره 8
- 7 پیچ چوب کوچک
- اجزای مستحکم سازی برای یک دیوار:
- 2 تکه سیم به طول 25 سانتی متر
- 1 تکه مقوا به ابعاد  $15 \times 15$  سانتی متر
- 8 عدد گیره کاغذ کوچک برای بستن مقوا

**تذکر:** میز لرزان و دیوار مدل باید قبل از کلاس به طور صحیح ساخته و آزمایش شوند. توصیه میشود که در صورت امکان دانش آموزان در جریان سر هم کردن آنها حضور داشته باشند.

### روش کار (روز اول)

1. دانش آموزان را به گروه های کوچک تقسیم کنید. به هر گروه مقداری از فم، سیم، گیره کاغذ و خلال دندان بدهید. به هر گروه توضیح دهید که آنها یک گروه از مهندسان زلزله شناس هستند و باید قوی ترین سازه ممکن را با استفاده از مواد ذکر شده برای روز اول بسازند. به آنها بگویید که برای این آزمایش 20 دقیقه زمان دارند. این آزمایش برای آن طراحی شده که دانش آموزان با آن سرگرم شوند، لذا تلاش آنها را مورد انتقاد قرار ندهید.

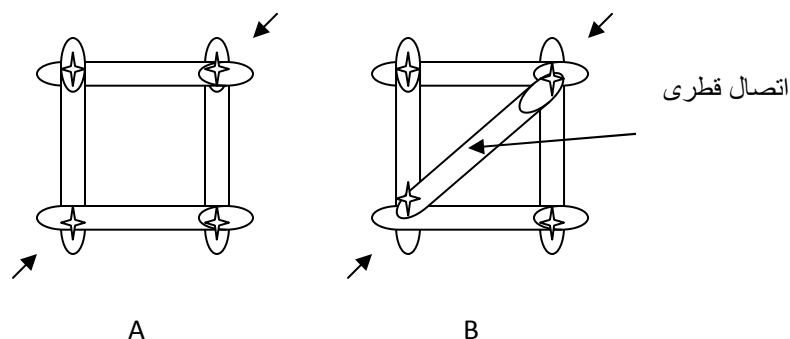


2. از هر گروه بخواهید که یک سخنگو انتخاب کنند. سخنگوی گروه باید نتیجه کارشان را در جلوی کلاس برای همه تشریح کند (مثلاً، چرا اینگونه ساختند).

3. حالا از دانش آموزان بخواهید تا پیش بینی کنند که اگر یک جسم سنگین ماند یک آجر را بر روی سازه هایشان بگذارید چه میشود. به دانش آموزان توضیح دهید که جسم سنگین نیروی ایستایی جاذبه (نیروی عمودی) را شبیه سازی میکند که هر سازه باید آن را تحمل کند. به آنها توضیح دهید که فم نسبت به وزنش بسیار مقاوم است، لذا جسم سنگین میتواند جایگزین وزن تمام اجزاء ساختمان غیر از مصالح ساختمانی (مانند، کف پوش، رویه دیوار و سیمکشی برق و غیره) باشد. به دانش آموزان توضیح دهید که برخی از اجزاء ساختمان مستحکم هستند و توانایی تحمل وزن زیادی را دارند در حالی که برخی دیگر فرو می ریزند اگر وزن زیادی روی آنها باشد.

4. اکنون از دانش آموزان بخواهید تا پیش بینی کنند که اگر پایه سازه هایشان را تکان دهند چه خواهد شد. بگذارید تا این آزمایش را به آرامی بر روی سازه هایشان انجام دهند. آنها را تشویق کنید تا نتایج مشاهداتشان را با دیگران به اشتراک بگذارند.

**نکته:** سازه هایی با شکل مثلث بهتر از اشکال مربعی لرزش را تحمل میکنند. از دانش آموزان علت آن را بپرسید. جهت درک بهتر دانش آموزان، به هر گروه 4 نی نوشیدنی و 4 سوزن ته گرد را بدهید و از آنها بخواهید تا به روش زیر (شکل A) آنها را به هم متصل کنند.



از دانش آموزان بخواهید تا از دو گوشه مقابل هم، مربع را بگیرند و فشار دهند (شکل A). آنها متوجه خواهند شد که به آسانی میتوانند در آن تغییر شکل دهند. حالا از آنها بخواهید تا یک نی دیگر را (یک نی که کمی بلندتر است) اضافه کنند و دو گوشه مقابل هم را توسط آن وصل کنند (شکل B). دانش آموزان باید قادر به تشخیص این نکته باشند که چگونه اتصال قطری میتواند سازه را محکم تر کند. توضیح دهید که آنها با ساختن دو مثلث و اتصال قطری توانسته اند سازه محکمی بسازند. این بدان دلیل است که بار وارده (بر اثر فشار دادن گوشه ها) هر یک از نی ها را در مثلث میکشد و یا می فشارد. اجزاء باریک سازه در هنگام کشش یا فشار مقاوم تر هستند، اما آنها در مقابل خم شدن، نیروی برشی و با وقتی که نیرو از طرف مفاصل به آنها وارد میشود ضعیف تر هستند. در شکل B، در هنگام وارد کردن نیرو، اتصال قطری بیشترین بار را تحمل میکند و فشرده میشود، از این رو اتصال قطری سازه را مستحکم تر کرده است.

( اختیاری ) از دانش آموزان بپرسید که، بدونه دست زدن به سازه، بگویند آیا اتصال قطری در شکل B همچنان میتواند سازه را در برابر فشار وارده از دیگر گوشه های آن که اتصال قطری به آنها متصل نیست (گوشه بالا سمت چپ و گوشه پایین سمت راست)، مقاوم کند؟ چرا؟ پس از آنکه دانش آموزان بحث کردند و به فرضیه ای رسیدند، به آنها اجازه دهید تا فرضیه خود را بر روی مدل آزمایش کنند. پاسخ بلی میباشد، حتی اگر سازه از گوشه های غیر متصل به قطر فشرده شود. در این مورد، قطر بر اثر نیروهای انتقال یافته از مفاصل کشیده میشود. از آنجایی که اجزاء باریک سازه مانند نی در مقابل کشش و فشار مقاوم تر هستند، سازه همچنان محکم میباشد. بگذارید تا دانش آموزان پاسخ هایشان را به بحث بگذارند و با رفتار مدل مقایسه کنند.

5. اکنون از دانش آموزان بخواهید تا پیش بینی کنند که چه میشود اگر پایه سازه هایشان را به آرامی در جهت افقی فشار دهند. بگذارید تا این را بر روی سازه هایشان آزمایش کنند و مشاهداتشان را با دیگر همکلاسی ها به اشتراک بگذارند. توضیح دهید که به ساختمانها در طول زمین لرزه نیرو های افقی نیز وارد میشود، و یک راه آسان برای شبیه سازی آن این است که سازه هایشان را از کنار بکشند و یا فشار دهند. این نیرو ها نسبت به نحوه ساخت ساختمان باعث به وجود آمدن نیرو های فشاری، کششی و برشی در اسکلت ساختمان میشود.

## روش کار (روز دوم)

1. دانش آموزان را به گروه های کوچک تقسیم کنید. به هر گروه مجموعه ای از مکعب های چوبی بدهید. از آنها بخواهید تا یک سازه ساده بسازند، اما به اندازه کافی مقاوم در برابر لرزه های میز لرزان. توضیح دهید که از هر تعداد قطعه چوبی برای ساخت سازه میتوانند استفاده کنند. 10 دقیقه زمان برای این فعالیت در نظر بگیرید.

**نکته:** شما ممکن است که بخواهید به دانش آموزان خود توضیح دهید که میز لرزان چیست، به ویژه اگر آنها در راستای آزمایش همکاری مناسبی نداشته باشند. میز لرزان وسیله ای است که زمین لرزه را شبیه سازی میکند. مهندسين و کارشناسان زمین لرزه از میز لرزان جهت مشاهده عکس العمل سازه هایشان در برابر زمین لرزه استفاده میکنند. به دانش آموزان میز لرزانی را که از آن برای آزمایش سازه هایشان میخواهند استفاده کنند را نشان دهید. بگذارید تا با دقت به جزئیات میز لرزان نگاه کنند. به آنها در مورد چگونگی کارکرد هر جزء توضیح دهید. برای اطلاعات بیشتر در مورد میز لرزان به لینک موجود در پایان این درس رجوع کنید.

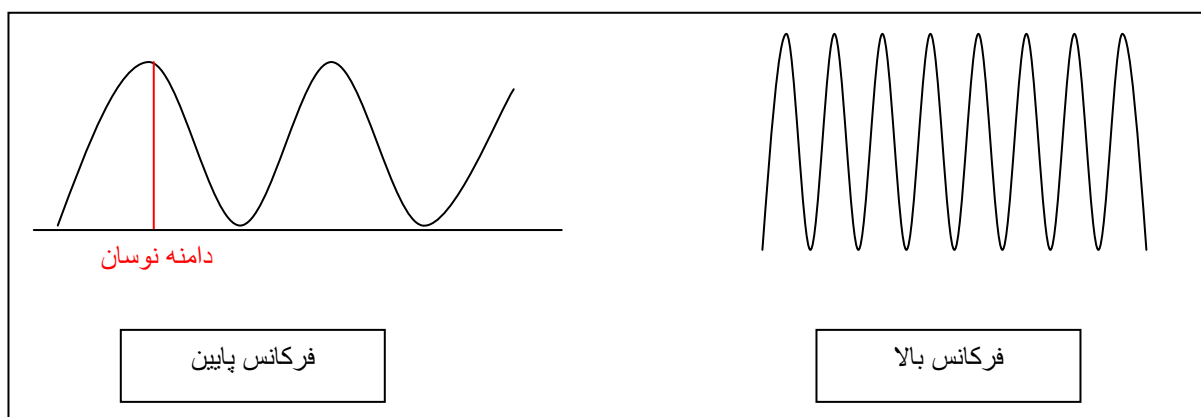
2. اکنون از سخنگوی هر گروه بخواهید تا سازه شان را به جلوی کلاس بیاورند. سخنگوی گروه باید در مورد سازه قبل از قرار دادن آن بر روی میز لرزان توضیح دهد. دانش آموزان را تشویق کنید تا پیش بینی کنند که چه خواهد شد اگر میز شروع به لرزیدن کند. توضیح دهید که موتور میز لرزان دارای نیروسنج میباشد و میتواند با سرعتهای مختلف به لرزه در بیاید. از سخنگو بخواهید تا آزمایش را با سرعت کم شروع کند و به تدریج سرعت آن را زیاد کند. از همه دانش آموزان بخواهید تا به خوبی اتفاقی که بر سازه هایشان رخ میدهد را مشاهده کنند. اجازه دهید تا تمام گروه ها سازه هایشان را آزمایش کنند.

3. دانش آموزان هر گروه را تشویق کنید تا در باره اینکه چرا سازه آنها فرو ریخت و یا نریخت بحث کنند. از آنها بخواهید تا به ارتفاع، وزن و شکل سازه شان در هنگام بحث توجه کنند. دانش آموزان ممکن است که استدلال کنند که ساختمانهای بلند زود تر از ساختمانهای کوتاه فرو میریزند، یا سازه های پهن بهتر دوام میآورند تا سازه های باریک. از آنها بخواهید تا پیش بینی کنند که اگر ساختمان هایی با بلندی مختلف در کنار یکدیگر در اثر زمین لرزه به لرزه در آیند چه میشود. بگذارید تا این موضوع را با قرار دادن یک سازه بلند و یک سازه کوتاه

بر روی میز لرزان آزمایش کنند. ساختمان ها ممکن است در اثر یک زمین لرزه قوی به یکدیگر ضربه بزنند و یا بر روی هم بی افتند.

4. اکنون زمان معرفی مفاهیم دامنه، فرکانس و تشدید میباشد. از آنها بپرسید که چه چیزهایی در باره این مفاهیم میدانند. برخی از دانش آموزان ممکن است بدانند که، مثلاً، تشدید و فرکانس در توضیح دادن تن صدای آلات موسیقی و کیفیت صدای پخش شده از دستگاه های مختلف استفاده میشود. وقتی که میخواهید دامنه را شرح دهید، به دانش آموزان آنچه را که در درس 6 آموختند یاد آوری کنید (انرژی لرزه ای). دامنه مقیاس اندازه گیری انرژی موج میباشد. در این فعالیت، دامنه موج میزان حرکت سازه به کناره ها میباشد. فرکانس میزان تکرار یک حرکت (نوسان) در واحد زمان میباشد. در این فعالیت، فرکانس تعداد نوسانات ایجاد شده توسط موج زمین لرزه در هر ثانیه یا دقیقه میباشد. در مهندسی زمین لرزه، فرکانس میزان نوسانات نقطه بالایی یک سازه میباشد. در هنگام توضیح اصطلاحات فوق، شما ممکن است که بخواهید نموداری مشابه نمودار شماره 3 را بکشید. افزایش دامنه نوسانات یک جسم فیزیکی (در این مورد همان سازه دانش آموزان) در شرایطی که فرکانس نوسانات میز لرزان نزدیک به فرکانس طبیعی آن جسم میباشد را تشدید می گویند.

فرکانس طبیعی را برای دانش آموزان شرح دهید: فرکانس نوساناتی را که یک شیء یا مجموعه به هم پیوسته ای از اشیاء (مثلاً یک ساختمان) نسبت به نحوه طراحی سازه و مصالح ساختمانی به کار رفته از خود نشان میدهد را فرکانس طبیعی آن شیء یا مجموعه می گویند. برای کمک کردن به دانش آموزان در فهم بهتر مفهوم فرکانس طبیعی و تشدید، مثالهایی از فرکانس های طبیعی که در اطرافشان در زندگی روزمره وجود دارد صحبت کنید. وقتی که یک دانش آموز مشغول تاب بازی میباشد، او با فرکانس طبیعی مجموعه تاب/دانش آموز حرکت میکند. وقتی که شما تاب را برای اینکه او بالاتر برود حل بدهید، در واقع شما تاب را با فرکانس طبیعی مجموعه تاب/دانش آموز حل میدهید. این باعث تشدید میشود. در نتیجه هر بار که تاب را حل میدهید دانش آموز بالاتر میرود و دامنه نوسان تاب افزایش میابد. اگر تاب را در فرکانس طبیعی آن حل ندهید، دانش آموز بالاتر نخواهد رفت و تشدید از بین خواهد رفت. اگر زمین لرزه یک ساختمان را در فرکانس طبیعی آن و یا نزدیک به فرکانس طبیعی آن به لرزه در بیاورد، تشدید اتفاق می افتد و این باعث میشود که ساختمان با دامنه بیشتری بلرزد تا اینکه ساختمان از هم پاشیده شود و فرو بریزد.



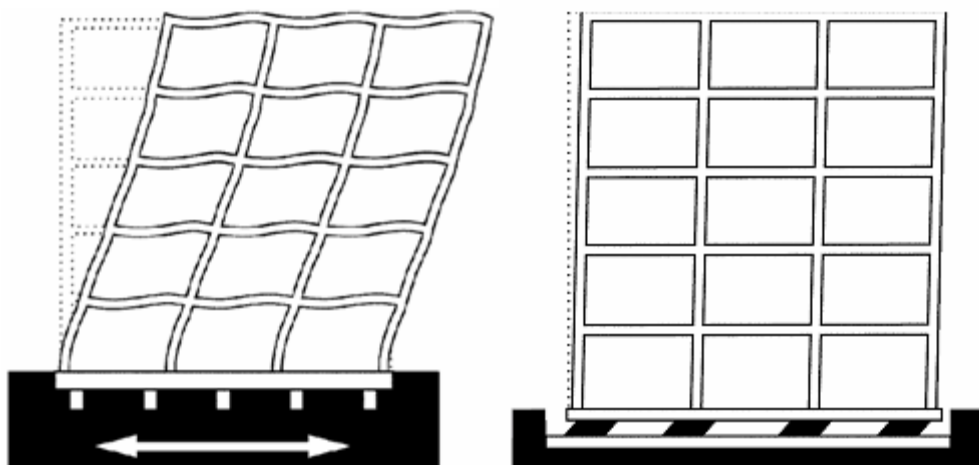
شکل 3. دامنه نوسان، و فرکانس بالا نسبت به فرکانس پایین

5. اکنون یافته های فوق آنها را در ارتباط با یکدیگر قرار دهید. به دانش آموزان توضیح دهید همه اجسام و همه سازه ها (که مجموعه ای از اجسام به هم متصل هستند) دارای فرکانس طبیعی میباشند. توضیح دهید که در هنگام زمین لرزه، ساختمانها نوسان خواهند کرد و اگر این نوسانات نزدیک به فرکانس طبیعی آنها باشد، پدیده تشدید باعث خسارت های شدیدی میشود. اکنون یک قطعه چوب را بر روی میز لرزان بگذارید و دانش آموزان را تشویق کنید تا به دنبال اتفاق افتادن تشدید در هنگام تکان خوردن میز باشند. در هنگام لرزش موتور در یک سرعت خاص، ممکن است که برخی از قسمتهای سازه تقریباً بدون حرکت باشد، در حالی که در جاهای دیگر به شدت نوسان میکند. این ممکن است که درست باشد اما تنها برای نقاط خاصی از سازه و نه برای کل آن. مثلاً، یک نقطه از سازه در یک سرعت خاصی از موتور ممکن است که به وضوح بلرزد، اما همان نقطه در سرعت های دیگر (سرعت بیشتر یا کمتر) لرزشی از خود نشان ندهد. همچنین این احتمال وجود دارد که یک سازه در شرایطی واژگون شود که دیگر سازه ها به سختی میلرزند.

بگذارید تا همه گروه ها سازه هایشان را آزمایش کنند (یا فقط یک قطعه چوب) برای مشاهدات جدید. برای انجام این کار، از یک دانش آموز بخواهید تا یک قطعه چوب را به صورت عمودی بر روی میز لرزان قرار دهد و به آرامی فرکانسهای مختلف را با استفاده از پیچ تنظیم موجود بر روی میز لرزان امتحان کند. در فرکانسهای پایین، احتمالاً قطعه چوب لرزش چندانی نخواهد داشت، اما در فرکانسهای بالا به شدت خواهد لرزید و قاعداً واژگون خواهد شد. این فرکانس طبیعی قطعه چوب می باشد. اگر دانش آموز به سرعت به این فرکانس برسد، واکنش قطعه چوب شدید خواهد بود و ممکن است که سر جای خود باقی بماند، هر چند که میز سریعتر تکان می خورد. فرکانس طبیعی برخی از قطعات ممکن است که خارج از بازه نوسانات تولید شده توسط میز لرزان باشد. بگذارید تا دانش آموزان فرکانس طبیعی قطعات مختلفی با طول های مختلف را تشخیص دهند، قطعاتی مانند قطعه های چوب در طول های مختلف، سازه های مختلف و دیگر اشیاء باریک و بلند موجود در کلاس که میتوانند در حالت مشابه بر روی قاعده خود بایستند. به اندازه کافی به دانش آموزان وقت اضافی دهید تا آزمایشهای متنوعی را با سازه هایشان و قطعات مختلف بر روی میز لرزان انجام دهند و سؤال هایی که به ذهنشان میرسد را خودشان جواب دهند.

6. برای دانش آموزان شرح دهید که یکی از راه های محافظت ساختمانها در برابر پدیده تشدید در هنگام زمین لرزه این است که، پی یا فونداسیون ساختمان را به وسیله ابزاری شبیه به چرخ از زمین ایزوله (عایق) کنند. این تکنیک را "ایزوله کردن پی" می نامند و توسط مهندسان سازه استفاده میشود، با بنا کردن ساختمان بر روی وسیله ای که انرژی لرزشی زمین را جذب می کند، در نتیجه لرزش زمین به طور مستقیم به ساختمان وارد نمیشود (شکل 4). یک تمثیل مناسب می تواند ارتباط بین خودرو و سیستم تعلیق متشکل از کمک فنرها و ضربه گیر ها باشد، که تکان های ناشی از دست انداز را کمتر به سرنشینان انتقال میدهد.

(اختیاری): اگر زمان اجازه میدهد، به دانش آموزان چرخ های استاندارد کوچکی را بدهید تا به سازه هایشان اضافه کنند. بگذارید که یک بار دیگر سازه هایشان را با چرخهای متصل شده به پایه، بر روی میز لرزان آزمایش کنند.



**شکل شماره 4.** واکنش زمین لرزه به یک پی ایزوله شده در مقایسه با یک پی ثابت و مرسوم. (بر گرفته از: <http://06earthquake.org/new-technologies.html>)

به منظور کند کردن نوسان ها یک سازه و مهار کردن انرژی لرزه ای، مهندسان زلزله شناس ممکن است که از تلف کننده ها استفاده کنند. اینها وسائلی هستند که به همراه برخی از اجزاء ساختمان نصب می شوند. در طول زمین لرزه، تلف کننده ها در مقابل اجزائی از سازه که نسبت به یکدیگر حرکت می کنند از هز خود عکس العمل نشان می دهند. تلف کننده ها سرعت لرزش ها را با تلف کردن انرژی به صورت اصطکاک کم می کنند.

7. دانش آموزان را به تفکر در باره روش های دیگر کم کردن اثر تشدید در یک ساختمان تشویق کنید. از آنها بپرسید که چه اجزاء دیگری را می توانند به یک سازه اضافه کنند تا در برابر زمین لرزه مقاومت بیشتری داشته باشد. این موضوع در روز سوم مورد بحث قرار خواهد گرفت.

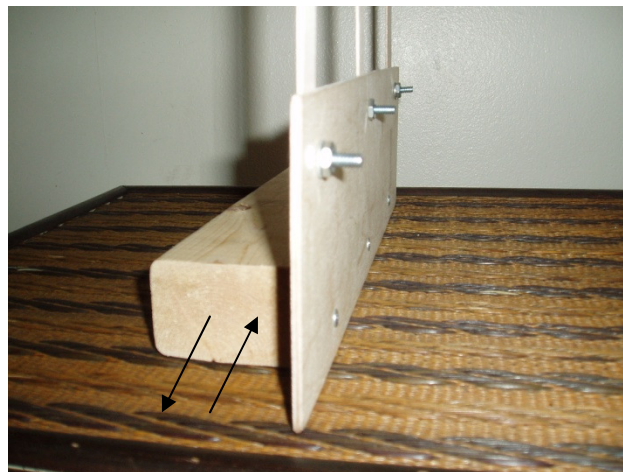
### روش کار (روز سوم)

1. به دانش آموزان بگویید که قرار است آنها یک دیوار مدل بسازند و با فشار دادن پایه آن (شبیه سازی زمین لرزه) اتفاقی را که ممکن است بی افتد پیش بینی کنند. سپس به آنها مواد لازم برای مستحکم سازی مدلشان داده خواهد شد و دوباره آزمایش خواهند کرد.

2. دانش آموزان را به گروه های کوچک تقسیم کنید. به هر گروه مواد لازم را بدهید (چوب بستنی، پیچ و مهره و واشر) تا دیوار مدل را طبق شکل 5 بسازند. از آنها بخواهید تا اتصالاتشان به اندازه کافی محکم باشد تا دیوار بتواند بایستد و نیز به اندازه کافی شل باشد تا به آسانی قابل حرکت نیز باشند. بهتر است که شما یک مدل را برای آنها در مقابل آنها بسازید.



شکل 5الف. دیوار مدل (نمای روبه رو و پشت)



شکل 5ب. نمای نزدیک از پایه دیوار مدل

3. حالا از دانش آموزان بخواهید که اجزاء دیوار را تشریح کنند، بپرسید که "چه چیزی دیوار را بر پا نگه داشته است؟" پاسخ در برهم کنش اجزاء عمودی و افقی میباشد که سازه را قادر به تحمل وزن آن کرده است. به دانش آموزان توضیح دهید که چیزی را که آنها وزن می نامند در این آزمایش نیروی جاذبه خوانده می شود. از آنها بپرسید که چه می شود اگر پایه دیوار را در راستای طول آن جلو و عقب بکشید (مانند فلش ها در شکل 5ب.) و یک زمین لرزه را شبیه سازی کنید.

**نکته!** زمین لرزه ممکن است که زمین را در جهت های مختلفی تکان دهد (به درس 6 رجوع شود)، اما در این تمرین دانش آموزان فقط یک جهت را آزمایش میکنند.

4. به یک دانش آموز در هر گروه نحوه درست تکان دادن پایه دیوار را از پایین دیوار سمت راست یا چپ (طبق جهت فلش ها در شکل 5 ب.) نشان دهید. اگر به سرعت پایه را فشار دهید، تنها طبقه اول دیوار مدل فرو می ریزد. از دانش آموزان بپرسید که چرا طبقات دیگر فرو نریختند. از آنها بخواهید تا ضعیف ترین قسمت دیوار را نسبت به الگو فرو ریزی دیوار نشان دهند. (طبقه اول به دلیل آن فرو ریخت چون که بسیار ضعیف بود و نمی توانست نیرو های افقی را به دیگر طبقات انتقال دهد و آنها را تکان دهد.)

5. به دانش آموزان توضیح دهید که فشار دادن پایه دیوار مشابه وارد آوردن نیروی افقی به طبقه های فوقانی میباشد. از دانش آموزان بخواهید تا به آرامی نیرو های افقی به نقاط مختلف دیوار مدل وارد کنند تا زمین لرزه را شبیه سازی کرده باشند.

6. حال از دانش آموزان بپرسید که چگونه می توانند دیوار را مقاوم تر بکنند. دانش آموزان باید به راه های مختلفی که می تواند نیروی وارد شده به سازه را به زمین منتقل کند فکر بکنند. به هر گروه تعدادی از قطعات مقوایی، گیره کاغذ، سیم، چوب بستنی، و یک کپی از پیوست 1 الف و 1 ب را بدهید. از آنها بخواهید تا در پیوست 1 الف با استفاده از کشیدن بردار های نیرو، مسیر حرکت نیرو به سمت زمین را رسم کنند. دیاگرام های کشیده شده توسط دانش آموزان را بررسی کنید تا مطمئن شوید که به درستی متوجه مفهوم تمرین شده اند.

7. اکنون از دانش آموزان بخواهید تا سه سری مختلف از اجزاء سازه ای را طراحی کنند و بسازند، و برای هر طرح یک دیاگرام جدید از مسیر انتقال نیرو رسم کنند. دانش آموزان باید مقاومت دیوار مدل خود را در برابر نیروی وارده طوری تضمین کنند که همه طبقات سالم بمانند. اگر دیوار مدل به درستی مقاوم سازی شده باشد، دانش آموزان باید بتوانند بالاترین نقطه دیوار را فشار دهند و کل سازه را جا جا کنند بدون آنکه طبقه ای از دیوار بی افتد.

**نکته!** ترکیبات بسیاری می تواند وجود داشته باشد که یک سازه را در برابر نیروی وارده مقاوم کند. به هر حال، حداقل ترکیب اجزاء باید نیرو را به طور پیوسته از گوشه بالا سمت چپ به پایه سازه انتقال دهد.

8. دانش آموزان را به بحث کردن در باره پرسش های قید شده در پیوست 1 ب. دعوت کنید. در هر گروه از یک دانش آموز بخواهید تا نظرات آن گروه را یادداشت کند. بعد از آنکه همه گروه ها پرسش ها را تمام کردند، بگذارید تا سخن گوی هر گروه یکی از پاسخ های گروه را برای دیگران شرح دهد. اجازه دهید تا همه کلاس به یک اتفاق نظر در مورد یک پرسش برسند و آنگاه نوبت را به گروه بعدی بدهید تا همه پرسش ها تمام شوند.

**تذکر!** تفاوتها و شباهتهای دیوار مدل با یک دیوار واقعی در برابر زمین لرزه را برای دانش آموزان تشریح کنید. تفاوت عمده این است که، زمین لرزه یک دیوار واقعی را به صورت افقی و نیز عمودی تکان می دهد در حالی که دیوار مدل تنها نیرو های افقی را شبیه سازی می کند. به علاوه، تکان های ناشی از زمین لرزه نیرو هایی را با شدت و جهت های متغیر به صورت پیچیده ای تولید می کند، اما این مدل تنها برای مطالعه نیرو های ثابت و تک جهتی وارده به خوبی عمل می کند. نیرو های ثابت و تک جهتی را "بار استاتیک" نیز می نامند در حالی که نیرو های متغیر را "بار دینامیک" می نامند.



9. توضیح دهید که مهندسان زمین لرزه نیز از همین مدل برای یافتن روش مناسب برای مستحکم سازی ساختمان های موجود استفاده می کنند. مهندسان تمایل دارند که ترکیبی از تکنیک های مختلفی را جهت هم پوشانی نقاط ضعف با نقاط قوت هر روش مورد استفاده قرار می دهند، که شامل استفاده کردن از اتصال قطری، دیوار برشی و بست صلب می باشد. اتصال قطری (چوب بستنی در این تمرین) عموماً در داخل دیوار نصب می شود تا آن را مقاوم کند. دیوار برشی (تکه مقوایی در این تمرین) به سازه جهت انتقال نیروهای برشی افقی اضافه می شود. اینها عموماً اجزاء تو پری می باشند که برای حمل بار عمودی طراحی نشده اند. بست صلب (گیره کاغذ در این تمرین) اجازه هیچ گونه حرکتی را از طرف اجزاء سازه نسبت به یکدیگر نمی دهد.

10. این تمرین را با کمک کردن به دانش آموزان جهت مرتبط کردن رفتار مدل و تصویر ذهنی آنها از یک ساختمان در معرض زمین لرزه به پایان برسانید. متذکر شوید که نیرو هایی که یک سازه را به صورت افقی به جلو و عقب می رانند بیشترین خسارت را به یک ساختمان وارد می کنند. ساختمان ها اصولاً برای تحمل بار عمودی نیروی گرانش طراحی شده اند، اما جهت مقاوم بودن در برابر تکان های زمین لرزه، باید در مقابل نیروهایی که از کنار به آنها وارد می شود نیز مقاومت کنند.

## منابع

Beven, R.Q., Crowder, J.N., Dodds, J.E., Vance, L., Marran, J.F., Morse, R.H., Sharp, W.L., Sproull, J.D., 1995, Seismic Sleuths-Earthquakes: A teacher's package for grade 7-12 (second edition), American Geophysical Union and Federal Emergency Management Agency, FEMA 253, 364 p.

Rathjen, D., 2003, Shake table, Exploratorium Teacher Institute, San Francisco, California, p. 1-4, available online at [http://www.exo.net/~donr/activities/Shake\\_Table.pdf](http://www.exo.net/~donr/activities/Shake_Table.pdf)





**تصویر 1.** خرابه های باستانی. آجر خشتی. زمین صاف. 200 تا 300 سال قدمت.



**تصویر 2.** محله قدیمی شهر در نزدیکی خرابه های باستانی. آجرهای معمولی. 30 تا 70 سال قدمت. ساختمان اصلی 3 طبقه ارتفاع داشته است، تنها دیوار پشتی آن باقی مانده است. میله گرد ها جزئی از ساختمان ویران شده نبوده اند. زمین صاف.



**تصویر 3.** بخش صنعتی شهر. در آن طرف یک ریخته گری. آجرهای معمولی و کلبه های فلزی. زمین صاف. 10 تا 30 سال قدمت.



**تصویر 4.** مرز شمالی منطقه صنعتی شهر. در کنار منطقه مسکونی. تنها ساختمان سالم مانده در کوچه. ساختمانهای ویران شده از آجر معمولی بر سطح صاف ساخته شده بودند. 10 تا 30 سال قدمت.





**تصویر 5.** مرکز منطقه مسکونی. دیوار فرو ریخته در جلو از ترکیب آجر پاره و سنگ با سیمان و ملات ساخته شده بود. مابقی دیوار ها سالم ماندند. زمین با شیب کم. 10 تا 30 سال قدمت.



**تصویر 6.** نمای شرقی یک منطقه مسکونی در نزدیکی کوه. زمین صاف. تمام ساختمانهای آبی توسط یک شرکت و به یک روش ساخته شده اند. حد اقل خسارت به سازه. بعضی از دیوار های کوچک فرو ریختند. 10 تا 20 سال قدمت.



**تصویر 7.** نمای غربی یک منطقه مسکونی در نزدیکی رودخانه. زمین صاف. ساختمان آجری تقریباً به طور کامل ویران شده است. حد اقل خسارت سازه ای به خانه های فلزی. 10 تا 30 سال قدمت.



**تصویر 8.** نمای شرقی منطقه مسکونی در نزدیکی کوه. زمین شیب دار. ساختمان در حال ساخت. (بعد از زمین لرزه)



این جدول برگرفته از (Beven et al. 1995) می باشد.

### مسیر انتقال نیرو با استفاده از اجزاء بیشتر در سازه

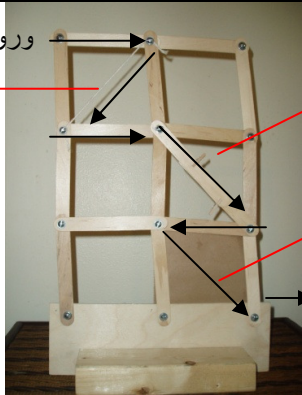
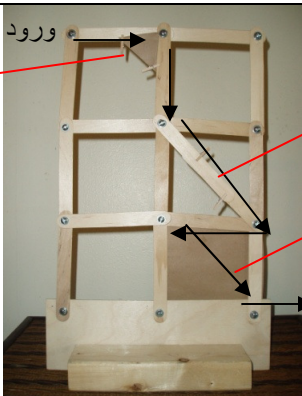
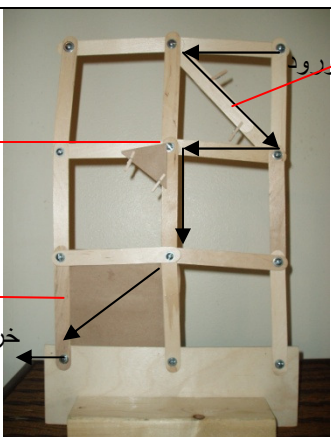
از موادی که برای اضافه کردن اجزاء دیگر به دیوار در اختیارتان قرار گرفته برای ایجاد مسیر برای انتقال نیروهای افقی، یا بارها در طول دیوار استفاده کنید.

<p>1. طبقه سوم دیوار را فشار دهید. اگر اجزائی که اضافه کرده اید مسیر انتقال نیرو را به پایه دیوار ایجاد کرده اند، آنگاه پایه دیوار باید به حرکت در بیاید، در غیر این صورت دیوار در یک نقطه فرو می ریزد. اگر ترکیبی از اجزاء را یافتید که به درستی عمل میکرد، آن را بر روی شکل مقابل علامت گذاری کنید و مسیر انتقال نیرو را ترسیم کنید. نوع نیرویی را که (کششی، فشاری و برشی) بر هر جزء وارد میشود را نیز مشخص کنید.</p>	
<p>2. مجموعه دیگری از اجزاء افزودنی به سازه را به طوری طراحی و قرار دهید که وقتی یک نیروی عرضی به بالاترین جزء دیوار وارد میشود، پایه دیوار حرکت کند. نحوه اتصال اجزاء و مسیر انتقال نیرو را ترسیم کنید.</p>	
<p>3. سومین مجموعه از اجزاء افزودنی به سازه را طراحی کنید و بسازید. از حد اقل اجزاء استفاده کنید. مسیر انتقال نیرو را ترسیم کنید و بگذارید تا آموزگارتان آن را بازدید کند. مسیر انتقال نیرو را با برداشتن اجزائی از سازه که در مسیر نمی باشند امتحان کنید و ببینید که آیا دیوار هنوز برای تحمل یک نیرو می ایستد یا خیر.</p>	

این جدول برگرفته از Beven et al. (1995) می باشد.

### مسیر انتقال نیرو با استفاده از اجزاء بیشتر در سازه

از موادی که برای اضافه کردن اجزاء دیگر به دیوار قرار گرفته برای ایجاد مسیر برای انتقال نیروهای افقی، یا بارها در طول دیوار استفاده کنید.

<p>1. طبقه سوم دیوار را فشار دهید. اگر اجزائی که اضافه کرده اید مسیر انتقال نیرو را به پایه دیوار ایجاد کرده اند، آنگاه پایه دیوار باید به حرکت در بیاید، در غیر این صورت دیوار در یک نقطه فرو می ریزد. اگر ترکیبی از اجزاء را یافتید که به درستی عمل میکرد، آن را بر روی شکل مقابل علامت گذاری کنید و مسیر انتقال نیرو را ترسیم کنید. نوع نیرویی را که (کششی، فشاری و برشی) بر هر جزء وارد میشود را نیز مشخص کنید.</p>	
<p>2. مجموعه دیگری از اجزاء افزودنی به سازه را به طوری طراحی و قرار دهید که وقتی یک نیروی عرضی به بالاترین جزء دیوار وارد میشود، پایه دیوار حرکت کند. نحوه اتصال اجزاء و مسیر انتقال نیرو را ترسیم کنید.</p>	
<p>3. سومین مجموعه از اجزاء افزودنی به سازه را طراحی کنید و بسازید. از حد اقل اجزاء استفاده کنید. مسیر انتقال نیرو را ترسیم کنید و بگذارید تا آموزگارتان آن را بازدید کند. مسیر انتقال نیرو را با بر داشتن اجزائی از سازه که در مسیر نمی باشند امتحان کنید و ببینید که آیا دیوار هنوز برای تحمل یک نیرو می ایستد یا خیر.</p>	

این جدول برگرفته از (Beven et al. 1995) می باشد.

در مورد پرسشهای زیر بحث کنید. یک دانش آموز نظرات دانش آموزان دیگر را یادداشت کند.

1. مسیر انتقال نیرو چیست؟

2. چرا اجزاء اضافه ای باید به دیوار مدل جهت مهار نیروی افقی اضافه شود؟

3. به چه تعداد اجزاء اضافه برای اضافه کردن احتیاج دارید؟

4. چرا نیروی وارده از مسیر دیگری غیر از آن چه که شما ترسیم کرده اید انتقال نمی یابد؟

## پاسخ ها

پیوست 1 ب

اسم: \_\_\_\_\_

این جدول برگرفته از Beven et al. (1995) می باشد.

در مورد پرسشهای زیر بحث کنید. یک دانش آموز نظرات دانش آموزان دیگر را یادداشت کند.

1. مسیر انتقال نیرو چیست؟

مسیری که نیرو در جهت آن در طول اجزاء ساختاری ساختمان حرکت می کند.

2. چرا اجزاء اضافه ای باید به دیوار مدل جهت مهار نیروی افقی اضافه شود؟

اصولاً، ساختمان ها تنها نیروی عمودی (گرانش) را مهار می کنند. برای مهار نیروی افقی نیاز به اضافه کردن اجزاء دیگری می باشد.

3. به چه تعداد اجزاء اضافه برای اضافه کردن احتیاج دارید؟

هر مفصل تنها یک جزء اضافی احتیاج دارد. در این مدل، در هر طبقه تنها یک مفصل نیاز دارد که نیرو را در طول دیوار انتقال دهد.

4. چرا نیروی وارده از مسیر دیگری غیر از آن چه که شما ترسیم کرده اید انتقال نمی یابد؟

نمودارهای ترسیم شده نقاطی از دیوار را نشان می دهند که به اندازه کافی برای انتقال نیرو قوی هستند. اگر بیشتر از یک نقطه وجود داشته باشد، نیروی وارده از هر دو مسیر انتقال پیدا می کند.