**از فونداسیون شناور تا ناپدید کردن زلزله!**

زلزله همیشه یکی از ویرانگرترین بلایای طبیعی و دغدغه انسان بوده که همیشه در پی اندیشیدن به تمهیداتی برای هرچه کمتر صدمه دیدن است. ی

"عصر برنز" شاهد ظهور چندین تمدن موفق بود، از جمله تعدادی که موفق به ساخت شهرهای چشمگیر با شبکه‌های لوله‌کشی پیچیده شدند.

در حال حاضر دانشمندان بر این باورند که فعالیت تکتونیک(زمین‌ساختی) ممکن است موجب نابودی برخی از این فرهنگ‌های باستانی شده باشد. به عنوان مثال، تحقیقات انجام شده در شهر "مگیدو"(Megiddo) که در حال حاضر در بخشی از سرزمین‌های اشغالی واقع است نشان می‌دهد که احتمالا یک زمین لرزه عظیم شهر را ویران کرده که منجر به لایه‌هایی شبیه به ساندویچ شده که در حفاری‌ها مشخص می‌شود.
مثال دیگر تمدن "هاراپان" است که در پاکستان فعلی واقع بوده و چندین زلزله مهیب آن را نابود کرده، به طوری که ناگهان در سال 1900 قبل از میلاد ناپدید شد.

امروزه ما به همان اندازه تحت تاثیر زلزله‌های قدرتمند قرار داریم. وقتی که در معرض نیروهای ناگهانی ناشی از امواج لرزه‌ای قرار می‌گیریم، حتی ساختمان‌های مدرن و پل‌ها می‌توانند به طور کامل از بین بروند و سقوط کنند و مردم را در داخل و اطراف خود از بین ببرند.
مشکل اینجاست که امروزه اکثر مردم دنیا در محیط‌های شهری زندگی می‌کنند و تعداد ساختمان‌ها رشد کرده است.

**خوشبختانه، طی چند دهه گذشته، معماران و مهندسان تعدادی از فناوری‌های هوشمندانه را طراحی کرده‌اند تا اطمینان حاصل کنند که خانه‌ها، آپارتمان‌ها و آسمان‌خراش‌ها فرو نریزند.** در نتیجه، ساکنان این ساختمان‌ها می‌توانند بدون استرس بروند و شروع به جمع‌آوری وسایل کنند.
**ما 10 فناوری را جمع‌آوری کردیم. بعضی از آنها چندین سال از ابداع‌شان گذشته است**

 اما مواردی هم مانند مورد آخر این فهرست، ایده‌های نسبتا جدیدی هستند که هنوز در حل سپری کردن آزمایش‌های خود هستند.

این فناوری‌ها مطابق با زمان ابداع، از قدیمی به جدید معرفی می‌گردد:
**10. فونداسیون شناور**

مهندسان و لرزه‌شناسان سال‌ها به عنوان وسیله‌ای برای حفاظت از ساختمان‌ها در طول زلزله، به جداسازی فونداسیون فکر کردند. همانطور که از نام این فناوری مشخص است، این مفهوم به تفکیک پی یک ساختمان از قسمت فوقانی آن کمک می‌کند.
چنین سیستمی شامل ساخت یک ساختمان شناور در بالای پی آن و بر روی یاتاقان‌های سرب-لاستیک است که حاوی هسته‌ی سربی پیچیده شده در لایه های متناوب لاستیک و فولاد است.

صفحات فولادی، یاتاقان‌ها را به ساختمان و پی آن متصل می‌کنند و پس از آنکه زمین لرزه اتفاق بیفتد، فوندانسیون حرکت می‌کند، بدون اینکه ساختمان بلرزد.
در حال حاضر برخی از مهندسان ژاپنی این فناوری را وارد سطح جدیدی کرده‌اند. در سیستم آنها در واقع ساختمان بر روی بالشتی از هوا قرار می‌گیرد.

نحوه عمل این سیستم بدین صورت است که سنسورها در ساختمان، فعالیت لرزه‌نگاری زلزله را تشخیص می‌دهند. شبکه سنسورها با یک کمپرسور هوا ارتباط برقرار می‌کند، که در عرض نیم ثانیه پس از هشدار، بالشت هوا را بین ساختمان و پی آن ایجاد می‌کند.
بالشت هوا، ساختمان را تا سه سانتیمتر از سطح زمین بلند می‌کند و آن را از نیروهایی که می‌توانند نابودش کنند، جدا می‌کند.

هنگامی که زمین لرزه تمام می‌شود، کمپرسور خاموش شده و ساختمان دوباره روی پایه قرار می‌گیرد.
9. کمک فنر

یکی دیگر از تکنیک‌های آزمایش شده و واقعی برای کمک به ساختمان‌ها در برابر زمین لرزه‌ها، از صنعت خودرو می‌آید. همه ما کمک فنرها را می‌شناسیم؛ دستگاهی که جهش ناخواسته را در ماشین کنترل می‌کند.
جذب کننده‌های شوک یا همان کمک فنرها حرکت‌های ارتعاشی را با تبدیل انرژی جنبشی به انرژی گرمایشی که می‌تواند از طریق مایع هیدرولیکی تخلیه شود، کاهش می‌دهد. در فیزیک، این امر با عنوان تعدیل شناخته شده است.

بنابراین مشخص است که تعدیل کننده‌ها می‌توانند هنگام طراحی ساختمان‌های مقاوم در برابر زلزله مفید باشند.
مهندسان عموما در هر سطحی از یک ساختمان، تعدیل کننده‌ها را کار می‌گذارند. یک سر آن به یک ستون و انتهای دیگر به میله متصل می‌شود.

هر تعدیل کننده شامل یک سر پیستونی است که در داخل یک سیلندر پر از روغن سیلیکون حرکت می‌کند. هنگامی که زلزله رخ می‌دهد، حرکت افقی ساختمان باعث می‌شود پیستون در هر تعدیل کننده با فشار بر روی روغن، انرژی مکانیکی زمین را به گرما تبدیل کند.
8. قدرت آونگ

تعدیل می‌تواند انواع مختلفی داشته باشد. یک راه حل دیگر، مخصوصا برای آسمان خراش‌ها، شامل معلق گذاشتن یک توده عظیم در نزدیکی بالاترین نقطه ساختمان است.
کابل‌های فولادی این توده را حمایت می‌کنند، در حالی که تعدیل کننده‌های مایع چسبناک بین توده و ساختمان که در تلاش برای محافظت است، قرار دارند.

هنگامی که فعالیت لرزه‌ای، ساختمان را تحت تاثیر قرار می‌دهد، آونگ در جهت مخالف حرکت می‌کند و انرژی را از بین می‌برد.
مهندسان زیاد به این سیستم‌ها رجوع نمی‌کنند زیرا هر آونگ دقیقا متناسب با یک فرکانس ارتعاشی طبیعی تنظیم می‌شوند و اگر حرکت زمین با ایجاد شدیدترن فرکانس موجب تکان خوردن شدید ساختمان شود، ساختمان با مقدار زیادی انرژی ارتعاش می‌کند و احتمالا آسیب می‌بیند.

تایپه 101، که به تعداد طبقات این آسمانخراش 508 متری اشاره دارد، با یک توده تنظیم شده برای به حداقل رساندن اثرات ارتعاشی مرتبط با زمین لرزه و بادهای قوی طراحی شده است. در قلب این سیستم، یک توپ طلایی 730 تنی توسط 8 کابل فولادی به حالت تعلیق در آمده است. این بزرگترین و سنگین‌ترین آونگ در جهان است.
7. فیوزهای قابل تعویض

در دنیای الکتریسیته، یک فیوز حفاظت را در صورت شدت بالای جریان در یک مدار به عهده دارد. فیوز جریان برق را متوقف می‌کند و مانع از گرمای بیش از حد و آتش سوزی می‌شود. پس از حادثه، به سادگی می‌توان فیوز را جایگزین کرد و سیستم را به حالت عادی بازگرداند.
محققان دانشگاه استنفورد و دانشگاه ایلی‌نوی با تلاش برای ساخت یک ساختمان مقاوم در برابر زلزله با یک مفهوم مشابه تلاش کرده‌اند.

آنها ایده خود را یک سیستم کنترل ارتعاش نامگذاری کرده‌اند، زیرا قاب‌های فولادی که ساختمان را تشکیل می‌دهند، الاستیک هستند و اجازه می‌دهند در بالای فوندانسیون تکان بخورد. اما این به خودی خود راه حل ایده‌آل نیست.
محققان علاوه بر قاب‌های فولادی، کابل‌های عمودی را معرفی کردند که تکان خوردن ساختمان را محدود می‌کند.

ضمن این که کابل‌ها توانایی خودسنجی دارند، بدین معنی که می‌توانند کل ساختمان را درست زمانی که تکان خوردن متوقف می‌شود، کشیده و آن را سر پا کنند.
اجزای نهایی، فیوزهای قابل تعویض استیل هستند که بین دو صفحه در پایه‌های ستون قرار می‌گیرند.

دندانه‌های فلزی فیوزها انرژی لرزه‌ای را هنگام لرزش ساختمان جذب می‌کنند. اگر آنها طی یک زلزله منفجر شوند، می‌توان آنها را نسبتا سریع و مقرون به صرفه جایگزین کرد تا ساختمان را به شکل اولیه بازگردانیم.
6. دیوار هسته‌ای

در بسیاری از ساختمان‌های بلند مدرن، مهندسان از ساختار دیوارهای هسته‌ای برای افزایش عملکرد لرزه‌ای با هزینه پایین استفاده می‌کنند.
در این طرح، یک هسته بتنی تقویت شده را در قلب ساختمان قرار می‌دهند که اطراف آن آسانسورها قرار می‌گیرند. دیوار هسته‌ای برای ساختمان‌های بسیار بلند می‌تواند کاملا قابل توجه باشد.

در حالی که ساخت دیوارهای هسته‌ای به ساختمان‌ها کمک می‌کند تا زمین لرزه‌ها را پشت سر بگذارند، این فناوری یک فناوری کامل و بی‌نقص نیست. محققان دریافته‌اند که ساختمان‌هایی با پایه ثابت و دیوارهای هسته‌ای همچنان می‌توانند دچار آسیب شوند.
یک راه حل، همانطور که قبلا مورد بحث قرار گرفت، شامل جداسازی فونداسیون  می‌شود؛ ساختمانی بر روی یاتاقان‌های سرب.

روش دیوار هسته‌ای سرعت حرکت طبقات و نیروهای شدید را کاهش می‌دهد، اما از تغییر شکل در پایه دیوار هسته‌ای جلوگیری نمی‌کند.
مهندسان برای جلوگیری از تغییر شکل و آسیب پایه دیوار هسته‌ای، دو سطح پایین‌تر ساختمان را با تزریق فولاد تقویت می‌کنند و سیستم‌های تحت فشار را در ارتفاع ساختمان به کار می‌برند.

در سیستم‌های تحت فشار، تاندون‌های فولادی روی دیوار هسته‌ای کشیده می‌شوند. تاندون‌ها مانند نوارهای لاستیکی عمل می‌کنند که می‌تواند توسط ‌جک‌های هیدرولیکی به شدت کش داده شود تا قدرت کشش دیوار هسته‌ای افزایش یابد.
5. ناپدید کردن زلزله!

زمین لرزه هم به مانند بسیاری دیگر از مسائل طبیعی مانند آب و صوت، موج تولید می‌کند. موج‌هایی که توسط زمین شناسان به عنوان امواج بدنه و سطحی طبقه بندی می‌شوند.
موج بدنه به سرعت از طریق داخل زمین منتشر می‌شود. دومی به آرامی از طریق پوسته بالایی حرکت می‌کند و شامل یک زیرمجموعه از امواج می‌شود که به عنوان امواج "رایلی"(Rayleigh) شناخته می‌شود و زمین را به صورت عمودی حرکت می‌دهد. این حرکت به سمت بالا و پایین، بیشترین تکان و آسیب را در یک زلزله باعث می‌شود.

در حال حاضر تصور کنید اگر بتوانید انتقال برخی از امواج لرزه‌ای را قطع کنید، آیا ممکن است انرژی را از بین ببرید یا آن را در اطراف مناطق شهری منتشر کنید؟ بعضی از دانشمندان چنین فکر می‌کنند و راه حل خود را "ناپدید کردن زلزله"(seismic invisibility cloak) نامیده‌اند، زیرا توانایی آن را دارد که یک ساختمان را از قرار گرفتن در معرض امواج سطحی نجات دهد.
مهندسان معتقدند که برای انجام این کار می‌توانند از 100 حلقه پلاستیکی متمرکز زیر پایه یک ساختمان استفاده کنند. هنگام بروز امواج لرزه‌ای، آنها در یک ردیف وارد یک حلقه می‌شوند و درون سیستم قرار می‌گیرند.

بنابراین امواج نمی‌توانند انرژی خود را به ساختار بالا انتقال دهند. آنها به سادگی در اطراف پایه ساختمان قرار می‌گیرند و از طرف دیگر آزاد می‌شوند و سفر طولانی خود را از سر می‌گیرند.
یک تیم فرانسوی این مفهوم را در سال 2013 مورد آزمایش قرار داد.

4. آلیاژهای عصب‌شکل
همانطور که پیش از این بحث شد، انعطاف پذیری مواد یک چالش عمده برای مهندسان در تلاش برای ایجاد ساختمان‌های مقاوم در برابر زلزله هستند.

مثلا فولاد و بتن تغییر شکل می‌دهند و انعطاف پذیر نیستند. این در حالی است که هر دوی این مواد به طور گسترده تقریبا در تمام پروژه‌های ساخت و ساز تجاری استفاده می‌شوند.
اما آلیاژ عصب شکل می‌تواند فشارهای سنگین را تحمل کند و به شکل اصلی خود بازگردد.

بسیاری از مهندسان این مواد هوشمند را به عنوان جایگزین برای فولاد و بتن می‌دانند.
آلیاژ عصب شکل متشکل از تیتانیوم و نیکل است که این ترکیب نیتینول نامیده می‌شود و 10 تا 30 درصد انعطاف‌پذیری بیشتری نسبت به فولاد ارائه می‌دهد.

در یک مطالعه در سال 2012، محققان دانشگاه نوادا رنو، عملکرد لرزه‌ای ستون‌های پل ساخته شده از فولاد و بتن را با ستون‌های ساخته شده از نیتینول و بتن مقایسه کردند. آلیاژ عصب شکل آسیب بسیار کمتری را تجربه کرد.
3. پوشش فیبر کربنی

در هنگام ساخت یک ساختمان جدید منطقی است که مقاومت زمین لرزه را در نظر بگیرید، اما بازسازی ساختمان‌های قدیمی به منظور بهبود عملکرد در مقابل زلزله نیز بسیار مهم است.
مهندسان دریافته‌اند که اضافه کردن سیستم‌های جداسازی پایه به سازه‌های قدیمی امکان پذیر و اقتصادی است.

یکی دیگر از راه حل‌های امیدوار کننده و بسیار ساده برای اجرا، یک فناوری شناخته شده به عنوان پوشش پلاستیکی تقویت شده فیبر یا FRP می‌باشد. تولیدکنندگان این ترکیب را با مخلوط کردن فیبرهای کربن با پلیمرهای اتصال دهنده مانند اپوکسی، پلی استر، وینیل استر و نایلون تولید می‌کنند تا مواد کامپوزیتی سبک، اما به طرز باور نکردنی قوی ایجاد کنند.
در برنامه‌های پیشرفته، مهندسان به سادگی مواد را در اطراف ستون‌های بتونی از پل‌ها یا ساختمان‌ها قرار می‌دهند و سپس اپوکسی تحت فشار را به شکاف بین ستون و مواد متصل می‌کنند.

بر اساس الزامات طراحی، مهندسان ممکن است این روند را شش یا هشت بار تکرار کنند تا یک سازه پرقدرت و با انعطاف پذیری بالا ایجاد کنند.
شگفت آور است که حتی ستون‌های آسیب دیده توسط زلزله می‌توانند با فیبر کربن تعمیر شوند. در یک تحقیق، محققان دریافتند که ستون‌های پل بزرگراه تقویت شده با مواد کامپوزیت 24 تا 38 درصد قوی‌تر از ستون‌های معمولی بودند.

2. زیست‌مواد
در حالی که مهندسان به آلیاژهای عصب شکل و پوشش‌های فیبر کربنی دست پیدا کرده‌اند، آینده‌ای را پیش بینی می‌کنند که در آن حتی مواد بهتری برای ساخت و ساز مقاوم در برابر زلزله قابل دسترس خواهند بود.

ممکن است برای ساختن این مواد از حیوانات الهام گرفته شود.
یکی از سوژه‌های جالب عنکبوت‌ها هستند. همه ما می‌دانیم که تار عنکبوت قوی‌تر از فولاد است، اما دانشمندان MIT معتقدند این پاسخ دینامیکی مواد طبیعی تحت فشار سنگین است که آن را بسیار منحصر به فرد می‌سازد.

هنگامی که محققان یک رشته تار عنکبوت را بر روی رشته‌هایی از تار عنکبوت کشیدند، رشته‌ها در ابتدا سفت و سپس انعطاف پذیر و سپس دوباره سفت شدند.
این پاسخ پیچیده و غیر خطی است که باعث می‌شود تار عنکبوت تا این حد ارتجاعی باشد.

تار عنکبوت منبع الهام بزرگی برای سازه‌های ضد زلزله در آینده است.
1. لوله‌های مقوایی

کشورهای در حال توسعه اما در استفاده از آخرین فناوری‌ها دچار مشکل هستند. تیم‌های مهندسی در سراسر جهان در حال کار برای طراحی سازه‌های مقاوم در برابر زلزله با استفاده از مواد قابل دسترس یا با دسترسی آسان هستند. برای مثال، در پرو، محققان دیوارهای سنتی را با تقویت دیوار با پلاستیک توری شکل تقویت کردند.
در هند، مهندسان برای تقویت بتن، به طور موفقیت آمیزی از بامبو استفاده می‌کنند.

در اندونزی، برخی از خانه‌ها در حال حاضر بر روی تایرهایی که با شن و ماسه یا سنگ پر شده‌اند، ساخته می‌شود.
حتی مقوا می‌تواند یک مصالح ساختمانی محکم و با دوام باشد. "شگریو بان" معمار ژاپنی طراحی چندین سازه را انجام می‌دهد که شامل لوله‌های مقوا با پلی اورتان می‌باشد.

در سال 2013، بان یک طرح خود را (کلیسا) در نیوزیلند معرفی کرد. کلیسا از 98 لوله مقوایی غول پیکر تقویت شده با رشته‌های چوبی استفاده بهره برد.

از آنجا که ساختار مقوا و چوب بسیار سبک و انعطاف پذیر است، در حوادث لرزه‌ای بسیار بهتر از بتن عمل می‌کند و اگر خراب شود، مردم زیر آوار سنگینی قرار نمی‌گیرند و تلفاتی نخواهد نداشت.