

روانگرایی خاک و تاثیر آن بر مقاومت سازه‌ها در گفت‌وگو با «سیدمحسن حائری»

# استقبال محققان جهان از پژوهش‌های دانشمندان ایران

گروه علم: مدتی پیش یکی از استادان دانشگاه صنعتی شریف پژوهش‌هایی

دربرابر چگونگی توزیع نیروهای وارد بر پی‌های عمیق یک‌سازه طی یک زمین‌لرزه را در زمین‌های سست اشباع ماسه‌ای بررسی و نتیجه پژوهش‌های خود را در مجله «دینامیک خاک و مهندسی زلزله» منتشر کرد. این مجله یکی از معتبرترین مجلات پژوهشی جهان در حوزه زلزله است که انتشارات الزویر آن را منتشر می‌کند. این مقاله پس از انتشار، با استقبال بسیاری از محققان جهان روبه‌رو و در نهایت به عنوان یکی از مقالات داغ این مجله با بیشترین میزان مشاهده معرفی شد. موضوع این مقاله اثر گسترش جانبی ناشی از پدیده روانگرایی بر پی‌های عمیق است که در هنگام زلزله در زمین‌های ماسه‌ای روی می‌دهد. پس از زلزله سال ۱۹۶۴ که این پدیده خسارات فراوانی در نیگاتای ژاپن و آلاسکای آمریکا به بار آورد، توجه بسیاری از دانشمندان به پدیده روانگرایی جلب شد و بررسی‌ها درباره آن سرعت گرفت. از آنجا که بخش‌های زیادی از کشورمان نیز خاک‌هایی با چنین مشخصاتی دارد، پدیده روانگرایی برای کشور ما نیز یک مساله مهم محسوب می‌شود، به‌ویژه در سواحل جنوبی و شمالی کشور. البته این پدیده منحصر به نواحی ساحلی نیست به‌گونه‌ای که در زلزله مخرب سال ۱۳۶۹ در منجیل، پدیده و اشباع ناشی بروز کرد و خسارات جانی و مالی فراوانی را در آستانه‌اشرفیه و روستاهای اطراف آن بر جای گذاشت. با توجه به اهمیت این پدیده و برای آشناشدن بیشتر با محتوای مقاله یادشده، با جناب آقای دکتر «سیدمحسن حائری»، یکی از نویسندگان این مقاله گفت‌وگو کرده‌ایم که هم‌اکنون پیش‌روی شمامست:

❧ موضوع مقاله‌ای که شما تنظیم کردید، چه بود و چه اهمیتی داشت که توجه کارشناسان زیادی را جلب کرد؟

این مقاله درباره یکی از آزمایش‌هایی بود که ما در دانشگاه صنعتی شریف انجام دادیم. اما قبل از آنکه من جواب این پرسش را بدهم و درباره موضوع این مقاله صحبت کنم، دوست دارم درباره پدیده‌ای به نام روانگرایی صحبت کنم. یکی از پدیده‌هایی که در زلزله پیش می‌آید و ویرانی‌های بسیاری را در پی دارد، پدیده‌ای به نام روانگرایی است. روانگرایی پدیده‌ای است که در هنگام زمین‌لرزه، در ماسه‌های اشباع و ماسه‌ای سست روی می‌دهد. این پدیده معمولاً در دشت‌ها، مجاورت رودخانه‌ها و در نزدیکی دریاها در هنگام زمین‌لرزه روی می‌دهد. این پدیده در شمال و جنوب کشورمان نیز مشاهده شده و می‌شود. برای مثال در زلزله منجیل و در شهر آستانه‌اشرفیه و مناطق اطراف آن، ویرانی‌های زیادی به بار آورد که ناشی از همین پدیده روانگرایی بود. حال اگر ما خاکی داشته باشیم که سست و اشباع باشد و این خاک شیب کمی داشته باشد (حتی دوسه‌درجه)، با رو به‌روخانه‌ای منتهی شود، زمین در هنگام زلزله بر اثر پدیده روانگرایی حرکت می‌کند در این حالت ممکن است بخش وسیعی از زمین جابه‌سا شود که مقدار این جابه‌جایی از چندسانتی‌متر تا چندده‌متر متغیر است. این حرکت و جابه‌جایی خاک، نیروی بسیار زیادی را بر سازه‌های زیرزمینی وارد می‌کند که به آن گسترش جانبی می‌گویند.

❧ برای مقابله با پدیده روانگرایی و پدیده‌های آن، چه کار باید کرد؟

روش‌های متعددی برای مقابله با این پدیده وجود دارد که عمدتاً راه حل ژئوتکنیکی است، نظیر تراکم خاک قبل از اجرای سازه و برخی هم سازه‌ای است. یکی از روش‌های سازه‌ای به‌خصوص در پل‌ها و سازه‌های ساحلی متداول است، این است که ما سازه‌های خود را روی یک پی عمیق بنا کنیم که این پی‌های عمیق اگر نازک باشند، شمع نام دارند. در هنگام گسترش جانبی (حرکت خاک)، نیروی جانبی بسیار زیادی به این شمع‌ها وارد می‌شود و موجب خرابی این شمع‌ها می‌شود و در نهایت به سازه روی این شمع‌ها هم آسیب می‌زند. این پدیده خرابی‌های بسیار زیادی در پی دارد که ما آثار آن را در زلزله کوبه ژاپن و هایتی و مکزیک‌های دیگر مشاهده کرده‌ایم. این اثر در بنادر و سواحل و روی پل‌ها نیز به‌خوبی مشهود بوده است.

❧ شما در پژوهش‌های خود، چه جنبه‌هایی از پدیده روانگرایی خاک در هنگام زلزله را بررسی کردید؟

ما را آزمایش‌های خود سعی کردیم میزان نیروهای وارد بر پی‌های عمیق و شمع‌ها را در هنگام گسترش جانبی ناشی از روانگرایی خاک بررسی کنیم. مادر این آزمایش‌ها، مدل فیزیکی این پدیده را روی میز لرزان دانشگاه صنعتی شریف با مقیاس بزرگ بررسی کردیم. در اصل ما می‌خواستیم بدانیم وقتی که شمع‌ها در مجاورت هم باشند یا پشت‌سره‌هم قرار گیرند، در هنگام زلزله یک مقدار نیرو به همه آنها وارد می‌شود یا آنکه مقدار نیروهای واردشده به آنها متفاوت است. پاسخ این پرسش بسیار مهم است زیرا به ما می‌گوید که این شمع‌ها را باید چگونه طراحی کرد. مقاله‌ای هم که ما چاپ کردیم، در واقع بیانگر نتایج آزمایش‌هایی درباره این موضوع بود. ما نشان دادیم نیروها و تغییر مکان‌هایی که به یک شمع تکی وارد می‌شود، با حالتی که دو شمع پشت‌سره‌هم داریم یا با حالتی که چندشمع در مجاورت همدیگر داریم، متفاوت است. (وقتی می‌گوییم شمع‌ها پشت‌سره‌هم هستند، یعنی در جهت حرکت زمین پشت‌سره‌هم هستند، مجاور هم هستند نیز یعنی عمود بر جهت حرکت زمین در کنار هم هستند) ما می‌خواستیم بدانیم در هر یک از این حالت‌ها، چه نیروهایی به این شمع‌ها یا پی‌ها وارد می‌شود و در نهایت به این نتیجه رسیدیم که برخی از چیزهایی که پیش از این در متون علمی وجود داشت، با واقعیت‌ها هماهنگ نبود. هم‌اکنون در این‌باره یک دستورالعمل در دنیا وجود دارد که ژاپنی‌ها پس از زلزله کوبه ژاپن تنظیم کردند. طبق این دستورالعمل، باید نیروی واردشده به این شمع‌ها را مساوی در نظر گرفت. به تازگی هم پژوهش‌های عددی (و نه تحقیقات انجام‌شده با مدل‌های فیزیکی) در آمریکا انجام شد و طی آن پیشنهاد یا توصیه‌هایی در این زمینه مطرح شد که البته بر مبنای مدل فیزیکی با مشاهدات واقعی نبود بلکه بر مبنای پژوهش‌های عددی بود. در همه اینها که گفتیم نیروهایی را که بر این شمع‌ها وارد می‌شود، مساوی در نظر می‌گیرند. اهمیت کار ما در این بود که نشان دادیم در واقع اینگونه نیست، اگر شمع‌ها در سایه هم پشت‌سره هم قرار گرفته باشند، یا در مجاورت یا همسایگی یکدیگر قرار گرفته باشند، نیروهای متفاوتی بر آنها وارد می‌شود. کاری که انجام دادیم تا حدود زیادی تازه بود. البته دیگران هم مشابه این کار را کردند برای مثال ژاپنی‌ها هم چیزی مثل این را انجام دادند که البته کاملاً مثل آزمایش‌های ما نبود. کاری که انجام دادیم ویژگی‌های منحصر به فردی داشت که به همین دلیل هم افراد زیادی به این مقاله مراجعه کردند.

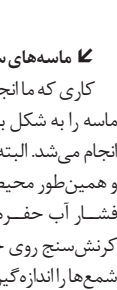
❧ راه شیبیه‌سازی زلزله در چه دستگاهی انجام شد و مقیاس آن در چه حدی بود؟

اول بگویم که ما آنچه را که در زیر سطح زمین است مدل‌سازی می‌کنیم. مقیاس‌های ما بر اساس میز لرزانی که در اینجا داریم، تنظیم شد. میز لرزانی که ما اینجا داریم در خاورمیانه منحصر به فرد است. کشورهای این منطقه و حتی ترکیه (که از دیگر کشورهای منطقه در این زمینه پیشرفته‌تر است)، میز سه‌متر در سه‌متر دارند، ولی ما اینجا میز چهارمتر در چهارمتر داریم. این میز سه‌درجه آزادی دارد و در یک جهت یک جک ۱۵تن نیرو به صورت رفت و برگشتی وارد می‌کند و از جهت عمود بر آن دو جک هر کدام ۲۰ تن نیروی رفت و برگشتی به عرشه میز لرزان وارد می‌کند و می‌تواند سازه‌هایی با حداکثر ۳۰۰ تن را مدل‌سازی کند. کاری که ما انجام دادیم این بود که محفظه‌ای را ساختیم و یک جهت آن را هم پلکسی‌گلاس قرار دادیم که دیده شود. این کاری هم که ما کردیم باز کار نویی بود که تاکنون در دنیا انجام نشده بود. معمولاً کارهایی که در مقیاس‌های بزرگ انجام می‌شود، در محفظه‌هایی است که نمی‌توان درون آن را

دید. در نتیجه اتفاق‌های درون محفظه را با استفاده از حسگرها بررسی می‌کنند.

اما محفظه ما چون پلکسی‌گلاس بود توانستیم پدیده‌های درون محفظه را به چشم هم ببینیم. البته در مقیاس‌های کوچک یا وقتی مساله آب وجود نداشته باشد از محفظه‌های پلکسی‌گلاس استفاده شده است. ولی در مقیاس بزرگ با وجود آب، چنین کاری تاحله‌حال نشده است. کار آب‌بندی کردن این محفظه به خودی خود شش‌ماه طول کشید. (چون بخشی از آن پلکسی‌گلاس بود و نمی‌شد همه قسمت‌های آن را از جنس پلکسی‌گلاس انتخاب کرد چون اصلاً در برابر این نیروهای زیاد مقاومت نمی‌کرد.) با توجه به ابعاد میز و محفظه مدل این شمع‌ها در مقیاس یک‌هشتم ساخته شد. البته خود جنس شمع‌ها را باید مدل‌سازی کرد تا بتوان اثر عوامل مختلف مانند ممان اینرسی و… را به دقت بررسی کرد. بعد یک لایه ماسه متراکم در کف داشتیم، شمع‌ها را در کف این محفظه تثبیت کردیم که مانند این است که آنها در خاک محکم و مقاوم کوبیده شده‌اند. بعد ماسه سست را داریم که در هنگام زلزله دچار روانگرایی و در نتیجه دچار گسترش جانبی می‌شود. البته در آزمایش‌های مربوط به مقاله‌ای که چاپ شد، یک لایه سطحی غیروانگرا نداشتیم. به بیان دیگر ماسه تا سطح زمین می‌آمد. البته در برخی موارد ماسه تا سطح زمین ادامه ندارد و ما یک لایه غیروانگرا هم در سطح داریم که زمانی که گسترش جانبی اتفاق می‌افتد در آن لایه‌های سطحی غیروانگرا، ترک‌های خیلی طولانی عمود بر شیب و به موازات بازشدگی‌هایی مانند دودخلة اتفاق می‌افتد که ممکن است برخی آنها را با گسل اشتباه بگیرند در صورتی که اینگونه نیست.

**یکی از پدیده‌هایی که در زلزله پیش می‌آید و ویرانی‌های بسیاری را در پی دارد، پدیده‌ای به نام روانگرایی است. روانگرایی پدیده‌ای است که در هنگام زمین‌لرزه، در ماسه‌های اشباع و ماسه‌ای سست روی می‌دهد. این پدیده در شمال و جنوب کشورمان نیز مشاهده شده و می‌شود**



❧ **ماسه‌های سست را چگونه شبیه‌سازی می‌کردید؟**
کاری که ما انجام دادیم این بود که ابتدا ماسه محکم می‌ریختم و پس از آن ماسه را به شکل بارش در آب رسوب دادیم تا سست باشند و بعد هم آزمایش انجام می‌شد. البته قبل از اینکه ماسه و آب را درون محفظه قرار دهیم شمع‌ها و همین‌طور محیط درون محفظه، آب‌راندنی می‌شود و حسگرهای اندازه‌گیری فشار آب حفره‌ای و تغییر مکان در خاک و اطراف شمع‌ها و چندسری کرنش‌سنج روی خود شمع‌ها نصب می‌شود که با استفاده از آنها ممان وارد بر شمع‌ها را اندازه‌گیری می‌کنیم.

❧ **کل آزمایش‌هایی که انجام دادید در مجموع چقدر وقت گرفت؟**

خود ساخت محفظه حدود یک سال وقت گرفت. ساخت و آب‌راندنی هر

مدل نیز حدود یک‌ماه تا ۴۰روز وقت می‌برد و انجام آزمایش و ثبت داده‌ها نیز

طی یک روز انجام می‌شود. طی هر آزمایش از هشت تا ۱۰تن ماسه استفاده می‌شود.

دکتر «سیدمحسن حائری» در سال ۱۳۵۶ با درجه فوق‌لیسانس ممتاز از دانشکده فنی دانشگاه تهران فارغ‌التحصیل شد و برای ادامه تحصیل به دانشگاه ایلینوی آمریکا رفت که یکی از دانشگاه‌های معتبر و برجسته آمریکا محسوب می‌شود و همیشه در رتبه‌های اول تا سوم دانشگاه‌های معتبر آمریکا در زمینه مهندسی عمران قرار دارد. تحصیل وی در آنجا با حوادث انقلاب هم‌زمان شد و در سال ۱۳۵۸ بدون آنکه تحصیل در دوره دکترا را به پایان برساند، به کشور بازگشت. وی پس از بازگشت به کشور در زمینه بازگشایی دانشگاه‌ها فعالیت کرد و سال ۱۳۶۴ دوباره برای ادامه تحصیل اقدام کرد، ولی این‌بار به انگلستان رفت و در امپریال کالج لندن که جزو ۱۰ دانشگاه برتر دنیاست، مشغول به کار شد. هرچند موضوع پایان‌نامه دکترای وی در انگلستان متفاوت از آمریک بود و باوجود ازدواج و داشتن سه‌فرزند، توانست دوره دکترا را سه‌ساله به پایان برساند. موضوع پژوهشی دکترای وی رفتار لرزهای سدهای خاکی بود که در حوزه مهندسی ژئوتکنیک لرزانه است. وی از سال ۱۳۶۰ تا سال ۱۳۷۱ در دانشگاه‌های خواجه‌نصیر و امیرکبیر و از سال ۱۳۷۱ در دانشگاه شریف مشغول کار است و بیش از ۳۳سال سابقه علمی و تحقیقاتی دارد. وی در سال ۱۳۶۳ یک کتاب با نام «سدهای خاکی» و پس از آن چندین کتاب تخصصی تألیف کرد که در دانشگاه‌ها تدریس می‌شود. وی بیش از ۴۰مقاله چاپ‌شده در ژورنال‌ها و حدود ۱۰۰ مقاله عرضه‌شده در کنفرانس‌ها دارد و در حدود ۱۵کنفرانس ملی و بین‌المللی، سخنران کلیدی بوده است. وی در کنار اجرای طرح‌های پژوهشی بسیار، در حوزه اجرا نیز فعال بوده که از این میان می‌توان به مشاوره عالی، مدیریت مهندسی و کنترل طرح‌ای سد کارون ۴، سد خنجرآب و چندسد دیگر اشاره کرد. طراحی، کنترل طراحی، مدیریت مهندسی و نظارت‌عالیه بر گودبرداری‌های عمیق یکی از دیگر فعالیت‌های وی در چندسال اخیر است.



پدیده‌های زلزله مارس ۲۰۱۱ در ژاپن / عکس:GlobalMedia

❧ **پشتیبانی مالی این آزمایش‌ها به چه صورتی بود؟**

این آزمایش‌ها بسیار پرهزینه است و اینها را نمی‌توان بدون پشتیبانی مالی انجام داد. برای گرفتن پشتیبانی مالی، باید موضوع را به کارفرما بیان و اهمیت آن را اثبات می‌کردیم که خود این کار حدود پنج‌شش‌ماه زمان برد. تا بخواهیم مدل را آماده کنیم و برای طراحی و ساخت دستگاهی که بارش ماسه را انجام می‌داد، یکی، دوماه طول کشید. البته ما خیلی از کارها را هم به موازات هم انجام می‌دادیم. این یک بار کت نمی‌چندساله بود که یک دانشجوی دکترا و حداقل پنج‌دانشجوی کارشناسی ارشد درگیر آن بودند. به‌طور کلی هر کار یا آزمایشی که می‌خواستیم انجام دهیم یا ساخت هر مدل و حمل و نصب آن روی میز و سپس بارش ماسه در آب روی میز چیزی حدود یک‌ماه طول می‌کشید. ولی لرزاندن میز در حد چندثانیه تا یک‌دقیقه طول می‌کشید.

❧ **هزینه این پژوهش‌ها چقدر بود و حامیان مالی چه بخشی از آن را تامین کردند؟ اصلاً حامیان چه کسانی بودند؟**

حامی مالی ما پژوهشکده حمل و نقل وزارت راه بود که هزینه‌های چهار آزمایش را متقبل شدند. اما بقیه این آزمایش‌ها بدون حامی مالی و با بودجه‌های جاری دانشگاه انجام شد.

❧ **گفتید نیروهای زلزله را در میز لرزه شبیه‌سازی می‌کنید. این میز چه مقدار نیرو وارد می‌کند؟**

فشار روغنی که توسط جک‌های روغنی به میز وارد می‌شود، حدود ۲۸۰ اتمسفر است یعنی فشاری که در عمق دوهزارو ۸۰۰متری روید وجود دارد. این فشار بسیار زیاد است و اگر در حین انجام آزمایش، موارد احتیاطی رعایت نشود، ممکن است ویرانی‌های بسیاری به بار آورد. البته لازم به ذکر است که این میز لرزان را خود من با همکاری تعدادی از همکاران راهاندازی کردم. در مجموع طراحی، ساخت و راهاندازی این میز لرزه حدود شش‌سال از وقت مرا به‌عنوان رئیس مرکز تحقیقات مهندسی زلزله دانشگاه صنعتی شریف گرفت که در این مدت آقایان دکتر «بخشی» که هم‌اکنون مسوول آزمایشگاه میز لرزان هستند، دکتر «مقدم» و دکتر «مرتبه» و برخی دیگر از همکاران با اینجانب همکاری صمیمانه‌ای را داشتند. قبل از من هم آقایان دکتر «گل‌افشانی»، دکتر «مرتبه»، دکتر «مقدم» و دکتر «کاظمی» در ساخت سوله و کف قوی و فونداسیون آن چندین سال تلاش کرده‌اند.

❧ **برای راه‌اندازی این میز لرزه با چه مشکلاتی روبه‌رو بودید؟**

پیش از اینکه من کارم را در این پروژه شروع کنم که این میز و سوله موجود بود. یک بازوی لرزاندنه (جک یا اکتوپاتور) هم از سال ۱۳۵۵ خریداری شده بود که من آنجا را تحویل شد. بعدها هم که می‌خواستیم آن را ارتقا دهیم، آمریکا از ارایه این قطعات به ما خودداری می‌کرد چون ما قصد داشتیم سیستم خریداری‌شده اولیه را از یک درجه آزادی به سه‌درجه آزادی ارتقا دهیم. من پس از پذیرش این مسوولیت، به دنبال آن بودم که برای آن منابع مالی یابی و ارزی پیدا کنم. در نهایت هم توانستیم با یک شرکت معتبر آلمانی به توافق برسیم تا قطعاتی را که لازم داریم، برایمان تهیه کنند. علاوه بر این با توجه به بازنی‌هایی که کردیم، تخفیف بسیار خوب و چشمگیری از آنها گرفتیم. در ابتدا قرار بود تجهیزات را به قیمت یک‌ویکصد میلیون‌مارک به ما بفروشند، ولی در نهایت به قیمت ۶۸۰هزارمارک به ما فروختند. ضمناً عرشه میز که ۱۲تن وزن دارد توسط آقای «دکتر مقدم» همکارانشان در ایران طراحی شد و ما خودمان آن‌را در ایران ساخته و نصب کردیم. این ابزاری که ما هم‌اکنون در اختیار داریم در کل خاورمیانه یک‌کاست و کشور دیگری در خاورمیانه، مشابه دستگاه ما را ندارد. ما تاکنون از این دستگاه راضی بودیم و همه آزمایش‌های سازهای و ژئوتکنیکی مورد نظر را با استفاده از این دستگاه انجام داده‌ایم.

❧ **با توجه به آزمایش‌های انجام‌شده، در نهایت به چه دستورالعملی برای ساختوساز در زمین‌های ماسه‌ای اشباع رسیدید؟**

من قبل از اینکه به این پرسش شما پاسخ دهم، لازم است ابتدا درباره مفهوم تخصصی و فنی دستورالعمل توضیح دهم. در حقیقت هر دستورالعملی باید بر نتایج تعداد زیادی از آزمایش‌ها مبتنی باشد. به وزارت راه‌وشهرسازی پیشنهاد دادم که ۱۸آزمایش دیگر انجام دهیم. اگر این آزمایش‌ها را به همراه مجموعه‌ای از بررسی‌های عددی دیگر انجام دهیم، آن وقت بر مبنای همه این پژوهش‌ها، تازه می‌توانیم یک راهنمای طراحی ارائه دهیم نه یک دستورالعمل. متأسفانه چیزی که در آمریکا به عنوان راهنما عرضه شده در اختیار مهندسان گزاشته‌اند، در ایران ترجمه می‌کنند و به عنوان دستورالعمل عرضه می‌کنند، مثل اولین دستورالعمل بهسازی لرزهای ساختمان‌ها. اینن موارد اصلاً نباید، دستورالعمل باشد، این موارد در خود آمریکا هم دستورالعمل نیست، بلکه فقط یک راهنما است. پس با انجام تحقیقات زیاد می‌توان نتایج آنها را به شکل یک راهنما تنظیم و به مهندسان ارائه کرد تا مهندسان بتوانند بر اساس آن، طراحی‌های خود را انجام دهند. برای مثال برای طراحی شمع‌هایی که ممکن است تحت‌تاثیر گسترش جانبی قرار گیرند یا شمع‌هایی که قرار است به تازگی کوبیده شوند، می‌توان راهنمایی عرضه کرد. اما علاوه بر اینها، ما آزمایش‌هایی درباره شمع‌هایی که از قبل کوبیده شده‌اند نیز آزمایشاتی انجام داده و در دست انجام داریم تا مشخص شود برای سازه‌هایی که هم‌اکنون روی شمع قرار گرفته‌اند و دچار گسترش جانبی ناشی از روانگرایی در زلزله‌های مختلف می‌شوند چه روش‌های بهسازی‌ی می‌تواند مناسب باشد تا از خرابی جلوگیری کند یا آسیب‌ها را به حداقل برساند. یعنی اگر پلی داریم که روی شمع قرار دارد، چه کار می‌توان کرد که این پل خراب نشود. بنابراین باید تمهیداتی را اندیشید و به کار برد که از خرابی‌های ناشی از گسترش جانبی پیشگیری کنیم.

## علم

نگاه ژرف

درباره روانگرایی خاک عامل اصلی ویرانی‌ها

مهسان زرکوب

روانگرایی خاک پدیده‌ای است که طی آن خاک اشباع، در اثر تنش شدیدی که به آن وارد می‌شود، مقاومت و سختی خود را به‌طور کامل از دست می‌دهد و مانند یک مایع رفتار می‌کند. این تنش ممکن است در اثر تکان‌های ناشی از زمین‌لرزه یا دگرگونی‌های ناگهانی در شرایط خاک پدید آید.

این پدیده بیشتر در خاک‌های اشباع، شل (با چگالی کم یا غیرمتراکم) و ماسه‌ای دیده شده است. دلیل این پدیده نیز آن است که ماسه‌های شل در اثر بار وارده، تمایل دارند که متراکم شوند، اما در عوض ماسه‌های متراکم تمایل دارند حجمشان زیاد شود.

اگر خاک از آب اشباع باشد (مانند خاکی که پایین‌تر از سطح آب زیرزمینی یا سطح دریاست)، آب فضای میان دانه‌های جامد (یا فضای حفره‌ای) را پر می‌کند.

حال اگر فشاری به خاک وارد شود، این فشار به آب موجود در این فضاهای خالی وارد می‌شود، در مقابل آب تلاشی می‌کند تا از فضای حفره‌ای خاک تحت فشار، خارج شود و به جایی با فشار کمتر سرازیر شود.

معمولاً در این موارد آب به‌سمت سطح زمین یا به سمت بالا حرکت می‌کند. با این حال اگر فشار سریع وارد شود و به اندازه کافی بزرگ باشد یا به دفعات زیاد تکرار شود (مانند آنچه که در زمین‌لرزه اتفاق می‌افتد یا فشاری که در اثر توفان وارد می‌شود)، به‌گونه‌ای که آب فرصت آن را پیدا نکند تا دور بعدی که دوباره بار وارد می‌شود، از میان دانه‌های خاک به بیرون جاری شود، فشاری در آب به وجود می‌آید که از تنش‌شی که باعث کنسار هم‌گنداشتن دانه‌های جامد خاک می‌شود، بسیار بیشتر می‌شود.

تماس میان دانه‌های خاک تنها راه انتقال وزن ساختمان و لایه‌های زیر آن به لایه‌های خاک در عمق پایین‌تر یا سنگ بستر است.

حال وقتی خاک اینچنین ساختارش را از دست می‌دهد و تماس میان دانه‌های جامد از بین می‌رود، دیگر هیچ مقاومتی از خود نشان نمی‌دهد. یعنی دیگر نمی‌تواند تنش برشی را انتقال دهد و مانند یک سیال جاری می‌شود.

نوعی از روانگرایی خاک، زمانی روی می‌دهد که تنش موثر خاک به من صفر می‌رسد که در نتیجه آن مقاومت برشی خاک به‌طور کامل از دست می‌رود.

چنین وضعیتی ممکن است از بارگذاری بکنواخت مانند یک تغییر ناگهانی در تنش بالاسری (مانند افزایش بار ناگهانی در یک سد خاکی) یا بار دورهای مانند ترکر تغییر شرایط تنش یا بار ناشی از لرزش‌های زمین‌لرزه پدید آید. در این حالت‌ها، در اثر تغییر بار، مقدار زیادی فشار آب حفره‌ای در یک خاک اشباع سست، ایجاد و پس از آن، خاک مانند یک سیال روان می‌شود.

این پدیده به این دلیل است که در اثر بار بزرگ واردشده به خاک، مقدار زیادی فشار آب حفره‌ای در خاک ایجاد و این فشار از دانه‌های جامد خاک به آب موجود در حفره‌های خاک منتقل می‌شود. با افزایش فشار آب حفره‌ای، تنش موثر کاهش می‌یابد و در نتیجه مقاومت خاک کاهش می‌یابد و خاک روان می‌شود. روانگرایی عامل اصلی ویرانی‌های سافرانسیسکو در زمین‌لرزه ۱۹۸۹، لومبارپریتا و بندر کوبه در زمین‌لرزه بزرگ هانتینگتن در سال ۱۹۹۵ بود. همچنین ویرانی‌های شدیدی که در منطقه مسکونی و حومه‌ای کرایست‌چرچ در زلاندنو در طول زمین‌لرزه ۲۰۱۰ کنتربری و زمین‌لرزه ۲۰۱۱ زلاندنو اتفاق افتاد، همگی ناشی از روانگرایی خاک بود.

در بسیاری از کشورهای پیشرفته، آیین‌نامه ساخت‌وساز مهندسان را مجبور می‌کند که اثرات روانگرایی خاک را در طراحی ساختمان‌ها، پل‌ها، سدها و سازه‌های نگهدارنده در نظر بگیرند.

زاویه دید

حوزه تخصصی بین زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله زلزله‌شناسی مهندسی



مهدی زارع\*

علم زلزله‌شناسی عمدتاً در زیرمجموعه علوم فیزیکی و به عنوان بخشی از ژئوفیزیک محسوب می‌شود. مهم‌ترین زلزله‌شناسان در طی سده بیستم از فیزیکدانان (مانند بنو گوتنبرگ ز ۱۸۸۹-ف ۱۹۶۰ و چارلز ریشتر ز ۱۹۰۰-ف. ۱۹۸۵) و ریاضیدانیان (مانند بوریس بولت ز ۱۹۳۰-ف. ۲۰۰۵) بودند که به مطالعه و مدل‌سازی امواج لرزه‌ای در زمین پرداختند از حدود دهه ۳۰ میلادی بود که در ژاپن و آمریکا به اهمیت مطالعه زلزله‌شناختی با دیدگاه مهندسی و با تمرکز بر زلزله‌های مخرب (که بیشتر در فاصله‌های نزدیک به هر محل مورد نظر رخ می‌دهند) پرداختند. اولین فردی که در ژاپن به این موضوع پرداخت استاد «کیوشی کایایی» بود که کتابی نیز به همین نام «Engineering Seismology» در سال ۱۹۸۳ منتشر کرد. در آمریکا شاید بتوان استاد «بوریس بولت» را پیشگام در این حوزه تخصصی دانست. در اروپا استاد «نیکلاس آمبرسیز» (ز ۱۹۲۸-ف. ۲۰۱۲) که حدود یک‌سال‌ونیم قبل در لندن در گذشت بیشترین نقش و سهم را در این حوزه در دانشگاه امپریال کالج و در نیمه دوم سده بیستم در دنیا داشت. او دیپارتمانی را به همین نام در این دانشگاه تاسیس کرد. همین استاد «آمبرسیز» بود که در مورد تاریخ زمین‌لرزه‌های ایران نیز پژوهش‌های گسترده‌ای انجام داد که نتیجه بخشی از آنها در کتاب «تاریخ زمین‌لرزه‌های ایران» (که که به همراه دکتر چارلز ملویل نوشت) منتشر شد. طبق تعریفی که زنده‌یاد استاد «آمبرسیز» از زلزله‌شناسی مهندسی در مقاله‌ای با همین عنوان در سال ۱۹۸۸ ارایه می‌کند، «زلزله‌شناسی مهندسی بخشی از مهندسی عمران است که در حوزه بینابین زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله قرار می‌گیرد. وظیفه این شاخه علمی ارایه نتایج و پارامترهای زلزله‌شناسی در عالم مهندسی است» به نحوی که پژوهش‌های که در شاخه‌های مختلف مرتبط با علوم زمین و زلزله‌شناسی در زمینه زلزله انجام می‌شود (از مطالعه گسل‌های فعال گرفته تا مطالعه و پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه مورد استفاده قرار می‌گیرد، بنابراین نتیجه این تحلیل‌ها به صورت پارامترهای قابل کاربرد در مهندسی (مانند شتاب زمین‌لرزه) برای برآورد نیروی زمین‌لرزه می‌شوند) تمرکز کرده است. این پژوهش‌ها لازم به ذکر است که در سال ۱۹۶۹ (۱۳۴۸ش) کتابی به صورت مجموعه مقالات با عنوان «زلزله‌شناسی مهندسی» در سازمان زمین‌شناسی ایالاتمتحده منتشر شد که در آن عمدتاً روی لرزه‌خیزی فعالی (زلزله‌های مصنوعی حاصل از فعالیت‌های انسانی و زلزله‌های طبیعی که در مناطق گسله‌ولی به دلیل احداث و آبیگری مخزن سدها و در نتیجه به دلیل تحریک جابه‌جایی که گسل‌های آبگیری می‌شوند) تمرکز کرده است. این نوع زلزله‌ها به دلیل تریق آب در صفحه گسل‌ها که در پی‌امسون یا در داخل مخزن آبیگری‌شده سدها وجود دارند، رخ می‌دهند. در واقع رخداد آنها در همان منطقه بدون احداث سد هم قابل انتظار بوده ولی با احداث و آبیگری مخزن سدها در رویدادشان تسریع شده است. از سوی دیگر بحث مهم در زمینه زلزله‌شناسی مهندسی مطالعات شتاب‌نگاری زلزله است. شتاب‌نگاشت‌ها داده‌های بنیادی برای طراحی‌های لرزه‌ای و به‌ویژه برای استفاده از آیین‌نامه‌های زلزله را در تمام دنیا فراهم می‌کنند (مانند این‌نامه ۲۸۰۰ توماس در ایران). از دهه ۳۰ میلادی در ژاپن و آمریکا ساخت و نصب نوع خاصی از دستگاه‌های لرزه‌نگاری آغاز شد که برای ثبت مستقیم شتاب زلزله تنظیم شده بود و به دلیل اینکه این دستگاه‌ها از نوع لرزه‌نگارهای پرپود کوتاه هستند، مختص ثبت زلزله‌های در فاصله نزدیک هستند (یعنی زلزله‌هایی که اگر با بزرگای بین ۷ تا ۸٫۵ در فاصله تا حدود ۲۵۰کیلومتری از کانون زمین‌لرزه این دستگاه‌ها قابل ثبت هستند. این همان محدوده فاصله است که در آن زمین‌لرزه موجب تخریب و خسارت (یا حداقل احساس) می‌شود. این دستگاه‌های شتاب‌نگاری با کوشش‌های اولین مهندس زلزله ایرانی، استاد مهندس «علی‌اکبر مین‌فر» (ز ۱۳۰۷-ف. ۱۳۰۷)، در ایران به‌تدریج از اوایل دهه ۴۰مهندسی نصب شد. استاد «امین‌فر» در نیمه دوم دهه ۴۰ شمسی تحصیلات تخصصی زلزله خود را در دانشگاه واسدای ژاپن انجام دادند و سپس برای خدمت به کشور بازآمدند. ایشان در سازمان برنامه و بودجه رئیس دفتر فنی بودند و به دلیل علاقه و درک اهمیت این دستگاه‌ها به عنوان دستگاه‌های لرزه‌نگاری که ارزش بنیادی در مهندسی زلزله دارند، به‌تدریج همان نصب شد. اولین نگاشت هم هم هم در ۱۶اسفند ۱۳۵۳ در زلزله سرخون بندرعباس با بزرگای ۶٫۲ در ایستگاه شتاب‌نگاری بندرعباس به‌دست آمد. در سال‌های بعد از انقلاب، با نظارت و درخواست خود استاد «امین‌فر» مدیریت و بانک داده‌ها و نگاشت‌های شتاب‌نگاری که تا سال ۱۳۵۹ به‌دست آمده بود، به مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن منتقل شد (این مرکز حدود دوسال قبل به مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی تغییر نام داد). رصد داده‌های شتاب‌نگاشت‌ها در ایران، بردارشی و انتشار این داده‌ها در تمامی ۳۴سال گذشته از سوسی شبکه ملی تابلشگری که در مرکز موزیر تشکیل شد، به‌خوبی انجام شده و هم‌اکنون بیش از ۱۰هزار نگاشت شتاب‌نگاری در کشور توسط این شبکه ثبت شده است. بعضی از این نگاشت‌ها نظیر شتاب‌نگاشت‌های زمین‌لرزه ۲۵تهریور ۱۳۵۷ (طیس (با بزرگای ۷٫۴) زمین‌لرزه ۳۱ خرداد ۱۳۶۹ منجیل (با بزرگای ۷٫۳) و زمین‌لرزه پنجم‌دی ۱۳۸۲ (ب ما بزرگای ۶٫۵) علاوه بر استفاده در طراحی‌های لرزای سازه‌ها و پروژه‌های مهندسی در ایران، به‌مفهوم رایج‌یمن‌سازی مستندشدن کاهش ریسک زلزله و آسیب‌پذیری کل کشور، در هانتینگتن نیز وارد دارد و در کشورهای مختلف لرزه‌خیز در پروژه‌های بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله و موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، مرکز تحقیقات راه مسکن و شهرسازی و چندین دانشگاه دیگر (از جمله دانشگاه‌های تهران، تربیت‌مدرس، خواجه نصیرالدین طوسی، اراک و دانشگاه آزاد اسلامی و…) مشغول تحقیق و تدریس در این زمینه هستند، به نحوی که هم‌اکنون تنها در پژوهشگاه زلزله و سدها و سازه‌های مختلف زلزله‌شناسی مهندسی به عنوان عضو هیات علمی مشغول به فعالیت و تحقیق و تدریس هستند نسلی از متخصصان و مهندسان ایرانی نیز در این زمینه‌فارغ‌التحصیل شده و در موسسات و شرکت‌های مختلف مشغولند. جالب است ذکر شود که اولین فارغ‌التحصیل رشته زلزله‌شناسی از داخل کشور (در سال ۱۳۸۵)، آقای دکتر «فریدون سینانیان» در دوره دکترای زلزله‌شناسی پژوهشگاه زلزله بودند که زمینه تخصصی دکترای ایشان «زلزله‌شناسی مهندسی» بود.

❧ **دانشیار زلزله‌شناسی مهندسی، پژوهشگاه زلزله**