بسم الله الرحمن الرحیم

شرایط ویژه پذیرش دانشجویان بین‌الملل

ریشتر

ریشتر-نشریه انجمن علمی دانشجویی علوم و مهندسی زلزله دانشگاه تبریز
سال سوم / شماره یازدهم / زمستان ۱۴۰۴

Rishtar - Journal of the Student Scientific Association of Earthquake Science and Engineering, University of Tabriz
University of Tabriz, winter 2026/ Issue 11/ Year 3

صاحب امتیاز: انجمن علمی-دانشجویی علوم و مهندسی زلزله دانشگاه تبریز
License Holder:Scientific–Student Association of Earthquake Science and Engineering, University of Tabriz

استاد مشاور انجمن: دکتر سامان باقری
Faculty Advisor of the Association: Dr. Saman Bagheri

مدیر مسئول: کیان گلوانی
رشته و مقطع: کارشناسی مهندسی عمران
Managing Director: Kian Galvani
Email: galvanikian@gmail.com

سردبیر: آتنا بابایی
رشته و مقطع: کارشناسی مهندسی عمران
Editor-in-Chief: Atena Babaei
Email: atenababaie85@gmail.com

مدیر اجرایی: زهرا ملاحمزه‌زاده
صفحه آرا و گرافیست: زهرا ملاحمزه‌زاده
Executive Manager: Zahra Molla hamzehzadeh
Layout and Graphic Designer: Zahra Molla hamzehzadeh
Email: Zahrahamzehzadeh81@gmail.com

ویراستار علمی و ادبی: علی زردکوهی، طاهر علیزاد
نویسندگان و گردآوران (به ترتیب حروف الفبا) :فاطمه ارحمی، آتنا بابایی، علی طاقی، محمدرضا غفاری، عسل مرادی ایلخچی
با تشکر از: دکتر باقری، دکتر ولادی، دکتر فرهمند، دکتر لطف الهی، مهندس فیضی

Scientific and Literary Editors: Ali Zardkouhi , Taher Alizad
Authors and Compilers (in alphabetical order): Fatemeh Arhami, Atena Babaei, Ali Taqi, Mohammadreza Ghaffari, Asal Moradi Ilkhchi
special thanks to: Dr. Bagheri, Dr. Veladi, Dr. Farahmand, Dr. Lotfollahi, Eng. Feyzi

شماره مجوز: ک.ن.ت ۱۰۹/۹
License No: 109/9 KNT

سایت دانشگاه تبریز: *www.tabrizu.ac.ir*
Tabriz University Website: www.tabrizu.ac.ir

آدرس:تبریز، بلوار۲۹بهمن، خیابان امام خمینی، دانشگاه تبریز.
Address: Tabriz, 29 Bahman Boulevard, Imam Khomeini Street, University of Tabriz.

آدرس دفتر انجمن: دانشگاه تبریز-ساختمان پردیس (ساختمان ۷)- طبقه اول
Office Address:
University of Tabriz – Pardis Building (Building 7) – First Floor



کیان گلوانی — مدیر مسئول
آتنا بابائی — سردبیر
زهراملاحمزه‌زاده — طراح و صفحه‌آرا
علی زرد کوهی — ویراستار
طاهر علیزاد — ویراستار

فهرست

۴ سخن نخست

۶ ریشتر نیوز

۸ روایت موج‌هایی که از دل انجمن علمی زلزله بلند شد

۱۶ گزارش

۱۸ گزارش زمین لرزه‌های رخ داده

۲۰ معماری و زلزله: نماها

۲۲ نماهای سبز؛ ایمنی، نوآوری و تاب‌آوری شهری

۳۰ چالش‌های نمای سنگی در زلزله؛ تجربه‌ای از تبریز

۳۸ مهندسی زلزله

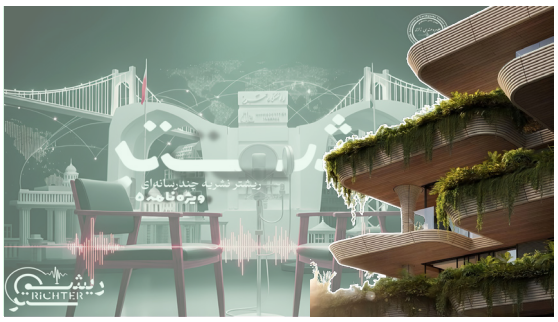
۴۰ بارگذاری سازه‌ها: مفاهیم، انواع و روشهای طراحی بر اساس مبحث ششم مقررات ملی ساختمان

۴۴ رکورد زلزله

۵۶ زلزله‌های دور و نزدیک

۶۶ آموزش نرم افزار

۶۸ آشنایی با نرم افزار ETABS از ایجاد مدل تا تحلیل اولیه















سخن نخست

Prolegomenon

آتنا بابائی
Atena Babaie
سردبیر نشریه

به نام داددار هستی

در پهنه‌ی گیتی، پدیده‌های ناپایدار همواره آزمونی برای سنجش «تاب‌آوری» بوده‌اند؛ خواه این ناپایداری از جنبش‌های درونی زمین سرچشمه بگیرد و خواه از تلاطمات ناخواسته‌ی روزگار. نشریه‌ی علمی-دانشجویی «ریشتر» اکنون در حالی به ایستگاه یازدهم خود رسیده است که تقدیر، مسیری متفاوت را پیش روی ما نهاد.

شماره‌ی پیش‌رو، حاصل ادغام تلاش‌های تیم تحریریه در زمستان ۱۴۰۴ است؛ تاخیری که نه از سر سستی، بلکه ناشی از شرایط تحمیلی و فضای غبارآلود جنگی بود که میهن عزیزمان و به تبع آن، نهاد دانشگاه را تحت‌الشعاع قرار داد.

ما نیک می‌دانیم که در ماه‌های اخیر، فاصله‌ی فیزیکی میان کلاس‌های درس و تبدیل شدن صحن‌های دانشگاه به اتاق‌های مجازی، برای شما پویندگان دانش، باری مضاعف بوده است. اما بر این باوریم که رسالت مهندسی، تنها در محاسبات صلب بتنی و فولادی خلاصه نمی‌شود؛ بلکه «مهندسیِ امید» در روزهای سخت، عالی‌ترین سطح طراحی است. همدلی ما با شما همکلاسی‌هَا و اساتید بزرگوار که در این شرایط دشوار، چراغ علم را روشن نگاه داشته‌اید، پیوندی است به استواری پی‌های عمیق.

در این شماره، علاوه بر واکاوی تخصصی مباحث لرزه‌ای، نگاهی ویژه به مفاهیم نوظهور در معماری و سازه داشته‌ایم. از جمله در بخش‌های بصری این شماره، تمرکز بر نماهای سبز است؛ سیستمی که نه‌تنها نمادی از آشتی سازه با طبیعت و پایداری زیست‌محیطی است، بلکه به لحاظ فنی، با ایجاد لایه‌های میراگر و بهبود عملکرد حرارتی، روحی تازه به کالبد سرد و خاکستری ساختمان‌ها می‌بخشد. نمای سبز برای ما در این شماره، استعاره‌ای است از رویش دوباره در میانه‌ی آوارها؛ پیامی که نشان می‌دهد حتی بر دیوارهای سخت نیز می‌توان جوانه‌های زندگی را رویاند.

شماره یازدهم ریشتر، با تمام فراز و فرودها، اکنون در دستان شماست. از تمامی همکاران و دانشجویانی که با وجود محدودیت‌ها، قلم را بر زمین نگذاشتند سپاسگزاریم. امید است که این تلاش علمی، گامی کوچک در جهت اعتلای دانش مهندسی زلزله و مرهمی بر شکاف‌های ایجاد شده در بدنه‌ی آموزشی کشور باشد.

به امید آنکه دانش ما، نه تنها در محاسبات صلب سازه‌ای، بلکه در بازسازی امید و رویاندن جوانه‌های پایداری بر پیکره‌ی خسته‌ی این مرز و بوم، کارگر افتد.



با احترام

آتنا بابائی سردبیر نشریه

زمستان ۱۴۰۴


دانشگاه تبریز
پژوهشگاه علوم و مهندسی زلزله
ریشتر نشریه چندرسانه
ویژه‌نامه

ریشتر نیوز

روایت موج‌هایی که از دل انجمن علمی زلزله بلند شد

Rishter News; the story of the waves that rose from the heart of the Earthquake Scientific Association

ریشتر نیوز؛ روایت موج‌هایی که از دل انجمن علمی زلزله بلند شد

عسل مرادی

Asal Moradi

دانشجوی کارشناسی عمران دانشگاه تبریز



ریشتر چندرسانه‌ای

در فضای دانشگاه، گاهی بعضی صداها آرام‌تر از آن‌اند که در لحظه دیده شوند، اما اثرشان دیر یا زود در ذهن و حافظه جمعی می‌ماند. انجمن علمی زلزله در همین مسیر قدم برداشته؛ مسیری که از دل علاقه، مسئولیت‌پذیری و دغدغه علمی آغاز می‌شود و به تولید محتوا، تعامل علمی، کنش صنفی و روایت‌گری دانشجویی می‌رسد. «ریشتر نیوز» نتیجه همین رفت‌وآمدهای پرانرژی میان علم و تجربه است؛ نشریه‌ای که می‌خواهد فقط گزارش ندهد، بلکه حال‌وهوای زیستن در یک انجمن پویا را ثبت کند؛ انجمنی که هر فعالیتش، از یک پادکست کوتاه گرفته تا یک بیانیه صنفی، نشانی از زنده‌بودن، فکرکردن و اثر گذاشتن است.

صوتی و چندرسانه‌ای؛ صدای تجربه، روایت، و بازخوانی حافظه

از مهم‌ترین عرصه‌هایی که انجمن علمی زلزله در آن خوش درخشید، تولید پادکست بود؛ جایی که کلمه از صفحه جدا شد و به صدا تبدیل شد تا مخاطب، روایت‌ها را نه فقط بخواند، بلکه بشنود و با آن‌ها همراه شود.

نخستین شماره پادکست‌ها با موضوع زلزله و فاجعه بم و به زبان ترکی منتشر شد؛ اثری که در ۴ دی ۱۴۰۴ شکل گرفت و با قلم امیرحسین خلیل‌زاده و صدای مهسا زهرابی جان گرفت. این شماره، صرفاً یک تولید صوتی نبود؛ تلاشی بود برای بازگشت به یکی از تلخ‌ترین صفحات حافظه جمعی، اما این‌بار با نگاهی آگاهانه، دقیق و انسانی‌تر.





ریشتر

فصلنامه انجمن علمی-دانشجویی علوم و مهندسی زلزله
دانشگاه تبریز، سال سوم، ویژه نامه چهارم

صوتی

اولین شمارهٔ نشریه ریشتر به زبان کردی

دومین شماره صوتی نشریه ریشتر

دربارهٔ سونامی



در ادامه، شماره چهارم پادکست‌ها با موضوع سونامی و به زبان کردی منتشر شد؛ روایتی که سروه ایافت هم‌زمان نویسندگی و گویندگی آن را برعهده داشت. این شماره نشان داد که انجمن علمی زلزله تنها به تولید محتوا بسنده نمی‌کند، بلکه می‌کوشد زبان‌های مختلف، تجربه‌های مختلف و مخاطبان مختلف را نیز در بر بگیرد.

شماره پنجم ویژه‌نامه‌های ریشتر در قالب یک تجربه جدید با حال‌وهوایی متفاوت‌تر سراغ مصاحبه با دانشجویان خارجی رفت؛ گفت‌وگویی که در سال ۱۴۰۳ ضبط شده بود و به همت کیان گلوانی به مرحله انتشار رسید. این بخش از فعالیت انجمن، پنجره‌ای تازه به روی تجربه‌های زیسته دانشجویان بین‌الملل گشود و نشان داد که انجمن علمی زلزله تنها به موضوعات فنی و تخصصی محدود نیست، بلکه به روایت انسان‌ها نیز اهمیت می‌دهد.

اگر نشریات صوتی و چندرسانه‌ی صدای انجمن بودند، مجلات چاپی بی‌تردید چهره مکتوب و اندیشمندانه آن‌اند. در میان همه تولیدات، انتشار ویژه‌نامه‌ها همیشه جایگاهی ویژه داشته؛ چراکه این بخش به انجمن اجازه می‌دهد از خبر و گزارش فراتر برود و وارد لایه‌های عمیق‌تری از تحلیل و پرداخت موضوع شود.

ویژه‌نامه سوم که در ۱۷ دی ۱۴۰۵ منتشر شد، با موضوع مهندسی عمران و معماری مسجدالنبی، نمونه‌ای از همین نگاه دقیق و چندبعدی بود. این شماره کوشید تا میان علم، تاریخ و معماری پلی بزند و از دل یک بنای شناخته‌شده، روایتی تازه و تحلیلی بیرون بکشد. در این ویژه‌نامه، توجه به جزئیات، نگاه تخصصی و علاقه به پیوند میان رشته‌ها کاملاً مشهود بود؛ انگار انجمن می‌خواست بگوید که دانش، وقتی ارزشمندتر می‌شود که بتواند میان گذشته و امروز، میان فرم و عملکرد، و میان زیبایی و مهندسی ارتباطی زنده برقرار کند.



دوره‌های آموزشی؛ انگیزه‌ی اولیه انجمن

در روز ۱۴ دی ماه ۱۴۰۱ که این انجمن تاسیس شد یکی از اهداف اولیه‌ی خود را تمرکز بر دوره‌های آموزشی تعیین کرده بود و خیلی زود با دستیابی به مقام انجمن‌برتر آموزش محور دانشگاه تبریز در جشنواره حرکت به نتیجه‌ی آن رسید.

در این راستا انجمن علوم و مهندسی زلزله با تدریس سرکار خانم دکتر مهسا کریم‌زاده، دوره آموزشی «برنامه نویسی با زبان پایتون» (سطح مقدماتی و متوسط) را برگزار کرد. لازم به ذکر است که این دوره در قالب ۱۵ ساعت تدریس ارائه شد و علی‌رغم رخ دادن جنگ تحمیلی و قطعی سراسری اینترنت کشور به همت اعضای انجمن تکمیل شد.



قرارگیری روی بزرگترین پلتفرم کتب الکترونیکی

ما در ریشتر با هدف افزایش دسترسی مخاطبین و بالا بردن سطح انتشار مجله تصمیم به همکاری با سکوی اینترنتی «طاقچه» گرفتیم و تمامی شماره‌های اصلی و ویژه‌نامه‌های خود را که به شکل چاپی منتشر شده بودند را به شکل رایگان بر روی این پلتفرم قرار دادیم. زین پس نیز تمامی شماره‌های چاپی ما بر این بستر نیز منتشر خواهند شد.







همکاری‌های علمی؛ وقتی انجمن از مرزهای خودش فراتر می‌رود

یکی از نشانه‌های بلوغ هر مجموعه علمی، توانایی آن در تعامل و هم‌افزایی با دیگر نهادهای دانشگاهی است؛ و انجمن علمی زلزله در این زمینه نیز کارنامه‌ای قابل توجه از خود به جا گذاشت.

در ۸ دی ۱۴۰۵، عسل مرادی با حضور در دانشکده مرند و ارائه‌ای علمی، زمینه‌ای برای ارتباط بیشتر، تبادل تجربه و گسترش شبکه‌های علمی میان دانشجویان فراهم کرد. این برنامه فقط یک سخنرانی ساده نبود، بلکه نشانه‌ای از تمایل انجمن به دیده‌شدن در فضای فراتر از مرزهای داخلی و دانشگاهی خودش بود.



چند روز بعد، در ۹ دی ۱۴۰۵، کارگاه «فوت‌وفن پژوهش علمی» با تدریس آیدین پناهی و با همکاری انجمن عمران دانشگاه تبریز برگزار شد. این کارگاه برای دانشجویانی که می‌خواستند با مسیر پژوهش، ظرافت‌های آن و مهارت‌های لازم برای ورود جدی‌تر به دنیای تحقیق آشنا شوند، فرصتی ارزشمند بود. در واقع، این برنامه نه فقط انتقال تجربه، بلکه نوعی سرمایه‌گذاری بر آینده علمی دانشجویان به شمار می‌رفت.



با کمی فاصله انجمن علمی-دانشجویی علوم و مهندسی زلزله سطح همکاری‌هایش را افزایش داده و با مشارکت در برنامه‌ای که انجمن علمی دانشجویی مهندسی عمران، با همکاری انجمن های علمی معماری، طراحی شهری و نقشه برداری و گروه استعدادهای درخشان دانشکده عمران دانشگاه تبریز تحت عنوان کارگاه تخصصی «آشنایی با قوانین و امتیازات عضویت در استعداد های درخشان» برگزار شد به اوج نقطه‌ی همکاری‌های درون دانشکده‌ای رسید.

بیانیه‌های صنفی؛ صدایی برای آنچه باید گفته شود

انجمن علمی زلزله تنها به تولید محتوای علمی و فرهنگی بسنده نکرده، بلکه در بزنگاه‌های مهم، مسئولیت اجتماعی و صنفی خود را نیز به‌روشنی نشان داده است. اینجا جایی است که نشریه از سطح روایت صرف عبور می‌کند و به بیان موضعی روشن و انسانی می‌رسد.

در ۱۹ بهمن ۱۴۰۵، انجمن‌های علمی دانشگاه تبریز با صدور بیانیه‌ای نسبت به دو موضوع مهم واکنش نشان داد: پیگیری وضعیت دانشجویان بازداشتی و لزوم برگزاری کلاس‌های حضوری. این بیانیه، فراتر از یک متن رسمی، صدای جمعی دانشجویانی بود که خواهان حفظ کرامت، شفافیت و تداوم فضای آموزشی حضوری بودند.

دانشگاه تبریز
مدیریت امور اجتماعی

ریاست محترم دانشگاه تبریز، جناب آقای دکتر اعلمی
با سلام و احترام،
امام صادق(ع) می‌فرماید:
"ثَلاثَةُ أَشْیاءَ یَحْتاجُ النّاسُ طُرًّا إِلَیْهَا: الْأَمْنُ وَ الْعَدْلُ وَ الْخِصْبُ"
سه چیز است که همه مردم به آنها نیاز دارند: **امنیت، عدالت و رفاه.**

ما، به عنوان انجمن‌های علمی دانشگاه تبریز، در شرایطی سخن می‌گوییم که دانشجو خلل امنیت، عدالت و رفاه را حس می کند. دانشگاه، به عنوان سنگر آزاداندیشی و کانون پرورش فرهیختگان جامعه، در چنین شرایطی بیش از هر زمان دیگری مسئولیت دارد تا با دفاع از حقوق مسلم آموزشی و کرامت دانشجویان، برای بازگرداندن این ارکان اساسی به حریم علم تلاش کند.

این وضعیت فعلی نه تنها مغایر با شأن دانشگاه به عنوان محیط امن علمی است، بلکه آیندهٔ تحصیلی و حرفه‌ای دانشجویان را به مخاطره افکنده است. نزدیکی به آغاز نیمسال تحصیلی، این نگرانی را دوچندان کرده و باور داریم هرگونه تأخیر در رفع این مشکل باعث اختلال در روند تحصیلی دانشجویان خواهد شد.

انجمن‌های علمی دانشگاه تبریز، با تکیه بر مسئولیت اخلاقی، علمی و صنفی خود، از جنابعالی به عنوان رئیس دانشگاه و متولی اصلی حفظ کرامت و حقوق دانشجویان، درخواست‌های فوری زیر را مطرح می‌نماید:

۱. پیگیری آزادی دانشجویان بازداشت‌شده و تضمین امنیت آموزشی آنان
انتظار داریم دانشگاه با تمام اقتدار نهاد علمی خود، حامی دانشجویان بوده و از طریق پیگیری های قانونی و اداری، آزادی آنان را به‌سرعت محقق ساخته و از هرگونه آسیب به وضعیت تحصیلی و آیندهٔ علمی این عزیزان جلوگیری نماید. ما خواستار تضمین‌های عملی از سوی دانشگاه و مراجع ذی‌صلاح در این زمینه هستیم.

۲. برگزاری کلاس‌های حضوری برای ارتقای کیفیت آموزش و تعامل علمی
با توجه به تجربیات گذشته و آسیب‌های ناشی از آموزش مجازی، درخواست داریم با برنامه‌ریزی دقیق ، کلاس‌های درسی به صورت حضوری برگزار شوند تا فرآیند علم‌آموزی در فضایی پویا، همراه با تعامل مستقیم استاد و دانشجو و بهره‌گیری از امکانات دانشگاهی، با کیفیت مطلوب تداوم یابد.

ما از شما انتظار داریم که ترجمانِ واقعیِ دغدغه‌های علمی و صنفی جامعهٔ دانشجویی بوده و با شجاعت اداری در راه تحقق عدالت آموزشی و احیای آرامش و پویایی در دانشگاه قدم بردارید. بدیهی است انجمن‌های علمی دانشگاه تبریز این موضوعات را به‌صورت مستمر پیگیری کرده و خواستار اطلاع روشن از روند اقدامات و نتایج حاصل‌شده تا قبل از شروع نیمسال تحصیلی جدید خواهند بود.

با احترام،
انجمن‌های علمی دانشگاه تبریز
بهمن‌ماه ۱۴۰۴

فراخوان همکاری؛ دعوتی برای ساختن ادامه این مسیر

هیچ انجمنی بدون حضور نیروهای تازه، ایده‌های نو و انرژی‌های خلاق نمی‌تواند مسیر خود را ادامه دهد. به همین دلیل، انجمن علمی زلزله از همه علاقه‌مندان دعوت کرده تا در حوزه‌های تولید محتوا، تحقیق، مصاحبه، ویراستاری، صفحه‌آرایی و گرافیک به این جریان بپیوندند.

این فراخوان تنها یک اعلان ساده نیست؛ دعوتی است برای واردشدن به مسیری که در آن، هر فرد می‌تواند سهمی در ساختن روایت‌های بعدی داشته باشد. چه در نوشتن، چه در طراحی، چه در جست‌وجوی موضوعات تازه و چه در شکل‌دادن به تصویر نهایی نشریه، حضور هر همکار تازه می‌تواند به غنای بیشتر این مسیر کمک کند.

در یک نگاه کلی، فعالیت‌های اخیر انجمن علمی زلزله نشان می‌دهد که این مجموعه فقط یک تشکل دانشجویی نیست، بلکه بستری برای تجربه‌کردن، یادگرفتن، روایت‌کردن و اثرگذاشتن است. از پادکست‌هایی که خاطره و آگاهی را به صدا تبدیل کردند، تا ویژه‌نامه‌هایی که دانش را به تأمل بدل ساختند، و از همکاری‌های علمی تا بیانیه‌های صنفی، همه و همه نشانه‌هایی هستند از انجمنی که می‌خواهد در دانشگاه صرفاً حضور نداشته باشد، بلکه اثرگذار باشد.





گزارش زمین لرزه‌های رخ داده





گزارش زمین لرزه‌های رخ‌داده

پوریا پارچه‌باف

poria parchesbaf

دانشجوی کارشناسی عمران دانشگاه تبریز

محل وقوع	بزرگی (Richter)	عمق (km)	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	زمان وقوع	ساعت وقوع
۲۶ کیلومتری جنوب غربی کابلان،فیلیپین	7.8	55.2	125.047E	5.592N	2026-06-08	03:07:41 (UTC)
۱۹ کیلومتری جنوب غربی بالانگونان،فیلیپین	6.5	65.6	125.025E	5.472N	2026-06-08	04:25:12 (UTC)
۱۰۴ کیلومتری شمال غربی مانتوا،کوبا	6.1	10	85.139W	22.801N	2026-06-08	21:30:25 (UTC)
۱۶ کیلومتری بالانگونان، فیلیپین	6	81.8	125.210E	5.522N	2026-06-08	03:18:11 (UTC)
۱۴ کیلومتری ماندالا، برمه	7.7	10	95.936°E	22.011°N	2025-03-28	06:20:52 (UTC)
۲۱۰کیلومتری جورج تاون	7.6	14.3	82.395°W	17.651°N	2025-02-08	23:23:14 (UTC)
۲۹ کیلومتری ییلان فیلیپین	6.6	63	122.035°E	24.684°N	2025-12-27	15:05:55 (UTC)
۹۳ کیلومتری جنوب فلات تبت	7.1	10	87.378°E	28.604°N	2025-01-07	01:05:16 (UTC)
۱۱۷ کیلومتری هاچی‌نوهه	6.7	19	142.813°E	40.890°N	2025-12-12	02:44:12 (UTC)
۱۵ کیلومتری میازاکی ژاپن	6.8	39	131.553°E	31.833°N	2025-01-13	12:19:32 (UTC)

در این گزارش زلزله‌هایی که با بزرگای بیش از ۵ ریشتر از ۷ ژانویه ۲۰۲۵ تا ۸ ژوئن ۲۰۲۶ رخ داده است آورده‌ایم که بزرگترین آن ها در کابالان، فیلیپین رخ داده است به بزرگای ۷/۸ ریشتر در عمق ۵۵/۲ کیلومتری.

محل وقوع	بزرگی (Richter)	عمق (km)	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	زمان وقوع	ساعت وقوع
۱۸ کیلومتری آکیلا مکزیک	6.5	39	103.363°W	18.502°N	2025-01-12	08:32:49 (UTC)
۵۶ کیلومتری لالیبرتاد السالوادور	6.2	46	89.178°W	13.001°N	2025-01-05	17:18:45 (UTC)
۱۷۰کیلومتری ریورتون نیوزیلند	6.7	21	165.863°E	46.731°S	2025-03-25	01:43:11 (UTC)
جنوب 44 کیلومتری غربی سارانگانی،فیلیپین	5.2	55.7	125.244E	5.065N	2026-06-08	17:07:58 (UTC)
۲۶ کیلومتری کالاما، شیلی	6.9	109	68.678°W	22.398°S	2026-05-25	21:52:20 (UTC)
۱۲ کیلومتری هونائوناپوپو، هاوایی	6.0	22.6	155.843°W	19.340°N	2026-05-23	07:46:01 (UTC)
۲۳ کیلومتری لیژو، چین	5.1	10	109.274°E	24.494°N	2026-05-18	13:44:26 (UTC)
۴۴ کیلومتری اوفانتو، ژاپن	6.7	42	142.183°E	38.910°N	2026-05-15	11:22:01 (UTC)
منطقه ای از اقیانوس آرام جنوبی	6.6	10	122.298°W	55.998°S	2026-05-20	17:43:01 (UTC

منابع



معماری و زلزله‌ها

نماهای سبز؛ ایمنی، نوآوری و تاب‌آوری شهری

علی طاقی
Ali Taghi



دانشجوی کارشناسی ارشد عمران دانشگاه تبریز

مقدمه:
از زیبایی تا مسئولیت مهندسی

در دهه‌های اخیر، هم‌زمان با تشدید بحران‌های زیست‌محیطی و رشد شهرنشینی، مفهوم «نمای سبز» از یک ایده تزئینی فراتر رفته و به راهبردی چندبعدی در معماری معاصر تبدیل شده است. امروز نماهای سبز نه‌تنها به‌عنوان ابزاری برای ارتقای کیفیت بصری شهر، بلکه به‌عنوان عنصری مؤثر در بهینه‌سازی انرژی، کاهش اثر جزیره حرارتی و حتی بهبود سلامت روانی شهروندان شناخته می‌شوند.

در شهری مانند تبریز که با چالش‌هایی نظیر آلودگی هوا، نوسانات دمایی شدید و خطر لرزه‌ای بالا مواجه است، بررسی نماهای سبز تنها از منظر محیط‌زیستی کافی نیست؛ بلکه باید نسبت آن‌ها با «ایمنی سازه‌ای» و «رفتار لرزه‌ای» نیز تحلیل شود. این گزارش می‌کوشد با رویکردی فنی و آینده‌نگر، پیوند میان نوآوری معماری سبز و الزامات ایمنی در بستر شهری تبریز را واکاوی کند.

از زیبایی تا مسئولیت مهندسی

نمای سبز (Green Facade / Living Wall) به‌طور کلی به سیستمی اطلاق می‌شود که در آن پوشش گیاهی به‌صورت مستقیم یا غیرمستقیم بر سطح خارجی ساختمان استقرار می‌یابد. این سیستم‌ها در دو دسته اصلی طبقه‌بندی می‌شوند:

۱. نماهای سبز مستقیم: گیاهان بالارونده که مستقیماً به دیوار متصل می‌شوند.

۲. نماهای سبز غیرمستقیم یا دیوارهای زنده: سیستم‌های مدولار با زیرسازه فلزی، لایه‌های کاشت و شبکه آبیاری مجزا.





در نوع دوم، سازوکار سازه‌ای و جزئیات اتصال اهمیت دوچندان می‌یابد، زیرا بار مرده ناشی از بستر کاشت، آب ذخیره‌شده و تجهیزات نگهداری به ساختمان تحمیل می‌شود.

مزایای محیط‌زیستی؛ فراتر از زیبایی‌شناسی

نماهای سبز کارکردهایی چندلایه دارند:

- کاهش دمای سطح نما و بهبود عملکرد حرارتی ساختمان
- کاهش مصرف انرژی در سرمایش و گرمایش
- جذب ذرات معلق و بهبود کیفیت هوای شهری
- کاهش رواناب سطحی از طریق جذب و تبخیر آب باران
- افزایش تنوع زیستی شهری

در اقلیم تبریز با تابستان‌های نسبتاً گرم و زمستان‌های سرد، وجود یک لایه سبز می‌تواند به‌عنوان عایق حرارتی پویا عمل کند. اما همین لایه، از منظر سازه‌ای به معنای افزایش جرم و پیچیدگی سیستم نماست؛ موضوعی که در طراحی لرزه‌ای باید به‌دقت لحاظ شود.

ایمنی لرزه‌ای؛ چالش پنهان نماهای سبز

در مهندسی زلزله، هر افزایش جرم در ساختمان به معنای افزایش نیروی اینرسی است. نماهای سبز مدولار، به‌ویژه زمانی که اشباع از آب باشند، وزن قابل‌توجهی دارند. این وزن در هنگام زلزله به نیروی جانبی تبدیل می‌شود که باید از طریق اتصالات و زیرسازه به قاب اصلی منتقل گردد.

چالش‌های اصلی ایمنی لرزه‌ای در نماهای سبز عبارت‌اند از:

۱. افزایش بار مرده و متغیر

وزن بستر کاشت، آب، گیاهان بالغ و تجهیزات آبیاری باید در ترکیبات بارگذاری لحاظ شود. تغییرات فصلی (مثلاً افزایش جرم در اثر بارش یا یخ‌زدگی) نیز اهمیت دارد.

۲. رفتار دینامیکی متفاوت

سیستم‌های مدولار ممکن است رفتار ارتعاشی متفاوتی نسبت به سازه اصلی داشته باشند. در صورت عدم پیش‌بینی مهار مناسب، امکان جداشدگی یا برخورد اجزا وجود دارد.

۳. خوردگی و فرسایش اتصالات

وجود رطوبت دائمی، خطر خوردگی قطعات فلزی را افزایش می‌دهد. کاهش سطح مؤثر مقاطع در طول زمان می‌تواند ظرفیت باربری را کاهش دهد.

۴. خطر سقوط اجزا

در صورت شکست اتصال، پنل‌های گیاهی می‌توانند به‌صورت یکپارچه سقوط کنند و تهدیدی جدی برای عابران ایجاد نمایند



درس‌هایی از تجربه‌های جهانی

در پروژه‌های شاخص جهانی، طراحی نماهای سبز با همکاری نزدیک معماران، مهندسان سازه و متخصصان تاسیسات انجام می‌شود. برای مثال، در Bosco Verticale در شهر میلان، بار ناشی از درختان و پوشش گیاهی از ابتدا در طراحی سازه لحاظ شده و سیستم مهار ویژه‌ای برای مقاومت در برابر باد و زلزله پیش‌بینی شده است.

همچنین در One Central Park در شهر سیدنی، سیستم مدولار نما با جزئیات دقیق اتصال و برنامه نگهداری مستمر اجرا شده است. این پروژه‌ها نشان می‌دهند که موفقیت نمای سبز، وابسته به یکپارچگی طراحی معماری و مهندسی است.

الزامات طراحی ایمن در تبریز

برای انطباق نماهای سبز با شرایط لرزه‌ای تبریز، رعایت اصول زیر ضروری است:

۱. طراحی بر مبنای عملکرد

باید سطح عملکرد مورد انتظار نما در زلزله مشخص شود: عدم سقوط، آسیب محدود یا قابلیت بهره‌برداری پس از زلزله. این رویکرد نیازمند تحلیل تغییرمکان نسبی طبقات و کنترل دریفت است.

۲. استفاده از اتصالات مکانیکی مقاوم در برابر خوردگی

فولاد ضدزنگ یا پوشش‌های گالوانیزه گرم می‌توانند دوام سیستم را افزایش دهند. طراحی باید امکان تعویض و بازرسی دوره‌ای اتصالات را فراهم کند.

۳. پیش‌بینی سیستم زهکشی و مدیریت آب

تجمع آب نه‌تنها وزن سیستم را افزایش می‌دهد، بلکه خطر یخزدگی و ترک‌خوردگی را در زمستان بالا می‌برد. طراحی مناسب زهکشی برای اقلیم سرد تبریز حیاتی است.

۴. جداسازی حرکتی از سازه اصلی

درزهای حرکتی و جزئیات لغزشی می‌توانند انتقال مستقیم تغییرمکان‌های قاب سازه‌ای به پنل‌های گیاهی را کاهش دهند.

۵. نگهداری و پایش مستمر

نمای سبز سیستمی زنده است و نیاز به نگهداری منظم دارد. برنامه بازرسی باید بخشی از اسناد بهره‌برداری ساختمان باشد.



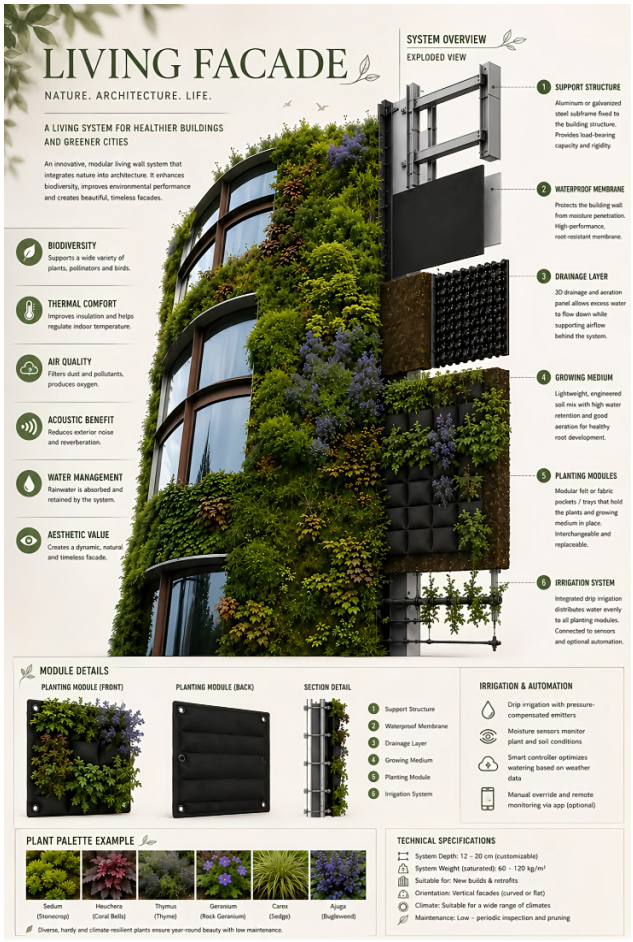


نوآوری‌های فناورانه در نماهای سبز

پیشرفت فناوری، افق‌های جدیدی در این حوزه گشوده است:

- سیستم‌های هوشمند آبیاری با حسگر رطوبت
- بسترهای کاشت سبک‌وزن با مواد بازیافتی
- پنل‌های پیش‌ساخته با اتصالات لرزه‌ای مهندسی‌شده
- مدل‌سازی عددی رفتار دینامیکی نما در نرم‌افزارهای تحلیل سازه

چنین نوآوری‌هایی می‌توانند ریسک‌های لرزه‌ای را کاهش داده و بهره‌وری سیستم را افزایش دهند. با این حال، انتقال فناوری به بستر محلی نیازمند آموزش نیروی متخصص و تدوین دستورالعمل‌های اجرایی بومی است.



ابعاد اقتصادی و سیاست‌گذاری شهری

اجرای نمای سبز هزینه اولیه بالاتری نسبت به نماهای متداول دارد. اما در تحلیل چرخه عمر، کاهش مصرف انرژی و افزایش ارزش ملک می‌تواند این هزینه را جبران کند. اگر ملاحظات ایمنی از ابتدا لحاظ نشود، هزینه‌های تعمیر و بازسازی پس از زلزله به‌مراتب بیشتر خواهد بود.

شهرداری‌ها می‌توانند با ارائه مشوق‌های مالیاتی یا تسهیلات، توسعه نماهای سبز ایمن را ترویج کنند. در عین حال، لازم است ضوابط فنی مشخصی برای طراحی و اجرای این سیستم‌ها تدوین شود تا از اجرای غیراصولی و پرخطر جلوگیری گردد.



جمع‌بندی: همزیستی طبیعت و مهندسی

نماهای سبز، نماد آشتی شهر با طبیعت‌اند؛ اما این آشتی زمانی پایدار است که بر بنیان مهندسی دقیق و ایمنی استوار باشد. در شهری لرزه‌خیز مانند تبریز، هر نوآوری معماری باید از صافی تحلیل سازه‌ای عبور کند.

ایمنی و نوآوری دو قطب متضاد نیستند؛ بلکه مکمل یکدیگرند. نمای سبز می‌تواند هم‌زمان به کاهش مصرف انرژی، ارتقای کیفیت زندگی و افزایش تاب‌آوری شهری کمک کند، به شرط آن‌که طراحی آن مبتنی بر دانش لرزه‌ای، جزئیات اجرایی دقیق و نظام نگهداری مستمر باشد

آینده معماری شهری تبریز می‌تواند سبزتر، هوشمندتر و ایمن‌تر باشد؛ اگر از امروز، نگاه جامع به پیوند میان طبیعت، فناوری و مهندسی را در دستور کار قرار دهیم.



چالش‌های نمای سنگی در زلزله؛ تجربه‌ای از تبریز

علی طاقی
Ali Taghi



دانشجوی کارشناسی ارشد عمران دانشگاه تبریز

مقدمه:
وقتی نما به خطر پنهان تبدیل می‌شود

شهر تبریز بر پهنه‌ای لرزه‌خیز استوار شده است؛ شهری که خاطره زمین‌لرزه‌های ویرانگر تاریخی را در حافظه جمعی خود دارد و در مجاورت گسل‌های فعالی همچون گسل شمال تبریز توسعه یافته است. در چنین بستری، هر جزء از ساختمان ــ از سازه تا اجزای غیرسازه‌ای ــ اهمیتی دوچندان می‌یابد. با این حال، آنچه در سال‌های اخیر کمتر مورد توجه فنی و نظارتی قرار گرفته، «نمای سنگی» ساختمان‌هاست؛ عنصری که اگرچه در ظاهر صرفاً پوسته‌ای تزئینی تلقی می‌شود، در زمان زلزله می‌تواند به یکی از پرخطرترین اجزای غیرسازه‌ای بدل شود.

ریزش سنگ نما در زلزله، نه‌تنها تهدیدی مستقیم برای جان عابران و ساکنان است، بلکه می‌تواند مسیرهای امدادرسانی را مسدود کند، خسارت‌های ثانویه ایجاد کند و هزینه‌های اقتصادی و اجتماعی سنگینی به شهر تحمیل نماید. این گزارش می‌کوشد با نگاهی فنی، بومی و تحلیلی، چالش‌های نمای سنگی در زلزله را در بستر شهری تبریز واکاوی کرده و راهکارهایی مبتنی بر دانش مهندسی و تجربه‌های اجرایی ارائه دهد.

تبریز: لرزه‌خیزی بالا و توسعه شهری فشرده

تبریز در پهنه با خطر نسبی زیاد لرزه‌ای قرار دارد. مجاورت با گسل شمال تبریز و سایر ساختارهای فعال منطقه، احتمال رخداد زمین‌لرزه‌های با بزرگای قابل‌توجه را در بازه‌های زمانی مختلف مطرح می‌کند. تجربه‌های تاریخی و مطالعات لرزه‌زمین‌ساختی نشان می‌دهد که سناریوی زلزله مخرب برای این شهر، سناریویی دور از ذهن نیست.

از سوی دیگر، توسعه عمودی و افقی شهر در دهه‌های اخیر، به‌ویژه در مناطق نوساز، با گرایش گسترده به استفاده از سنگ طبیعی در نما همراه بوده است. این گرایش دلایل متعددی دارد: زیبایی‌شناسی، دوام در برابر شرایط اقلیمی، پرستیژ اجتماعی و تصور مقاومت بالا. اما در بسیاری از پروژه‌ها، پیوستگی میان «زیبایی معماری» و «ایمنی لرزه‌ای» به‌درستی برقرار نشده است.





نمای سنگی: جزء غیرسازه‌ای با پیامدهای سازه‌ای

در ادبیات مهندسی زلزله، نما در دسته اجزای غیرسازه‌ای قرار می‌گیرد. با این حال، رفتار این اجزا در زمان زلزله می‌تواند به‌شدت تحت تأثیر تغییرمکان‌های جانبی سازه، شتاب طبقات و اندرکنش با دیوارهای پیرامونی باشد. سنگ نما، به دلیل وزن بالا و شکنندگی ذاتی، در صورت عدم اتصال مناسب به زیرکار، مستعد جداشدگی و سقوط است.

در بسیاری از ساختمان‌های تبریز، اجرای نمای سنگی به روش‌های سنتی (ملاتی) انجام می‌شود؛ روشی که در آن سنگ با ملات سیمان به دیوار متصل می‌شود و در بهترین حالت، از اسکوپ‌های ساده فلزی استفاده می‌گردد. این سیستم در برابر ارتعاشات شدید و تغییرمکان‌های نسبی طبقات عملکرد مطمئنی ندارد، زیرا:

۱. ملات در برابر کشش ضعیف است.
۲. پیوستگی مکانیکی مؤثر میان سنگ و زیرسازه محدود است.
۳. تغییرشکل‌های قاب سازه‌ای می‌تواند تمرکز تنش در اتصالات ایجاد کند.

نتیجه چنین شرایطی، ترک‌خوردگی، لق‌شدن و در نهایت ریزش سنگ‌هاست.

تجربه‌های میدانی: نشانه‌های هشدار پیش از زلزله

حتی بدون وقوع زلزله شدید، می‌توان نشانه‌های آسیب‌پذیری نماهای سنگی را در سطح شهر مشاهده کرد: سنگ‌های لق، درزهای بازشده، شوره‌زدگی ناشی از نفوذ رطوبت، زنگ‌زدگی اتصالات فلزی و ترک‌های مورب در اطراف بازشوها. این نشانه‌ها بیانگر ضعف در طراحی یا اجرا هستند و در صورت وقوع زلزله، می‌توانند به گسیختگی گسترده منجر شوند.

در برخی پروژه‌ها، وزن سنگ‌های ضخیم بدون درنظر گرفتن ظرفیت نگهدارنده دیوار پشتیبان یا اتصالات مکانیکی مناسب، به سازه تحمیل می‌شود. افزایش جرم نما، نیروی اینرسی وارد بر آن را در هنگام زلزله افزایش می‌دهد؛ نیرویی که متناسب با جرم و شتاب است. در شهری با شتاب مبنای طراحی بالا، این موضوع اهمیتی حیاتی دارد.

خطاهای رایج در طراحی و اجرا

بررسی‌های کارشناسی در پروژه‌های شهری تبریز، چند خطای پرتکرار را نشان می‌دهد:

۱. بی‌توجهی به جزئیات اتصال

در بسیاری از موارد، اسکوپ‌ها صرفاً به‌صورت حداقلی و بدون محاسبه دقیق فاصله و آرایش نصب می‌شوند. گاه حتی از سیم‌های نازک یا قطعات غیراستاندارد استفاده می‌شود که در برابر خوردگی و خستگی مقاوم نیستند.

۲. فقدان درزهای انبساط و جداسازی

نمای سنگی نیازمند درزهای حرکتی و جداسازی از قاب سازه‌ای است تا تغییرمکان‌های نسبی طبقات به آن منتقل نشود. نبود این درزها باعث تمرکز تنش و شکست ترد سنگ می‌شود.

۳. عدم تطابق سیستم نما با نوع سازه

رفتار سازه‌های قاب خمشی، دیوار برشی یا سیستم‌های ترکیبی متفاوت است. اگر سیستم نما بدون درنظر گرفتن تغییرمکان جانبی مجاز سازه انتخاب شود، احتمال آسیب افزایش می‌یابد.

۴. نظارت ناکافی

حتی در صورت طراحی مناسب، اجرای نادرست می‌تواند ایمنی را به خطر اندازد. نبود چک‌لیست‌های کنترلی دقیق برای اجزای غیرسازه‌ای، یکی از خلأهای نظارتی محسوب می‌شود.

ابعاد انسانی و شهری خطر

ریزش سنگ نما صرفاً یک مسئله فنی نیست؛ مسئله‌ای اجتماعی و شهری است. در بافت‌های پرتردد تبریز، سقوط قطعات سنگ می‌تواند مستقیماً جان عابران را تهدید کند. علاوه بر آن، انباشت آوار در پیاده‌روها و معابر باریک، دسترسی خودروهای امدادی را مختل می‌کند.

در سناریوی زلزله شدید، حتی اگر سازه اصلی فرو نریزد، آسیب گسترده نما می‌تواند ساختمان را از بهره‌برداری خارج کند. هزینه جمع‌آوری، بازسازی و ایمن‌سازی مجدد نماها، بار مالی قابل‌توجهی برای مالکان و مدیریت شهری به همراه دارد.



آیین‌نامه‌ها و الزامات موجود

در مقررات ملی ساختمان ایران، به‌ویژه در مبحث ششم (بارهای وارد بر ساختمان) و مبحث هشتم و نهم (مصالح بنایی و بتن)، اشاراتی به بارهای جانبی و الزامات مهار اجزای غیرسازه‌ای شده است. همچنین استاندارد طراحی لرزه‌ای کشور، بر ضرورت مهار مناسب اجزای غیرسازه‌ای تأکید دارد.

با این حال، فاصله‌ای میان «متن آیین‌نامه» و «عمل اجرایی» وجود دارد. در بسیاری از پروژه‌ها، کنترل دقیق طراحی و اجرای نما به‌اندازه طراحی سازه جدی گرفته نمی‌شود. این در حالی است که در رویکردهای نوین مهندسی زلزله، عملکرد اجزای غیرسازه‌ای بخشی جدایی‌ناپذیر از سطح عملکرد کلی ساختمان محسوب می‌شود

با این حال، فاصله‌ای میان «متن آیین‌نامه» و «عمل اجرایی» وجود دارد. در بسیاری از پروژه‌ها، کنترل دقیق طراحی و اجرای نما به‌اندازه طراحی سازه جدی گرفته نمی‌شود. این در حالی است که در رویکردهای نوین مهندسی زلزله، عملکرد اجزای غیرسازه‌ای بخشی جدایی‌ناپذیر از سطح عملکرد کلی ساختمان محسوب می‌شود.

راهکارهای فنی برای کاهش خطر

برای ارتقای ایمنی نمای سنگی در تبریز، مجموعه‌ای از اقدامات فنی قابل توصیه است:

۱. استفاده از سیستم‌های نمای خشک

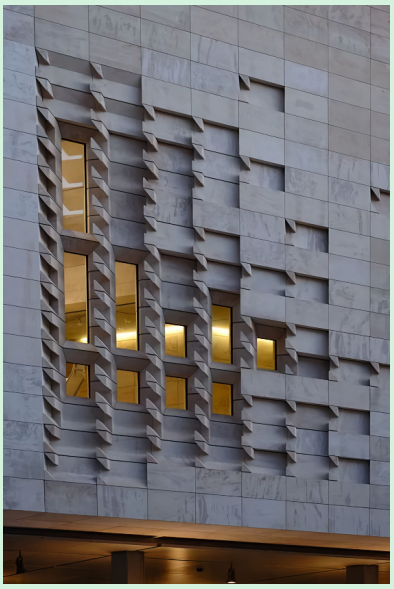
سیستم‌های خشک با اتصالات مکانیکی مهندسی‌شده، امکان کنترل بهتر رفتار نما در برابر زلزله را فراهم می‌کنند. در این سیستم‌ها، بار ثقلی و جانبی به‌صورت تعریف‌شده به زیرسازه فلزی منتقل می‌شود.

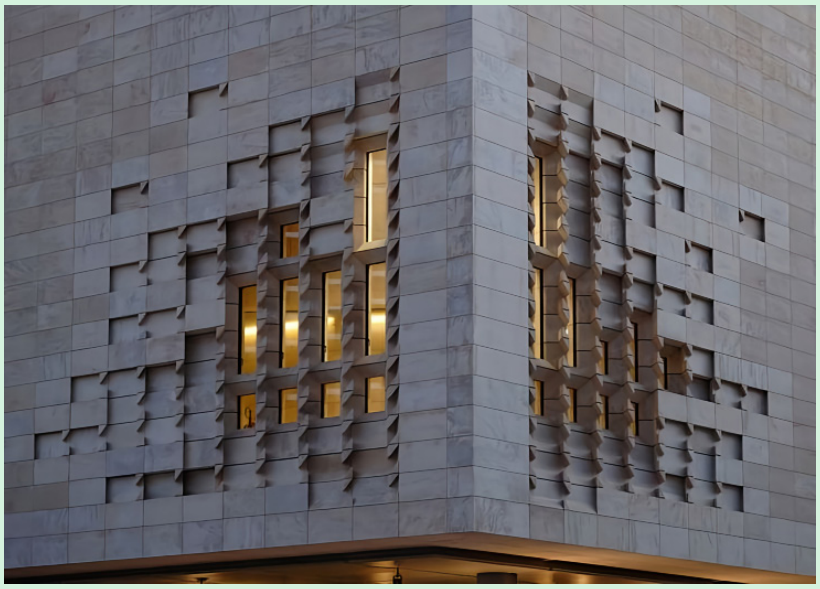
۲. طراحی بر اساس تغییرمکان نسبی طبقا ت

به‌جای تمرکز صرف بر مقاومت، باید تغییرمکان نسبی (Drift) سازه در طراحی نما لحاظ شود. اتصالات باید قادر به تحمل این تغییرمکان بدون گسیختگی باشند.

۳. انتخاب سنگ با ضخامت و ابعاد بهینه

کاهش وزن واحد سطح نما، نیروی اینرسی را کاهش می‌دهد. استفاده از پنل‌های نازک‌تر با تقویت پشتیبان می‌تواند گزینه‌ای ایمن‌تر با شد .





۴. حفاظت در برابر خوردگی

در اقلیم تبریز، چرخه‌های یخ‌زدگی و ذوب و نیز رطوبت می‌تواند اتصالات فلزی را تضعیف کند. استفاده از فولاد ضدزنگ یا پوشش‌های مقاوم، عمر مفید سیستم را افزایش می‌دهد

۵. بازرسی و پایش دوره‌ای

ساختمان‌های موجود باید به‌صورت دوره‌ای از نظر لق‌شدن سنگ‌ها و سلامت اتصالات بررسی شوند. این اقدام پیشگیرانه می‌تواند از حوادث ناگهانی جلوگیری کند .

نقش دانشگاه و انجمن‌های علمی

انجمن‌های علمی دانشجویی، از جمله انجمن علمی زلزله دانشگاه تبریز، می‌توانند در ارتقای آگاهی عمومی و تخصصی نقش‌آفرینی کنند. برگزاری کارگاه‌های آموزشی برای دانشجویان معماری و عمران، تهیه دستورالعمل‌های ساده و کاربردی برای سازندگان محلی و انجام پروژه‌های پژوهشی میدانی، از جمله اقداماتی است که می‌تواند پیوند میان دانش و عمل را تقویت کند.
دانشگاه، به‌عنوان نهاد تولید دانش، می‌تواند با همکاری شهرداری و سازمان نظام مهندسی، بانک اطلاعاتی از آسیب‌های اجزای غیرسازه‌ای در ساختمان‌های شهر تهیه کند. چنین پایگاهی، مبنای تصمیم‌گیری‌های سیاستی دقیق‌تر خواهد بود.

نگاه آینده‌نگر؛ از واکنش به پیشگیری

تجربه شهرهای زلزله‌خیز جهان نشان داده است که بی‌توجهی به اجزای غیرسازه‌ای، حتی در ساختمان‌های با اسکلت مقاوم، می‌تواند تلفات قابل‌توجهی ایجاد کند. تبریز نیز از این قاعده مستثنا نیست. رویکرد آینده‌نگر ایجاب می‌کند که:

- ایمنی نما به‌عنوان شاخص ارزیابی پایان‌کار ساختمان لحاظ شود.
- بیمه‌ها به وضعیت مهار اجزای غیرسازه‌ای توجه کنند.
- فرهنگ عمومی مطالبه‌گری در خصوص ایمنی ساختمانی تقویت شود.



جمع‌بندی؛ زیبایی در کنار ایمنی

نمای سنگی، بخشی از هویت بصری تبریز معاصر است؛ اما این هویت نباید به بهای کاهش ایمنی شهروندان شکل گیرد. در شهری که خاطره لرزش‌های سهمگین را در دل خود دارد، هر قطعه سنگ می‌تواند در زمان زلزله به عاملی خطرناک تبدیل شود، اگر از پیش برای مهار آن نیندیشیده باشیم.

چالش نمای سنگی در زلزله، صرفاً یک مسئله فنی نیست؛ آزمونی برای میزان بلوغ نظام مهندسی، کارآمدی نظارت شهری و مسئولیت‌پذیری حرفه‌ای ماست. امروز، پیش از آن‌که زمین دوباره بلرزد، فرصت آن را داریم که با بازنگری در شیوه‌های طراحی و اجرا، فاصله میان «زیبایی» و «ایمنی» را از میان برداریم.

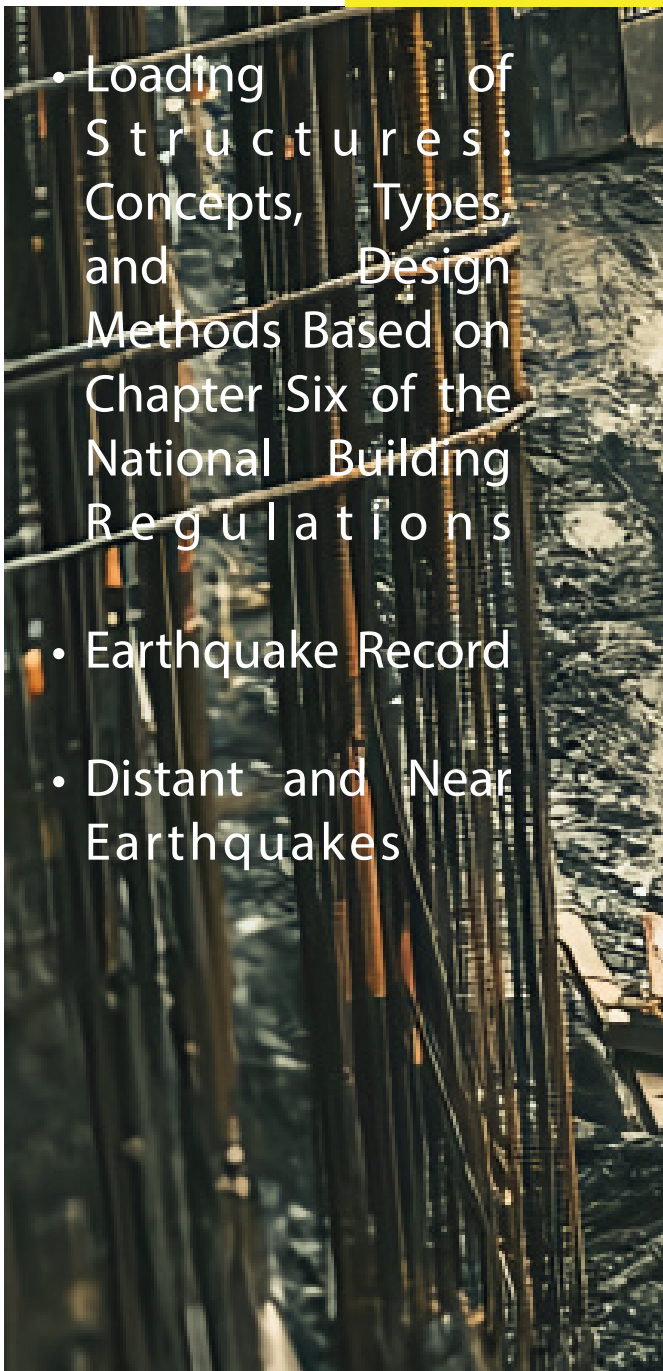
اگر تبریز را شهری مقاوم می‌خواهیم، باید از نما آغاز کنیم؛ از همان پوسته‌ای که هر روز می‌بینیم، اما خطر پنهان در پس آن را کمتر به یاد می‌آوریم.



منابع



مهندسی زلزله



- Loading of Structures: Concepts, Types, and Design Methods Based on Chapter Six of the National Building Regulations
- Earthquake Record
- Distant and Near Earthquakes

بارگذاری سازه‌ها: مفاهیم، انواع و روشهای طراحی بر اساس مبحث ششم مقررات ملی ساختمان



فاطمه ارحمی
Fatemeh Arhami

دانشجوی کارشناسی عمران دانشگاه تبریز

چکیده
بارگذاری فرآیند تعیین نیروها و اثرات وارد بر سازه در طول عمر آن است که پایه‌ای‌ترین گام در طراحی ایمن و اقتصادی سازه‌ها به شمار میرود. این مقاله به بررسی انواع بارهای وارد بر ساختمان شامل بارهای ثقلی (مرده، زنده، برف) و بارهای جانبی (باد، زلزله) بر اساس مبحث ششم مقررات ملی ساختمان و استاندارد ۲۸۰۰ میپردازد. همچنین، اصول ترکیب بارها، ملاحظات طراحی و تفاوت رفتار سازه تحت بارهای استاتیکی و دینامیکی مورد بحث قرار گرفته است. هدف، ارائه‌ی مروری جامع برای مهندسان و دانشجویان مهندسی سازه است.

مقدمه
به معنای تعیین کمی و کیفی کلیه نیروها، لنگرها، تغییرمکان‌ها و تغییرشکل‌ها است. بارگذاری که یک سازه ممکن است در طول عمر بهره‌برداری خود تجربه کند. دقت در این مرحله، مستقیماً بر ایمنی، پایداری، عملکرد و اقتصاد پروژه تأثیر میگذارد. در ایران، مبحث ششم مقررات ملی ساختمان (بارهای وارد بر ساختمان) واستاندارد ۲۸۰۰ (طرح ساختمانها در برابر زلزله) چارچوب قانونی این محاسبات را تعیین میکنند. این مقاله با هدف طبقه‌بندی، تعریف و بررسی انواع بارها و نیز اشاره به روش‌های تحلیل و ترکیب آنها نگاشته شده است.

طبقه‌بندی کلی بارها
بارهای وارد بر سازه را میتوان از دو منظور اصلی دسته‌بندی کرد.

از نظر جهت اثر
بارهای ثقلی (عمودی): در راستای نیروی گرانش زمین عمل میکنند.

بارهای جانبی (افقی): در جهت موازی با سطح زمین به سازه وارد میشوند. مانند: بار باد، بار زلزله. این بارها معمولا دارای ماهیت دینامیکی بوده و بیشترین اسیب سازه‌ای ناشی از آن هاست.

از نظر ماهیت تغییرات زمانی
بارهای استاتیکی: تغییرات آن نسبتا کند است و میتوان اثرات اینرسی را نادیده گرفت. مانند بار مرده.

بارهای دینامیکی: تغییرات سریع داشته و اثر اینرسی در پاسخ سازه بسیار مهم است. مانند بار زلزله..

بارهای تکراری یا خستگی: بارهای متغیری که بارها بار در طول عمر سازه تکرار میشوند.

بارهای قائم:

بار مرده (Dead Load):

بار مرده ناشی از وزن تمامی اجزای دائمی و ثابت سازه است. مقدار و محل این بار در طول عمر سازه تغییر نمیکند.
ناشی از: وزن خود سازه (تیر، ستون، دال)، دیوارهای جداکننده ثابت، کفسازی، پوشش بام، تاسیسات ثابت (لوله‌ها، کانالها).
روش محاسبه: با داشتن چگالی (جرم مخصوص) مصالح و ابعاد هندسی اعضا قابل محاسبه دقیق است. دقت در برآورد. این بار به‌ویژه در سازه‌های سنگین یا با مصالح نوین (مانند کامپوزیت‌ها) حیاتی است.
نمونه عددی: برای یک دال بتنی به ضخامت ۲۰ سانتیمتر، با چگالی بتن حدود ۲۴۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب، بار مرده در هر مترمربع حدود ۴۸۰ کیلوگرم میشود.

زنده بار (Live Load):

بار زنده شامل کلیه بارهای متغیر و غیردائمی است که در دوره بهره‌برداری بر سازه وارد میشود.
ماهیت: غیرقطعی، آماری و ترکیبی از اثرات استاتیکی و دینامیکی (مانند ضربه).
مقادیر آیین‌نامه‌ای: مبحث ششم مقادیر حداقل بار زنده یکنواخت را بر حسب کاربری فضا تعیین میکند (جدول ۱).
کاهش بار زنده: در برخی شرایط (مانند بارگیری ناهمزمان دهانه‌های بزرگ) با رعایت ضوابط خاص، امکان کاهش بار (kN/m^2 معمولاً < 5) زنده وجود دارد. این کاهش در محل‌های تجمع، پارکینگ‌ها و فضاهای با بار زنده زیاد مجاز نیست.
بار زنده بام: بارهای موقتی ناشی از تعمیرات و تجهیزات متحرک روی بام، مجزا از بار برف در نظر گرفته میشود).

بار برف (Snow Load):

این بار به عنوان بار ثقلی ویژه، در مناطق سردسیر و برفخیز غالب است. مقدار آن وابسته به:
منطقه برفی ایران (مطابق نقشه‌های مبحث ششم)
شکل بام (ضریب شکل)
ضریب اهمیت سازه
اثرات محلی (بار انباشته، یخزدگی).

نوع کاربری	حداقل بار زنده یکنواخت (KN/m^2)
اتاق‌های مسکونی	2.0
دفاتر اداری	2.5
کلاس‌های درس	3.0
سالن‌های تجمع (ثابت)	4.0
کتابخانه‌های مطالعه	3.0
فروشگاه‌ها	50

جدول ۱: نمونه‌ای از حداقل بار زنده کف برحسب کاربری (برگرفته از مبحث ششم).

بارهای جانبی (افقی)

بار باد (Wind Load):

نیروی ناشی از بخورد جریان هوا به سطوح خارجی و داخلی سازه. مبحث ششم، فشار پایه باد را (q) و سپس با اعمال ضرایب اهمیت، توپوگرافی و شکل (مثلا برای تهران ۱۰۰ km/h) بر اساس سرعت مبنا سازه (c-e,c-p,c-g)محاسبه میکند.

ماهیت تحلیل: برای سازه‌های کوتاه و صلب (< ۱۵ متر ارتفاع یا نسبت ارتفاع به عرض < ۵) به صورت استاتیکی معادل، و برای سازه‌های بلند، سبک یا حساس (مانند دکل‌ها، برج‌ها) به روش دینامیکی تحلیل میشود.

رابطه با جرم سازه: سازه‌های سبک وزن (مانند سوله‌های صنعتی سبک) حساسیت بسیار بیشتری به نیروی باد دارند. در این سازه‌ها، تنش‌های کششی و کمانش ناشی از مکش باد میتواند بحرانی باشد.

چالش: نیاز به به‌روزرسانی داده‌های اقلیمی و توسعه روش‌های تحلیل دینامیکی باد برای سازه‌های نوین و نامتعارف.

بار زلزله (Earthquake Load)

بار زلزله پیچیده‌ترین بار جانبی که رفتار سازه را تحت اثر شتاب زمین تعیین میکند. استاندارد ۲۸۰۰ مبنا و روش تحلیل را ارائه میدهد.

مبانی طراحی: نیروی زلزله با فرمول c.w=v برآورد می شود که در آن c ضریب زلزله (وابسته به شتاب طرح، نوع خاک، پریود سازه و ضریب رفتار) و w وزن موثر لرزه‌ای سازه است.

ضریب رفتار (R): این ضریب نشان دهنده ظرفیت شکل پذیری و جذب انرژی سازه است. برای قاب خمشی فولادی متوسط ممکن است ۷ و برای دیوار برشی بتن ارمه ۵ در نظر گرفته شود. انتخاب صحیح آن مستقیما بر نیروی طراحی و اقتصاد سازه اثر میگذارد.

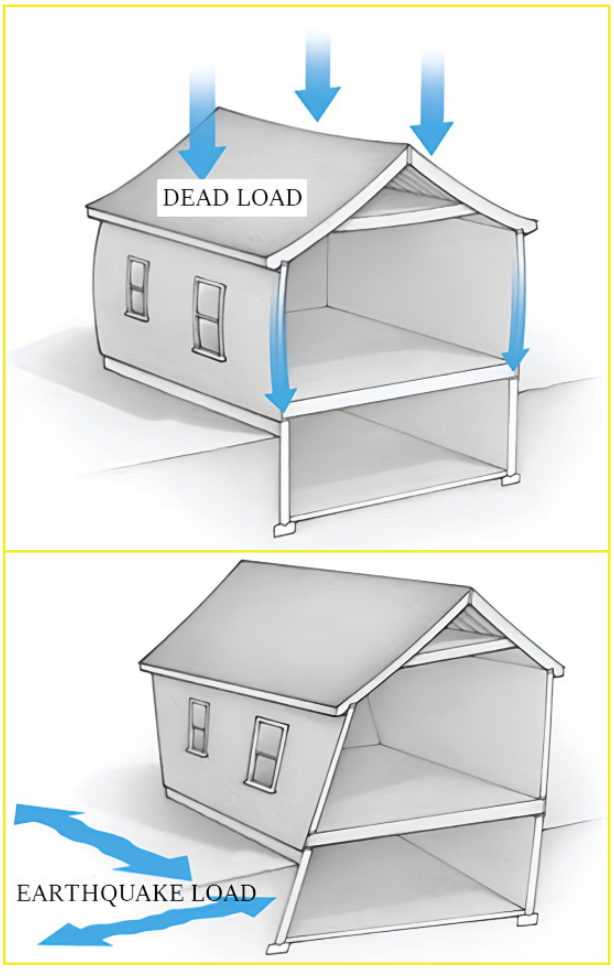
وزن سازه و سبکسازی: از رابطه f=ma مشخص است که نیروی زلزه با جرم سازه نسبت مستقیم دارد.

بنابراین، استراتژی سبکسازی (استفاده از مصالح سبک، کاهش بار مرده) در مناطق زلزله خیز یک راهکار موثر برای کاهش نیروی زلزله‌ی وارد بر سازه است.

به سمت طراحی بر مبنای عملکرد (force-based)رویکرد نوین: حرکت از طراحی بر اساس نیرو که در آن سطح خسارت مورد انتظار در سطوح مختلف خطر (design perfprmance-based) لرزه‌ای کنترل میشود.

ترکیب بارها و ملاحظات طراحی:

هیچگاه تمام بارها با حداکثر مقدار خود همزمان رخ نمیدهند. مبحث ششم ترکیبات بارگذاری را برای رسیدن به بدترین حالت اثر بر عضو سازهای تعیین میکند. برخی



ترکیبات متداول:
ترکیب بار اصلی: 1.1 + 6LL*4DL
ترکیب شامل باد: 1.6 WL ± 1.2 LL*1.2 DL
ترکیب شامل زلزله: 1.0 EL ± 1.0 LL*1.2 DL

طراح باید تمام ترکیبات ممکن را بررسی کرده و بحرانی‌ترین حالت را برای طراحی هر عضو مبنای کار قرار دهد.

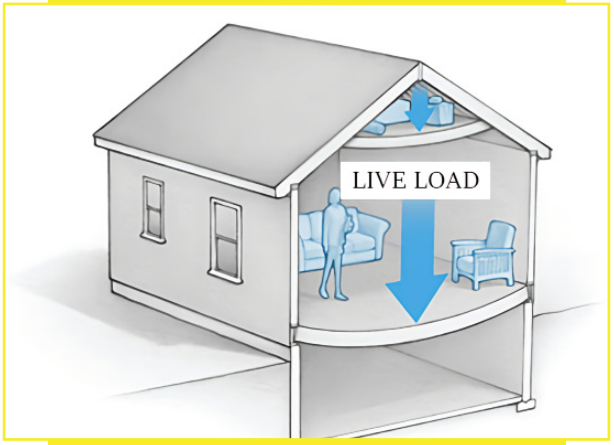
نقش فناوری و نرم‌افزارها در تحلیل بارگذاری

امروزه تحلیل دستی بار های پیچیده (به ویژه دینامیکی) تقریبا ناممکن است. نرم افزار های تحلیل المان محدود مانند: PRO ETABS ,SRAAD,SAFE,SAP2000 به مهندسان امکان میدهد مدل سه‌بعدی واقعی از سازه ایجاد و تمام بارها (متمرکز، گسترده، دینامیکی) را اعمال نمایند. ترکیبات بارگذاری آیین‌نامه‌ای را به طور خودکار اعمال و نتایج را استخراج کنند. تغییرشکل‌ها، نیروهای داخلی و تنش‌ها را دقیقاً محاسبه و طرح بهینه را ارائه دهند.

نتیجه‌گیری:

بارگذاری علمی و دقیق، پل ارتباطی بین تئوری مهندسی و واقعیت عملکرد سازه در دنیای بیرون است. آگاهی از انواع بارهای ثقلی و جانبی، ماهیت استاتیکی یا دینامیکی آنها، نحوه ترکیب و تأثیر آنها بر رفتار سازه، از مهارت‌های پایه‌ای هر مهندس طراح است. با توجه به پیچیدگی روزافزون معماری‌ها و الزامات جدید عملکردی، تلفیق اصول آیین‌نامه‌ای با دانش روز مهندسی، نرم‌افزارهای قدرتمند و رویکردهای طراحی مبتنی بر عملکرد کلید دستیابی به سازه‌هایی ایمن، پایدار و اقتصادی در برابر تمامی بارهای طبیعت خواهد بود. توجه همزمان به کاهش وزن به ویژه برای زلزله و افزایش صلبیت یا شکل‌پذیری مناسب حکمتی است که باید در کلیه مراحل طراحی مد نظر قرار گیرد.







منابع

رکورد زلزله

محمدرضا غفاری
Mohammad Reza Ghaffari

دانشجوی کارشناسی عمران دانشگاه تبریز



مقدمه

زمین‌لرزه یکی از مخرب‌ترین و در عین حال پیچیده‌ترین پدیده‌های طبیعی است. از آنجا که پیش‌بینی دقیق زمان وقوع زلزله هنوز برای بشر غیرممکن است، «ثبت» و «تحلیل» آن اهمیت حیاتی پیدا می‌کند. علم ثبت لرزش‌های زمین، لرزه‌نگاری (Seismography) نام دارد. هدف این تحقیق، بررسی مکانیسم‌های فیزیکی و ابزارهای دقیقی است که دانشمندان (لرزه‌شناسان) برای تبدیل لرزش‌های نامرئی اعماق زمین به داده‌های قابل فهم و تحلیل استفاده می‌کنند.

از سوی دیگر؛ ایران به دلیل قرارگیری بر روی کمربند زلزله آلپ-هیمالیا، همواره در معرض خطر زلزله‌های مخرب قرار دارد. این واقعیت، اهمیت ویژه‌ای به مطالعه، ثبت و تحلیل حرکات زمین در هنگام زلزله می‌بخشد. رکوردهای زلزله، که به صورت داده‌های شتاب، سرعت و جابه‌جایی ثبت می‌شوند، نه تنها ابزار اصلی برای درک رفتار زمین در هنگام رخدادهای لرزه‌ای هستند، بلکه پایه و اساس طراحی لرزه‌ای سازه‌ها، مدیریت بحران، و پژوهش‌های علمی در حوزه زمین‌شناسی و ژئوفیزیک را تشکیل می‌دهند. در مهندسی سازه، رکوردهای زلزله به عنوان ورودی تحلیل‌های دینامیکی و طراحی عملکردی سازه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. این داده‌ها امکان شبیه‌سازی دقیق رفتار سازه‌ها تحت اثر زلزله‌های واقعی را فراهم می‌کنند و به مهندسان اجازه می‌دهند تا نقاط ضعف و قوت طرح‌های خود را شناسایی و اصلاح نمایند. همچنین، در علوم زمین، رکوردهای زلزله برای مکان‌یابی کانون زلزله، تعیین ویژگی‌های گسل‌ها، و مدل‌سازی منبع لرزه‌ای به کار می‌روند.

با توجه به رشد جمعیت، توسعه شهرنشینی و افزایش ارزش اقتصادی و اجتماعی زیرساخت‌ها، نیاز به ثبت دقیق‌تر و گسترده‌تر رکوردهای زلزله بیش از پیش احساس می‌شود. این امر نه تنها به ارتقای ایمنی و تاب‌آوری شهرها کمک می‌کند، بلکه زمینه‌ساز پیشرفت‌های علمی و فناورانه در حوزه‌های مرتبط با زلزله خواهد بود.

تاریخچه لرزه نگاری: از چین باستان تا عصر مدرن

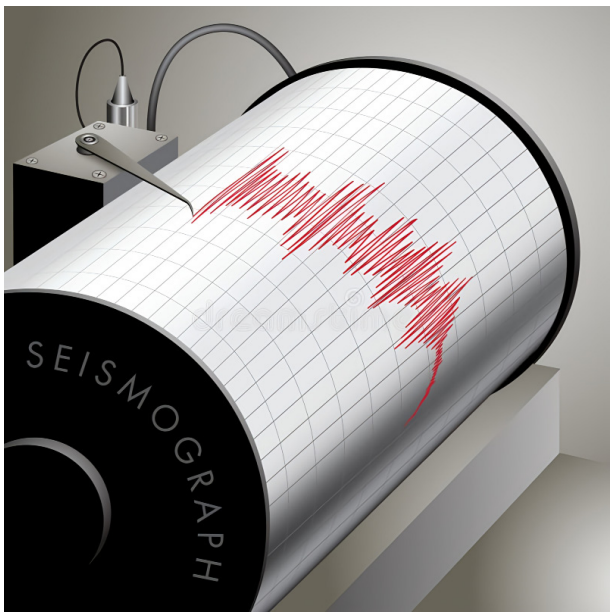
نیاز به درک لرزش زمین قدمتی طولانی دارد. اولین تلاش ثبت شده در تاریخ به سال ۱۳۲ میلادی در چین بازمی‌گردد.

- لرزه‌نما (Seismoscope) ژانگ هنگ: این دانشمند چینی دستگاهی اختراع کرد که شامل ظرفی برنزی با هشت اژدها در اطراف بود. با وقوع لرزش، گویی از دهان یکی از اژدهاها به دهان قورباغه‌ای در زیر آن می‌افتاد و جهت تقریبی زلزله را نشان می‌داد. این دستگاه فقط وقوع و جهت را نشان می‌داد، نه شدت یا زمان دقیق راد.
- عصر مدرن: لرزه‌نگارهای واقعی که قادر به ثبت امواج روی کاغذ بودند، در اواخر قرن نوزدهم توسط دانشمندانی مانند «جان میلن» (John Milne) توسعه یافتند. امروزه، این دستگاه‌های مکانیکی جای خود را به حسگرهای الکترومغناطیسی و دیجیتال داده‌اند

که دقت آن‌ها هزاران برابر بیشتر است.

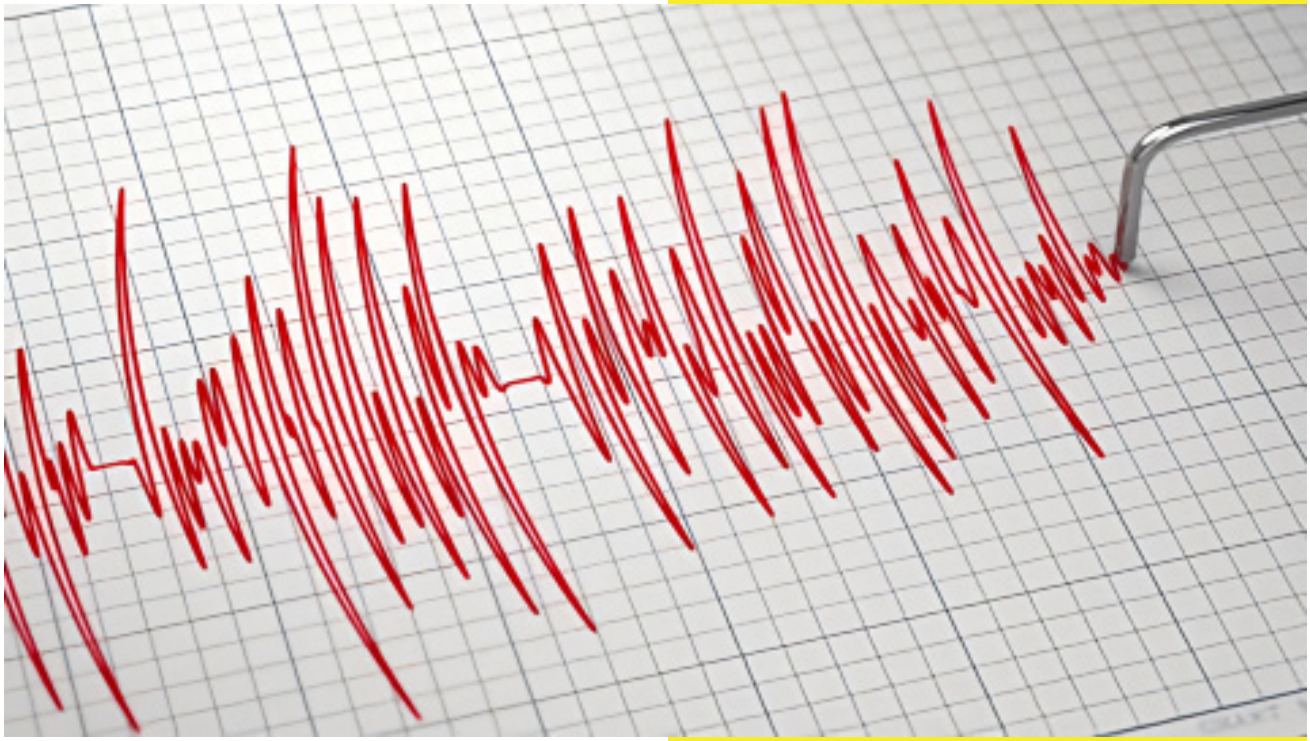
مفاهیم پایه رکورد زلزله: تعاریف و پارامترهای کلیدی

شتاب، سرعت و جابه‌جایی





- رکورد زلزله معمولاً به صورت شتابنگاشت (شتاب بر حسب زمان)، سرعت‌نگاشت (سرعت بر حسب زمان) و جابه‌جایی‌نگاشت (جابجایی بر حسب زمان) ارائه می‌شود. شتابنگاشت، که توسط شتاب‌نگار ثبت می‌شود، مهم‌ترین داده برای تحلیل‌های مهندسی است و بیشینه شتاب زمین (Peak Ground Acceleration - PGA) یکی از شاخص‌های اصلی شدت زلزله محسوب می‌شود.
- سرعت و جابه‌جایی نیز از طریق انتگرال‌گیری عددی از شتابنگاشت به دست می‌آیند و اطلاعات تکمیلی درباره انرژی منتقل‌شده به سازه و مدت دوام حرکت شدید زمین ارائه می‌دهند. این پارامترها برای تحلیل‌های پیشرفته‌تر، مانند ارزیابی آسیب‌پذیری سازه‌ها و تعیین شدت واقعی زلزله، اهمیت دارند.



اساس کار لرزه نگارها: فیزیک ایستایی

چگونه می‌توان حرکت زمین را اندازه گرفت وقتی خود دستگاه هم روی زمین است و با آن حرکت می‌کند؟ پاسخ در قانون اول نیوتن یا اینرسی (لختی) نهفته است.

یک لرزه‌نگار ساده (Seismograph) شامل دو بخش اصلی است:

- قاب دستگاه: که محکم به زمین متصل است و با زمین می‌لرزد.
- جرم معلق (W): وزنه‌ای سنگین که توسط فنر یا سیم آویزان است.

طبق قانون اینرسی، جرم معلق تمایل دارد در حالت سکون باقی بماند، در حالی که قاب و زمین در حال لرزش هستند. این اختلاف حرکت نسبی بین «وزنه ساکن» و «قاب متحرک»، توسط دستگاه ثبت می‌شود.

اجزای اصلی یک ایستگاه لرزه نگاری مدرن

لرزه‌سنج (Seismometer): حسگر حساس (سنسور) که حرکت زمین را به سیگنال الکتریکی ولتاژ پایین تبدیل می‌کند

- ثبت‌کننده داده: (Data Logger) سیگنال آنالوگ را به داده‌های دیجیتال (صفر و یک) تبدیل و ذخیره می‌کند.
- سیستم زمان‌سنجی: (GPS) برای همگام‌سازی دقیق زمان وقوع زلزله با ساعت جهانی (UTC) با دقت میکروثانیه ضروری است.

لرزه‌نگارها در انواع مختلفی شامل دوره کوتاه، باند متوسط، باند پهن و بسیار پهن تولید می‌شوند. دستگاه‌های باند پهن، که امروزه در شبکه‌های ملی و بین‌المللی لرزه‌نگاری به کار می‌روند، قادر به ثبت امواج لرزه‌ای در گستره وسیعی از فرکانس‌ها هستند و اطلاعات جامعی درباره رخدادهای لرزه‌ای فراهم می‌کنند.

انواع امواج زلزله و ثبت آن‌ها

وقتی گسلی در اعماق زمین می‌شکند، انرژی به صورت امواج آزاد می‌شود. لرزه‌نگارها سه نوع اصلی موج را به ترتیب زمان رسیدن ثبت می‌کنند:

۱. امواج اولیه (P-waves):

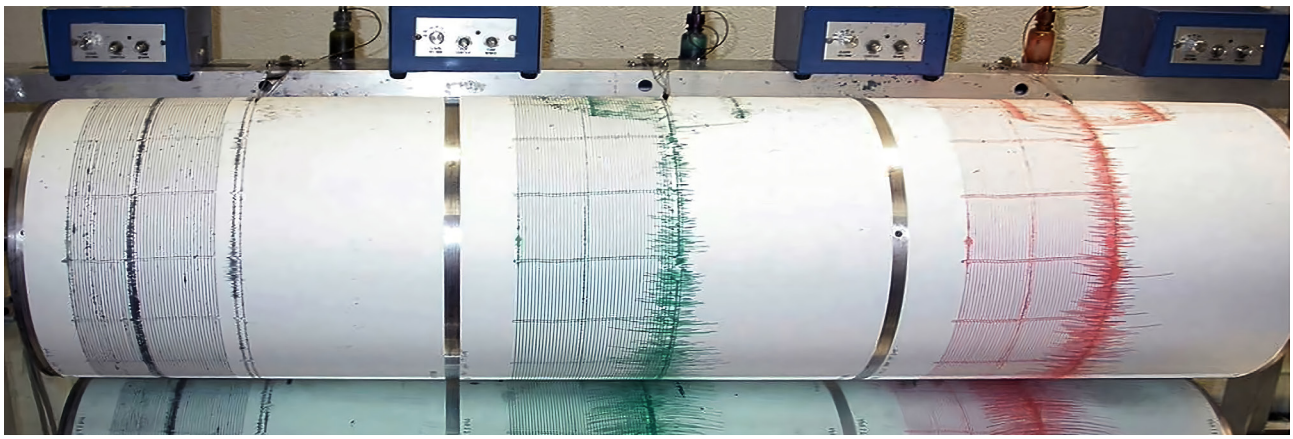
- سریع‌ترین امواج هستند و اولین نشانه‌ای که دستگاه ثبت می‌کند.
- ماهیت طولی دارند (مانند جمع و باز شدن فنر).
- از جامدات و مایعات (هسته زمین) عبور می‌کنند.

۲. امواج ثانویه (S-waves):

- سرعتی کمتر از امواج P دارند.
- ماهیت عرضی دارند (مانند تکان دادن طناب).
- تخریب بیشتری نسبت به موج P دارند اما از مایعات عبور نمی‌کنند.

۳. امواج سطحی (Surface Waves):

- کندترین امواج هستند که در آخر می رسند.
- در سطح زمین حرکت می‌کنند و بیشترین دامنه و تخریب را دارند.



خواندن و تفسیر داده‌ها (لرزه‌نگاشت)

تعیین محل زلزله (Triangulation)

دانشمندان با اندازه‌گیری فاصله زمانی بین رسیدن موج P و موج S فاصله ایستگاه تا کانون زلزله را محاسبه می‌کنند. هرچه این فاصله زمانی بیشتر باشد، زلزله دورتر است. برای پیدا کردن محل دقیق، به داده‌های حداقل سه ایستگاه نیاز است. محل تقاطع دایره‌های شعاعی این سه ایستگاه، مرکز سطحی زلزله (Epicenter) است.

تعیین بزرگی (Magnitude)

اگرچه عموم مردم با مقیاس ریشتر آشنا هستند، اما این مقیاس برای زلزله‌های خیلی بزرگ دقیق نیست. امروزه دانشمندان از مقیاس بزرگای گشتاوری استفاده می‌کنند. این مقیاس بر اساس انرژی آزاد شده واقعی (مساحت گسل شکسته شده × میزان لغزش × سختی سنگ) محاسبه می‌شود و علمی‌تر است.

شتاب‌نگار (Accelerograph)

شتاب‌نگار دستگاهی است که به طور خاص برای ثبت شتاب حرکات قوی زمین در هنگام زلزله طراحی شده است. این ابزارها معمولاً در نزدیکی گسل‌های فعال، مناطق شهری، سازه‌های مهم (مانند سدها، پل‌ها و نیروگاه‌ها) و شریان‌های حیاتی نصب می‌شوند تا داده‌های مورد نیاز برای تحلیل رفتار سازه‌ها و تدوین آیین‌نامه‌های طراحی لرزه‌ای را فراهم کنند.

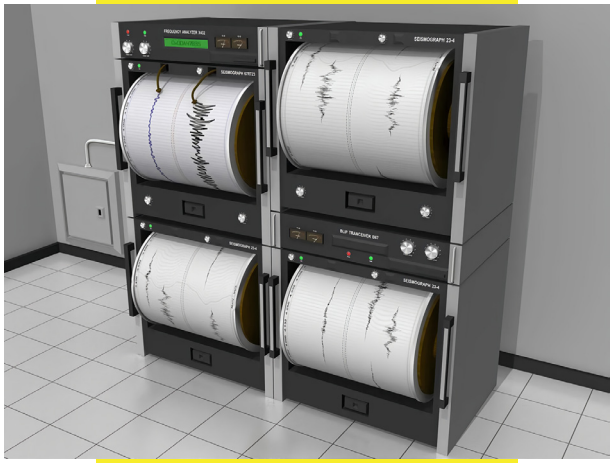
شتاب‌نگارها نسبت به لرزه‌نگارها دارای فرکانس طبیعی بالاتر و دامنه دینامیکی وسیع‌تری هستند و می‌توانند شتاب‌های شدید و ناگهانی زمین را با دقت بالا ثبت کنند. داده‌های حاصل از شتاب‌نگارها (شتابنگاشت‌ها) پایه اصلی تحلیل‌های دینامیکی غیرخطی و طراحی عملکردی سازه‌ها محسوب می‌شوند.

لرزه‌نگارها به دلیل حساسیت بالا، برای ثبت امواج ضعیف و مطالعات ژئوفیزیکی مناسب هستند، اما در نزدیکی کانون زلزله و هنگام حرکات قوی ممکن است به اشباع برسند و داده‌های قابل استفاده برای مهندسی ارائه ندهند. در مقابل، شتاب‌نگارها برای ثبت حرکات قوی زمین و تحلیل‌های مهندسی طراحی شده‌اند و داده‌های آن‌ها مستقیماً در طراحی و ارزیابی عملکرد سازه‌ها به کار می‌رود.

سنسورهای نوین MEMS و توسعه ابزارها

در سال‌های اخیر، با پیشرفت فناوری میکروالکترومکانیکی (MEMS)، نسل جدیدی از سنسورهای شتاب‌سنج و لرزه‌سنج با ابعاد کوچک، دقت بالا و هزینه پایین تولید شده‌اند. این سنسورها امکان توسعه شبکه‌های گسترده و پر تراکم ثبت زلزله را در مناطق شهری و صنعتی فراهم کرده‌اند و نقش مهمی در پایش سلامت سازه‌ها و هشدار سریع زلزله ایفا می‌کنند.





پیش‌پردازش رکوردها: فیلترینگ، حذف نویز و هم‌زمان‌سازی

فیلترینگ و حذف نویز

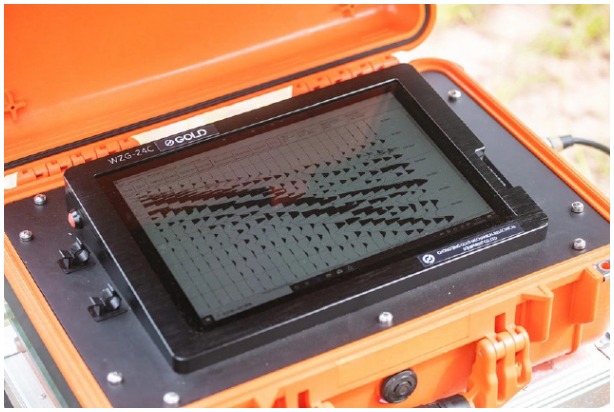
- داده‌های خام ثبت‌شده توسط لرزه‌نگارها و شتاب‌نگارها معمولاً حاوی نویزهای محیطی، خطاهای الکترونیکی و انحرافات پایه هستند. برای استخراج اطلاعات مفید، لازم است این داده‌ها پیش‌پردازش شوند. فیلترهای دیجیتال مانند (Butterworth)برای حذف فرکانس‌های ناخواسته و صاف‌کردن سیگنال به کار می‌روند. همچنین، تصحیح خط پایه و حذف رانش (Drift) از مراحل ضروری پیش‌پردازش است.

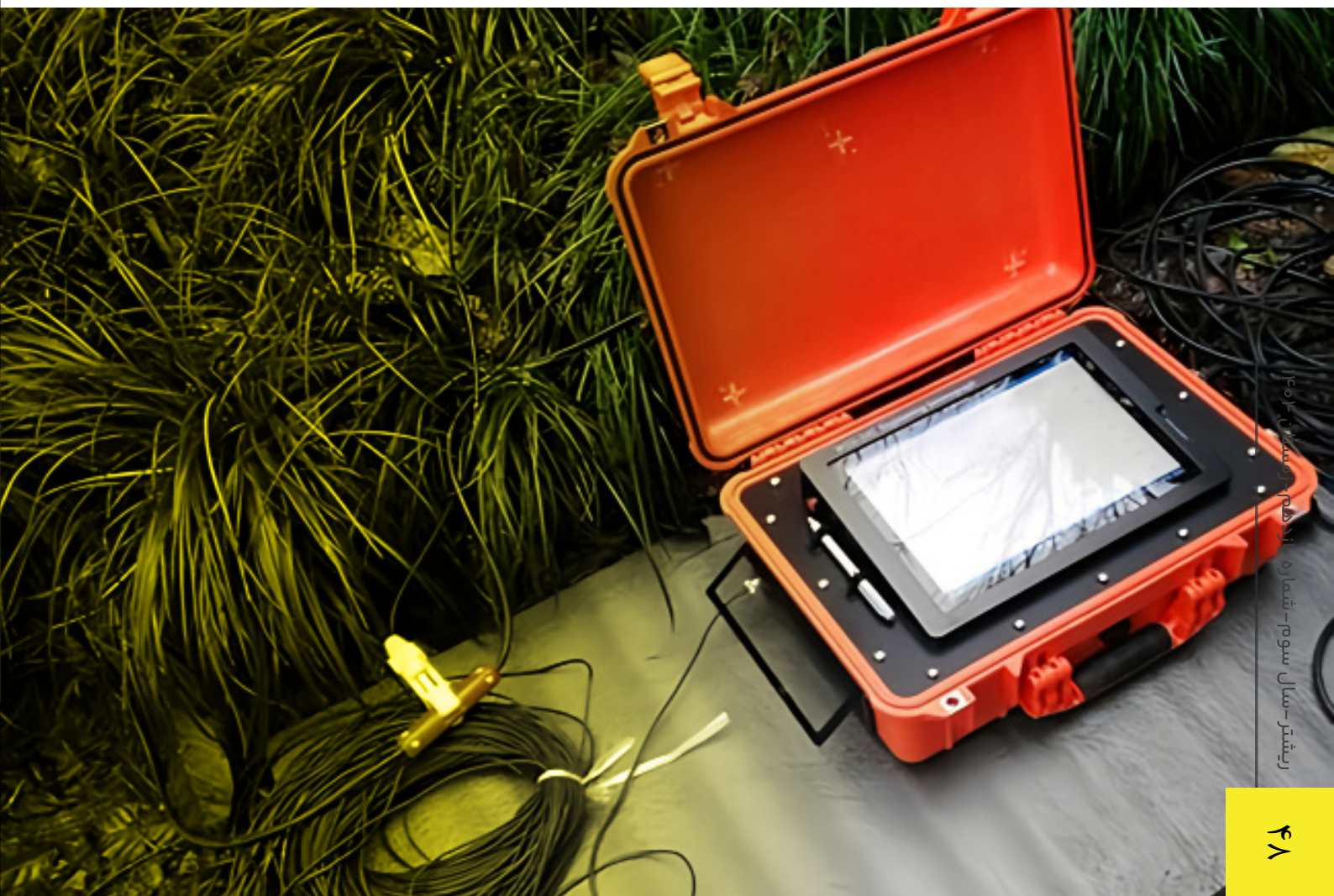
هم‌زمان‌سازی و نمونه‌برداری

- برای تحلیل‌های دقیق، رکوردهای ثبت‌شده باید از نظر زمانی هم‌زمان‌سازی شوند. این امر به ویژه در شبکه‌های چند ایستگاهی و هنگام مقایسه رکوردهای مختلف اهمیت دارد. نرخ نمونه‌برداری (Sampling Rate) نیز باید متناسب با فرکانس‌های مورد انتظار انتخاب شود تا اطلاعات کلیدی از دست نرود.

نرم‌افزارهای پیش‌پردازش

- نرم‌افزارهایی مانند SeismoSignal، MATLAB و سایر ابزارهای تخصصی، امکانات گسترده‌ای برای پیش‌پردازش، فیلترینگ، تصحیح خط پایه و استخراج پارامترهای کلیدی رکوردها فراهم می‌کنند.





این نرم‌افزارها قابلیت وارد کردن داده‌ها در فرمت‌های مختلف، اعمال فیلترهای متنوع و تولید خروجی‌های عددی و گرافیکی را دارند.

روش‌های تحلیل رکوردها: شتابنگاشت، طیف پاسخ و تحلیل فرکانسی

شتابنگاشت و استخراج پارامترهای زمانی

شتابنگاشت، نمودار شتاب زمین بر حسب زمان است که توسط شتاب‌نگار ثبت می‌شود. تحلیل شتابنگاشت شامل استخراج پارامترهایی مانند بیشینه شتاب (PGA)، بیشینه سرعت (PGV)، بیشینه جابه‌جایی (PGD)، مدت زمان موثر، شدت آریاز و سایر شاخص‌های شدت حرکت زمین است. این پارامترها برای ارزیابی شدت زلزله و تحلیل پاسخ سازه‌ها به کار می‌روند.

مطالعات موردی مانند زلزله سرپل ذهاب نشان داده‌اند که با نگاه دقیق به تاریخچه زمانی شتاب، می‌توان بخش مهمی از ویژگی‌های حوزه فرکانسی و شدت زلزله را قبل از انجام تحلیل‌های فرکانسی کشف کرد. این مهارت در انتخاب و مقیاس‌سازی رکوردها و تفسیر نتایج تحلیل‌های دینامیکی اهمیت ویژه‌ای دارد.

طیف پاسخ (Response Spectrum)

طیف پاسخ، نموداری است که بیشینه پاسخ یک سیستم یک درجه آزادی با پریودهای مختلف را تحت اثر یک رکورد زلزله نشان می‌دهد. این طیف‌ها معمولا برای شتاب، سرعت و جابه‌جایی رسم می‌شوند و پایه اصلی طراحی لرزه‌ای سازه‌ها و تدوین طیف‌های طرح آیین‌نامه‌ای هستند.

محاسبه طیف پاسخ معمولاً با استفاده از نرم‌افزارهایی مانند SeismoSignal یا MATLAB انجام می‌شود. در این فرآیند، رکورد شتابنگاشت به عنوان ورودی به سیستم‌های یک درجه آزادی با پریودها و میرایی‌های مختلف اعمال می‌شود و بیشینه پاسخ هر سیستم استخراج و ترسیم می‌گردد. طیف پاسخ شبه شتاب (PSA) و شبه سرعت (PSV) نیز از طریق روابط ریاضی از طیف جابه‌جایی به دست می‌آیند.

تحلیل حوزه فرکانس و تبدیل فوریه

تحلیل فرکانسی رکوردها با استفاده از تبدیل فوریه (Fourier Transform) یا تبدیل فوریه سریع (FFT) انجام می‌شود. این تحلیل امکان شناسایی فرکانس‌های غالب، محتوای فرکانسی و انرژی سیگنال را فراهم می‌کند. طیف فوریه رکورد زلزله، اطلاعات ارزشمندی درباره ویژگی‌های منبع زلزله، مسیر انتشار امواج و اثرات ساختگاهی ارائه می‌دهد.



تبدیل فوریه سریع (FFT) به دلیل سرعت و کارایی بالا، به طور گسترده در پردازش سیگنال‌های زلزله و تحلیل داده‌های شتابنگاشت به کار می‌رود. با استفاده از FFT، می‌توان فرکانس‌های غالب رکورد را شناسایی و آن‌ها را با فرکانس‌های طبیعی سازه‌ها مقایسه کرد تا خطر رزونانس و آسیب‌پذیری سازه‌ها ارزیابی شود.

انتخاب و مقیاس‌سازی رکوردها برای تحلیل دینامیکی سازه‌ها

معیارهای انتخاب رکورد

انتخاب رکوردهای مناسب برای تحلیل دینامیکی سازه‌ها یکی از مراحل کلیدی در طراحی لرزه‌ای است. معیارهای اصلی انتخاب رکورد عبارتند از:

- شباهت سازوکار کانونی و بزرگا: رکورد باید از زلزله‌هایی با سازوکار و بزرگای مشابه با زلزله طرح انتخاب شود.
- فاصله از مرکز زلزله: رکوردهای انتخابی باید فاصله‌ای مشابه با فاصله ساختگاه تا گسل مسبب داشته باشند.
- نوع خاک محل ثبت: ویژگی‌های ژئوتکنیکی محل ثبت رکورد باید با ساختگاه مورد نظر مشابه باشد.
- مدت زمان موثر و محتوای فرکانسی: رکورد باید دارای مدت زمان و محتوای فرکانسی متناسب با شرایط ساختگاه باشد.



فرآیند مقیاس‌سازی رکوردها

مقیاس‌سازی رکوردها به منظور تطبیق آن‌ها با طیف طرح آیین‌نامه‌ای انجام می‌شود. بر اساس ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ ایران، مراحل مقیاس‌سازی شامل موارد زیر است:

۱. انتخاب حداقل سه زوج شتابنگاشت با شرایط مناسب.

۲. مقیاس کردن هر زوج شتابنگاشت به مقدار حداکثر خود (بیشینه شتاب).

۳. محاسبه طیف پاسخ شتاب هر زوج شتابنگاشت با میرایی ۵ درصد.

۴. ترکیب طیف‌های پاسخ دو مولفه افقی هر زوج با روش SRSS

۵. تنظیم ضریب مقیاس به گونه‌ای که متوسط طیف SRSS تمام زوج‌ها، در بازه ۰.۲T تا ۱.۵T (T: زمان تناوب سازه) کمتر از ۱۰ درصد از ۱.۳ برابر طیف طرح استاندارد نباشد.

این فرآیند تضمین می‌کند که رکوردهای استفاده‌شده در تحلیل‌های دینامیکی، انطباق کامل با الزامات آیین‌نامه‌ای داشته و پاسخ سازه‌ای قابل اطمینانی ارائه دهند.

شبیه‌سازی و تولید شتابنگاشت‌های مصنوعی

در مواردی که رکوردهای واقعی مناسب در دسترس نباشد، از شتابنگاشت‌های مصنوعی استفاده می‌شود. این شتابنگاشت‌ها با استفاده از مدل‌های ژئوفیزیکی، مدل‌های تصادفی، شبکه‌های عصبی مصنوعی و تبدیل موجک تولید می‌شوند و باید دارای ویژگی‌های آماری و طیفی مشابه با زلزله‌های محتمل ساختگاه باشند.

روش‌های نوین تولید شتابنگاشت مصنوعی شامل استفاده از تبدیل ویولت، الگوریتم



ژنتیک و یادگیری ماشین است که امکان تولید رکوردهای سازگار با طیف طرح و شرایط ساختگاهی را فراهم می‌کند. این رویکردها به ویژه در پروژه‌های بزرگ و سازه‌های حیاتی که نیاز به تحلیل‌های دقیق دارند، کاربرد گسترده‌ای یافته‌اند.

کاربردهای رکورد زلزله در مهندسی سازه، ایمنی شهری و تحقیقات علمی

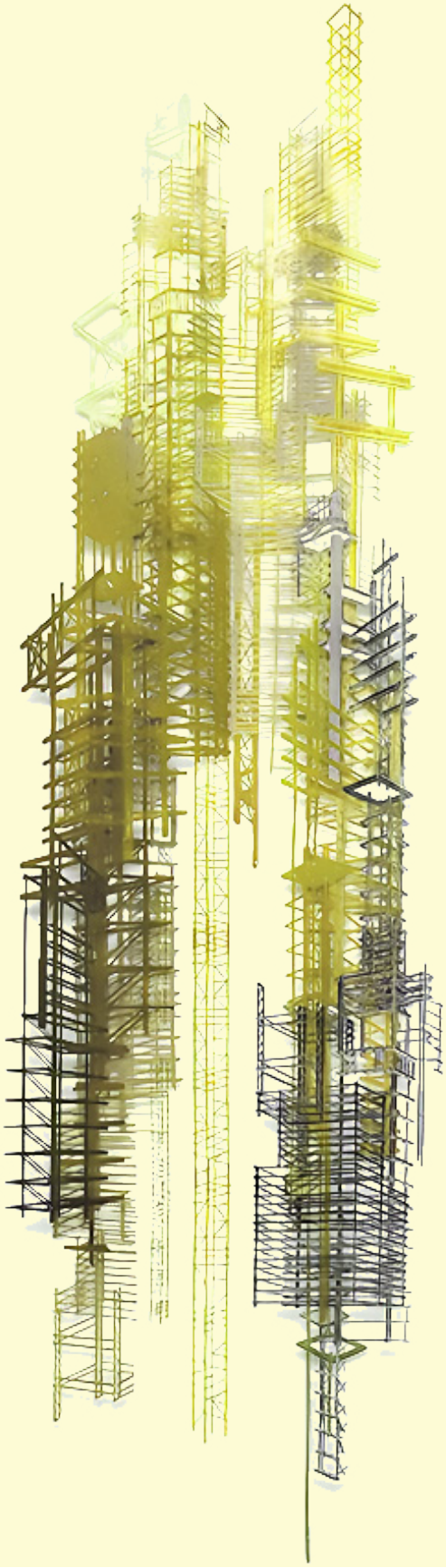
مهندسی سازه: تحلیل تاریخچه زمانی و طراحی عملکردی

رکوردهای زلزله به عنوان ورودی تحلیل‌های تاریخچه زمانی خطی و غیرخطی سازه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. این تحلیل‌ها امکان شبیه‌سازی دقیق رفتار سازه تحت اثر زلزله‌های واقعی را فراهم می‌کنند و برای ارزیابی عملکرد، تعیین نقاط ضعف و طراحی مقاوم‌سازی سازه‌ها به کار می‌روند.

در طراحی عملکردی سازه‌ها، رکوردهای زلزله برای تعیین سطوح عملکرد (ایمنی جانی، قابلیت بهره‌برداری فوری، خدمات پس از زلزله) و ارزیابی پاسخ غیرخطی سازه‌ها استفاده می‌شوند. این رویکرد، پایه اصلی طراحی لرزه‌ای مبتنی بر عملکرد (Performance-Based Seismic Design) است که در آیین‌نامه‌های جدید بین‌المللی و ملی مورد تأکید قرار گرفته است.

ایمنی شهری و مدیریت بحران

رکوردهای زلزله نقش کلیدی در ارزیابی آسیب‌پذیری بافت‌های شهری، پهنه‌بندی خطر لرزه‌ای و برنامه‌ریزی مدیریت بحران ایفا می‌کنند. با استفاده از داده‌های ثبت‌شده، می‌توان نقشه‌های خطر، سناریوهای آسیب و برنامه‌های تخلیه اضطراری را تهیه و اجرا کرد. همچنین، داده‌های رکورد شده برای توسعه سامانه‌های هشدار سریع و تخصیص منابع امدادی پس از زلزله به کار می‌روند. استفاده از فناوری سنجش از دور و تحلیل تصاویر ماهواره‌ای، امکان پایش تغییرات لرزه‌ای سطح زمین، شناسایی ساختمان‌های آسیب‌دیده و برآورد سریع خسارات را فراهم کرده است. این فناوری‌ها با ترکیب داده‌های رکورد زلزله و الگوریتم‌های یادگیری ماشین، دقت و سرعت مدیریت بحران را به طور چشمگیری افزایش داده‌اند.



تحقیقات علمی: منشاء، مکان‌یابی و مدل‌سازی منبع زلزله

در علوم زمین، رکوردهای زلزله برای تعیین محل کانون زلزله، شناسایی گسل‌ها، مدل‌سازی منبع لرزه‌ای و تحلیل ساختار زمین مورد استفاده قرار می‌گیرند. تحلیل امواج لرزه‌ای ثبت‌شده توسط شبکه‌های لرزه‌نگاری، امکان تعیین پارامترهای منبع (مانند مکان، عمق، سازوکار گسلش) و بررسی ویژگی‌های زمین‌شناسی منطقه را فراهم می‌کند.

روش‌های ژئوفیزیکی مانند لرزه‌نگاری فعال و غیرفعال، روش‌های الکتریکی، گرانشی و مغناطیسی نیز با استفاده از داده‌های رکورد شده، به شناسایی ساختارهای زیرسطحی، گسل‌ها و نواحی با خطر بالای زمین‌لرزه کمک می‌کنند. مدل‌سازی عددی و تحلیل آماری داده‌ها نیز برای پیش‌بینی رفتار زمین‌لرزه‌ها و توسعه مدل‌های خطر لرزه‌ای به کار می‌رود.

چالش‌ها و پیشرفت‌های جدید در حوزه رکورد زلزله

چالش‌ها: کیفیت داده، نویز، کمبود ایستگاه‌ها و دسترسی به داده‌ها

یکی از چالش‌های اصلی در ثبت رکوردهای زلزله، کیفیت پایین داده‌ها به دلیل نویز محیطی، خطاهای الکترونیکی و مشکلات نصب تجهیزات است. کمبود ایستگاه‌های ثبت در مناطق دورافتاده و لرزه‌خیز نیز منجر به پوشش ناکافی و عدم ثبت رکوردهای مهم می‌شود. علاوه بر این، دسترسی محدود به داده‌های ثبت‌شده، به ویژه برای پژوهشگران و مهندسان، مانع توسعه تحقیقات و بهبود طراحی‌های لرزه‌ای می‌گردد.

پیشرفت‌های جدید: سنسورهای MEMS، شبکه‌های باند پهن، یادگیری ماشین و سنجش از دور

در سال‌های اخیر، پیشرفت‌های قابل توجهی در حوزه ثبت و تحلیل رکوردهای زلزله حاصل شده است:

- سنسورهای MEMS: توسعه سنسورهای میکروالکترومکانیکی با دقت بالا و هزینه پایین، امکان ایجاد شبکه‌های پر تراکم ثبت زلزله را فراهم کرده است. این سنسورها در پایش سلامت سازه‌ها، هشدار سریع و ثبت حرکات قوی زمین کاربرد گسترده‌ای یافته‌اند.
- شبکه‌های باند پهن: استفاده از لرزه‌نگارهای باند پهن، ثبت امواج لرزه‌ای در گستره وسیعی از فرکانس‌ها را ممکن ساخته و دقت مکان‌یابی و تحلیل منبع زلزله را افزایش داده است.
- یادگیری ماشین و هوش مصنوعی: به کارگیری الگوریتم‌های یادگیری ماشین در تحلیل داده‌های رکورد زلزله، شناسایی الگوهای آسیب، تولید شتابنگاشت‌های مصنوعی و پیش‌بینی رفتار زمین‌لرزه‌ها را تسهیل کرده است. این رویکردها به ویژه در تحلیل تصاویر ماهواره‌ای و تولید نقشه‌های تخریب بسیار کارآمد بوده‌اند.
- سنجش از دور و تصاویر ماهواره‌ای: استفاده از تصاویر اپتیکی و راداری با وضوح بالا، امکان پایش تغییرات سطح زمین، شناسایی گسل‌ها و برآورد سریع خسارات پس از زلزله را فراهم کرده است. ترکیب داده‌های سنجش از دور با داده‌های رکورد زلزله، دقت و سرعت مدیریت بحران را به طور چشمگیری افزایش داده است.





نرم‌افزارها و ابزارهای متداول برای تحلیل رکوردها

نرم‌افزارهای تخصصی مانند MATLAB، SeismoSignal، SAP۲۰۰۰، OpenSees و ETABS امکانات گسترده‌ای برای تحلیل رکوردهای زلزله، تولید طیف پاسخ، مقیاس‌سازی رکوردها و شبیه‌سازی رفتار سازه‌ها فراهم می‌کنند. این ابزارها با قابلیت وارد کردن داده‌های واقعی و مصنوعی، انجام تحلیل‌های خطی و غیرخطی و تولید خروجی‌های عددی و گرافیکی، به مهندسان و پژوهشگران در انجام مطالعات پیشرفته کمک می‌کنند.

استانداردها و آیین‌نامه‌های مرتبط

در ایران، استاندارد ۲۸۰۰ به عنوان مرجع اصلی طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله، الزامات انتخاب، مقیاس‌سازی و استفاده از رکوردهای زلزله را مشخص می‌کند. ر سطح بین‌المللی نیز یین نامه هایی مانند ASCE7، Eurocode 8 و UBC ارچوب‌های فنی و الزامات راحی ایمن را تعیین می‌نمایند. رعایت این استانداردها برای تضمین ایمنی و عملکرد مطلوب سازه‌ها در برابر زلزله الزامی است.

نتیجه‌گیری و توصیه‌های پژوهشی برای مطالعات آینده

رکوردهای زلزله، به عنوان داده‌های پایه در مهندسی سازه، ایمنی شهری و علوم زمین، نقش بی‌بدیلی در ارتقای ایمنی، تاب‌آوری و توسعه پایدار جوامع ایفا می‌کنند. پیشرفت‌های فناورانه در حوزه سنسورها، شبکه‌های ثبت، تحلیل داده و هوش مصنوعی، افق‌های جدیدی برای ثبت، تحلیل و کاربرد رکوردهای زلزله گشوده است.

با این حال، چالش‌هایی مانند کیفیت داده، پوشش ناکافی ایستگاه‌ها، نویز محیطی و دسترسی محدود به داده‌ها همچنان پابرجاست. برای غلبه بر این چالش‌ها و ارتقای سطح ایمنی و دانش فنی، توصیه می‌شود:

توسعه شبکه‌های ثبت پر تراکم با استفاده از سنسورهای MEMS و فناوری‌های نوین.

- ارتقای کیفیت داده‌ها از طریق آموزش نیروی انسانی، بهبود تجهیزات و توسعه نرم‌افزارهای پیش‌پردازش.
- تسهیل دسترسی پژوهشگران و مهندسان به داده‌های ثبت‌شده از طریق سامانه‌های باز و استاندارد.
- توسعه روش‌های نوین تحلیل داده با استفاده از یادگیری ماشین، مدل‌سازی عددی و ترکیب داده‌های سنجش از دور.
- انجام مطالعات بین‌رشته‌ای برای تلفیق داده‌های رکورد زلزله با اطلاعات ژئوتکنیکی، سازه‌ای و شهری.
- بازنگری و به‌روزرسانی مستمر آیین‌نامه‌ها و استانداردها بر اساس یافته‌های جدید و تجربیات رخدادهای اخیر.

در نهایت، ارتقای فرهنگ ایمنی، آموزش عمومی و همکاری بین‌المللی، کلید موفقیت در کاهش خطرات زلزله و افزایش تاب‌آوری جوامع خواهد بود.

منابع



عسل مرادی
Asal Moradi
دانشجوی کارشناسی عمران دانشگاه تبریز



وقتی زمین می‌لرزد، هر لرزش داستان خودش را دارد. بعضی زلزله‌ها با ضربه‌های ناگهانی و شدید شروع می‌شوند و گاهی تنها چند ثانیه طول می‌کشد تا تمام انرژی آزاد شود؛ برخی دیگر آرام و طولانی حس می‌شوند و ساعت‌ها می‌توان لرزش‌های خفیف را زیر پا و در ساختمان‌ها احساس کرد. تفاوت اصلی این زلزله‌ها معمولاً به فاصله از گسل فعال برمی‌گردد. از دیدگاه مهندسی، زمین‌لرزه‌ها به دو دسته کلی زلزله‌های نزدیک به گسل و زلزله‌های دور از گسل تقسیم می‌شوند. این تقسیم‌بندی نه‌تنها برای درک طبیعت لرزه‌ها اهمیت دارد، بلکه نقشی حیاتی در طراحی سازه‌ها، مقاوم‌سازی ساختمان‌ها و برنامه‌ریزی شهری ایفا می‌کند. مطالعات علمی نشان داده‌اند که زلزله‌های نزدیک، حتی با بزرگی متوسط، می‌توانند فشار و انرژی فوق‌العاده‌ای بر ساختمان‌ها وارد کنند و رفتار سازه‌ها را به شکل غیرقابل‌پیش‌بینی تحت تأثیر قرار دهند. بنابراین، شناخت و مطالعه تفاوت‌های زلزله نزدیک و دور، یکی از پایه‌های مهم ایمنی و کاهش خطر در مهندسی عمران و مدیریت بحران است.

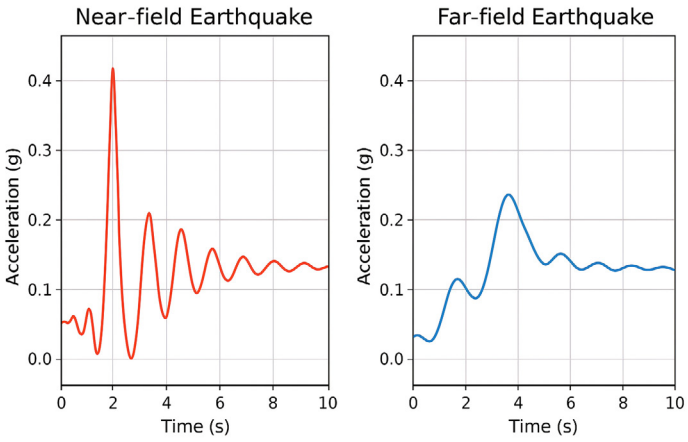
زلزله‌های نزدیک: مشخصات و ویژگی‌ها

زلزله نزدیک، همان‌طور که از نامش پیداست، زمانی رخ می‌دهد که محل وقوع لرزش زمین نسبت به گسل فعال نزدیک باشد؛ معمولاً در فاصله کمتر از ۲۰ کیلومتر. این نوع زلزله‌ها دارای ویژگی‌های منحصربه‌فردی هستند که رفتار سازه‌ها را به شکل قابل‌توجهی متفاوت از زلزله‌های دور تغییر می‌دهند.

ضربه‌های ناگهانی و شدید: در زلزله نزدیک، انرژی لرزه‌ای به‌سرعت و در زمان کوتاهی آزاد می‌شود. این فشار لحظه‌ای می‌تواند موجب شکست ناگهانی سقف‌ها، تیرها و ستون‌ها گردد.

پالس‌های لرزه‌ای کوتاه و پرانرژی: برخلاف زلزله‌های دور که انرژی به‌طور نسبی آرام منتقل می‌شود، زلزله نزدیک چند پالس شدید و کوتاه ایجاد می‌کند. این پالس‌ها به‌ویژه برای ساختمان‌های بلند و سازه‌های حساس بسیار خطرناک هستند.

حرکت عمودی زمین: برخلاف تصور عمومی که حرکت زمین را تنها افقی می‌دانند، در زلزله نزدیک حرکت عمودی نیز اهمیت دارد و می‌تواند ستون‌ها و دیواره‌ها را تحت فشار مضاعف قرار دهد. آزمایش‌ها روی سازه‌های سنگی نشان داده‌اند که ترکیب حرکت افقی و عمودی، آسیب‌پذیری سازه‌ها را به‌طور قابل‌توجهی افزایش می‌دهد.

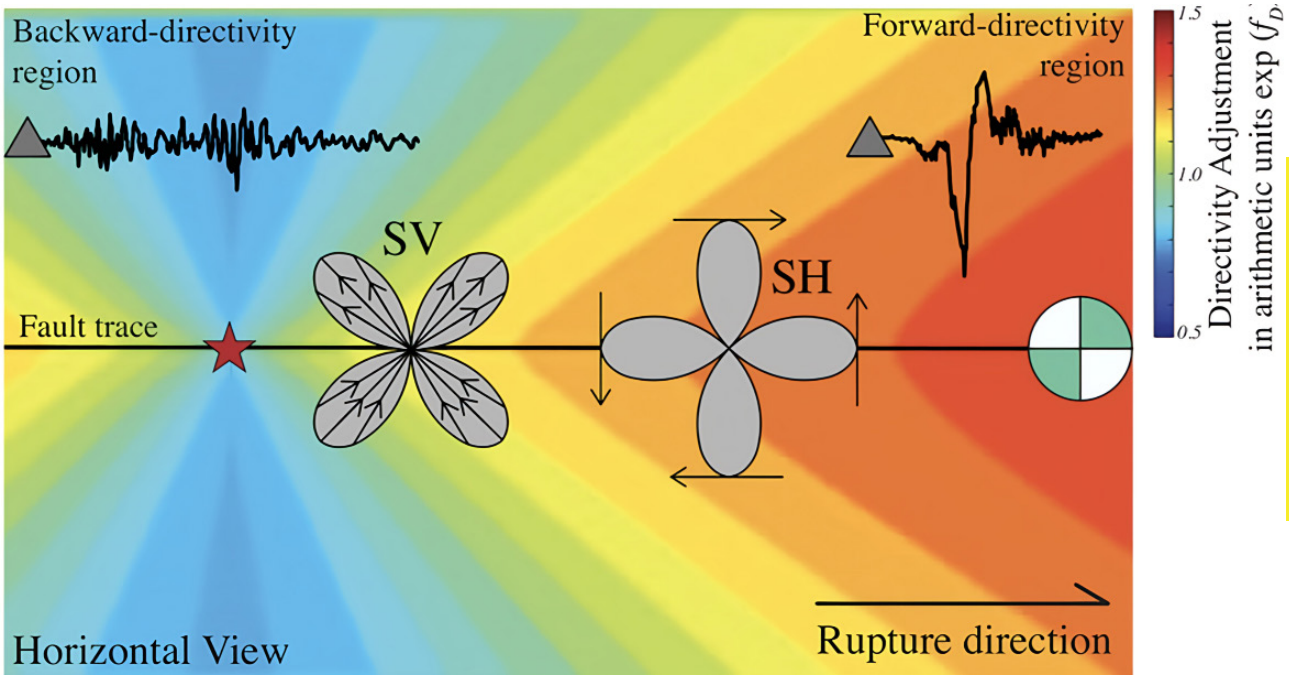




اثـر دیـواره بـالایی (Hanging-Wall): در گسـل‌های شیبـدار، سـاختمان‌های واقـع بـر دیـواره بـالایی گسـل بیشـترین لـرزش و آسیـب را تجربـه می‌کننـد، زیـرا حرکـت زمیـن در ایـن ناحیـه شـدیدتر اسـت.

پالـس سـرعت و جهت‌گیـری لـرزش (Directivity): حرکـت زمیـن گاهی در یـک جهـت خـاص متمرکـز می‌شـود و انـرژی بیشـتری را بـه سـمت سـازه‌ها هدایـت می‌کنـد کـه باعـث افزایـش شـدید نیروهـای وارده بـر سـاختمان‌های بلنـد می‌شـود.

به‌طـور کلی، زلزله‌هـای نزدیـک می‌تواننـد رفتـار سـازه‌ها را بـه شـکل غیرقابل‌پیش‌بیـنی تغییـر دهنـد و حـتی سـاختمان‌هایی کـه مطابـق اسـتانداردهای رایـج طـراحی شـده‌اند، آسیـب جـدی ببیننـد.



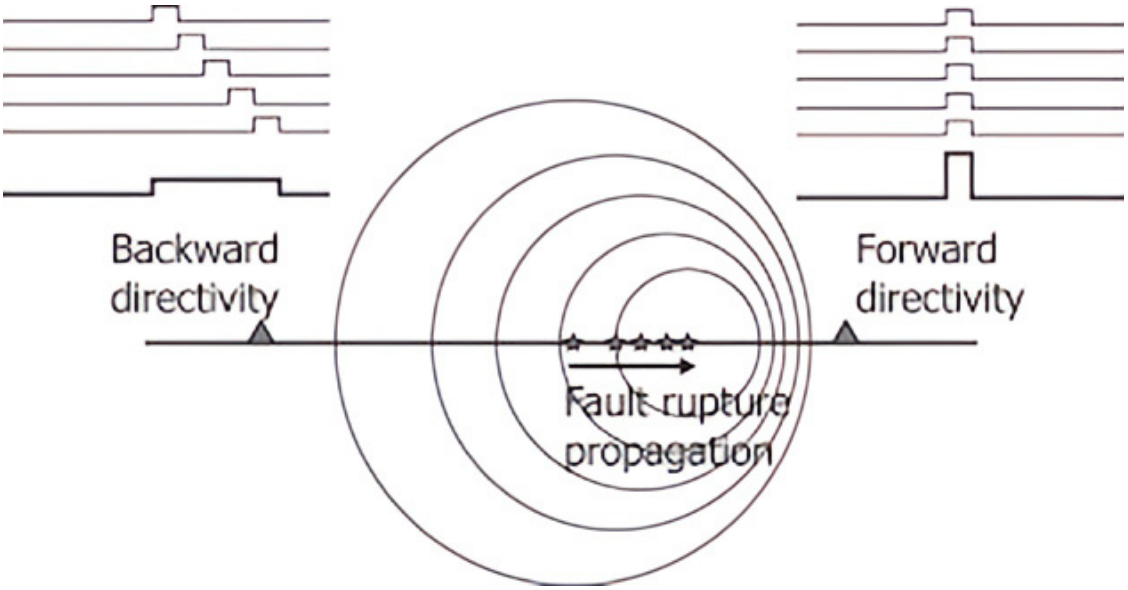
۳. اهمیت زلزله نزدیک در طراحی سازه‌ها

طراحی لرزه‌ای سازه‌ها در بیشتر آیین‌نامه‌ها بر اساس شتاب‌نگاشت‌ها و طیف‌های دور از گسل انجام می‌شود؛ اما تجربه‌های میدانی نشان داده است که زمین‌لرزه‌های نزدیک‌گسل رفتار کاملاً متفاوتی دارند و می‌توانند نیازهای لرزه‌ای سازه را به‌شدت افزایش دهند. رخدادهایی مانند زلزله بم و زمین‌لرزه‌های رخداده در حوالی گسل شمال تهران آشکار کرده‌اند که پدیده‌هایی نظیر پالس‌های سرعت با دامنه زیاد، جابه‌جایی‌های دائمی زمین، شتاب عمودی بسیار بالا و تمرکز شدید انرژی در بازه زمانی کوتاه، رفتار سازه‌ها را به‌گونه‌ای تحت تأثیر قرار می‌دهند که با فرضیات طراحی متداول سازگار نیست.

بر اساس مطالعاتی مانند پژوهش Talebi Joungheghani و همکاران (۲۰۱۷)، این پالس‌های بلندده و پرانرژی قادرند تغییرمکان‌ها، برش پایه و لنگر خمشی را در قاب‌های بتن‌آرمه افزایش داده و سازه را از پاسخ غیرخطی معمول به سمت پاسخ‌های ضربه‌ای سوق دهند. همچنین ویژگی‌هایی مانند تغییر نسبت‌های طیفی، اثر Hanging-Wall در گسل‌های شیب‌لغز و شتاب عمودی بیش از دو برابر شتاب افقی، همگی نشان می‌دهند که طیف‌های استاندارد به‌تنهایی قادر به توصیف رفتار واقعی زلزله‌های نزدیک‌گسل نیستند. افزون بر این، جابه‌جایی‌های دائمی زمین که در برخی زلزله‌ها به ده‌ها سانتی‌متر رسیده، می‌تواند باعث ایجاد تغییرشکل‌های ماندگار و افزایش آسیب‌پذیری طبقات پایین شود. مجموعه این عوامل بیانگر آن است که طراحی مرسوم نه‌تنها پاسخ کافی برای سازه‌های واقع در مجاورت گسل فراهم نمی‌کند، بلکه ممکن است میزان آسیب‌پذیری را نیز افزایش دهد. به همین دلیل، بسیاری از کشورهای زلزله‌خیز به‌دنبال تدوین ضوابط ویژه نزدیک‌گسل، تعریف شتاب‌نگاشت‌های اختصاصی و الزام تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی برای ساختمان‌های مهم هستند. بنابراین شناخت دقیق ویژگی‌های زلزله‌های نزدیک‌گسل و بازنگری در رویکرد طراحی لرزه‌ای ضرورتی اساسی برای کاهش خطرپذیری و افزایش تاب‌آوری سازه‌ها در مناطق فعال لرزه‌ای است.

در بسیاری از کشورهای زلزله‌خیز، از جمله ایتالیا، تلاش می‌شود تا با ایجاد نقشه‌های لایه‌ای خطر زلزله نزدیک (PEACH)، مناطق دارای پالس‌های شدید مشخص شوند و دستورالعمل‌های ویژه طراحی در این مناطق اعمال شود (Basili et al., ۲۰۰۸).

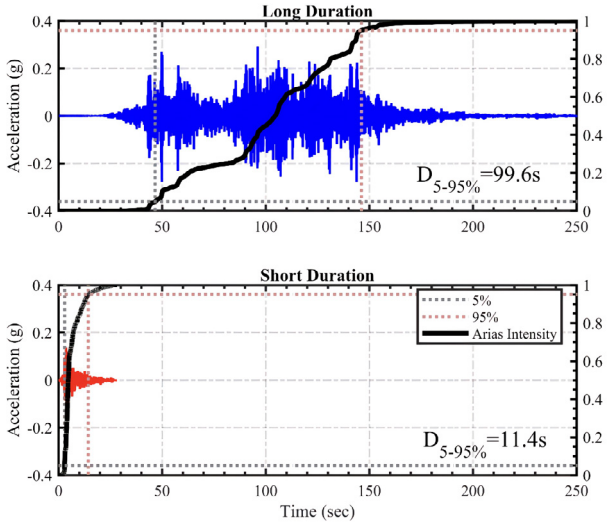




۴. تعریف و ماهیت زلزله‌های دور

زلزله‌های دور یا Far-Field Earthquakes به زمین‌لرزه‌هایی گفته می‌شود که فاصله رومرکز آن‌ها تا محل مورد مطالعه عموماً بیش از ۲۰ تا ۵۰ کیلومتر باشد. در این فاصله نسبتاً زیاد، امواج لرزه‌ای مسیر طولانی‌تری را در پوسته زمین طی می‌کنند و در نتیجه بخش قابل‌توجهی از انرژی اولیه خود را به دلیل اتلاف، پراکندگی و تغییر در ساختار لایه‌های زمین از دست می‌دهند (Ambraseys et al., ۱۹۹۶). همین پدیده موجب می‌شود که ماهیت این نوع رکوردها با زلزله‌های نزدیک‌گسل تفاوت چشمگیری داشته باشد. امواج دورگسل اغلب دارای مدت‌زمان لرزش طولانی و شتاب لحظه‌ای کمتر هستند. به عبارت دیگر، انرژی لرزه‌ای به‌صورت تدریجی و مداوم به سازه منتقل می‌شود و خبری از ضربه‌های ناگهانی و پالس‌های شدید که در زلزله‌های نزدیک مشاهده می‌شود، نیست. رکوردهای دور معمولاً شامل چندین پالس کوچک، پیوسته و با دوره تناوب بلندتر هستند که موجب تحریک مودهای بالاتر سازه، به‌ویژه در ساختمان‌های بلند می‌شود. به دلیل ماهیت گسترده انتشار امواج، زلزله‌های دور قادرند سطح وسیع‌تری را تحت تأثیر قرار دهند، هرچند شدت تخریب موضعی آن‌ها معمولاً کمتر از زلزله‌های نزدیک‌گسل است. در چنین زلزله‌هایی، سازه‌ها عمدتاً رفتاری خطی‌تر و قابل پیش‌بینی‌تر از خود نشان می‌دهند و پاسخ آن‌ها غالباً با الگوهای آیین‌نامه‌ای همخوان‌تر است.

بررسی‌های جدید، از جمله مطالعه Golafshani et al. (۲۰۲۲)، نشان می‌دهد که زلزله‌های دور در سازه‌های میان‌مرتبه و بلند، به‌ویژه زمانی که روی خاک نرم و شرایط همراه با اندرکنش خاک–سازه (SSI) قرار دارند، می‌توانند موجب تغییرمکان‌های تجمعی، افزایش مدت تحریک، کاهش سختی مؤثر سازه و حتی خستگی مصالح شوند. این اثرات اگرچه تدریجی هستند، اما در بلندمدت اهمیت بالایی در ارزیابی ریسک لرزه‌ای و طراحی مقاوم دارند.



۵. اهمیت زلزله‌های دور در طراحی لرزه‌ای سازه‌ها

اگرچه در بسیاری از تحلیل‌های لرزه‌ای تمرکز اصلی بر زلزله‌های نزدیک‌گسل است، اما زلزله‌های دور (Far-Field) نیز نقش بسیار مهمی در طراحی سازه‌ها دارند. دلیل این اهمیت ماهیت متفاوت لرزش‌ها در زلزله‌های دور و اثرات آن بر پاسخ سازه است؛ موضوعی که در پژوهش‌های اخیر، از جمله مطالعه Golafshani et al. (۲۰۲۲)، نیز مورد تأکید قرار گرفته است.

یکی از ویژگی‌های بارز زلزله‌های دور، مدت‌زمان طولانی ارتعاش است. این تحریک ممتد باعث می‌شود سازه‌ها برای مدت بیشتری تحت بارگذاری چرخه‌ای قرار گیرند؛ پدیده‌ای که در ساختمان‌های بلند، پل‌ها و سازه‌هایی با دوره تناوب بلند می‌تواند منجر به تغییرمکان‌های تجمعی، کاهش سختی مؤثر و خستگی مصالح شود. بنابراین، حتی در شرایطی که پیک شتاب زلزله‌های دور کمتر از زلزله‌های نزدیک باشد، اثر تجمعی آن‌ها بر کاهش ظرفیت باربری اعضا قابل‌توجه است.

در زلزله‌های دور، امواج لرزه‌ای اغلب دارای طول موج بیشتر و پالس‌های پیوسته‌تر هستند. این ویژگی سبب تحریک مودهای بالاتر سازه شده و می‌تواند جابجایی‌های جانبی، پیچش و تغییرشکل‌های غیرخطی را تقویت کند. این مسئله برای سازه‌های میان‌مرتبه و بلند اهمیت ویژه‌ای دارد، زیرا در این سازه‌ها سهم مودهای بالاتر در پاسخ لرزه‌ای بیشتر است.
نتایج مطالعه Golafshani et al. (۲۰۲۲) نشان می‌دهد که در سازه‌هایی که روی خاک نرم قرار دارند، و به‌ویژه هنگام در نظر گرفتن اندرکنش خاک–سازه (SSI)، اثرات زلزله‌های دور تشدید می‌شود. ارتعاشات طولانی‌مدت در حضور SSI موجب افزایش تغییرمکان‌ها، شتاب‌ها، تنش‌ها و نیروهای داخلی شده و می‌تواند behavior سازه را بحرانی‌تر کند. بنابراین، در سازه‌های بلند یا سازه‌هایی که بر روی خاک نرم قرار دارند، نادیده‌گرفتن زلزله‌های دور منجر به کم‌برآوردی تقاضای لرزه‌ای خواهد شد.

به‌طور خلاصه، زلزله‌های دور با وجود شدت لحظه‌ای کمتر، به دلیل مدت‌زمان طولانی تحریک، گستره اثر بزرگ و توانایی ایجاد خستگی مصالح، نقش مهمی در طراحی لرزه‌ای، ارزیابی عملکرد و برآورد خطرپذیری سازه‌ها دارند. ازاین‌رو، استفاده از رکوردهای دورگسل در تحلیل دینامیکی—به‌ویژه برای سازه‌های بلند، حساس و سازه‌های قرارگرفته روی خاک نرم—یک ضرورت طراحی محسوب می‌شود.



مثال‌های حقیقی

داستان زلزله کوبه ۱۹۹۵

زلزله کوبه ۱۹۹۵ از آن اتفاق‌هایی بود که شهر را نه در چند دقیقه، بلکه در چند ثانیه از پا انداخت. ضربه اول زمین آن‌قدر ناگهانی و تیز بود که بسیاری از ساختمان‌های کوتاه‌مرتبه حتی فرصت نکردند تکان بخورند؛ انگار زمین یک‌هو زیرشان مشت کوبید و سقف‌ها مثل کارت‌پستال روی هم تا شدند. بزرگراه بلند هانشین—سازه‌ای که همه در شهر با آن عکس داشتند—در چشم‌برهم‌زدنی واژگون شد؛ ستون‌هایی که قرار بود دهه‌ها بایستند، با پالس سرعت شدید نزدیک‌گسل مثل نی تا شدند و بلوک‌های بتنی چند تُنی روی هم ریختند. هم‌زمان در محله‌های چوبی، شکست لوله‌های گاز و قطع شدن آب، جرقه ده‌ها آتش‌سوزی شد؛ آتشی که هیچ‌کس ابزار خاموش‌کردنش را نداشت و شعله‌ها با باد زمستان، کوچه‌ها را یکی‌یکی بلعیدند. ریل‌های قطار نیز از شدت تکان‌ها کج و معوج شدند، انگار کسی با دست خالی آن‌ها را پیچ داده باشد. عجیب اینکه با وجود لغزش بزرگ‌تر گسل در جزیره آواجی، این کوبه بود که بیشترین ضربه را خورد؛ چون درست در مسیر «پرتاب انرژی» قرار داشت—انگار موج اصلی زلزله شتاب گرفت، مسیرش را نشانه رفت و مستقیم به سمت شهر شلیک شد. همین ترکیب ضربه مستقیم، سرعت بالا و شرایط نامناسب خاک بود که کوبه را به یکی از نمادهای تاریخی تخریب در زلزله‌های نزدیک‌گسل تبدیل کرد.



داستان لوما پریتا ۱۹۸۹

صبح ۱۷ اکتبر ۱۹۸۹، زمین‌های کالیفرنیا با لرزشی شدید بیدار شدند. جالب این بود که مرکز زلزله نسبت به بسیاری از مناطق آسیب‌دیده روی گسل نبود؛ یعنی حتی خانه‌ها و خیابان‌هایی که تا ۱۰۰ کیلومتر دورتر از گسل اصلی قرار داشتند، تحت تأثیر شدت لرزش قرار گرفتند. خاک نرم بسیاری از این مناطق شدت لرزش را تقریباً دو برابر کرد و خسارات گسترده‌ای ایجاد شد.

یکی از پدیده‌های مهم این زلزله، روان‌گرایی خاک بود؛ خاکی که ناگهان مانند مایعی نرم شد و باعث فرو رفتن و حرکت سازه‌ها شد. این پدیده در ۱۳۴ نقطه گزارش شد و بیش از ۹۹ میلیون دلار خسارت به بار آورد. رودخانه‌های Pajaro و Salinas و خاک‌های شنی حاشیه خلیج سان‌فرانسیسکو بیش از همه آسیب دیدند. این تجربه یادآور زلزله

مشـهور ۱۹۰۶ بـود و نشـان داد کـه حـتی مناطـق دور از گسـل نیـز در برابـر ایـن خطـرات آسیب پذیرنـد.
لغزش‌هـای زمیـن نیـز داسـتان خـود را داشـتند. زمیـن در بـرخی مناطـق حرکـت کـرد و بیـش از ۲۰۰ خانـه آسیـب دیدنـد، بـا خسـارتی حـدود ۳۰ میلیـون دلار. بسـیاری از ایـن لغزش‌هـا نشـانه‌هایی از گذشـته داشـتند، انـگار زمیـن خاطـرات زلزله‌هـای پیشیـن را بـه یـاد می‌آورد. منطقـه Marina سان‌فرانسیسـکو یـکی از بدتریـن صحنه‌هـا بـود. خـاک نـرم زیـر زمیـن شـدت لـرزش را تشـدید، و خاک‌هـای شـنی مصنـوعی باعـث شـد خطـوط لولـه آب، گاز و فـاضلاب دچـار آسیـب گسـترده شـوند؛ بیـش از



۶. نکات ایمنی و دانستنی‌ها

زلزله‌هـای نزدیـک گسـل بـه دلیـل ویژگی‌هـای خـاص امـواج لـرزه‌ای، ماننـد پالس‌هـای سـرعت بـا دامنـه بـالا، شـتاب‌های شـدید عمـودی و افـقی و جابه‌جایی‌هـای دائـمی زمیـن، خطـر بیشـتری بـرای انسـان‌ها و سـازه‌ها دارنـد. در چنیـن شـرایطی، واکنـش سـریع و آگاهانـه می‌توانـد زنـدگی را نجـات دهـد. افـراد بایـد زیـر میزهـا یـا سـطوح محکـم پنـاه بگیرنـد، در گوشـه‌های داخـلی سـاختمان قـرار گیرنـد و از دیوارهـای خـارجی، پنجره‌هـا و اشیـای سـنگین یـا شیشـه‌ای دوری کننـد. آگاهی از مسیرهـای فـرار و درهـای خـروجی سـاختمان اهمیـت ویـژه‌ای دارد، زیـرا لرزش‌هـای شـدید و ناگهـانی زمـان واکنـش را محـدود می‌کننـد. همچنیـن حرکـت در فضاهـای بـاز نزدیـک سـاختمان‌های بلنـد یـا سـازه‌های آسیب‌پذیـر می‌توانـد خطـر

۱۲۳ مـورد تعمیـر در آب، ۱۳.۶ کیلومتـر خطـوط گاز و بیـش از ۲۰ درصـد شـبکه فـاضلاب نیـاز بـه تعمیـر یـا جایگزیـنی پیـدا کـرد.
حـتی رودخانه‌هـا نیـز تحـت تأثیـر قـرار گرفتنـد؛ جریـان بسـیاری از آن‌هـا در منطقـه مرکـز زلزلـه افزایـش یافـت و تـا ۸۸ کیلومتـر دورتـر آثـارش دیـده شـد. ایـن زلزلـه و مطالعـات پـس از آن نشـان داد کـه اثـر زمین‌لـرزه محـدود بـه نزدیـکی گسـل نیسـت و نیـاز بـه نقشـه‌برداری و ایمن‌سـازی گسـترده مناطـق مسـتعد روان‌گـرایی و لغـزش احسـاس شـد؛ قانـونی کـه بعدهـا در قالـب Seismic Hazards Mapping Act تصویب شـد.



سـقوط اشیـا و آوار را افزایـش دهـد.
در مقابـل، زلزله‌هـای دور از گسـل معمـولاً اثـرات آرام‌تـر و بـا دامنـه کمتـر دارنـد، امـا هنـوز می‌تواننـد تهدیـد ایجـاد کننـد. در ایـن شـرایط حفـظ آرامـش، پیگیـری اطلاعـات رسـمی از مراکـز مدیریـت بحـران و آمـادگی بـرای مانـدن طولانی‌مـدت در مـکان امـن از اقدامـات ضـروری هسـتند. توجـه بـه ایمـنی محیـط، کاهـش خطـر سـقوط اشیـا و برنامه‌ریـزی بـرای پس‌لرزه‌هـا همچنـان اهمیـت دارد. بـرخلاف زلزله‌هـای نزدیـک، نیـازی بـه پنـاه گرفتـن فـوری زیـر اجسـام سـنگین نیسـت، امـا رعایـت نـکات ایمـنی همچنـان حیـاتی اسـت.
مطالعـات زلزله‌هـای واقـعی، از جملـه زلزلـه بـم ۲۰۰۳ و پژوهـش Talebi Jouneghani و همـکاران (۲۰۱۷)، نشـان داده‌انـد کـه آمـوزش عمـومی دربـاره تفاوت‌هـای زلزله‌هـای نزدیـک

و دور از گسل و ارائه دستورالعمل‌های عملی متناسب با هر نوع، نقش مهمی در کاهش آسیب‌ها و افزایش تاب‌آوری جامعه دارد. بنابراین، آمادگی فردی و جمعی باید با درک تفاوت‌های لرزه‌ای میان زلزله‌های Near-Field و Far-Field هماهنگ شود تا اقدامات حفاظتی مؤثر و عملی باشند.

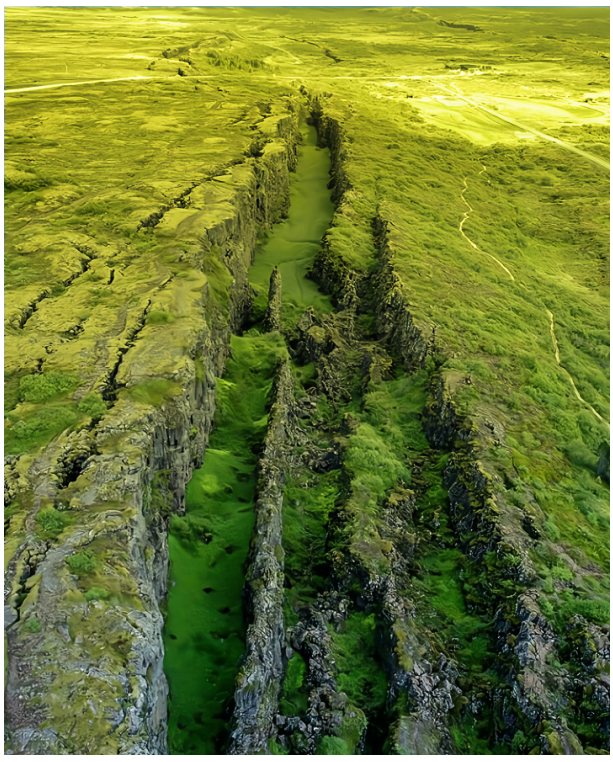
دانستنی جالب: بزرگ‌ترین زلزله نزدیک در ایران بیش از ۷ ریشتر و بزرگ‌ترین زلزله دور بیش از ۸ ریشتر ثبت شده است. با وجود شدت بالاتر زلزله دور، تخریب ناگهانی در زلزله نزدیک بیشتر است، زیرا انرژی سریع و شدید آزاد می‌شود.

کلام آخر

درک تفاوت‌های بنیادی میان زلزله‌های نزدیک‌گسل و دور از گسل تنها یک بحث علمی یا تخصصی در مهندسی عمران نیست؛ بلکه دانشی حیاتی برای ایمنی، تاب‌آوری شهری و طراحی سازه‌های آینده است. زلزله‌های نزدیک با پالس‌های شدید، انرژی فشرده و رفتار غیرقابل‌پیش‌بینی خود می‌توانند حتی مقاوم‌ترین سازه‌ها را در چند ثانیه به چالش بکشند؛ در حالی که زلزله‌های دور با لرزش‌های طولانی و تأثیرات تجمعی، سازه‌ها را در بازه زمانی طولانی‌تری تحت فشار قرار می‌دهند و ممکن است خستگی مصالح و کاهش تدریجی سختی را به‌دنبال داشته باشند.

امروز با پیشرفت دانش مهندسی و تحلیل‌های پیشرفته روشن است که هیچ رویکرد واحد و ساده‌ای برای طراحی در برابر هر دو نوع زلزله کافی نیست. سازه‌ای که تنها با معیارهای دورگسل طراحی شود، ممکن است در برابر پالس‌های شدید نزدیک‌گسل آسیب‌پذیر باشد؛ و سازه‌ای که تنها برای ضربه‌های ناگهانی طراحی شده، شاید در برابر ارتعاشات طولانی زلزله‌های دور عملکرد مناسبی نداشته باشد. همین واقعیت ضرورت بازنگری در آیین‌نامه‌ها، استفاده از شتاب‌نگاشت‌های واقعی، تحلیل تاریخچه زمانی و توجه جدی به اندرکنش خاک–سازه را آشکار می‌کند.

در نهایت، آگاهی جامعه و تقویت فرهنگ آمادگی نیز به اندازه تحلیل‌های مهندسی اهمیت دارد. زلزله پدیده‌ای اجتناب‌ناپذیر است، اما میزان خسارت آن کاملاً قابل کاهش است—به شرط آنکه دانش علمی، طراحی هوشمندانه و آمادگی فردی و جمعی در کنار هم قرار گیرند. آینده‌ای ایمن‌تر تنها با ترکیب این سه محور ساخته می‌شود.



منابع




ETABS®

آموزش نرم افزار



آشنایی با نرم افزار ETABS از ایجاد مدل تا تحلیل اولیه

عسل مرادی
Asal Moradi
دانشجوی کارشناسی عمران دانشگاه تبریز



نرم‌افزار ETABS یکی از مهم‌ترین و کاربردی‌ترین ابزارها برای تحلیل و طراحی ساختمان‌هاست که با محیط گرافیکی روان و ابزارهای متنوع، روند مدل‌سازی را برای کاربر ساده و قابل‌درک می‌کند. هدف این مجموعه آموزش، ارائه‌ی یک آشنایی مقدماتی با محیط نرم‌افزار و ابزارهای اصلی آن است؛ بنابراین در این مرحله نیازی به آموزش پروژه‌محور یا مدل‌سازی یک سازه واقعی وجود ندارد. آنچه در این مقاله دنبال می‌کنیم، این است که خواننده با فضای کلی نرم‌افزار، ساختار مدل‌سازی و نحوه تعریف اجزا آشنا شود.

در این آموزش، ابتدا محیط اصلی نرم‌افزار معرفی می‌شود؛ سپس ابزارهای پایه‌ای ترسیم، تعریف مقاطع و مصالح، نحوه ایجاد Grid و Story و در نهایت کلیات دستورهای Assign بررسی خواهد شد. این مباحث همان پایه‌ای هستند که کاربر را برای مدل‌سازی‌های دقیق‌تر و تحلیل بارگذاری در ادامه آماده می‌کنند. در واقع، هدف این مقاله ایجاد یک تصویر روشن از «مسیر مدل‌سازی» در ETABS است؛ مسیری که از تعریف خطوط شبکه و تراز طبقات شروع می‌شود، به ترسیم اجزای سازه می‌رسد و در نهایت با اختصاص ویژگی‌های سازه‌ای کامل می‌شود.

آشنایی با این روند کلی، باعث می‌شود کاربران هنگام ورود به مرحله بارگذاری و تحلیل سازه، سردرگم نشوند و بدانند هر داده‌ای در کدام بخش نرم‌افزار قرار می‌گیرد و چگونه باید وارد شود. به همین دلیل، این مطلب بر مقدمات و شمای کلی کار تمرکز دارد.



ETABS ار

پس از اجرای نرم‌افزار ETABS ، کاربر وارد صفحه اصلی می‌شود؛ فضایی که تمام مراحل مدل‌سازی، تحلیل و طراحی در آن انجام می‌گیرد. شناخت این محیط مقدمه‌ای ضروری برای تسلط بر روند کار نرم‌افزار است، زیرا تقریباً تمام اقدامات بعدی از ترسیم اعضای سازه تا تعریف مشخصات مصالح و اجرای تحلیل از همین بخش‌ها آغاز می‌شود. در ادامه مهم‌ترین اجزای محیط ETABS معرفی می‌شود.

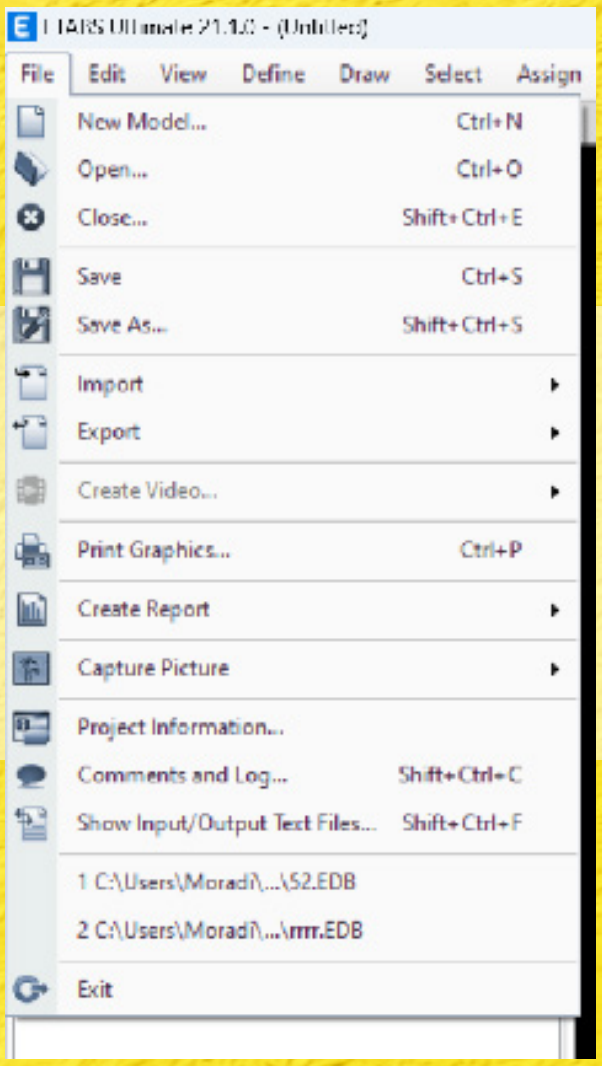
۱. نوار منو (Menu Bar)

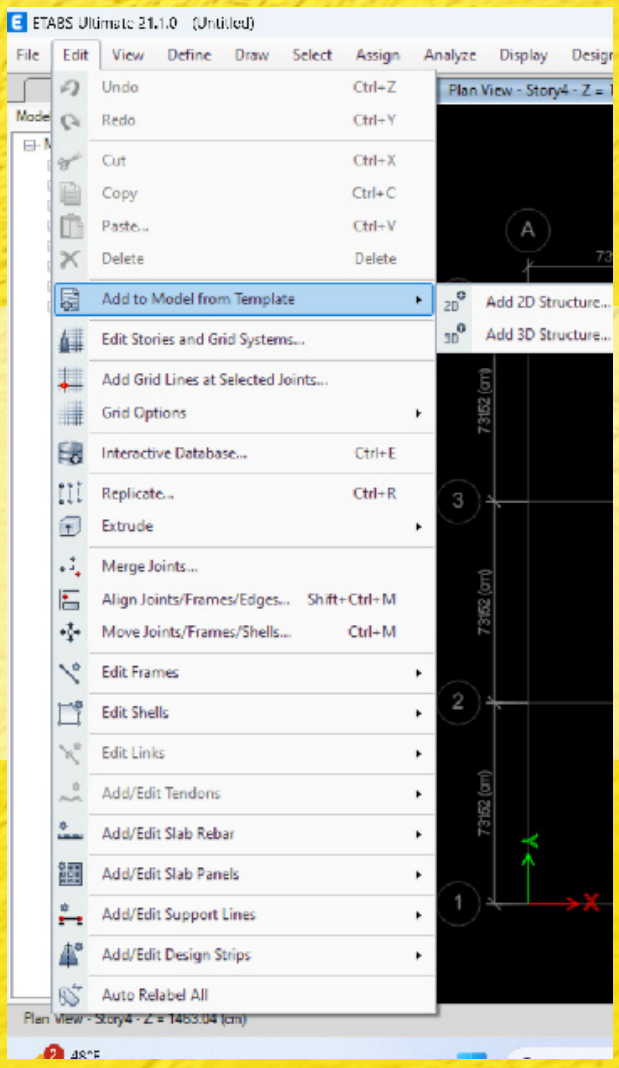
در بالای صفحه قرار دارد و شامل مجموعه‌ای از منوهای اصلی است که بخش عمده تنظیمات و ابزارهای نرم‌افزار از همین قسمت قابل دسترسی است. مهم‌ترین منوهای این بخش عبارت‌اند از

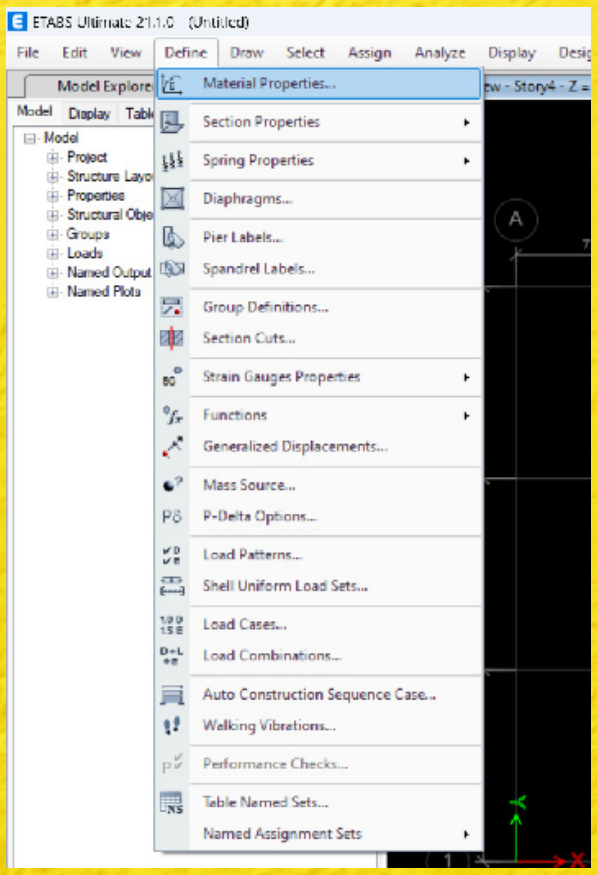
- File: ایجاد مدل جدید، باز کردن و ذخیره پروژه
- Edit: عملیات ویرایشی و اصلاح اجزای مدل
- Define: تعریف مصالح، مقاطع، الگوهای بارگذاری، دیافراگم‌ها و اطلاعات طبقات
- Assign: اعمال ویژگی‌ها، بارها و شرایط مرزی به اعضای مدل
- Analyze: تنظیمات تحلیل و اجرای آنالیز
- Design: ابزارهای طراحی سازه‌های فولادی و بتنی بر اساس آیین‌نامه‌ها

این بخش ستون فقرات نرم‌افزار است و بسیاری از تنظیمات پایه‌ای مدل از همین قسمت انجام می‌شود.









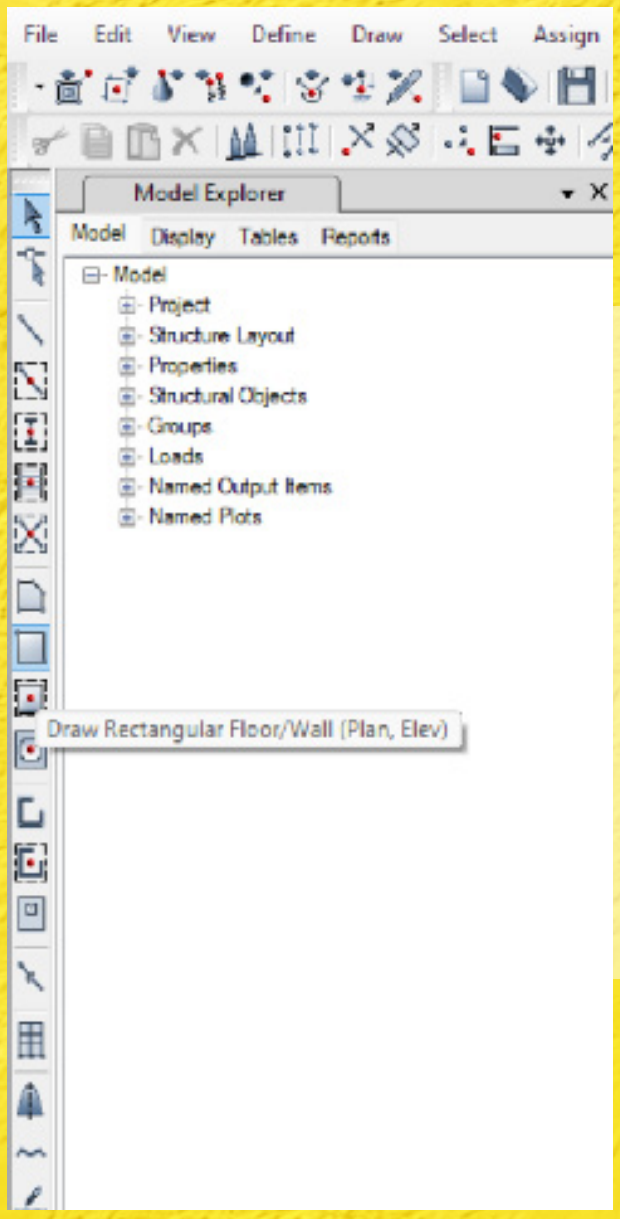
۲. نوار ابزارها (Toolbars)

در زیر نوار منو قرار دارد و شامل مجموعه‌ای از آیکون‌های میان‌بُر است که دسترسی به پرکاربردترین فرمان‌ها را تسهیل می‌کند. برخی ابزارهای مهم آن عبارت‌اند از:

ابزارهای ترسیم تیر، ستون، دیوار و سقف

- ابزارهای انتخاب هوشمند اعضا
- ابزارهای کنترل دید مانند Zoom، Pan و Rotate
- گزینه‌های نمایش یا عدم نمایش Grid
- ابزارهای تغییر نوع نما (Plan، Elevation، 3D)

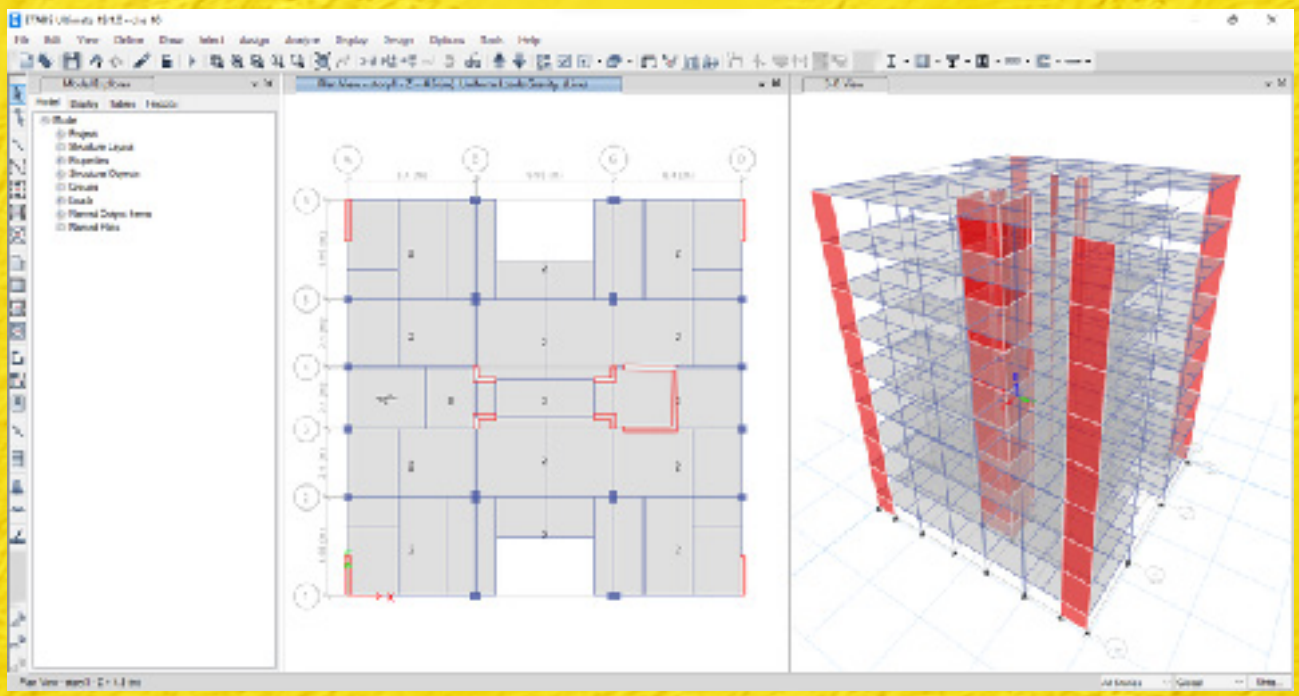
این میان‌برها روند مدل‌سازی را سریع‌تر و روان‌تر می‌کنند.



۳. پنجره‌های نمایش ۳بعدی و ۲بعدی (2D View / 3D)

مرکز صفحه محل نمایش مدل است. بسته به نیاز می‌توان بین دو حالت جابه‌جا شد:

- نمای ۳بعدی: برای مشاهده کلی سازه و کنترل شکل و نحوه اتصال اعضا
- نمای ۲بعدی (Plan/Elevation): مخصوص ترسیم دقیق پلان، نما و کنترل جزئیات در یک سطح مشخص امکان باز کردن چند نما به‌صورت هم‌زمان وجود دارد تا دقت کنترل و مدل‌سازی افزایش یابد



۴. پنجره Properties و Assign

در سمت چپ یا راست صفحه قرار دارد و اطلاعات عضو انتخاب‌شده را نمایش می‌دهد. این بخش معمولاً شامل:

- Properties: نمایش ویژگی‌های عمومی عضو مانند مقطع، مصالح، ضخامت و سختی
- Assign: اعمال ویژگی‌ها، مقاطع، بارگذاری‌ها و شرایط مرزی

این بخش کمک می‌کند بلافاصله پس از انتخاب هر عضو، مشخصات آن قابل مشاهده و ویرایش باشد.

۵. پنجره وضعیت (Status Bar)

در پایین صفحه قرار دارد و اطلاعاتی مانند واحدهای فعال، مختصات اشاره‌گر و وضعیت انتخاب اعضا را نمایش می‌دهد. هنگام تحلیل نیز روند محاسبات در همین قسمت قابل مشاهده است.

ایجاد یک پروژه جدید در ETABS

پس از آشنایی با محیط نرم‌افزار، نخستین گام در مدل‌سازی، ایجاد یک پروژه جدید است. در این مرحله هنوز وارد طراحی یا مدل‌سازی دقیق نمی‌شویم؛ هدف فقط تعیین تنظیمات پایه‌ای است تا نرم‌افزار بداند سازه در چه ابعاد، واحدها و ساختاری تعریف خواهد شد.

۱. ایجاد مدل جدید (New Model)

از مسیر File → New Model یک پروژه جدید ایجاد می‌شود. پس از انتخاب این گزینه، پنجره‌ای ظاهر می‌شود که اطلاعات ابتدایی مدل در آن وارد می‌شود. این مرحله مانند ایجاد یک صفحه سفید است که ساختار سازه قرار است روی آن شکل بگیرد. نرم‌افزار در این بخش اطلاعاتی نظیر:

- واحدهای پروژه
- نحوه تعریف Grid
- ارتفاع طبقات

را دریافت می‌کند.

۲. انتخاب واحدهای پروژه (Units)

اولین و مهم‌ترین تنظیم اولیه، انتخاب واحدهای کار است. ETABS قابلیت استفاده از چند سیستم واحد را دارد؛ اما در آموزش‌ها معمولاً واحدهای kN–m یا SI استفاده می‌شود. انتخاب درست واحدها اهمیت زیادی دارد، زیرا:

- تمام ابعاد هندسی و بارگذاری‌ها بر همین اساس وارد می‌شوند
- تغییر واحد در اواسط کار احتمال ایجاد خطا را بالا می‌برد

بهتر است واحد پروژه از ابتدا انتخاب و تا پایان ثابت بماند.

۳. تعریف شبکه خطوط کمکی (Grid System)

Grid ستون فقرات هندسه سازه است. این شبکه موقعیت دقیق تیرها، ستون‌ها و دیوارها را تعیین می‌کند. در این مرحله می‌توان:

- تعداد خطوط Grid در راستاهای X و Y
- فواصل بین خطوط
- نام‌گذاری محورها

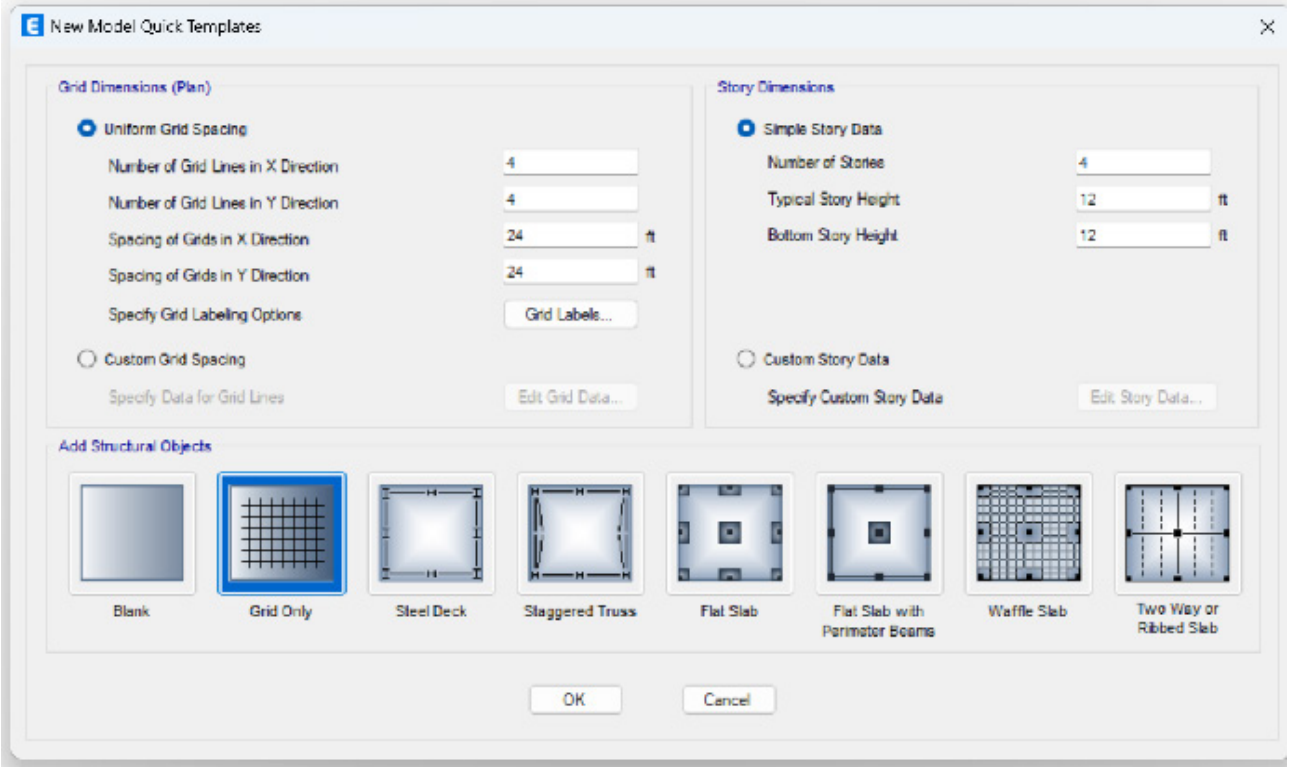
را تنظیم کرد. تمرکز این آموزش بر روند ایجاد Grid است و نیاز نیست ابعاد واقعی پروژه وارد شود.

۴. تعریف تراز طبقات (Story Data)

پس از Grid، نوبت مشخص کردن طبقات است. اطلاعاتی که در این بخش تعیین می‌شود شامل:

- ارتفاع طبقات
- نام طبقات
- تعریف Master Story برای طبقات مشابه

این مرحله ساختار عمودی سازه را مشخص می‌کند و اهمیت زیادی در فرآیند تحلیل دارد.



۵. تکمیل Model Initialization

پس از تأیید اطلاعات Grid و Story نرم‌افزار مدل پایه را ایجاد می‌کند. در این مرحله هنوز هیچ عضوی ترسیم نشده، اما ساختار هندسی کلی یعنی مکان محورها و ارتفاع طبقات تعیین شده است و مدل آماده ترسیم اجزا خواهد بود.

۱. ابزار Draw Line / Draw Beam

این ابزار برای ایجاد المان‌های خطی مانند:

- تیرهای افقی
- اعضای اتصال‌دهنده بین ستون‌ها
- المان‌های ساده خطی

استفاده می‌شود. کافی است مسیر تیر با انتخاب نقاط Grid مشخص شود.

۲. ابزار Draw Column

برای ترسیم ستون‌ها استفاده می‌شود. ستون‌ها از تراز پایین به تراز بالا امتداد پیدا می‌کنند و موقعیت آن‌ها روی نقطه Grid مشخص می‌شود. در این مرحله نیازی به تعریف مقطع نیست؛ هدف آشنایی با روند ایجاد ستون است.

۳. ابزار Draw Wall

برای ترسیم دیوارهای برشی و دیوارهای سازه‌ای کاربرد دارد. با این ابزار می‌توان:

- دیوارها را در پلان رسم کرد.
- طول و امتداد دیوار را مشخص نمود.
- محل هسته سازه یا بادبند جانبی را تعیین کرد.

۴. ابزار Draw Floor / Draw Slab

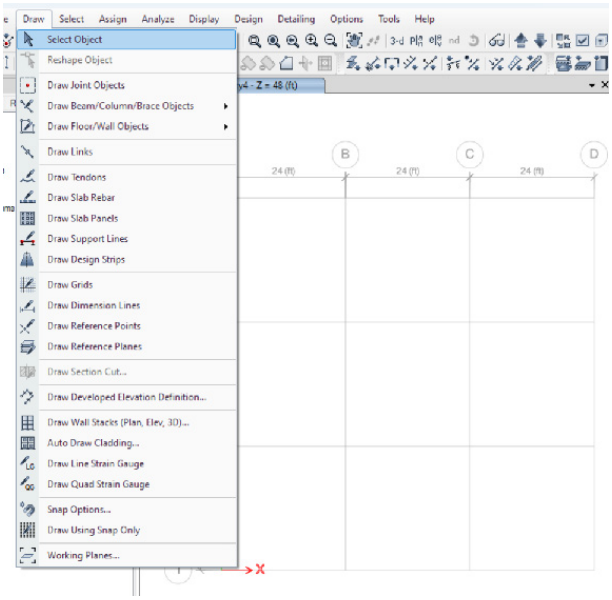
این ابزار برای ترسیم دال و سقف استفاده می‌شود. اهمیت آن در این است که کاربر با مفهوم المان‌های سطحی (Shell) آشنا می‌شود و می‌بیند چگونه سطح پلان با سقف پوشش داده می‌شود.

۵. نقش Grid در ترسیم

تمام ابزارهای ترسیمی مستقیماً با Grid مرتبطاند. این ارتباط سبب:

- دقت بالا
- نظم هندسی
- سهولت ویرایش

در مدل‌سازی می‌شود.



تعریف خواص مصالح و مقاطع (Materials & Sections)

پس از ترسیم اعضا، باید مشخص شود هر عضو از چه مصالحی ساخته شده و چه ویژگی هندسی دارد. این تعیین هویت در بخش Define انجام می‌شود

۱. تعریف مصالح (Materials)

در بخش Define → Materials می‌توان:

- نوع مصالح (بتن، فولاد و...)
- وزن مخصوص
- مدول الاستیسیته
- مقاومت‌ها و...

را مشاهده یا ویرایش کرد. در آموزش مقدماتی، صرفاً آشنایی با محیط این بخش کافی است.

۲. تعریف مقاطع تیر و ستون (Frame Sections)

در بخش Define → Frame Sections، مقاطع اعضای خطی تعریف می‌شود

- مقاطع ستون‌ها
- مقاطع تیرها
- تنظیمات کلی رفتار خمشی

این بخش نشان می‌دهد نرم‌افزار هر عضو را تنها به‌صورت خط نمی‌شناسد، بلکه آن را یک عضو سازه‌ای واقعی در نظر می‌گیرد.

۳. مقاطع دیوار برشی (Wall Sections)

در این بخش می‌توان:

- ضخامت دیوار
- جنس
- نوع رفتار تحلیلی

را تعیین کرد.

۴. تعریف دال‌ها و سقف‌ها (Slab Sections)

در این بخش نوع دال، ضخامت و رفتار آن مشخص می‌شود.

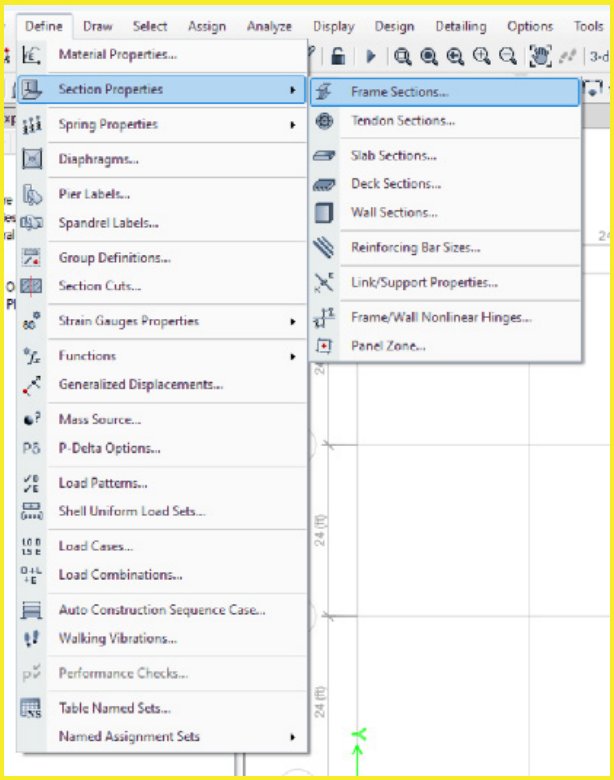
۵. ارتباط بین تعریف مقطع و مدل ترسیمی

پس از تعریف مصالح و مقاطع:

- هر تیر یک Frame Section
- هر ستون مقطع مربوط به خود
- هر دیوار و دال نیز Section خود را

دریافت می‌کند

و مدل از خطوط و سطوح ساده به یک ساختار واقعی تبدیل می‌شود.



Assign کردن مقاطع و خواص به اعضا

و تفاوت مهم Draw و Assign

پس از ترسیم و تعریف مشخصات، باید این ویژگی‌ها به اعضا اختصاص داده شود. این کار با دستورات Assign انجام می‌شود

۱. تفاوت Draw و Assign

یکی از اصول مهم ETABS:

- Draw → ایجاد شکل هندسی عضو
- Assign → تعیین هویت سازه‌ای عضو

Draw فقط می‌گوید «عضو کجاست».

Assign می‌گوید «عضو چه ویژگی‌ای دارد»

۲. Assign کردن مقاطع تیر و ستون

از مسیر:

Assign → Frame → Frame Section

با انتخاب اعضا و اعمال مقطع مناسب، هویت سازه‌ای آن‌ها کامل می‌شود.

۳. Assign کردن خواص دیوار

از مسیر:

Assign → Shell → Wall/Slab Section

در این بخش ضخامت و جنس دیوار اعمال می‌شود.

۴. Assign کردن خواص دال‌ها

از مسیر:

Assign → Shell → Slab Section

نوع دال به محدوده انتخابی نسبت داده می‌شود.

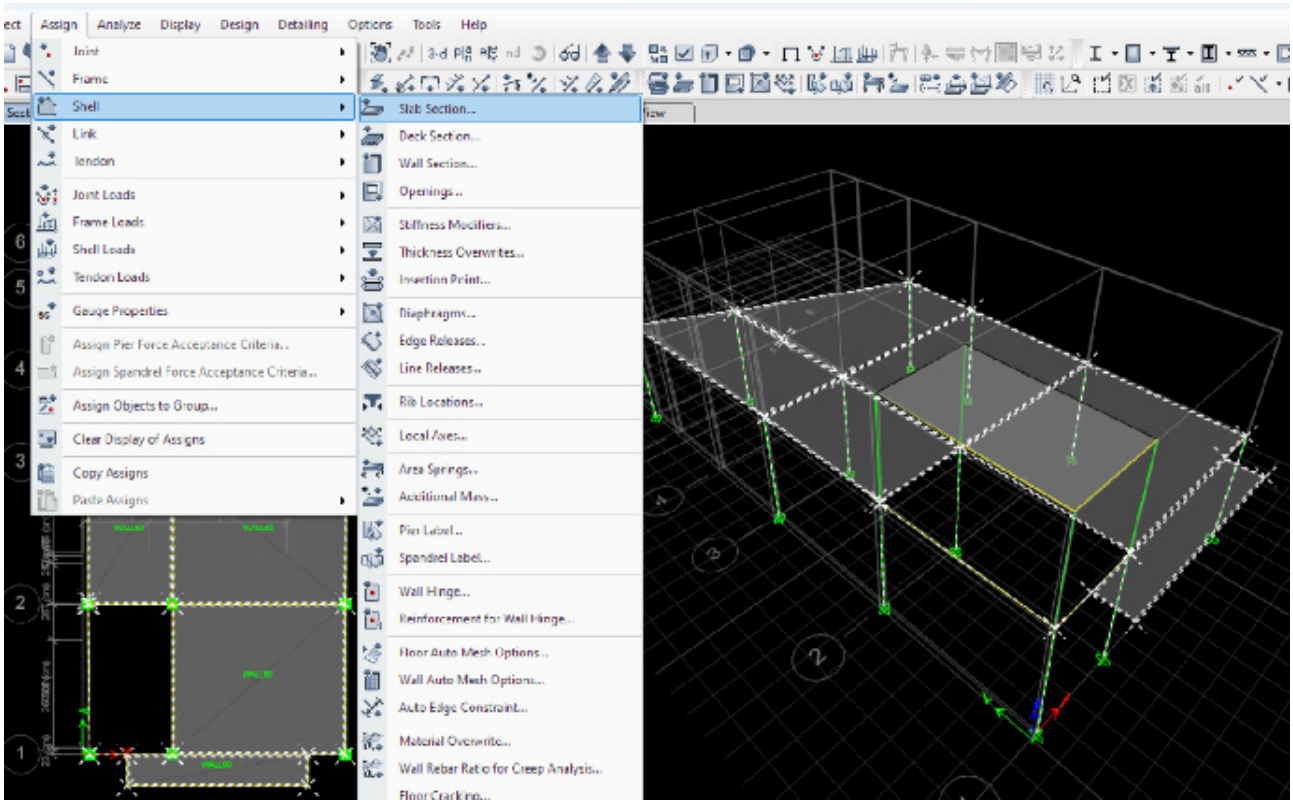
۵. اهمیت انتخاب عضو قبل از Assign

در ETABS همیشه باید ابتدا عضو انتخاب شود و سپس دستور Assign اجرا گردد. این روش از اشتباهات احتمالی جلوگیری می‌کند و مدل‌سازی را دقیق‌تر می‌سازد.

۶. نتیجه Assign

پس از آن:

- مقاطع با رنگ و شکل مخصوص نمایش داده می‌شوند.
- اعضا از حالت ترسیمی ساده به عضو واقعی تبدیل می‌شوند.
- مدل آماده تحلیل اولیه می‌گردد.



اجرای آنالیز اولیه (Run Analysis)

پس از ترسیم اجزا، تعریف مشخصات و اختصاص‌دادن آنها به اعضا، مدل برای انجام نخستین تحلیل آماده است. هدف از این مرحله، آشنایی کاربر با روند پردازش نرم‌افزار و مشاهده نحوه تحلیل اولیه است؛ بنابراین هنوز به دنبال استخراج نتایج طراحی نیستیم. این اجرای مقدماتی کمک می‌کند کاربر درک کند ETABS چگونه مدل را می‌خواند، خطاها را بررسی می‌کند و ساختار تحلیلی را تشکیل می‌دهد

۱. شروع آنالیز از منوی Run Analysis

با انتخاب دستور Run Analysis، نرم‌افزار فرآیند تحلیل را آغاز می‌کند. در این مرحله ETABS تمامی داده‌هایی را که تاکنون وارد شده‌اند—از جمله هندسه، نوع اعضا، مقاطع، مصالح، ضخامت‌ها و اتصالات—جمع‌آوری کرده و وارد چرخه محاسباتی می‌کند.

در این مرحله، هدف صرفاً آشنایی با مسیر تحلیل است و نیازی به دقت در جزئیات عددی وجود ندارد.

۲. نوار وضعیت (Status Bar) و پیام‌های فرآیند

در هنگام اجرای تحلیل، نوار وضعیت در پایین صفحه فعال می‌شود و نرم‌افزار مراحل مختلف پردازش را مرحله‌به‌مرحله نمایش می‌دهد. این پیام‌ها معمولاً شامل موارد زیر هستند

- تشکیل مدل تحلیلی بر اساس مدل ترسیمی
- کنترل اتصال تیر–ستون‌ها
- بررسی هماهنگی Storyها و محل قرارگیری دیوارها
- پردازش بارهای موجود در مدل
- اجرای حل عددی تحلیل

در این مرحله، تنها آشنایی با مفهوم پیام‌ها کافی است و نیازی به تفسیر دقیق آنها وجود ندارد. همین که کاربر بداند تحلیل از چند مرحله تشکیل شده و نرم‌افزار آنها را گزارش می‌کند، برای فهم روند کار کافی است.

۳. پنجره خروجی و گزارش‌های لحظه‌ای

هنگام تحلیل، ETABS یک پنجره متنی باز می‌کند که در آن گزارش‌های لحظه‌ای ثبت می‌شود. این گزارش‌ها شامل

- جزئیات تشکیل مدل
- تعداد اعضای تحلیل‌شده
- هشدارها و خطاهای تشخیص‌داده‌شده
- وضعیت موفقیت یا توقف تحلیل

در تحلیل‌های مقدماتی، رایج‌ترین خطاها معمولاً موارد زیر هستند:

- المان بدون مقطع
- عضو بدون اتصال مناسب
- طبقه فاقد عضو باربر

به دلیل ساده‌بودن مدل اولیه، این خطاها به‌راحتی قابل شناسایی و اصلاح هستند.

۴. مشاهده مدل پس از تحلیل

پس از پایان محاسبات، مدل در حالت «تحلیلی» نمایش داده می‌شود. در این حالت:

- رنگ اعضا بر اساس وضعیت تحلیل تغییر می‌کند.
- مدل سه‌بعدی به‌روزرسانی می‌شود.
- گزینه‌های نمایش تغییرشکل‌ها و نیروها فعال می‌گردد.

در این مرحله فقط مشاهده ظاهری خروجی‌ها کافی است و نیازی به تفسیر علمی نتایج وجود ندارد.

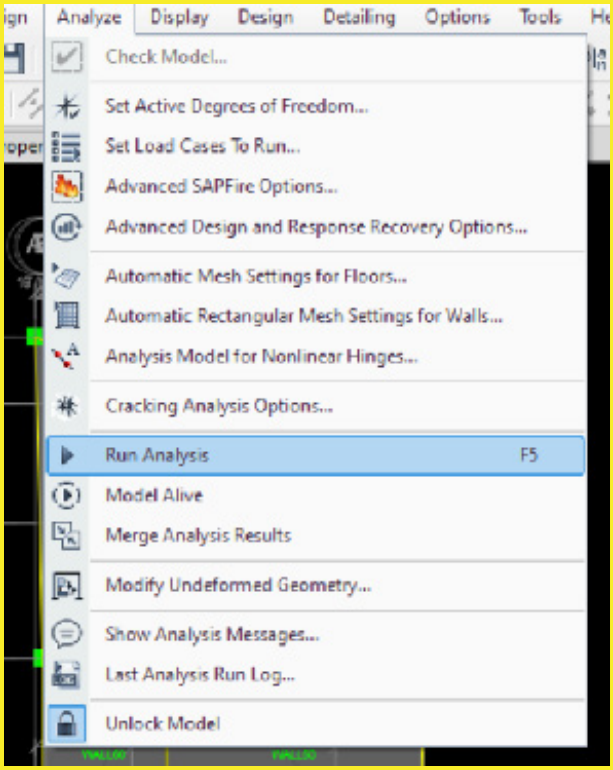
۵. اهمیت تحلیل اولیه

اجرای این آنالیز مقدماتی چند نقش مهم دارد:

- آشنایی کاربر با روند داخلی تحلیل ETABS
- شناخت ساختار گزارش‌ها، خطاها و هشدارها
- اطمینان از صحت اولیه مدل

- آمادگی ذهنی برای ورود به مرحله بارگذاری و تحلیل واقعی

زمانی که کاربر با فضای تحلیل و پیام‌های نرم‌افزار آشنا شود، در مرحله بعد—یعنی بارگذاری سازه—به‌راحتی می‌تواند مسیر اعمال بارها و منطق تحلیل آن‌ها را دنبال کند.



جمع‌بندی کلی

در این آموزش تلاش شد تصویری روشن و ساده از روند مدل‌سازی در ETABS ارائه شود؛ بدون ورود به جزئیات طراحی یا مثال‌های پیچیده. هدف این بود که کاربر با محیط نرم‌افزار، ترتیب مراحل کار و نقش هر بخش آشنا شود تا در ادامه، هنگام بارگذاری و تحلیل آیین‌نامه‌ای، مسیر برای او قابل‌درک‌تر باشد.

ابتدا محیط اصلی نرم‌افزار معرفی شد؛ بخش‌هایی مانند نوار منو، ابزارهای ترسیم، پنجره‌های نمایش و بخش Properties که ستون اصلی تمام فعالیت‌های مدل‌سازی هستند. سپس روند ایجاد یک پروژه جدید بررسی شد؛ جایی که انتخاب واحدها، تعریف Grid و تعیین تراز طبقات ساختار اولیه مدل را شکل می‌دهد.

بعد از ساخت این چارچوب، ابزارهای ترسیمی مثل Draw Beam، Draw Column، Draw Wall و Draw Slab معرفی شدند تا کاربر بداند چگونه اعضای مختلف سازه بر اساس خطوط Grid در مدل قرار می‌گیرند. سپس وارد مرحله‌ای شدیم که نرم‌افزار باید بداند هر عضو چه ویژگی‌ای دارد؛ بنابراین تعریف مصالح و مقاطع و همچنین تفاوت اصلی بین Draw و Assign توضیح داده شد.

در پایان، یک تحلیل اولیه اجرا شد تا کاربر با روند پردازش نرم‌افزار، پیام‌ها، خطاها و شکل نمایش مدل تحلیلی آشنا شود. هدف از این تحلیل مقدماتی، درک چرخه کلی تحلیل در ETABS بود، نه بررسی نتایج طراحی.

در مجموع، این آموزش مقدماتی به‌عنوان یک نقشه راه عمل می‌کند؛ از معرفی محیط نرم‌افزار تا اولین تحلیل، تمام مراحل اصلی مدل‌سازی به شکل ساده و پایه‌ای توضیح داده شد تا زمینه ورود به مباحث بارگذاری و تحلیل آیین‌نامه‌ای در بخش بعدی فراهم شود.

منابع

راه‌های ارتباطی

انجمن علمی – دانشجویی علوم و مهندسی زلزله از تمامی علاقه مندان به فعالیت در انجمن و نشریه ریشتر دعوت به همکاری می‌نماید. در صورت تمایل می توانید از طریق راه‌های ارتباطی، با ما در ارتباط باشید.

چنل تلگرام: @eqa_tu

چنل آپارات: @eqa_tu

صفحه اینستاگرام: @eqa_tu

ایمیل انجمن:

earthquaketu۲۰۲۳@gmail.com

آدرس دفتر انجمن: دانشگاه تبریز-ساختمان پردیس (ساختمان ۷)-طبقه اول

