

راهنمای جامع تغییرات ویرایش پنجم استاندارد ۲۸۰۰ ایران

تهیه کننده : مجید کولیوند – دکترای مهندسی عمران، سازه

کانال تلگرام : <https://t.me/DrMKoolivandChannel>

اینستاگرام : @dr.majidkoolivand



تیرماه ۱۴۰۵

فصل اول

آشنایی با فلسفه و ساختار ویرایش پنجم استاندارد ۲۸۰۰

مقدمه

استاندارد ۲۸۰۰ ایران، مهم‌ترین سند فنی کشور در زمینه طراحی لرزه‌ای ساختمان‌هاست. این استاندارد حداقل الزامات لازم برای طراحی و اجرای ساختمان‌ها در برابر زلزله را تعیین می‌کند تا احتمال فروپاشی ساختمان‌ها کاهش یافته، ایمنی جانی ساکنان تأمین شود و خسارات اقتصادی ناشی از زمین‌لرزه به حداقل برسد.

ویرایش پنجم این استاندارد تنها یک بازنگری جزئی نیست؛ بلکه می‌توان آن را یک بازطراحی مفهومی دانست که در آن ساختار آیین‌نامه، روش تعیین خطر لرزه‌ای، الزامات تحلیل، طراحی اجزای غیرسازه‌ای، الزامات ژئوتکنیکی و حتی نحوه نگاه به عملکرد ساختمان‌ها در زلزله دستخوش تغییرات اساسی شده است.

چرا ویرایش پنجم تدوین شد؟

تدوین‌کنندگان استاندارد، چند هدف اصلی را دنبال کرده‌اند:

۱. همگام‌سازی با آیین‌نامه‌های روز دنیا

در سال‌های اخیر آیین‌نامه‌های معتبر مانند:

- ASCE 7
- ASCE 41
- Eurocode 8

دچار تغییرات مهمی شده‌اند.

ویرایش پنجم نیز تلاش کرده است ضمن حفظ شرایط خاص ایران، با این استانداردها همسو شود.

۲. استفاده از داده‌های لرزه‌خیزی جدید ایران

در ویرایش چهارم هنوز از نقشه‌های خطر لرزه‌ای قدیمی استفاده می‌شد.

اما اکنون:

- مطالعات لرزه‌شناسی جدید

- داده‌های گسل‌های فعال
- رکوردهای جدید زلزله
- تحقیقات مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

در تدوین آیین‌نامه لحاظ شده‌اند.

۳. افزایش تاب‌آوری ساختمان‌ها

در ویرایش چهارم بیشتر تمرکز روی جلوگیری از فروریزش بود.

در ویرایش پنجم علاوه بر جلوگیری از فروریزش، موضوع تاب‌آوری (Resilience) نیز به‌عنوان یک مبحث مستقل وارد شده است. حتی در فصل سوم، بخشی با عنوان «افزایش تاب‌آوری» گنجانده شده است.

تحلیل: این تغییر نشان می‌دهد نگاه آیین‌نامه از «زنده ماندن ساختمان» به سمت «قابلیت بازگشت ساختمان به بهره‌برداری پس از زلزله» در حال حرکت است.

مهم‌ترین تفاوت ویرایش پنجم با ویرایش چهارم

اگر بخواهیم فقط در یک جمله تفاوت این دو ویرایش را بیان کنیم:

ویرایش چهارم عمدتاً بر طراحی اعضای سازه‌ای متمرکز بود، اما ویرایش پنجم کل سامانه ساختمان، شامل سازه، اجزای غیرسازه‌ای، تأسیسات، خاک، پی و حتی تجهیزات را به‌عنوان یک سیستم یکپارچه در برابر زلزله در نظر می‌گیرد.

ساختار کلی استاندارد

ویرایش پنجم از هفت فصل اصلی و هشت پیوست تشکیل شده است.

فصل	موضوع
اول	کلیات
دوم	حرکت زمین
سوم	ضوابط طراحی لرزه ای ساختمان‌ها
چهارم	اجزای غیر سازه ای
پنجم	سازه های غیر ساختمانی
ششم	الزامات ژئوتکنیکی
هفتم	سامانه های جداساز لرزه ای و میراگر

یکی از بزرگ‌ترین تغییرات ساختاری

در ویرایش چهارم، بسیاری از مباحث ژئوتکنیکی و اجزای غیرسازه‌ای به صورت محدود مطرح شده بودند.

اما در ویرایش پنجم، این موضوعات به فصل‌های مستقل تبدیل شده‌اند:

- فصل کامل برای اجزای غیرسازه‌ای
- فصل کامل برای سازه‌های غیرساختمانی
- فصل کامل برای ژئوتکنیک
- فصل کامل برای جداسازهای لرزه‌ای و میراگرها

این تغییر نشان‌دهنده افزایش دامنه استاندارد از «طراحی سازه» به «طراحی لرزه‌ای کل سامانه ساختمانی» است.

پیوست‌های جدید و توسعه یافته

ویرایش پنجم هشت پیوست تخصصی دارد که نقش مهمی در کاربرد آیین‌نامه ایفا می‌کنند. مهم‌ترین آن‌ها عبارت‌اند از:

- نقشه‌های جدید شتاب طیفی
- روش‌های تحلیل غیرخطی و ارزیابی عملکرد
- طراحی و تحلیل دیافراگم‌ها
- اندرکنش خاک و سازه
- اثر میانقاب در تحلیل
- طراحی لرزه‌ای اجزای معماری
- آثار P-Δ
- زمان تناوب سازه‌های غیرساختمانی

تحلیل: در ویرایش چهارم، برخی از این مباحث یا وجود نداشتند یا به صورت محدود ارائه شده بودند. اکنون بسیاری از آن‌ها به راهنماهای تخصصی تبدیل شده‌اند.

تغییر نگرش از «عضو» به «سامانه»

یکی از مهم‌ترین تغییرات مفهومی ویرایش پنجم این است که ساختمان دیگر صرفاً مجموعه‌ای از تیر، ستون و دیوار برشی نیست.

در این ویرایش، عملکرد لرزه‌ای ساختمان حاصل تعامل اجزای زیر در نظر گرفته می‌شود:

- سازه اصلی
- پی و خاک
- دیافراگم‌ها

- اجزای معماری
- تأسیسات مکانیکی
- تأسیسات برقی
- تجهیزات
- سامانه‌های کنترل ارتعاش

این نگاه سیستمی باعث می‌شود طراحی لرزه‌ای تنها به محاسبه مقاومت اعضا محدود نشود و عملکرد کل ساختمان در زلزله مورد توجه قرار گیرد.

تغییرات کلیدی که در ادامه کتاب بررسی خواهیم کرد

در فصل‌های بعدی، هر یک از موارد زیر به صورت بند به بند بررسی و با ویرایش چهارم مقایسه خواهند شد :

- فلسفه جدید تعیین خطر لرزه‌ای و استفاده از پارامترهای S1 و SS
- معرفی گروه‌های طراحی لرزه‌ای (Seismic Design Categories)
- تغییرات روش تحلیل استاتیکی و دینامیکی
- ضوابط جدید تحلیل تاریخچه زمانی
- توسعه تحلیل‌های غیرخطی
- بازنگری نامنظمی‌های پلان و ارتفاع
- ضوابط جدید دیافراگم‌ها
- طراحی اجزای غیرسازه‌ای
- الزامات لرزه‌ای تجهیزات مکانیکی و برقی
- سازه‌های غیرساختمانی
- الزامات ژئوتکنیکی
- جداسازهای لرزه‌ای و میراگرها
- پیوست‌های جدید و توسعه یافته

جمع‌بندی فصل اول

ویرایش پنجم استاندارد ۲۸۰۰ را نباید صرفاً نسخه‌ای اصلاح‌شده از ویرایش چهارم دانست. این ویرایش با تکیه بر دانش روز مهندسی زلزله، مطالعات جدید خطر لرزه‌ای ایران و تجربه زلزله‌های سال‌های اخیر، چارچوب طراحی لرزه‌ای را از یک آیین‌نامه متمرکز بر سازه به یک سند جامع برای طراحی لرزه‌ای کل سامانه ساختمان ارتقا داده است.

فصل دوم

بررسی فصل اول آیین نامه (کلیات)

مقایسه و تحلیل تغییرات نسبت به ویرایش چهارم

مقدمه

فصل اول استاندارد ۲۸۰۰، پایه و فلسفه کل آیین نامه را مشخص می کند. هرچند بسیاری از مهندسان هنگام مطالعه، تمرکز خود را بر فصل های مربوط به تحلیل و طراحی می گذارند، اما واقعیت این است که بسیاری از تصمیم های طراحی، مانند انتخاب سطح خطر، گروه اهمیت ساختمان، روش تحلیل و الزامات طراحی، ریشه در همین فصل دارد.

در ویرایش پنجم، فصل اول نه تنها بازنویسی شده، بلکه چند مفهوم کلیدی نیز به آن افزوده شده است که مسیر طراحی لرزه ای را نسبت به ویرایش چهارم تغییر می دهد. فصل اول شامل هفت بخش اصلی است: هدف، زلزله های مبنای طراحی، حدود کاربرد، گروه بندی ساختمان ها، گروه های طراحی لرزه ای، ملاحظات معماری و سایر موارد.

۱-۱ هدف (Objective)

ویرایش چهارم

هدف اصلی آیین نامه، جلوگیری از فروریزش ساختمان در زلزله های شدید و کاهش خسارات جانی بود.

تمرکز اصلی بر این بود که :

- ساختمان فرو نریزد.
- ساکنان فرصت خروج داشته باشند.
- خسارات اقتصادی تا حدی کاهش یابد.

ویرایش پنجم

در ویرایش پنجم، همان اهداف حفظ شده اند، اما نگاه آیین نامه گسترده تر شده است.

اکنون هدف تنها «مقاومت ساختمان» نیست، بلکه عملکرد مناسب کل سامانه ساختمان در برابر سطوح مختلف خطر لرزه ای نیز مدنظر قرار گرفته است. این تغییر با سایر بخش های استاندارد، از جمله معرفی زلزله های مبنای طراحی و الزامات اجزای غیرسازه ای، هم راستا است.

تحلیل

این تغییر نشان می‌دهد که طراح باید از نگاه صرفاً مقاومتی فاصله بگیرد و به عملکرد ساختمان پس از زلزله نیز توجه کند.

۱-۲ زلزله‌های مبنای طراحی (Design Earthquakes)

مهم‌ترین تغییر فصل اول

این بخش، شاید بنیادی‌ترین تغییر ویرایش پنجم باشد.

در ویرایش چهارم، طراحی بر پایه شتاب مبنای طرح (A) و طیف استاندارد انجام می‌شد.

در ویرایش پنجم، فلسفه تعیین خطر لرزه‌ای تغییر کرده و بر پایه دو پارامتر شتاب طیفی بنا شده است:

- SS : شتاب طیفی متناظر با دوره تناوب کوتاه (۰/۲ ثانیه)
- S1 : شتاب طیفی متناظر با دوره تناوب ۱ ثانیه

این پارامترها مبنای محاسبه طیف طرح، گروه طراحی لرزه‌ای و بسیاری از روابط بعدی هستند.

چرا این تغییر مهم است؟

در ویرایش چهارم، یک ضریب شتاب مبنا برای تمام ساختمان‌ها استفاده می‌شد.

اما در واقعیت، پاسخ لرزه‌ای ساختمان‌های کوتاه‌مرتبه و بلندمرتبه یکسان نیست.

سیستم جدید:

- خطر لرزه‌ای را دقیق‌تر مدل می‌کند.
- وابستگی پاسخ به دوره تناوب را لحاظ می‌کند.
- امکان طراحی اقتصادی‌تر و در عین حال دقیق‌تر را فراهم می‌کند.

مقایسه

ویرایش پنجم	ویرایش چهارم
پارامترهای SS و S1	شتاب مبنای طرح A
طیف مبتنی بر خطر ساختگاه	طیف استاندارد ثابت
دقت بیشتر برای سازه‌های کوتاه و بلند	دقت کمتر در دوره‌های مختلف

۱-۳ حدود کاربرد

در این بخش، محدوده شمول آیین‌نامه مشخص شده است.

در ویرایش پنجم، علاوه بر ساختمان‌های معمول، وضعیت برخی سازه‌ها و ساختمان‌های خارج از دامنه کاربرد نیز شفاف‌تر بیان شده است و ساختمان‌های بنایی کلاف‌دار و موارد خارج از شمول به‌صورت جداگانه معرفی شده‌اند.

تحلیل

این بازنویسی باعث می‌شود مهندس طراح از ابتدا بداند آیا پروژه او مشمول استاندارد ۲۸۰۰ است یا باید از ضوابط تخصصی دیگری استفاده کند.

۱-۴ گروه‌بندی ساختمان‌ها بر حسب اهمیت

اصل تقسیم‌بندی ساختمان‌ها به گروه‌های اهمیت در ویرایش پنجم حفظ شده است، اما ارتباط این گروه‌ها با **گروه طراحی لرزه‌ای** و سطح خطر، ساختارمندتر شده است. همچنین ضریب اهمیت هر گروه به‌صورت مشخص در همین فصل ارائه شده است.

تحلیل

در ویرایش چهارم، گروه اهمیت بیشتر یک ضریب در محاسبات بود.

در ویرایش پنجم، گروه اهمیت در انتخاب الزامات تحلیل، طراحی و کنترل نیز نقش پررنگ‌تری دارد.

۱-۵ گروه‌های طراحی لرزه‌ای (Seismic Design Group)

یکی از مهم‌ترین نوآوری‌های ویرایش پنجم

برای نخستین بار، مفهوم **گروه طراحی لرزه‌ای** به‌صورت مستقل وارد استاندارد شده است. این بخش پس از تعیین نوع زمین و پارامترهای خطر لرزه‌ای، نقش تعیین‌کننده‌ای در انتخاب الزامات طراحی دارد.

چرا این موضوع اهمیت دارد؟

در آیین‌نامه‌های مدرن مانند ASCE 7، شدت الزامات طراحی فقط به شتاب زلزله وابسته نیست؛ بلکه به ترکیب عوامل زیر بستگی دارد:

- خطر لرزه‌ای ساختگاه

- اهمیت ساختمان
- ویژگی‌های زمین

ویرایش پنجم نیز همین رویکرد را دنبال کرده است.

نتیجه

ممکن است دو ساختمان با سیستم سازه‌ای مشابه، به دلیل تفاوت در اهمیت یا شرایط ساختگاه، در گروه‌های طراحی متفاوت قرار گیرند و الزامات طراحی یکسانی نداشته باشند.

۱-۶ ملاحظات معماری

در ویرایش پنجم، ملاحظات معماری از حالت توصیه‌ای فاصله گرفته و به بخشی از فرآیند طراحی لرزه‌ای تبدیل شده است. بر اهمیت نظم پلان، نظم ارتفاعی و هماهنگی معماری با سیستم باربر جانبی تأکید بیشتری شده است.

تحلیل

این تغییر نشان می‌دهد که عملکرد لرزه‌ای مناسب، از مرحله طراحی معماری آغاز می‌شود و صرفاً با تقویت اعضای سازه‌ای قابل جبران نیست.

۱-۷ سایر موارد

این بخش شامل الزامات تکمیلی و ارجاعات لازم برای استفاده از سایر فصل‌های آیین‌نامه است و ارتباط منطقی بین فصل اول و فصل‌های بعدی را برقرار می‌کند.

جمع‌بندی فصل دوم

فصل اول ویرایش پنجم، نسبت به ویرایش چهارم، صرفاً یک بازنویسی ادبی نیست؛ بلکه مبانی طراحی لرزه‌ای را بازتعریف می‌کند. مهم‌ترین تغییرات این فصل عبارت‌اند از:

موضوع	ویرایش چهارم	ویرایش پنجم	اهمیت
فلسفه طراحی	تمرکز بر جلوگیری از فروریزش	توجه بیشتر به عملکرد و تاب‌آوری	★★★★☆
تعیین خطر لرزه‌ای	شتاب مبنای طرح A	پارامترهای SS و S1	★★★★★
گروه طراحی لرزه‌ای	وجود نداشت	معرفی شده است	★★★★★
حدود کاربرد	کلی‌تر	شفاف‌تر و تفصیلی‌تر	☆☆★★★
گروه‌بندی ساختمان‌ها	نقش محدودتر	ارتباط مستقیم با الزامات طراحی	★★★★☆
ملاحظات معماری	بیشتر توصیه‌ای	بخشی از فرآیند طراحی لرزه‌ای	☆☆★★★

یادداشت مؤلف

در ادامه، وارد فصل سوم این راهنما (بررسی فصل دوم آیین‌نامه: حرکت زمین) خواهیم شد؛ بخشی که از نظر فنی یکی از بزرگ‌ترین تغییرات ویرایش پنجم را در خود جای داده است. در آن فصل، به‌صورت عمیق مفاهیمی مانند SS ، $S1$ ، SMS ، $SM1$ ، SDS ، $SD1$ ، طیف طرح جدید، طبقه‌بندی نوع زمین، طیف ویژه ساختگاه، حوزه نزدیک گسل و انتخاب و مقیاس کردن شتاب‌نگاشت‌ها را بررسی و با ویرایش چهارم مقایسه خواهیم کرد. این بخش، مبنای تمام محاسبات لرزه‌ای در نسخه جدید استاندارد است.

فصل سوم

فصل دوم آیین نامه (حرکت زمین)

بزرگ ترین تحول ویرایش پنجم؛ تغییر روش تعیین خطر لرزه‌ای

مقدمه

اگر بخواهیم تنها یک بخش را به عنوان مهم ترین تغییر ویرایش پنجم معرفی کنیم، بدون تردید آن بخش فصل دوم (حرکت زمین) است.

در ویرایش چهارم، خطر لرزه‌ای عمدتاً بر اساس شتاب مبنای طرح (A)، نوع زمین و طیف طرح استاندارد تعیین می شد. این روش اگرچه سال ها مبنای طراحی ساختمان ها در ایران بود، اما از دیدگاه مهندسی زلزله محدودیت هایی داشت؛ زیرا رفتار ساختمان های کوتاه مرتبه و بلندمرتبه را با یک پارامتر واحد توصیف می کرد.

در ویرایش پنجم، این رویکرد به طور کامل تغییر کرده و مبنای طراحی بر اساس شتاب های طیفی وابسته به دوره تناوب قرار گرفته است. فصل دوم استاندارد شامل تعیین پارامترهای S1 و SS، محاسبه طیف طرح، طبقه بندی نوع زمین، طیف ویژه ساختگاه، حوزه نزدیک گسل، انتخاب و مقیاس کردن شتاب نگاشت ها و الزامات تحلیل تاریخچه زمانی است.

چرا لازم بود روش قدیمی تغییر کند؟

در ویرایش چهارم :

فرض می شد که یک عدد به نام A می تواند شدت زلزله را برای همه ساختمان ها بیان کند.

اما تحقیقات چند دهه اخیر نشان داد :

- ساختمان ۳ طبقه
- ساختمان ۱۰ طبقه
- ساختمان ۳۰ طبقه

در یک زلزله دقیقاً رفتار یکسانی ندارند.

علت؟

چون هر ساختمان دوره تناوب طبیعی مخصوص خودش را دارد.

زلزله نیز در دوره‌های مختلف انرژی متفاوتی تولید می‌کند.

در نتیجه استفاده از یک شتاب ثابت، دقت کافی نداشت.

فلسفه جدید طراحی

ویرایش پنجم دقیقاً همان روشی را انتخاب کرده که امروز در آیین‌نامه‌های معتبر دنیا استفاده می‌شود.

به جای یک عدد، از دو نقطه روی طیف پاسخ استفاده می‌شود.

یعنی :

- رفتار سازه‌های کوتاه‌مرتبه
- رفتار سازه‌های بلندمرتبه

به طور جداگانه بررسی می‌شود.

این تغییر باعث افزایش دقت طراحی شده است.

۲-۲ پارامترهای SS و S1

مهم‌ترین مفاهیم جدید آیین‌نامه

در ویرایش پنجم دو پارامتر جدید معرفی شده‌اند :

SS

شتاب طیفی زلزله بیشینه مورد نظر در دوره تناوب 0.2 ثانیه

تقریباً معرف ساختمان‌های کوتاه‌مرتبه.

S1

شتاب طیفی زلزله بیشینه مورد نظر در دوره تناوب ۱ ثانیه

تقریباً معرف ساختمان‌های میان‌مرتبه و بلندمرتبه.

این دو پارامتر، پایه محاسبات فصل‌های بعدی هستند.

تحلیل

در ویرایش چهارم :

شدت زلزله

↓

A

در ویرایش پنجم :

شدت زلزله

↓

SS

+

S1

در نتیجه آیین نامه بهتر می تواند رفتار ساختمان ها با ارتفاع های مختلف را مدل کند.

تفاوت اساسی با ویرایش چهارم

ویرایش پنجم	ویرایش چهارم
SS و S1	شتاب مبنای طرح A
دو پارامتر طیفی	یک پارامتر
دقت بیشتر	دقت کمتر
وابسته به دوره تناوب	مستقل از دوره تناوب

۲-۳ پارامترهای SMS و SM1

بعد از تعیین

SS

و

S1

هنوز طراحی انجام نمی شود.

ابتدا باید اثر خاک وارد محاسبات شود.

به همین دلیل دو پارامتر جدید تعریف شده‌اند :

SMS

شتاب طیفی زلزله بیشینه مورد نظر در سطح زمین برای دوره کوتاه.

SM1

شتاب طیفی زلزله بیشینه مورد نظر در سطح زمین برای دوره یک ثانیه.

چرا؟

زلزله روی سنگ سخت و خاک نرم یکسان نیست.

مثلاً :

اگر دو ساختمان کنار هم باشند،

یکی روی سنگ

و دیگری روی رس نرم

شدت لرزش یکسان نخواهد بود.

در ویرایش چهارم این اثر با ضرایب ساده‌تری لحاظ می‌شد.

اما اکنون اثر ساختگاه دقیق‌تر وارد محاسبات شده است.

۲-۴ پارامترهای SDS و SD1

پس از اعمال اثر خاک،

پارامترهای طراحی واقعی محاسبه می‌شوند :

SDS

و

SD1

این دو پارامتر همان مقادیری هستند که مستقیماً در طراحی سازه استفاده می‌شوند.

زنجیره محاسبات

درک این مسیر بسیار مهم است :

نقشه خطر لرزه‌ای

↓

SS

S1

↓

ضرایب اثر خاک

↓

SMS

SM1

↓

SDS

SD1

↓

طیف طرح

↓

تحلیل سازه

این یکی از مهم‌ترین نمودارهایی است که هر مهندس باید حفظ باشد.

۲-۵ طیف طرح استاندارد

در ویرایش چهارم

طیف طرح تقریباً شکل ثابتی داشت.

اما در ویرایش پنجم

طیف بر اساس

SDS

9

SD1

تولید می شود.

مزیت

اگر دو شهر

زلزله متفاوتی داشته باشند،

اکنون طیف طراحی نیز متفاوت خواهد بود.

در گذشته این اختلاف کمتر دیده می شد.

۲-۶ طبقه بندی نوع زمین

طبقه بندی نوع زمین حفظ شده است،

اما نقش آن بسیار مهم تر شده است.

اکنون نوع زمین مستقیماً روی :

- SMS
- SM1
- SDS
- SD1

اثر می گذارد.

در نتیجه اهمیت مطالعات ژئوتکنیکی نسبت به گذشته بیشتر شده است.

۲-۸ طیف ویژه ساختگاه

یکی از مهم ترین بخش های جدید آیین نامه.

در برخی پروژه ها،

استفاده از طیف استاندارد دیگر کافی نیست.

بلکه باید

طیف ویژه ساختگاه

تهیه شود.

آیین نامه موارد الزام، حد پایین طیف ویژه و نحوه استفاده از آن را مشخص کرده است.

اهمیت

این موضوع برای :

- برجها
- ساختمانهای مهم
- پروژههای خاص
- ساختگاههای پیچیده

بسیار مهم است.

حوزه نزدیک گسل

برای نخستین بار،

ساختگاههای نزدیک گسل به صورت مستقل بررسی شده اند و ضوابط مربوط به آنها در همین فصل آمده است.

علت

تحقیقات نشان داده اند که زلزله های نزدیک گسل :

- پالس های سرعت شدید
- تغییر مکان زیاد
- ضربه اولیه بزرگ

ایجاد می کنند.

در نتیجه رفتار ساختمان کاملاً متفاوت خواهد بود.

تحلیل پاسخ ساختگاه

یکی از بخش های تخصصی و جدید آیین نامه.

در این قسمت،

برای پروژه‌های خاص،

تحلیل پاسخ ساختگاه معرفی شده است که شامل :

- مدل ژئوتکنیکی زمین
 - روش تحلیل پاسخ ساختگاه
- است.

انتخاب شتاب‌نگاشت

ویرایش پنجم ضوابط بسیار دقیق‌تری برای :

- انتخاب رکوردها
- تعداد رکوردها
- مقیاس کردن
- انطباق طیفی

ارائه کرده است.

مقیاس کردن شتاب‌نگاشت‌ها

یکی از قسمت‌هایی که نسبت به ویرایش چهارم پیشرفت زیادی کرده است.

اکنون برای :

- تحلیل خطی
- تحلیل غیرخطی

روش‌های جداگانه معرفی شده‌اند.

حتی :

- مقیاس دامنه
- انطباق طیفی
- بازه سازگاری طیفی

نیز به‌صورت مستقل تشریح شده‌اند.

مهم ترین تغییرات فصل دوم

موضوع	ویرایش چهارم	ویرایش پنجم	اهمیت
مبنای خطر لرزه‌ای	شتاب مبنای طرح (A)	S1 و SS	★★★★★
اثر ساختگاه	ساده‌تر	SD1، SMS، SM1 و SDS	★★★★★
طیف طرح	نسبتاً ثابت	مبتنی بر پارامترهای طیفی	★★★★★
حوزه نزدیک گسل	محدود	ضوابط مستقل	☆★★★★
طیف ویژه ساختگاه	محدود	توسعه یافته	★★★★★
انتخاب شتاب‌نگاشت	کلی	ضوابط دقیق و مستقل	★★★★★
مقیاس رکوردها	ساده‌تر	تفکیک تحلیل خطی و غیرخطی	★★★★★

یادداشت مؤلف

این فصل نقطه آغاز تحول ویرایش پنجم است. با کنار گذاشتن شتاب مبنای طرح A و جایگزینی آن با پارامترهای طیفی SS، S1، SMS، SM1 و SDS، استاندارد ۲۸۰۰ به روش تعیین خطر لرزه‌ای مبتنی بر طیف پاسخ نزدیک شده است. این تغییر، پایه بسیاری از اصلاحات فصل‌های بعدی، از انتخاب گروه طراحی لرزه‌ای تا تحلیل دینامیکی و طراحی سازه، محسوب می‌شود.

نکته مهم برای ادامه کار

در چند بخش این فصل، به دلیل ارائه یک مرور آموزشی، هنوز وارد روابط ریاضی و فرمول‌های آیین‌نامه نشده‌ایم. در فصل‌های بعد، به‌ویژه هنگام بررسی فصل سوم آیین‌نامه (ضوابط طراحی لرزه‌ای سازه‌های ساختمانی)، روابط، محدودیت‌ها و تغییرات بنده‌بند نسبت به ویرایش چهارم را نیز با جزئیات بررسی خواهیم کرد تا این راهنما هم برای مطالعه مفهومی و هم برای استفاده عملی در طراحی قابل استفاده باشد.

فصل چهارم

بررسی فصل سوم آیین نامه

ضوابط طراحی لرزه‌ای ساختمان‌ها

مقایسه کامل با ویرایش چهارم

مقدمه

فصل سوم استاندارد ۲۸۰۰، هسته اصلی آیین نامه محسوب می‌شود. تقریباً تمام مهندسان محاسب، بیشترین مراجعه را به این فصل دارند؛ زیرا ضوابط تعیین نیروی زلزله، انتخاب سیستم باربر جانبی، تحلیل سازه، کنترل تغییرمکان، نامنظمی‌ها، آثار مرتبه دوم و بسیاری از الزامات طراحی در همین فصل ارائه شده است.

در ویرایش پنجم، این فصل نسبت به ویرایش چهارم نه تنها بازنویسی شده، بلکه چندین مبحث جدید نیز به آن افزوده شده است؛ از جمله تاب‌آوری ساختمان، تحلیل پیشرفته، سامانه‌های جداساز و میراگر، و ضوابط تکمیلی تحلیل دینامیکی. همچنین ساختار این فصل نسبت به گذشته منظم‌تر و تفصیلی‌تر شده است.

ساختار فصل سوم

فصل سوم در ویرایش پنجم شامل موضوعات زیر است :

- الزامات عمومی طراحی لرزه‌ای
- تاب‌آوری ساختمان
- گروه‌های طراحی لرزه‌ای
- انتخاب سیستم باربر جانبی
- نامنظمی‌های پلان و ارتفاع
- ضریب رفتار
- ضریب اضافه مقاومت
- ضریب بزرگنمایی تغییرمکان
- روش‌های تحلیل
- کنترل تغییرمکان
- آثار $P-\Delta$
- ساختمان‌های بلند
- سامانه‌های جداساز لرزه‌ای و میراگرها (با ارجاع به فصل و پیوست‌های مربوط)

۳-۱ الزامات عمومی طراحی

ویرایش چهارم

ضوابط عمومی بیشتر بر مواردی مانند :

- پیوستگی سیستم باربر
- مسیر انتقال نیرو
- انتخاب سیستم مناسب
- نظم سازه

تمرکز داشت.

ویرایش پنجم

تمام این موارد حفظ شده‌اند، اما تأکید بیشتری بر رفتار یکپارچه کل ساختمان شده است.

به عبارت دیگر، آیین‌نامه دیگر فقط مقاومت اعضا را بررسی نمی‌کند، بلکه رفتار کلی سامانه را ملاک قرار می‌دهد.

تحلیل

این تغییر باعث شده طراحی صرفاً به بزرگ‌تر کردن ابعاد تیر و ستون محدود نباشد؛ بلکه مهندس باید از همان ابتدا مسیر انتقال نیرو، شکل هندسی ساختمان، تعامل اجزای سازه‌ای و غیرسازه‌ای و کیفیت مدل‌سازی را در نظر بگیرد.

۳-۲ افزایش تاب‌آوری ساختمان

یکی از مهم‌ترین نوآوری‌های ویرایش پنجم

برای نخستین بار، مبحث تاب‌آوری (Resilience) به صورت مستقل وارد متن اصلی آیین‌نامه شده است. این بخش به مفهوم حفظ قابلیت بهره‌برداری ساختمان پس از زلزله و کاهش زمان بازگشت به عملکرد عادی توجه دارد.

تفاوت با ویرایش چهارم

در ویرایش چهارم، هدف اصلی این بود که ساختمان فرو نریزد.

در ویرایش پنجم، سؤال مهم‌تری مطرح می‌شود :

آیا ساختمان پس از زلزله همچنان قابل استفاده است؟

این تغییر نگرش، به‌ویژه برای بیمارستان‌ها، مراکز مدیریت بحران و ساختمان‌های حیاتی اهمیت زیادی دارد.

۳-۳ گروه‌های طراحی لرزه‌ای

در ویرایش چهارم، بسیاری از الزامات فقط بر اساس اهمیت ساختمان یا نوع سیستم سازه‌ای تعیین می‌شد.

در ویرایش پنجم، گروه طراحی لرزه‌ای (Seismic Design Group) به یکی از عوامل اصلی تصمیم‌گیری تبدیل شده است و بر انتخاب روش تحلیل، محدودیت‌های نامنظمی و برخی الزامات طراحی اثر می‌گذارد.

۳-۴ انتخاب سیستم باربر جانبی

ویرایش چهارم

انتخاب سیستم باربر بیشتر بر اساس جداول ضریب رفتار انجام می‌شد.

ویرایش پنجم

علاوه بر ضریب رفتار، موارد زیر نیز نقش پررنگ‌تری پیدا کرده‌اند:

- گروه طراحی لرزه‌ای
- ارتفاع ساختمان
- میزان نامنظمی
- نوع سیستم سازه‌ای
- محدودیت‌های کاربرد سیستم‌ها

تحلیل

این تغییر باعث می‌شود انتخاب سیستم سازه‌ای دیگر صرفاً یک انتخاب عددی از جدول نباشد، بلکه فرآیندی مبتنی بر شرایط واقعی پروژه باشد.

۳-۵ نامنظمی‌های سازه

یکی از بخش‌های بازنگری شده

تعاریف و ضوابط مربوط به نامنظمی‌های پلان و ارتفاع نسبت به ویرایش چهارم شفاف‌تر شده‌اند و ارتباط آن‌ها با روش تحلیل و محدودیت‌های طراحی دقیق‌تر بیان شده است.

مهم‌ترین موارد :

- نامنظمی پیکشی
- نامنظمی هندسی
- نامنظمی جرم
- نامنظمی سختی
- طبقه نرم
- طبقه ضعیف

تحلیل

در پروژه‌های واقعی، بسیاری از مشکلات لرزه‌ای نه به دلیل کمبود مقاومت، بلکه به دلیل نامنظمی‌های پلان و ارتفاع ایجاد می‌شوند. بازنگری این بخش نشان‌دهنده اهمیت پیشگیری از چنین رفتارهایی از مرحله طراحی معماری است.

۳-۶ ضرایب طراحی

در این فصل همچنان از ضرایب اصلی طراحی مانند :

- ضریب رفتار (R)
- ضریب اضافه مقاومت (Ω)
- ضریب بزرگنمایی تغییر مکان (Cd)

استفاده می‌شود، اما کاربرد آن‌ها با ساختار جدید آیین‌نامه هماهنگ شده است.

۳-۷ روش‌های تحلیل

این بخش یکی از گسترده‌ترین بازنگری‌های ویرایش پنجم را داشته است.

روش‌های تحلیل شامل :

- تحلیل استاتیکی معادل
- تحلیل طیفی
- تحلیل تاریخچه زمانی
- تحلیل غیرخطی

همگی با ضوابط دقیق‌تر و شرایط کاربرد مشخص‌تر ارائه شده‌اند.

تغییر مهم

در ویرایش چهارم، انتخاب روش تحلیل در برخی موارد ابهام داشت.

در ویرایش پنجم:

- شرایط استفاده از هر روش روشن تر شده است.
- محدودیت‌های هر روش بیان شده است.
- معیارهای پذیرش نتایج مشخص تر هستند.

کنترل تغییر مکان

کنترل تغییر مکان نسبی طبقات (Drift) همچنان یکی از مهم‌ترین معیارهای طراحی است.

در ویرایش پنجم، نحوه کنترل و ارتباط آن با ضرایب طراحی و گروه طراحی لرزه‌ای با دقت بیشتری تشریح شده است.

آثار $P-\Delta$

اگرچه آثار مرتبه دوم در ویرایش چهارم نیز وجود داشت، اما در ویرایش پنجم علاوه بر متن اصلی، یک پیوست اختصاصی برای تشریح روش‌های محاسبه و کنترل آثار $P-\Delta$ ارائه شده است.

ساختمان‌های بلند

در ویرایش پنجم، ضوابط مربوط به ساختمان‌های بلند توسعه یافته و در انتخاب روش تحلیل و کنترل پاسخ لرزه‌ای، توجه بیشتری به این دسته از سازه‌ها شده است.

جمع‌بندی مهم‌ترین تغییرات فصل سوم

موضوع	ویرایش چهارم	ویرایش پنجم	اهمیت
فلسفه طراحی	مقاومت در برابر زلزله	مقاومت + عملکرد + تاب‌آوری	★★★★★
گروه طراحی لرزه‌ای	وجود نداشت	مبنای بسیاری از الزامات	★★★★★
انتخاب سیستم باربر	عمدتاً بر اساس R	وابسته به شرایط پروژه و SDC	☆★★★★
نامنظمی‌ها	تعاریف قدیمی	بازنگری و شفاف‌سازی	★★★★★
روش‌های تحلیل	ساده‌تر	تفصیلی و ضابطه‌مند	★★★★★
تحلیل غیرخطی	محدود	توسعه یافته	★★★★★
آثار $P-\Delta$	ضوابط محدود	متن اصلی + پیوست اختصاصی	☆★★★★
تاب‌آوری	مطرح نبود	مبحث مستقل	★★★★★

یادداشت مؤلف

تا اینجا سه تحول بزرگ ویرایش پنجم را شناختیم :

۱. تغییر روش تعیین خطر لرزه‌ای ($S1$, SS) و طیف طرح جدید)
 ۲. معرفی گروه‌های طراحی لرزه‌ای و بازتعریف فلسفه انتخاب الزامات طراحی
 ۳. بازنگری کامل ضوابط طراحی و تحلیل سازه با تأکید بر عملکرد، تاب‌آوری و تحلیل‌های پیشرفته
- از فصل بعد وارد مباحثی می‌شویم که بیشترین تغییرات کاربردی را برای طراحان ایجاد کرده‌اند؛ یعنی فصل چهارم آیین‌نامه: طراحی لرزه‌ای اجزای غیرسازه‌ای. این بخش در ویرایش پنجم نسبت به ویرایش چهارم توسعه قابل توجهی یافته و نقش اجزای معماری و تأسیساتی را در ایمنی لرزه‌ای ساختمان پررنگ‌تر کرده است.

فصل پنجم

بررسی فصل چهارم آیین نامه

طراحی لرزه‌ای اجزای غیرسازه‌ای

مقدمه

در زلزله‌های بزرگ دنیا، از جمله 1994 Northridge earthquake، 1995 Great Hanshin earthquake، 2010 Chile earthquake و 2011 Tōhoku earthquake and tsunami، بررسی‌ها نشان داد که در بسیاری از ساختمان‌ها سازه اصلی فرو نریخته بود، اما شکست دیوارها، نما، سقف‌های کاذب، تجهیزات مکانیکی و برقی، شیشه‌ها و تأسیسات باعث شد ساختمان عملاً غیرقابل استفاده شود.

به همین دلیل، در آیین‌نامه‌های نوین جهان، توجه ویژه‌ای به اجزای غیرسازه‌ای شده است و ویرایش پنجم استاندارد ۲۸۰۰ نیز برای نخستین بار یک فصل مستقل به این موضوع اختصاص داده است.

اجزای غیرسازه‌ای چیست؟

اجزای غیرسازه‌ای (Nonstructural Components) به عناصری گفته می‌شود که نقش اصلی در تحمل بارهای ثقلی و جانبی ساختمان ندارند، اما برای عملکرد ساختمان ضروری هستند.

این اجزا شامل موارد زیر هستند:

اجزای معماری

- دیوارهای داخلی (تیغه‌ها)
- دیوارهای پیرامونی
- نما
- جان‌پناه
- سقف کاذب
- کف کاذب
- شیشه‌ها
- درها و پنجره‌ها

اجزای مکانیکی

- چیلر
- بویلر
- هواساز
- کانال‌ها
- لوله‌ها
- مخازن
- پمپ‌ها

اجزای برقی

- تابلوهای برق
- ترانسفورماتورها
- ژنراتورها
- سینی کابل
- سیستم اعلام حریق
- روشنایی اضطراری

تجهیزات خاص

- تجهیزات بیمارستانی
- تجهیزات آزمایشگاهی
- تجهیزات صنعتی
- آسانسورها

تمام این موارد در دامنه فصل چهارم و پیوست‌های مرتبط قرار می‌گیرند.

تفاوت با ویرایش چهارم

در ویرایش چهارم :

اجزای غیرسازه‌ای عمدتاً در چند بند پراکنده مطرح شده بودند.

تمرکز اصلی روی :

- دیوارها
- نما
- برخی اتصالات

بود.

در ویرایش پنجم :

یک فصل کامل به این موضوع اختصاص یافته است.

یعنی :

اجزای غیرسازه‌ای دیگر یک موضوع فرعی نیستند؛ بلکه بخشی از طراحی لرزه‌ای ساختمان محسوب می‌شوند.

چرا این تغییر ضروری بود؟

فرض کنید یک بیمارستان :

✓سازه سالم بماند.

اما :

- سقف کاذب سقوط کند.
- اکسیژن‌رسانی قطع شود.
- تابلو برق تخریب شود.
- تجهیزات اتاق عمل واژگون شوند.

آیا بیمارستان قابل استفاده است؟

پاسخ خیر است.

بنابراین، موفقیت طراحی لرزه‌ای تنها با سالم ماندن اسکلت ساختمان سنجیده نمی‌شود.

اهداف طراحی اجزای غیرسازه‌ای

ویرایش پنجم چهار هدف اصلی را دنبال می‌کند :

۱. جلوگیری از تلفات انسانی

مثلاً :

سقوط سنگ نما

یا

ریزش سقف کاذب

نباید باعث مرگ افراد شود.

۲. حفظ عملکرد ساختمان

برای ساختمان‌های مهم:

- بیمارستان
- آتش‌نشانی
- مرکز مدیریت بحران

باید عملکرد پس از زلزله حفظ شود.

۳. کاهش خسارت اقتصادی

در بسیاری از پروژه‌ها،

ارزش تجهیزات

از ارزش سازه بیشتر است.

مثلاً:

یک مرکز داده (Data Center)

ممکن است تجهیزات آن چندین برابر هزینه اسکلت ارزش داشته باشند.

۴. کاهش زمان بازگشت به بهره‌برداری

یکی از مفاهیم جدید آیین‌نامه،

همین موضوع است.

مهم‌ترین تغییرات این فصل

طراحی لرزه‌ای دیوارهای داخلی

در ویرایش چهارم

بیشتر توصیه‌ها اجرایی بودند.

در ویرایش پنجم

ضوابط مهاربندی

جداسازی

درزها

و اتصالات

بسیار دقیق‌تر شده‌اند. همچنین در پیوست ششم، برای انواع دیوارهای پانلی، دیوارهای ساخته‌شده از مقاطع فولادی سردنورد، دیوارهای بلوکی و حتی مسلح کردن دیوار با شبکه الیاف، الزامات اجرایی و طراحی ارائه شده است.

طراحی نما

یکی از پرحادثه‌ترین اجزای ساختمان در زلزله.

در نسخه جدید :

- نحوه اتصال نما
- مهار نما
- جداسازی
- انتقال نیرو

بیشتر مورد توجه قرار گرفته‌اند. پیوست ششم نیز بخش مستقلی را به نما اختصاص داده است.

سقف کاذب

این قسمت تقریباً در ویرایش چهارم توسعه‌یافته نبود.

اما اکنون :

سقف کاذب

دارای الزامات مستقل طراحی و اجرا است.

راه پله

در زلزله،

باید آخرین مسیر خروج

سالم بماند.

به همین علت،

راه پله نیز دارای ضوابط اختصاصی شده است.

جان پناه

یکی از بخش هایی که در زلزله های گذشته خسارت زیادی ایجاد کرده است.

ویرایش پنجم

ضوابط مهار جان پناه را کامل تر کرده است.

دیوارهای خارجی

در این نسخه،

موضوعات زیر دقیق تر بررسی شده اند :

- اتصالات
- جداسازی
- حرکت نسبی طبقات
- انتقال نیرو

این تغییرات برای کاهش آسیب دیوارها در اثر تغییر مکان نسبی طبقات اهمیت زیادی دارند.

بزرگ ترین تفاوت فلسفی

در ویرایش چهارم

هدف این بود :

ساختمان فرو نریزد.

در ویرایش پنجم

هدف این است :

ساختمان کار کند.

این تفاوت بسیار بزرگی است.

مثال واقعی

فرض کنید یک ساختمان اداری ۱۲ طبقه :

اسکلت کاملاً سالم مانده است.

اما :

- همه تیغه‌ها شکسته‌اند.
- سقف کاذب ریخته است.
- کابل‌ها قطع شده‌اند.
- آسانسورها از کار افتاده‌اند.
- نما سقوط کرده است.

از نظر سازه‌ای،

ساختمان سالم است.

اما از نظر بهره‌برداری،

ساختمان تعطیل خواهد شد.

همین تجربه‌ها باعث توسعه این فصل شده‌اند.

مقایسه با ویرایش چهارم

موضوع	ویرایش چهارم	ویرایش پنجم
فصل مستقل	×	✓
طراحی دیوارها	محدود	توسعه یافته
نما	محدود	ضوابط کامل تر
سقف کاذب	بسیار محدود	الزامات مستقل
جان پناه	کلی	ضابطه مند
راه پله	محدود	توسعه یافته
جداسازی لرزه ای اجزا	محدود	تشریح شده
الزامات اجرایی	محدود	بسیار کامل تر

جمع بندی فصل پنجم

ویرایش پنجم استاندارد ۲۸۰۰، با اختصاص یک فصل مستقل و یک پیوست تخصصی به اجزای غیرسازه ای، نگاه طراحی لرزه ای را از «حفاظت از اسکلت ساختمان» به «حفاظت از کل ساختمان و قابلیت بهره برداری آن» ارتقا داده است. این تغییر، به ویژه برای ساختمان های مهم، بیمارستان ها، مراکز داده، مراکز صنعتی و ساختمان های عمومی، یکی از مهم ترین تفاوت های این ویرایش نسبت به ویرایش چهارم به شمار می رود.

ارزیابی این فصل از دیدگاه مولف

فکر می کنم این فصل یکی از ارزشمندترین بخش های ویرایش پنجم است؛ زیرا برای نخستین بار در استاندارد ۲۸۰۰، عملکرد واقعی ساختمان پس از زلزله به اندازه مقاومت سازه اهمیت پیدا کرده است. این تغییر همسو با رویکرد آیین نامه های روز دنیا مانند ASCE 7 و Eurocode 8 است و می تواند در پروژه های آینده، به ویژه ساختمان های حیاتی، تأثیر قابل توجهی بر کاهش خسارت و افزایش تاب آوری داشته باشد.

فصل ششم

بررسی فصل پنجم آیین نامه

طراحی لرزه‌ای سازه‌های غیرساختمانی

مقدمه

تا پیش از انتشار ویرایش پنجم، استاندارد ۲۸۰۰ عمدتاً بر طراحی ساختمان‌ها متمرکز بود و ضوابط مربوط به سازه‌های غیرساختمانی یا وجود نداشت یا به صورت محدود در آیین نامه‌های دیگر دنبال می‌شد.

اما با گسترش صنایع، پالایشگاه‌ها، نیروگاه‌ها، مراکز داده، تأسیسات زیربنایی و تجهیزات شهری، مشخص شد که خسارت به این سازه‌ها می‌تواند حتی از خسارت ساختمان‌های معمولی نیز پیامدهای اقتصادی و اجتماعی بیشتری داشته باشد.

به همین دلیل، ویرایش پنجم یک فصل مستقل را به «سازه‌های غیرساختمانی» اختصاص داده است.

سازه غیرساختمانی چیست؟

سازه غیرساختمانی به سازه‌ای گفته می‌شود که هدف اصلی آن تأمین فضای سکونت یا کاربری متعارف ساختمان نیست، بلکه وظیفه نگهداری تجهیزات، انتقال انرژی، ذخیره مواد یا انجام فرآیندهای صنعتی را بر عهده دارد.

نمونه‌ها :

- مخازن آب
- مخازن سوخت
- سیلوها
- دودکش‌ها
- برج‌های خنک‌کننده
- دکل‌ها
- سازه‌های نگهدارنده تجهیزات
- رک‌های صنعتی
- سازه‌های نیروگاهی
- تجهیزات پالایشگاهی

چرا این فصل اضافه شد؟

زلزله‌های بزرگ نشان داده‌اند که بسیاری از خسارت‌های حیاتی ناشی از تخریب ساختمان‌ها نبوده، بلکه ناشی از آسیب به زیرساخت‌ها و تجهیزات صنعتی بوده است.

برای مثال :

- از کار افتادن نیروگاه
- شکست مخزن سوخت
- آسیب به خطوط انتقال
- تخریب تجهیزات بیمارستانی
- توقف مراکز داده

می‌تواند خسارتی بسیار فراتر از آسیب به خود ساختمان ایجاد کند.

تفاوت اساسی با ویرایش چهارم

در ویرایش چهارم :

مهندس معمولاً برای طراحی این سازه‌ها مجبور بود به آیین‌نامه‌های خارجی مراجعه کند.

در ویرایش پنجم :

استاندارد ۲۸۰۰ چارچوب اولیه طراحی لرزه‌ای این سازه‌ها را ارائه می‌دهد و ارجاع به استانداردهای تخصصی را نیز مشخص می‌کند.

مهم‌ترین اهداف این فصل

هدف اول :

حفظ پایداری سازه

سازه نباید در اثر زلزله واژگون شود یا دچار ناپایداری کلی گردد.

هدف دوم :

حفظ عملکرد تجهیزات

برای مثال :

اگر یک مخزن سالم بماند اما پایه‌های آن آسیب ببینند و امکان بهره‌برداری وجود نداشته باشد، هدف طراحی محقق نشده است.

هدف سوم :

جلوگیری از آزاد شدن مواد خطرناک

در پالایشگاه‌ها و صنایع شیمیایی، شکست یک مخزن یا لوله می‌تواند خسارتی به مراتب بیشتر از تخریب خود سازه ایجاد کند.

هدف چهارم:

کاهش وقفه در خدمات حیاتی

این موضوع برای :

- نیروگاه‌ها
- مراکز مخابرات
- تصفیه‌خانه‌ها
- ایستگاه‌های آتش‌نشانی
- مراکز داده

اهمیت ویژه‌ای دارد.

تغییر نگرش

در ویرایش چهارم

تمرکز بر ساختمان بود.

در ویرایش پنجم

تمرکز بر تمام سامانه‌های مهندسی است.

این تغییر، استاندارد ۲۸۰۰ را به آیین‌نامه‌ای جامع‌تر تبدیل کرده است.

ارتباط با فصل چهارم

ممکن است سؤال پیش بیاید :

فصل چهارم درباره اجزای غیرسازه‌ای بود.

فصل پنجم درباره سازه‌های غیرساختمانی است.

تفاوت چیست؟

فصل پنجم	فصل چهارم
سازه‌های مستقل	اجزای داخل یک ساختمان
مخزن	تیغه
سیلو	نما
برج خنک‌کننده	سقف کاذب
سازه نگهدارنده تجهیزات صنعتی	تابلو برق داخل ساختمان

زمان تناوب سازه‌های غیرساختمانی

یکی از موضوعات مهم و جدید، توجه به رفتار دینامیکی این سازه‌ها است.

به همین دلیل، استاندارد یک پیوست مستقل برای تعیین زمان تناوب اصلی سازه‌های غیرساختمانی ارائه کرده است که شامل روابط و روش‌های برآورد برای انواع مختلف این سازه‌ها است.

اهمیت مدل‌سازی

در سازه‌های غیرساختمانی، مدل‌سازی صحیح اهمیت بسیار بیشتری نسبت به ساختمان‌های متعارف دارد.

برای مثال :

یک مخزن آب :

- جرم مایع
- اندرکنش مایع و مخزن
- حرکت تلاطمی (Sloshing)
- انعطاف‌پذیری جداره

همگی بر پاسخ لرزه‌ای اثر می‌گذارند.

بنابراین استفاده از مدل‌های ساده همیشه پاسخگوی طراحی نخواهد بود.

نقش تحلیل دینامیکی

در بسیاری از سازه‌های غیرساختمانی، تحلیل استاتیکی معادل دقت کافی ندارد.

به همین دلیل، آیین‌نامه در این بخش بر استفاده از تحلیل‌های دینامیکی، متناسب با نوع سازه و اهمیت آن، تأکید بیشتری دارد.

اثر بر طراحی صنعتی

یکی از مهم‌ترین پیامدهای این فصل آن است که مهندسان صنایع، نفت، گاز، پتروشیمی و نیروگاهی اکنون می‌توانند چارچوبی هماهنگ با استاندارد ۲۸۰۰ برای طراحی لرزه‌ای پروژه‌های خود داشته باشند.

مقایسه با ویرایش چهارم

موضوع	ویرایش چهارم	ویرایش پنجم
فصل مستقل	×	✓
تعریف سازه‌های غیرساختمانی	بسیار محدود	جامع
زمان تناوب	فاقد پیوست مستقل	پیوست اختصاصی
تجهیزات صنعتی	ارجاعات محدود	پوشش گسترده‌تر
نقش عملکرد	محدود	بسیار پررنگ
ارتباط با زیرساخت‌ها	کم	توسعه‌یافته

مثال کاربردی

فرض کنید در یک پروژه صنعتی، سازه نگهدارنده یک مخزن اسید طراحی می‌شود.

در گذشته ممکن بود طراح تنها مقاومت اعضای فولادی را کنترل کند.

اما در ویرایش پنجم باید به موارد زیر نیز توجه شود :

- رفتار دینامیکی کل سامانه
- پایداری تجهیزات

- عملکرد اتصالات
- تغییر مکان های مجاز
- خطر واژگونی
- تداوم بهره‌برداری پس از زلزله

این تغییر، کیفیت طراحی را به‌طور قابل توجهی افزایش می‌دهد.

جمع‌بندی فصل ششم

افزوده شدن فصل «سازه‌های غیرساختمانی» یکی از مهم‌ترین گام‌های ویرایش پنجم برای گسترش دامنه کاربرد استاندارد ۲۸۰۰ است. این فصل نشان می‌دهد که طراحی لرزه‌ای دیگر تنها به ساختمان‌های متعارف محدود نیست و زیرساخت‌ها، تجهیزات و سازه‌های صنعتی نیز باید با رویکردی نظام‌مند و مبتنی بر عملکرد طراحی شوند. همچنین پیوست مربوط به زمان تناوب سازه‌های غیرساختمانی، ابزار مناسبی برای تحلیل دقیق‌تر این سازه‌ها در اختیار طراح قرار می‌دهد.

یادداشت مؤلف (بازخورد فنی)

در اینجا لازم است یک نکته را اصلاح کنم. در فصل‌های قبلی برای روان بودن متن، گاهی از تعبیر «فصل جدید» استفاده کردم؛ اما از نظر فنی، دقیق‌تر آن است که بگوییم **ویرایش پنجم دامنه و عمق الزامات مربوط به این موضوعات را به‌طور چشمگیری توسعه داده است**. در ادامه کتاب، هر جا وارد بررسی بندهای هر فصل شویم، شماره بندها، تفاوت متن ویرایش چهارم و پنجم و آثار عملی آن‌ها را نیز به‌صورت مستند ارائه خواهیم کرد تا این راهنما علاوه بر جنبه آموزشی، به یک مرجع قابل استناد برای مهندسان تبدیل شود.

فصل هفتم

بررسی فصل ششم آیین نامه

الزامات ژئوتکنیکی

مقدمه

یکی از مهم ترین ضعف های بسیاری از پروژه های ساختمانی، نادیده گرفتن نقش ساختگاه در پاسخ لرزه ای است. تجربه زلزله های ایران و جهان نشان داده است که دو ساختمان کاملاً مشابه، اگر روی دو نوع زمین متفاوت ساخته شوند، ممکن است رفتار کاملاً متفاوتی در برابر یک زلزله یکسان داشته باشند.

به همین دلیل، ویرایش پنجم استاندارد ۲۸۰۰ برای نخستین بار یک فصل مستقل را به الزامات ژئوتکنیکی اختصاص داده و علاوه بر آن، یک پیوست تخصصی درباره اندرکنش خاک و سازه نیز ارائه کرده است.

چرا این فصل اهمیت دارد؟

در گذشته، بسیاری از مهندسان سازه تصور می کردند که :

خاک فقط وظیفه تحمل بار ساختمان را دارد.

اما امروزه می دانیم که خاک بخشی از سامانه لرزه ای ساختمان است و می تواند :

- شدت حرکت زمین را افزایش یا کاهش دهد.
- زمان تناوب مؤثر سازه را تغییر دهد.
- میزان میرایی سیستم را تحت تأثیر قرار دهد.
- موجب نشست، روانگرایی یا گسترش جانبی شود.
- پاسخ لرزه ای کل ساختمان را تغییر دهد.

به همین دلیل، در ویرایش پنجم ارتباط میان طراحی سازه و مطالعات ژئوتکنیکی بسیار پررنگ تر شده است.

مهم ترین تغییر نسبت به ویرایش چهارم

در ویرایش چهارم، مباحث ژئوتکنیکی بیشتر به تعیین نوع زمین و اعمال ضرایب مربوط محدود بود.

در ویرایش پنجم، دامنه این مباحث توسعه یافته و شامل موارد زیر است:

- تعیین دقیق تر نوع ساختگاه
- الزامات تحلیل پاسخ ساختگاه
- بررسی روانگرایی
- اندرکنش خاک و سازه
- سختی پی
- اثر خاک بر طیف طرح
- میرایی ناشی از خاک

۶-۱ طبقه بندی ساختگاه

طبقه بندی ساختگاه همچنان یکی از پایه های طراحی لرزه ای است، اما در ویرایش پنجم نقش آن فراتر از انتخاب یک ضریب ساده است.

اکنون نوع ساختگاه مستقیماً بر پارامترهای طیفی طراحی، از جمله SMS، SM1، SDS و SD1 اثر می گذارد و بنابراین در تعیین نیروهای لرزه ای نقش اساسی دارد.

۶-۲ تحلیل پاسخ ساختگاه

یکی از مهم ترین بخش های جدید

در برخی پروژه ها، استفاده از طیف استاندارد کافی نیست و باید تحلیل پاسخ ساختگاه انجام شود.

هدف این تحلیل، بررسی نحوه تغییر امواج لرزه ای هنگام عبور از لایه های مختلف خاک است.

این الزام به ویژه برای پروژه های مهم و ساختگاه های پیچیده اهمیت دارد.

۶-۳ روانگرایی

یکی از توسعه یافته ترین مباحث این فصل، توجه به خطر روانگرایی است.

در هنگام زلزله، برخی خاک های اشباع و سست ممکن است مقاومت برشی خود را از دست بدهند و رفتاری شبیه مایع پیدا کنند.

پیامدهای آن می تواند شامل موارد زیر باشد:

- نشست شدید
- واژگونی ساختمان
- کج شدگی سازه
- شکست پی
- پارگی خطوط مدفون

در ویرایش پنجم، تأکید بیشتری بر شناسایی این خطر و لحاظ کردن نتایج مطالعات ژئوتکنیکی در طراحی شده است.

۴-۶ اندرکنش خاک و سازه (Soil-Structure Interaction)

یکی از مهم ترین تفاوت های ویرایش پنجم

در گذشته، بسیاری از تحلیل های سازه ای بر این فرض استوار بودند که :

فونداسیون کاملاً صلب است.

در حالی که این فرض همیشه صحیح نیست.

در ویرایش پنجم، یک پیوست مستقل برای اندرکنش خاک و سازه ارائه شده است که موضوعاتی مانند :

- سختی مؤثر خاک
- سختی پی سطحی و عمیق
- زمان تناوب مؤثر
- میرایی مؤثر
- اصلاح طیف طرح

را به طور مفصل بررسی می کند.

چرا اندرکنش خاک و سازه مهم است؟

اگر خاک نرم باشد :

- زمان تناوب سازه افزایش می یابد.
- پاسخ دینامیکی تغییر می کند.
- نیروهای داخلی ممکن است کاهش یا افزایش یابند.
- تغییر مکان ها معمولاً افزایش پیدا می کنند.

بنابراین، فرض صلب بودن پی در همه پروژه ها قابل قبول نیست.

سختی پی

پیوست چهارم استاندارد، روش‌هایی برای تعیین سختی پی ارائه می‌کند.

این سختی می‌تواند برای :

- پی منفرد
- پی نواری
- پی گسترده
- شمع و پی‌های عمیق

به‌صورت مناسب مدل‌سازی شود. همچنین روش تعیین ضرایب سختی فتر برای تحلیل‌های خطی و غیرخطی تشریح شده است.

میرایی ناشی از خاک

یکی از مباحثی که در ویرایش چهارم کمتر مورد توجه بود، میرایی ناشی از خاک است.

در ویرایش پنجم، این میرایی می‌تواند در شرایط مشخص وارد تحلیل شود و بر پاسخ دینامیکی سازه اثر بگذارد.

اصلاح طیف طرح

پیوست چهارم نشان می‌دهد که در برخی شرایط، طیف طرح باید با در نظر گرفتن اثر اندرکنش خاک و سازه اصلاح شود. این موضوع به‌ویژه برای سازه‌های مهم یا ساختگاه‌های خاص اهمیت دارد.

مثال کاربردی

فرض کنید دو برج ۲۰ طبقه کاملاً مشابه طراحی شده‌اند.

برج اول روی سنگ سخت قرار دارد.

برج دوم روی خاک رس نرم.

در ویرایش چهارم، ممکن بود تفاوت تحلیل این دو پروژه محدود باشد.

اما در ویرایش پنجم :

- زمان تناوب
- میرایی

- طیف طرح
- سختی مؤثر پی
- پاسخ لرزه‌ای

همگی می‌توانند متفاوت باشند.

این یعنی طراحی دو پروژه، با وجود سازه یکسان، ممکن است نتایج کاملاً متفاوتی داشته باشد.

مقایسه با ویرایش چهارم

موضوع	ویرایش چهارم	ویرایش پنجم
فصل مستقل ژئوتکنیک	محدود	توسعه یافته
تحلیل پاسخ ساختگاه	محدود	ضابطه مند
روانگرایی	اشاره کلی	بررسی گسترده تر
اندرکنش خاک و سازه	محدود	پیوست اختصاصی
سختی پی	روابط ساده تر	مدل سازی دقیق تر
میرایی خاک	کم رنگ	تشریح شده
اصلاح طیف طرح	محدود	ضابطه مند

ارتباط این فصل با نرم افزارهای تحلیلی

یکی از پیامدهای عملی این تغییرات آن است که در پروژه‌های خاص، مدل سازی سازه در نرم افزارهایی مانند ETABS یا SAP2000 دیگر تنها با تکیه بر تکیه گاه‌های کاملاً گیردار یا مفصلی کافی نیست. در برخی موارد لازم است :

- فنرهای معادل خاک (Soil Springs)
- سختی واقعی پی
- اثر اندرکنش خاک و سازه

در مدل تحلیلی لحاظ شوند. البته نحوه مدل سازی باید بر اساس نتایج مطالعات ژئوتکنیکی و الزامات آیین نامه انجام شود، نه صرفاً به صورت تجربی.

جمع بندی فصل هفتم

فصل ششم ویرایش پنجم استاندارد ۲۸۰۰ نشان می‌دهد که طراحی لرزه‌ای موفق تنها به مقاومت سازه وابسته نیست؛ بلکه شناخت دقیق رفتار زمین، نوع ساختگاه، ویژگی‌های خاک و نحوه تعامل آن با سازه، بخش جدایی ناپذیر فرآیند طراحی است. افزوده شدن پیوست تخصصی اندرکنش خاک و سازه نیز یکی از مهم ترین گام‌های این ویرایش در نزدیک شدن به آیین نامه‌های روز دنیا به شمار می‌رود.

فصل هشتم

بررسی فصل هفتم آیین نامه

سامانه‌های جداساز لرزه‌ای و میراگرها

مقدمه

در تمام فصل‌های قبلی، فرض بر این بود که ساختمان در هنگام زلزله، نیروهای لرزه‌ای را تحمل می‌کند. یعنی سازه به اندازه کافی مقاوم طراحی می‌شود تا بتواند انرژی ناشی از زلزله را جذب و مستهلک کند.

اما آیا همیشه باید با افزایش ابعاد تیر، ستون، دیوار برشی یا مهاربند، ایمنی ساختمان را تأمین کرد؟

پاسخ مهندسی امروز خیر است.

در چند دهه اخیر، فناوری‌هایی توسعه یافته‌اند که به جای افزایش مقاومت سازه، ورود انرژی زلزله به ساختمان را کاهش می‌دهند یا بخشی از این انرژی را مستهلک می‌کنند.

به همین دلیل، ویرایش پنجم استاندارد ۲۸۰۰ برای نخستین بار یک فصل مستقل را به سامانه‌های جداساز لرزه‌ای (Base Isolation) و میراگرها (Dampers) اختصاص داده است.

تحول نگرش در طراحی لرزه‌ای

سیر تکامل طراحی لرزه‌ای را می‌توان به سه نسل تقسیم کرد :

نسل اول

مقاومت بیشتر

راهکار :

- ستون بزرگ‌تر
- تیر قوی‌تر
- دیوار برشی بیشتر

نسل دوم

شکل پذیری بیشتر

راهکار:

- طراحی بر مبنای ضریب رفتار
- تشکیل مفصل پلاستیک
- جذب انرژی در اعضای سازه

نسل سوم

کنترل پاسخ لرزه‌ای

راهکار:

- جداساز لرزه‌ای
- میراگر
- کنترل ارتعاش

ویرایش پنجم وارد این نسل سوم شده است.

سامانه جداساز لرزه‌ای چیست؟

در ساختمان‌های معمولی:

زمین

↓

پی

↓

ستون

↓

ساختمان

حرکت زمین تقریباً مستقیماً وارد ساختمان می‌شود.

اما در ساختمان مجهز به جداساز:

زمین

↓

جداساز

↓

ساختمان

بخش زیادی از انرژی زلزله قبل از ورود به ساختمان جذب یا فیلتر می‌شود.

هدف استفاده از جداساز

اهداف اصلی عبارت‌اند از :

- کاهش شتاب طبقات
- کاهش نیروی زلزله
- کاهش تغییر شکل اعضا
- کاهش خسارت تجهیزات
- حفظ عملکرد ساختمان

ساختمان‌های مناسب برای جداساز

این فناوری معمولاً در ساختمان‌های زیر استفاده می‌شود :

- بیمارستان‌ها
- مراکز مدیریت بحران
- مراکز داده
- موزه‌ها
- ساختمان‌های تاریخی
- مراکز مخابرات
- نیروگاه‌ها

زیرا قطع عملکرد این ساختمان‌ها پس از زلزله قابل قبول نیست.

انواع جداسازها

در استاندارد و منابع تخصصی مرتبط، انواع مختلفی از جداسازها معرفی می‌شوند، از جمله :

- جداساز لاستیکی با هسته سربی (LRB)
- جداساز لاستیکی با میرایی زیاد (HDRB)
- جداساز آونگی اصطکاکی (FPS)

هر کدام رفتار، سختی و میزان میرایی متفاوتی دارند و انتخاب آن‌ها به ویژگی پروژه بستگی دارد.

میراگر چیست؟

میراگر وسیله‌ای است که بخشی از انرژی زلزله را مستهلک می‌کند.

اگر جداساز را مانند کمک‌فدر خودرو در محل اتصال ساختمان به زمین تصور کنیم،

میراگرها مانند تجهیزاتی هستند که داخل ساختمان نصب می‌شوند تا ارتعاشات را کاهش دهند.

انواع میراگرها

متداول‌ترین انواع عبارت‌اند از :

میراگر ویسکوز

مناسب برای کاهش پاسخ دینامیکی.

میراگر اصطکاکی

انرژی را از طریق اصطکاک مستهلک می‌کند.

میراگر تسلیمی

با جاری شدن کنترل‌شده فلز، انرژی زلزله را جذب می‌کند.

میراگر ویسکوالاستیک

ترکیبی از رفتار الاستیک و میرایی.

تفاوت جداساز و میراگر

جداساز لرزه‌ای	میراگر
بین پی و سازه نصب می‌شود	داخل سازه نصب می‌شود
ورود انرژی را کاهش می‌دهد	انرژی وارد شده را مستهلک می‌کند
زمان تناوب سازه را افزایش می‌دهد	میرایی سازه را افزایش می‌دهد
بیشتر در ساختمان‌های خاص	در ساختمان‌های جدید و مقاوم‌سازی قابل استفاده است

چرا این فصل در ویرایش چهارم وجود نداشت؟

در زمان تدوین ویرایش چهارم، استفاده از این فناوری‌ها در ایران هنوز محدود بود.

اما امروزه :

- فناوری تولید جداساز توسعه یافته است.
- پروژه‌های متعددی در ایران اجرا شده‌اند.
- تحقیقات دانشگاهی گسترده‌ای انجام شده است.

بنابراین لازم بود استاندارد نیز ضوابط مربوط را ارائه کند.

الزامات طراحی

ویرایش پنجم بیان می‌کند که طراحی ساختمان‌های مجهز به جداساز یا میراگر، با طراحی ساختمان‌های معمولی تفاوت دارد.

از جمله :

- مدل‌سازی دقیق سامانه
- تحلیل دینامیکی مناسب
- کنترل تغییر مکان جداساز
- کنترل پایداری
- کنترل عملکرد پس از زلزله

این موارد باید مطابق ضوابط فصل هفتم و پیوست‌های مرتبط انجام شوند.

مزایا

استفاده از این سامانه‌ها می‌تواند :

- شتاب طبقات را کاهش دهد.
- خسارت اجزای غیرسازه‌ای را کم کند.
- عملکرد تجهیزات را حفظ کند.
- هزینه تعمیرات پس از زلزله را کاهش دهد.
- تاب‌آوری ساختمان را افزایش دهد.

محدودیت‌ها

البته این فناوری‌ها همیشه بهترین انتخاب نیستند.

از جمله محدودیت‌ها :

- هزینه اولیه بیشتر
- نیاز به طراحی تخصصی
- اجرای دقیق
- نگهداری و بازرسی دوره‌ای
- کنترل کیفیت بالا

مقایسه با ویرایش چهارم

موضوع	ویرایش چهارم	ویرایش پنجم
فصل مستقل	×	✓
جداساز لرزه‌ای	اشاره محدود	ضوابط مستقل
میراگرها	اشاره محدود	ضوابط مستقل
تحلیل سامانه	وجود نداشت	الزامات مشخص
کنترل عملکرد	محدود	توسعه یافته
ارتباط با تاب‌آوری	وجود نداشت	بسیار پررنگ

مثال کاربردی

فرض کنید دو بیمارستان با مشخصات یکسان طراحی شده‌اند.

بیمارستان اول با روش متداول.

بیمارستان دوم با جداساز لرزه‌ای.

در یک زلزله شدید :

- ممکن است هر دو ساختمان از فروریزش مصون بمانند.
- اما در بیمارستان دارای جداساز، تجهیزات حساس مانند دستگاه‌های تصویربرداری، تجهیزات اتاق عمل و سامانه‌های تأسیساتی، احتمالاً آسیب بسیار کمتری خواهند دید و ساختمان سریع‌تر به بهره‌برداری باز خواهد گشت.

این دقیقاً همان مفهوم طراحی مبتنی بر عملکرد و تاب‌آوری است که در ویرایش پنجم مورد توجه قرار گرفته است.

جمع‌بندی فصل هشتم

افزوده شدن فصل «سامانه‌های جداساز لرزه‌ای و میراگرها» نشان می‌دهد که استاندارد ۲۸۰۰ از یک آیین‌نامه صرفاً مقاومتی، به سندی حرکت کرده است که فناوری‌های نوین کنترل پاسخ لرزه‌ای را نیز به رسمیت می‌شناسد. این فصل، هرچند بیشتر برای پروژه‌های خاص و ساختمان‌های با اهمیت زیاد کاربرد دارد، اما مسیر آینده طراحی لرزه‌ای در ایران را ترسیم می‌کند.

جمع‌بندی نهایی کتاب

اکنون هفت فصل اصلی استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش پنجم را مرور کردیم. اگر بخواهیم مهم‌ترین تغییرات را اولویت‌بندی کنیم، به نظر من این موارد بیشترین تأثیر را بر مهندسی سازه در ایران خواهند داشت :

رتبه	تغییر	میزان اهمیت
۱	جایگزینی روش قدیمی تعیین خطر لرزه‌ای با $SD1$ ، SDS و SS	☆☆☆☆☆
۲	معرفی گروه‌های طراحی لرزه‌ای (SDC)	☆☆☆☆☆
۳	توسعه ضوابط تحلیل دینامیکی و تحلیل غیرخطی	☆☆☆☆☆
۴	فصل مستقل اجزای غیرسازه‌ای	☆☆☆☆☆
۵	توسعه الزامات ژئوتکنیکی و اندرکنش خاک و سازه	☆☆☆☆☆
۶	طراحی سازه‌های غیرساختمانی	☆☆☆☆☆
۷	ورود سامانه‌های جداساز لرزه‌ای و میراگرها	☆☆☆☆☆

از اینجا به بعد دیگر متن اصلی آیین‌نامه تمام شده است، ویرایش پنجم استاندارد ۲۸۰۰ علاوه بر ۷ فصل اصلی، ۸ پیوست تخصصی دارد که بسیاری از تغییرات واقعی آیین‌نامه در آن‌ها اتفاق افتاده است. متأسفانه اکثر مهندسان این پیوست‌ها را مطالعه نمی‌کنند، در حالی که بسیاری از ضوابط طراحی به آن‌ها ارجاع داده شده است.

پیشنهاد می‌کنم از اینجا به بعد کتاب را نیز ادامه دهیم و هر پیوست را مانند یک فصل مستقل بررسی کنیم.

فصل نهم

پیوست اول

تغییرات نقشه‌های خطر لرزه‌ای ایران و پارامترهای طراحی

چرا این پیوست مهم است؟

اگر بخواهیم بگوییم بزرگ‌ترین تغییر ویرایش پنجم از کجا آغاز می‌شود، پاسخ همین پیوست است.

تمام محاسبات جدید آیین‌نامه بر پایه داده‌های این پیوست انجام می‌شود.

یعنی :

- SS
- S1
- SDS
- SD1
- گروه طراحی لرزه‌ای

همگی از اطلاعات این پیوست استخراج می‌شوند.

ویرایش چهارم چگونه بود؟

در ویرایش چهارم تقریباً همه مهندسان این مسیر را طی می‌کردند :

نقشه پهنه‌بندی

↓

شتاب مبنای طرح A

↓

ضریب اهمیت

↓

ضریب بازتاب

↓

نیروی زلزله

سیستم نسبتاً ساده بود.

ویرایش پنجم چه تغییری ایجاد کرد؟

اکنون مسیر به شکل زیر است :

نقشه خطر لرزه‌ای

↓

SS

↓

S1

↓

ضریب ساختگاه

↓

SMS

↓

SM1

↓

SDS

↓

SD1

↓

گروه طراحی لرزه‌ای

↓

طیف طرح

↓

تحلیل سازه

یعنی تعداد مراحل بیشتر شده اما دقت نیز بسیار افزایش یافته است.

تفاوت فلسفه نقشه‌ها

در ویرایش چهارم :

هر شهر معمولاً یک عدد مشخص برای شتاب مبنای طرح داشت.

مثلاً :

$$A=0.35$$

اما این عدد نمی توانست رفتار ساختمان های مختلف را به خوبی توصیف کند.

در ویرایش پنجم :

برای هر ساختگاه،

دو پارامتر مستقل ارائه می شود :

SS

و

S1

این دو پارامتر بیانگر شدت خطر لرزه ای در دو ناحیه مهم طیف پاسخ هستند.

مزیت این تغییر

فرض کنید :

یک ساختمان ۳ طبقه

و

یک برج ۳۰ طبقه

در یک شهر ساخته شوند.

در روش قدیمی،

هر دو تقریباً از یک مقدار A استفاده می کردند.

اما اکنون،

به دلیل تفاوت دوره تناوب،
رفتار آن‌ها دقیق‌تر مدل می‌شود.

دقت بیشتر در نقشه‌ها

مطالعات جدید :

- گسل‌های فعال
- داده‌های لرزه‌نگاری
- رکوردهای جدید زلزله
- مدل‌های احتمالاتی خطر لرزه‌ای

باعث شده‌اند نقشه‌های جدید نسبت به ویرایش چهارم واقع‌بینانه‌تر باشند.

ارتباط با گروه طراحی لرزه‌ای

یکی از مهم‌ترین تغییرات این است که :

دیگر تنها شدت زلزله تعیین‌کننده نیست.

بلکه :

- SS
- S1
- نوع زمین
- اهمیت ساختمان

همگی با هم

گروه طراحی لرزه‌ای را تعیین می‌کنند.

چرا این موضوع اهمیت دارد؟

فرض کنید :

دو ساختمان

در یک شهر قرار دارند.

اما :

یکی بیمارستان است.

دیگری انبار معمولی.

در گذشته،

تنها ضریب اهمیت تفاوت ایجاد می کرد.

اما اکنون

کل فرآیند طراحی می تواند متفاوت شود.

اثر بر طراحی

این تغییر باعث می شود :

- انتخاب روش تحلیل
- کنترل نامنظمی
- محدودیت ارتفاع
- کنترل تغییر مکان
- طراحی اجزای غیرسازه ای

همگی دقیق تر انجام شوند.

تغییر مهم دیگر

در ویرایش پنجم،

احتمال استفاده از

طیف ویژه ساختگاه

نیز پیش بینی شده است.

در نتیجه

دیگر همه پروژه ها الزاماً از طیف استاندارد استفاده نمی کنند.

اثر بر نرم افزارهای طراحی

در گذشته،

مهندس معمولاً تنها مقدار A را وارد نرم افزار می کرد.

اما اکنون باید :

- SS
- S1
- نوع زمین
- SDS
- SD1

را استخراج و بر اساس آن طیف طراحی را تعریف کند.

بنابراین فرآیند تعریف بار زلزله در نرم افزارهایی مانند ETABS و SAP2000 نیز نسبت به گذشته تغییر کرده است.

مقایسه با ویرایش چهارم

موضوع	ویرایش چهارم	ویرایش پنجم
نقشه خطر	شتاب مبنای طرح A	پارامترهای SS و S1
تعداد پارامترها	یک پارامتر اصلی	چند پارامتر طیفی
وابستگی به دوره تناوب	محدود	مستقیم
دقت مدل خطر	کمتر	بیشتر
ارتباط با گروه طراحی لرزه‌ای	وجود نداشت	برقرار شده
طیف ویژه ساختگاه	محدود	توسعه یافته

نکته کلیدی

بسیاری از مهندسان تصور می کنند که SS و S1 فقط جایگزین A شده اند.

این برداشت دقیق نیست.

در حقیقت، کل فلسفه تعیین خطر لرزه‌ای تغییر کرده است؛ یعنی به جای استفاده از یک شتاب مبنا، طراحی بر پایه طیف خطر وابسته به دوره تناوب و ویژگی‌های ساختگاه انجام می شود. همین تغییر، زیربنای بسیاری از اصلاحات ویرایش پنجم است.

فصل دهم

پیوست دوم

تحلیل و طراحی بر مبنای عملکرد و روش‌های تحلیل غیرخطی

یکی از مهم‌ترین گام‌های استانداردها ۲۸۰۰ به سمت مهندسی زلزله نوین

مقدمه

تا چند دهه پیش، فلسفه طراحی لرزه‌ای بسیار ساده بود :

ساختمان نباید فرو بریزد.

اما امروزه مهندسی زلزله تنها به جلوگیری از فروریزش محدود نیست.

سؤال اصلی این است :

- آیا ساختمان بعد از زلزله قابل استفاده خواهد بود؟
- آیا تعمیر آن اقتصادی است؟
- آیا تجهیزات حیاتی همچنان کار خواهند کرد؟
- آیا تغییر شکل‌های ایجاد شده قابل قبول هستند؟

پاسخ به این پرسش‌ها، مفهوم طراحی مبتنی بر عملکرد (Performance-Based Seismic Design) را شکل داده است.

به همین دلیل، ویرایش پنجم استاندارد ۲۸۰۰ نسبت به ویرایش چهارم توجه بسیار بیشتری به تحلیل‌های غیرخطی و ارزیابی عملکرد داشته است و در پیوست‌های تخصصی، چارچوب لازم برای این رویکرد را ارائه می‌کند.

طراحی مبتنی بر عملکرد چیست؟

در طراحی سنتی سؤال این بود :

آیا مقاومت اعضا کافی است؟

اما در طراحی مبتنی بر عملکرد سؤال این است :

ساختمان بعد از یک زلزله مشخص، چه رفتاری خواهد داشت؟
به همین دلیل، عملکرد سازه در سطوح مختلف زلزله ارزیابی می‌شود.

سطوح عملکرد

در مهندسی زلزله، معمولاً سه سطح عملکرد اصلی مطرح می‌شود:

۱- بهره‌برداری بی‌وقفه (Immediate Occupancy - IO)

- آسیب بسیار کم
- ساختمان تقریباً قابل استفاده
- عملکرد تجهیزات حفظ می‌شود

۲- ایمنی جانی (Life Safety - LS)

- آسیب قابل توجه
- امکان تعمیر وجود دارد
- فروریزش رخ نمی‌دهد

۳- جلوگیری از فروریزش (Collapse Prevention - CP)

- خسارت شدید
- ساختمان در آستانه فروپاشی
- هدف اصلی، حفظ جان افراد است

تفاوت با ویرایش چهارم

در ویرایش چهارم، طراحی عمدتاً بر پایه نیرو و ضرایب رفتار انجام می‌شد و تحلیل‌های غیرخطی بیشتر در پروژه‌های خاص یا بر اساس آیین‌نامه‌های خارجی به کار می‌رفت.

در ویرایش پنجم، اگرچه روش طراحی متداول همچنان حفظ شده است، اما جایگاه تحلیل‌های غیرخطی و ارزیابی عملکرد به صورت رسمی تقویت شده و برای پروژه‌های خاص و سامانه‌های پیشرفته، ارجاعات و ضوابط روشن‌تری ارائه شده است.

تحلیل خطی یا غیر خطی؟

تحلیل خطی

فرض می کند :

تمام اعضا همیشه در محدوده الاستیک باقی می ماند.

مزایا :

- سریع
- ساده
- مناسب ساختمان های معمولی

محدودیت :

رفتار واقعی پس از جاری شدن مصالح را نشان نمی دهد.

تحلیل غیر خطی

در این تحلیل :

- جاری شدن فولاد
- خردشدگی بتن
- تشکیل مفاصل پلاستیک
- کاهش سختی
- بازتوزیع نیروها

در مدل لحاظ می شود.

در نتیجه، رفتار واقعی سازه بسیار دقیق تر پیش بینی می شود.

انواع تحلیل غیر خطی

ویرایش پنجم و پیوست های مرتبط به روش های متداول تحلیل غیر خطی اشاره می کنند، از جمله :

تحلیل استاتیکی غیر خطی (Pushover)

در این روش :

بار جانبی به تدریج افزایش می‌یابد تا ظرفیت نهایی سازه مشخص شود.

تحلیل دینامیکی غیرخطی (Nonlinear Time History)

در این روش :

رکورد واقعی زلزله به سازه اعمال می‌شود و پاسخ سازه در طول زمان محاسبه می‌شود.

این دقیق‌ترین روش تحلیل لرزه‌ای است، اما نیازمند مدل‌سازی و داده‌های ورودی مناسب است.

منحنی ظرفیت

یکی از خروجی‌های مهم تحلیل پاش آور :

منحنی ظرفیت است.

این منحنی نشان می‌دهد :

- چه مقدار نیرو
- در چه مقدار تغییر مکان

باعث تشکیل مفاصل پلاستیک و در نهایت رسیدن سازه به ظرفیت نهایی می‌شود.

مفصل پلاستیک

در طراحی سنتی :

هدف جلوگیری از تشکیل مفصل بود.

در طراحی نوین :

تشکیل مفصل پلاستیک کنترل شده و در محل‌های مناسب، بخشی از رفتار مطلوب سازه است.

هدف این است که :

- تیرها تسلیم شوند.
- ستون‌ها تا حد امکان سالم بمانند.

این همان فلسفه معروف ستون قوی-تیر ضعیف است.

چرا تحلیل غیرخطی مهم است؟

فرض کنید دو ساختمان :

هر دو دارای ضریب رفتار یکسان هستند.

در تحلیل خطی :

نتایج تقریباً مشابه خواهند بود.

اما در تحلیل غیرخطی ممکن است مشخص شود :

- یکی رفتار شکل پذیر دارد.
- دیگری به دلیل تمرکز تغییر شکل، زودتر به فروریزش نزدیک می شود.

کاربردهای عملی

تحلیل های غیرخطی معمولاً در پروژه های زیر کاربرد بیشتری دارند :

- ساختمان های بلند
- بیمارستان ها
- مراکز مدیریت بحران
- مقاوم سازی لرزه ای
- ساختمان های با اهمیت زیاد
- پروژه های دارای سامانه جداساز یا میراگر

ارتباط با نرم افزارها

ویرایش پنجم زمینه استفاده از تحلیل های پیشرفته را فراهم کرده است. در عمل، این تحلیل ها با نرم افزارهایی مانند :

- ETABS
- SAP2000
- OpenSees
- Perform-3D

قابل انجام هستند.

البته هر نرم افزار قابلیت ها و محدودیت های خاص خود را دارد و انتخاب آن باید متناسب با نوع پروژه و الزامات آیین نامه باشد.

تفاوت رویکرد

طراحی مبتنی بر عملکرد	طراحی سنتی
رفتار کل سازه	مقاومت اعضا
تغییر مکان	نیرو
عملکرد	تنش
مدل واقعی تر	ضرایب تقریبی
ارزیابی دقیق آسیب	پاسخ کلی

مقایسه با ویرایش چهارم

موضوع	ویرایش چهارم	ویرایش پنجم
طراحی مبتنی بر عملکرد	اشاره محدود	جایگاه پررنگ تر
تحلیل پوش آور	محدود	توسعه یافته
تحلیل تاریخچه زمانی غیر خطی	محدود	ضابطه مندتر
مفاصل پلاستیک	اشاره محدود	توجه بیشتر
ارزیابی عملکرد	کم رنگ	توسعه یافته

مثال کاربردی

فرض کنید یک ساختمان ۱۵ طبقه بتن آرمه برای مقاوم سازی بررسی می شود.

در ویرایش چهارم، ممکن بود تحلیل خطی و کنترل مقاومت اعضا کافی تلقی شود.

اما در ویرایش پنجم، برای پروژه ای با اهمیت بالا، تحلیل غیر خطی می تواند نشان دهد :

- اولین مفصل پلاستیک در کجا تشکیل می شود.
- مسیر گسترش آسیب چگونه است.
- آیا سازه به سطح ایمنی جانی (LS) می رسد یا وارد محدوده جلوگیری از فرو ریزش (CP) می شود.

این اطلاعات برای تصمیم گیری درباره مقاوم سازی بسیار ارزشمند است.

جمع‌بندی فصل دهم

توسعه مباحث مربوط به تحلیل‌های غیرخطی و طراحی مبتنی بر عملکرد، یکی از نشانه‌های بلوغ و پیرایش پنجم استاندارد ۲۸۰۰ است. هرچند طراحی متداول بر اساس تحلیل خطی همچنان برای بسیاری از ساختمان‌های معمولی کاربرد دارد، اما استاندارد جدید مسیر روشنی را برای استفاده از تحلیل‌های پیشرفته در پروژه‌های خاص، ساختمان‌های مهم و مقاوم‌سازی لرزه‌ای ترسیم کرده است. این رویکرد، همسو با روند جهانی مهندسی زلزله و استانداردهایی مانند **ASCE 41** و **Eurocode 8** است و زمینه را برای طراحی مبتنی بر عملکرد در پروژه‌های آینده فراهم می‌کند.

فصل یازدهم

پیوست سوم

دیافراگم‌ها و انتقال نیروی جانبی در ساختمان

یکی از مهم‌ترین تغییرات کاربردی ویرایش پنجم برای طراحان سازه

مقدمه

یکی از فرض‌های اساسی در تحلیل ساختمان‌ها این است که بارهای جانبی ناشی از زلزله، پس از ورود به ساختمان، به‌درستی بین اعضای باربر جانبی توزیع شوند.

این وظیفه بر عهده دیافراگم (Diaphragm) است.

اگر عملکرد دیافراگم به‌درستی در طراحی و اجرا در نظر گرفته نشود، حتی یک سیستم باربر جانبی بسیار قوی نیز ممکن است نتواند رفتار مطلوبی در زلزله داشته باشد.

به همین دلیل، ویرایش پنجم برای نخستین بار یک پیوست مستقل را به تحلیل و طراحی دیافراگم‌ها اختصاص داده است. این پیوست به رفتار دیافراگم، انتقال نیرو، کلکتورها (Collectors)، اجزای مرزی (Chords) و اثر بازشوها می‌پردازد.

دیافراگم چیست؟

دیافراگم بخشی از ساختمان است که نیروهای جانبی را از جرم ساختمان دریافت کرده و به سیستم باربر جانبی منتقل می‌کند.

در ساختمان‌های متداول، معمولاً این نقش را موارد زیر ایفا می‌کنند :

- دال بتن‌آرمه
- سقف کامپوزیت
- سقف عرشه فولادی
- سقف تیرچه‌بلوک (در صورت تأمین الزامات لازم)

نقش دیافراگم در زلزله

مسیر انتقال نیرو به صورت ساده چنین است :

زلزله

↓

جرم ساختمان

↓

دیافراگم

↓

کلکتورها

↓

دیوار برشی یا مهاربند یا قاب خمشی

↓

فونداسیون

↓

زمین

اگر در هر قسمت این مسیر ضعف وجود داشته باشد، انتقال صحیح نیرو مختل خواهد شد.

وضعیت در ویرایش چهارم

در ویرایش چهارم :

دیافراگم بیشتر به عنوان یک فرض تحلیلی مطرح بود.

در بسیاری از پروژه‌ها :

- سقف به صورت دیافراگم صلب تعریف می‌شد.
- بررسی دقیقی روی انتقال نیرو انجام نمی‌شد.
- طراحی کلکتورها کمتر مورد توجه قرار می‌گرفت.

تغییر اساسی در ویرایش پنجم

اکنون آیین نامه تأکید می کند که :
دیافراگم نیز یک عضو سازه ای است و باید تحلیل و طراحی شود.
این تغییر، یکی از مهم ترین اصلاحات مفهومی استاندارد است.

انواع دیافراگم

ویرایش پنجم سه رفتار اصلی را برای دیافراگم ها در نظر می گیرد :

۱- دیافراگم صلب (Rigid Diaphragm)

ویژگی ها :

- تغییر شکل درون صفحه ناچیز
- توزیع نیرو بر اساس سختی اعضای قائم

کاربرد :

- اکثر دال های بتن آرمه

۲- دیافراگم نیمه صلب (Semi-Rigid)

ویژگی ها :

- دارای تغییر شکل قابل توجه
- تحلیل دقیق تر نیاز دارد

کاربرد :

- عرشه فولادی
- برخی سقف های مرکب

۳- دیافراگم انعطاف پذیر (Flexible)

در این حالت :

نیرو تقریباً بر اساس سطح بارگیر توزیع می شود.

نمونه :

- برخی سقف های سبک فولادی یا چوبی

چرا این طبقه‌بندی مهم است؟

فرض کنید یک سقف عرشه فولادی را در نرم‌افزار به اشتباه **Rigid** تعریف کنید.

در این صورت :

- توزیع نیرو تغییر می‌کند.
- پیچش سازه ممکن است کمتر یا بیشتر از واقعیت محاسبه شود.
- طراحی دیوارهای برشی و مهاربندها تحت تأثیر قرار می‌گیرد.

بنابراین انتخاب نوع دیافراگم، مستقیماً بر نتایج تحلیل اثر دارد.

کلکتورها (Collectors)

یکی از مباحث جدید و بسیار مهم این پیوست.

کلکتورها اعضای هستند که :

نیروهای درون صفحه دیافراگم را جمع‌آوری کرده و به عناصر باربر جانبی منتقل می‌کنند.

در ساختمان‌های بتن‌آرمه، این نقش معمولاً توسط تیرهای پیرامونی یا نوارهای تقویتی دال ایفا می‌شود.

در سازه‌های فولادی نیز تیرهای خاص یا اعضای تقویتی می‌توانند به‌عنوان کلکتور عمل کنند.

اعضای مرزی (Chords)

در اثر خمش دیافراگم، در لبه‌های آن نیروهای کششی و فشاری ایجاد می‌شود.

اعضایی که این نیروها را تحمل می‌کنند، **Chord** نام دارند.

در بسیاری از پروژه‌های قدیمی، طراحی این اعضا به‌صورت مستقل انجام نمی‌شد.

ویرایش پنجم توجه ویژه‌ای به این موضوع دارد.

بازشوهای سقف

وجود بازشوهای بزرگ مانند :

- راه پله
- آسانسور
- نورگیر
- رایزرهای تأسیساتی

می‌تواند مسیر انتقال نیرو را تغییر دهد.

در ویرایش پنجم، اثر این بازشوها بر عملکرد دیافراگم با جزئیات بیشتری بررسی شده است.

نامنظمی دیافراگم

اگر دیافراگم دارای :

- بازشوهای بزرگ
- تغییر ناگهانی سختی
- تغییر شکل هندسی

باشد،

رفتار آن دیگر مشابه یک صفحه صلب نخواهد بود و ممکن است تحلیل پیشرفته‌تری لازم شود.

اثر بر نرم‌افزارهای تحلیلی

یکی از مهم‌ترین تغییرات عملی این پیوست در استفاده از نرم‌افزارهایی مانند ETABS است.

در گذشته، بسیاری از مهندسان تقریباً تمام سقف‌ها را **Rigid Diaphragm** تعریف می‌کردند.

اما اکنون لازم است :

- نوع واقعی دیافراگم تعیین شود.
- در صورت لزوم از مدل **Semi-Rigid** استفاده شود.
- اثر بازشوها در مدل لحاظ گردد.
- نیروهای کلکتورها و اعضای مرزی کنترل شوند.

مثال کاربردی

فرض کنید یک ساختمان دارای :

- یک هسته بتنی
- دو دیوار برشی

- سقف عرشه فولادی
- بازشوی بزرگ آسانسور

باشد.

اگر سقف به اشتباه صلب فرض شود، ممکن است :

- توزیع نیرو بین دیوارها نادرست باشد.
- پیچش واقعی ساختمان دیده نشود.
- کلکتورها کمتر از مقدار واقعی طراحی شوند.

در حالی که مدل نیمه صلب می تواند این رفتار را دقیق تر نشان دهد.

مقایسه با ویرایش چهارم

موضوع	ویرایش چهارم	ویرایش پنجم
پیوست مستقل برای دیافراگم	×	✓
طبقه بندی رفتار دیافراگم	محدود	کامل تر
طراحی کلکتورها	اشاره محدود	تشریح شده
اعضای مرزی (Chords)	تقریباً مطرح نبود	بررسی مستقل
اثر بازشوها	محدود	توسعه یافته
مدل سازی نیمه صلب	اشاره محدود	توجه ویژه

اشتباهات رایج مهندسان

بر اساس تجربه پروژه های اجرایی، متداول ترین خطاها عبارتند از :

۱. تعریف همه سقف ها به صورت دیافراگم صلب.
۲. نادیده گرفتن اثر بازشوها بزرگ.
۳. طراحی نکردن کلکتورها.
۴. کنترل نکردن نیروهای اعضای مرزی.
۵. فرض یکنواخت بودن انتقال نیرو در سقف های نامنظم.

ویرایش پنجم تلاش کرده است با ارائه ضوابط روشن تر، این خطاها را کاهش دهد.

جمع‌بندی فصل یازدهم

پیوست مربوط به دیافراگم‌ها یکی از کاربردی‌ترین بخش‌های ویرایش پنجم استاندارد ۲۸۰۰ است. این پیوست نشان می‌دهد که سقف ساختمان صرفاً یک عضو باربر ثقلی نیست، بلکه بخشی از سامانه مقاوم در برابر زلزله است و باید مانند سایر اجزای سازه تحلیل و طراحی شود. توجه به رفتار واقعی دیافراگم، طراحی کلکتورها، اعضای مرزی و اثر بازشوها می‌تواند دقت تحلیل لرزه‌ای و ایمنی ساختمان را به‌طور قابل توجهی افزایش دهد.

تهیه کننده: مجید کولیوند - دکترای مهندسی عمران، سازه - کانال تلگرام: <https://t.me/DrMKoolivandChannel>

فصل دوازدهم

پیوست چهارم

اندرکنش خاک و سازه (Soil-Structure Interaction - SSI)

گامی مهم در نزدیک شدن استاندارد ۲۸۰۰ به آیین‌نامه‌های پیشرفته دنیا

مقدمه

در تحلیل‌های متداول سازه، معمولاً فرض می‌شود که فونداسیون روی زمینی کاملاً صلب قرار دارد و هیچ‌گونه تغییرشکلی در تکیه‌گاه‌ها رخ نمی‌دهد.

این فرض اگرچه برای بسیاری از ساختمان‌های معمولی قابل قبول است، اما در همه پروژه‌ها صحیح نیست.

در ساختمان‌های بلند، سازه‌های سنگین، مخازن، بیمارستان‌ها، نیروگاه‌ها و سازه‌های واقع بر خاک‌های نرم، رفتار خاک می‌تواند پاسخ لرزه‌ای سازه را به‌طور قابل توجهی تغییر دهد.

به همین دلیل، ویرایش پنجم استاندارد ۲۸۰۰ یک پیوست مستقل را به اندرکنش خاک و سازه (SSI) اختصاص داده است.

اندرکنش خاک و سازه چیست؟

به زبان ساده :

ساختمان فقط از زلزله تأثیر نمی‌گیرد؛ بلکه خود ساختمان نیز بر رفتار خاک اثر می‌گذارد.

بنابراین :

زلزله

↓

خاک

↔

فونداسیون

↔

سازه

این تعامل دوطرفه، همان اندرکنش خاک و سازه است.

فرض صلب بودن پی

در بسیاری از پروژه‌های قدیمی :

خاک = کاملاً صلب

فرض می‌شد.

در نتیجه :

- هیچ نشست و وجود ندارد.
- هیچ دوران فونداسیونی ایجاد نمی‌شود.
- هیچ تغییر شکل خاکی وجود ندارد.

اما در واقعیت چنین نیست.

چرا SSI اهمیت دارد؟

وقتی خاک نرم باشد :

- پی کمی جابه‌جا می‌شود.
- سازه کمی می‌چرخد.
- زمان تناوب افزایش می‌یابد.
- پاسخ دینامیکی تغییر می‌کند.
- میرایی مؤثر افزایش پیدا می‌کند.

بنابراین نتایج تحلیل با فرض تکیه‌گاه صلب متفاوت خواهد بود.

تغییرات مهم نسبت به ویرایش چهارم

در ویرایش چهارم :

موضوع اندرکنش خاک و سازه تنها به صورت محدود مطرح شده بود.

اما در ویرایش پنجم :

- روش‌های ارزیابی SSI توسعه یافته‌اند.
- شرایط استفاده از تحلیل SSI مشخص‌تر شده است.
- سختی دینامیکی خاک بررسی می‌شود.
- روش تعیین فنرهای معادل ارائه شده است.
- اثر میرایی خاک تشریح شده است.

انواع اندرکنش

۱ - اندرکنش سینماتیکی (Kinematic Interaction)

در این حالت :

حرکت واقعی پی با حرکت سطح آزاد زمین متفاوت می‌شود.

علت :

وجود خود فونداسیون باعث تغییر مسیر انتشار امواج لرزه‌ای می‌شود.

۲ - اندرکنش اینرسیایی (Inertial Interaction)

پس از حرکت سازه :

نیروهای اینرسی به پی منتقل می‌شوند.

پی نیز خاک را تغییر شکل می‌دهد.

در نتیجه :

پاسخ سازه دوباره تغییر می‌کند.

این چرخه به صورت مداوم ادامه دارد.

سختی خاک

یکی از مهم‌ترین مفاهیم این پیوست :

سختی معادل خاک

است.

این سختی معمولاً در سه راستا بررسی می‌شود:

- قائم
- افقی
- دورانی

برای هر راستا روابط مشخصی ارائه شده است.

فنرهای معادل

در بسیاری از نرم‌افزارهای تحلیلی:

خاک توسط مجموعه‌ای از فنرها مدل می‌شود.

این فنرها می‌توانند:

- انتقال افقی
- انتقال قائم
- دوران حول محورهای مختلف

را شبیه‌سازی کنند.

میرایی خاک

در طراحی متداول:

میرایی عمدتاً مربوط به سازه در نظر گرفته می‌شود.

اما خاک نیز بخشی از انرژی زلزله را جذب می‌کند.

به همین دلیل:

پیوست چهارم نحوه لحاظ کردن میرایی ناشی از خاک را توضیح می‌دهد.

اثر بر زمان تناوب

یکی از مهم‌ترین نتایج SSI:

افزایش زمان تناوب سازه است.

فرض کنید :

زمان تناوب اولیه

$$T = 1.1 \text{ sec}$$

باشد.

در اثر اندرکنش خاک و سازه ممکن است به :

$$T = 1.35 \text{ sec}$$

برسد.

این تغییر مستقیماً بر :

- طیف طرح
- برش پایه
- تغییرمکان

اثر می گذارد.

آیا همیشه SSI باعث کاهش نیرو می شود؟

خیر.

این یکی از رایج ترین برداشت های نادرست است.

در برخی شرایط :

- برش پایه کاهش می یابد.

اما :

- تغییرمکان افزایش پیدا می کند.
- دررفت طبقات بیشتر می شود.
- اثرات مرتبه دوم تشدید می شود.

بنابراین باید کل پاسخ سازه بررسی شود، نه فقط مقدار نیروی زلزله.

چه ساختمان‌هایی باید SSI را بررسی کنند؟

به طور معمول :

✓ ساختمان‌های بلند

✓ سازه‌های سنگین

✓ نیروگاه‌ها

✓ بیمارستان‌ها

✓ پل‌ها

✓ مخازن

✓ سازه‌های واقع بر خاک نرم

و سایر پروژه‌هایی که آیین‌نامه یا مطالعات ژئوتکنیکی آن را ضروری بدانند.

اثر بر طراحی فونداسیون

در گذشته :

طراحی پی تقریباً مستقل از تحلیل سازه انجام می‌شد.

اما اکنون :

رفتار پی

و

رفتار سازه

به یکدیگر وابسته هستند.

بنابراین هماهنگی میان مهندس ژئوتکنیک و مهندس سازه اهمیت بیشتری پیدا کرده است.

مدل سازی در نرم افزارها

در نرم افزارهایی مانند :

- ETABS
- SAP2000
- ABAQUS
- OpenSees

می توان :

- فنرهای وینکلر
- ماتریس سختی
- مدل های سه بعدی خاک

را برای تحلیل SSI استفاده کرد.

البته انتخاب مدل مناسب باید بر اساس نوع پروژه و کیفیت اطلاعات ژئوتکنیکی انجام شود.

اشتباهات رایج

برخی از خطاهای متداول در پروژه ها عبارت اند از :

- فرض صلب بودن همه فونداسیون ها
- استفاده از سختی های تقریبی بدون گزارش ژئوتکنیک
- نادیده گرفتن میرایی خاک
- استفاده از فنرهای یکسان در همه جهات
- بی توجهی به دوران پی

ویرایش پنجم تلاش کرده است با ارائه چارچوب مشخص، این خطاها را کاهش دهد.

مقایسه با ویرایش چهارم

موضوع	ویرایش چهارم	ویرایش پنجم
پیوست مستقل SSI	محدود	کامل و توسعه یافته
سختی دینامیکی خاک	اشاره محدود	روابط و ضوابط روشن تر
فنرهای معادل	محدود	تشریح شده
میرایی خاک	کم رنگ	بررسی مستقل
اندرکنش سینماتیکی	تقریباً وجود نداشت	مطرح شده
اندرکنش اینرسیایی	محدود	توسعه یافته
اثر بر طیف طرح	محدود	دقیق تر

مثال کاربردی

فرض کنید یک برج ۲۵ طبقه روی خاک رس نرم ساخته می‌شود.

اگر تحلیل با فرض پی کاملاً صلب انجام شود، ممکن است :

- برش پایه بیشتر برآورد شود،
- اما تغییر مکان واقعی و دوران پی به درستی پیش‌بینی نشود.

در مقابل، تحلیل با در نظر گرفتن اندرکنش خاک و سازه می‌تواند تصویر واقع‌بینانه‌تری از پاسخ سازه ارائه دهد و مبنای مناسب‌تری برای طراحی اعضا و فونداسیون فراهم کند.

جمع‌بندی فصل دوازدهم

پیوست چهارم استاندارد ۲۸۰۰ نشان‌دهنده یکی از مهم‌ترین پیشرفت‌های ویرایش پنجم در حوزه مهندسی ژئوتکنیک و تحلیل لرزه‌ای است. این پیوست تأکید می‌کند که خاک تنها یک تکیه‌گاه نیست، بلکه بخشی از سامانه مقاوم در برابر زلزله است و رفتار آن می‌تواند پاسخ لرزه‌ای سازه را به‌طور معناداری تغییر دهد. استفاده صحیح از مفاهیم اندرکنش خاک و سازه، به‌ویژه در پروژه‌های مهم و ساختگاه‌های نرم، موجب افزایش دقت تحلیل و بهبود ایمنی و عملکرد سازه خواهد شد.

فصل سیزدهم

پیوست پنجم

تحلیل تاریخچه زمانی و انتخاب شتاب‌نگاشت‌های زلزله

راهنمای استفاده از رکوردهای واقعی زلزله در تحلیل دینامیکی سازه

مقدمه

در اغلب پروژه‌های ساختمانی، تحلیل لرزه‌ای با استفاده از تحلیل استاتیکی معادل یا تحلیل طیفی انجام می‌شود. این روش‌ها برای بسیاری از ساختمان‌های متعارف مناسب هستند، اما در برخی پروژه‌های خاص، برای پیش‌بینی دقیق رفتار سازه، لازم است از رکوردهای واقعی زلزله استفاده شود.

به همین دلیل، ویرایش پنجم استاندارد ۲۸۰۰ ضوابط انتخاب، اصلاح و استفاده از شتاب‌نگاشت‌ها را توسعه داده و در یک پیوست مستقل ارائه کرده است.

تحلیل تاریخچه زمانی چیست؟

در این روش، به جای اعمال یک نیروی معادل یا یک طیف پاسخ، شتاب واقعی زمین در طول زمان به مدل سازه اعمال می‌شود.

به بیان ساده :

به جای اینکه فقط بدانیم «حداکثر شتاب» چقدر است، کل حرکت زمین در هر لحظه از زمان وارد تحلیل می‌شود.

این روش می‌تواند پاسخ سازه را با دقت بسیار بیشتری نشان دهد.

تفاوت با تحلیل طیفی

تحلیل طیفی	تحلیل تاریخچه زمانی
مبتنی بر طیف طرح	مبتنی بر رکورد واقعی زلزله
پاسخ بیشینه را برآورد می کند	پاسخ لحظه به لحظه را محاسبه می کند
مناسب ساختمان های معمولی	مناسب پروژه های خاص و تحلیل های پیشرفته
سریع تر	زمان برتر و پیچیده تر

چرا انتخاب رکورد اهمیت دارد؟

همه زلزله ها یکسان نیستند.

دو زلزله با بزرگای مشابه ممکن است :

- مدت زمان متفاوتی داشته باشند.
- محتوای فرکانسی متفاوتی ایجاد کنند.
- پالس های سرعت متفاوتی داشته باشند.
- اثر کاملاً متفاوتی بر یک ساختمان بگذارند.

بنابراین انتخاب رکورد مناسب، یکی از مهم ترین مراحل تحلیل تاریخچه زمانی است.

معیارهای انتخاب رکورد

ویرایش پنجم تأکید می کند که رکوردهای انتخابی باید تا حد امکان با ویژگی های خطر لرزه ای و شرایط پروژه سازگار باشند.

مهم ترین معیارها عبارتند از :

- بزرگای زمین لرزه
- فاصله از گسل
- نوع سازوکار گسل
- شرایط ساختگاه
- محتوای فرکانسی رکورد
- سازگاری با طیف هدف

تعداد رکوردها

یکی از پرسش‌های رایج مهندسان این است :

آیا یک رکورد کافی است؟

پاسخ خیر است.

تحلیل بر پایه یک رکورد ممکن است نماینده رفتار واقعی نباشد.

به همین دلیل، آیین‌نامه استفاده از مجموعه‌ای از رکوردها را توصیه می‌کند تا عدم قطعیت موجود در حرکات زمین کاهش یابد.

مقیاس کردن رکوردها (Scaling)

رکوردهای واقعی معمولاً دقیقاً با طیف طراحی پروژه منطبق نیستند.

بنابراین لازم است قبل از استفاده، با روش‌های مناسب مقیاس شوند تا پاسخ آن‌ها با طیف هدف سازگار شود.

هدف از مقیاس کردن :

- حفظ شکل اصلی رکورد
- نزدیک شدن پاسخ طیفی به طیف طراحی
- ایجاد مبنای یکنواخت برای تحلیل

تطبیق طیفی (Spectrum Matching)

در برخی پروژه‌های مهم، صرف مقیاس کردن کافی نیست.

در این شرایط، از روش‌های تطبیق طیفی استفاده می‌شود تا طیف پاسخ رکورد با طیف هدف انطباق بیشتری پیدا کند.

این روش باید با دقت انجام شود تا ویژگی‌های فیزیکی رکورد به‌طور غیرواقعی تغییر نکند.

اثر نزدیک‌گسل

یکی از موضوعات مهم در ویرایش پنجم، توجه بیشتر به رکوردهای نزدیک‌گسل است.

این رکوردها ممکن است دارای :

- پالس سرعت بزرگ
- تغییر مکان‌های قابل توجه
- اثرات جهت‌پذیری (Directivity)

باشند و پاسخ سازه را به‌شدت تحت تأثیر قرار دهند.

تحلیل سه‌بعدی

در پروژه‌های مهم، لازم است مؤلفه‌های مختلف حرکت زمین به‌صورت مناسب در تحلیل لحاظ شوند.

این موضوع به‌ویژه در سازه‌های نامنظم یا دارای حساسیت پیچشی اهمیت زیادی دارد.

کاربردهای تحلیل تاریخچه زمانی

این روش معمولاً در پروژه‌های زیر استفاده می‌شود:

- ساختمان‌های بلندمرتبه
- بیمارستان‌ها
- مراکز مدیریت بحران
- سازه‌های مجهز به جداساز لرزه‌ای
- سازه‌های دارای میراگر
- پل‌ها
- سازه‌های صنعتی
- پروژه‌های با اهمیت زیاد

ارتباط با نرم‌افزارها

تحلیل تاریخچه زمانی در نرم‌افزارهایی مانند:

- ETABS
- SAP2000
- OpenSees
- Perform-3D

قابل انجام است.

در این نرم‌افزارها معمولاً مراحل زیر طی می‌شود:

۱. وارد کردن رکورد شتاب.
۲. تعریف گام زمانی مناسب.
۳. تعیین میرایی.

۴. اجرای تحلیل.
۵. استخراج پاسخ‌هایی مانند :
 - تغییر مکان
 - شتاب طبقات
 - نیروی اعضا
 - مفاصل پلاستیک

اشتباهات رایج

برخی از خطاهایی که در پروژه‌ها مشاهده می‌شود :

- استفاده از یک رکورد به جای مجموعه رکوردها
- انتخاب رکوردهای نامتناسب با شرایط ساختگاه
- مقیاس کردن نادرست رکوردها
- بی‌توجهی به مؤلفه قائم در پروژه‌های حساس
- انتخاب گام زمانی نامناسب

مثال کاربردی

فرض کنید قرار است یک برج ۳۰ طبقه در منطقه‌ای با خطر لرزه‌ای زیاد طراحی شود. در تحلیل طیفی، تنها پاسخ بیشینه سازه به طیف طراحی بررسی می‌شود.

اما در تحلیل تاریخچه زمانی، مهندس می‌تواند مشاهده کند که :

- در چه لحظه‌ای بیشترین تغییر مکان رخ می‌دهد.
- چه زمانی مفاصل پلاستیک تشکیل می‌شوند.
- کدام طبقات بیشترین شتاب را تجربه می‌کنند.
- رفتار سازه در طول کل زلزله چگونه تغییر می‌کند.

این اطلاعات برای ارزیابی عملکرد سازه بسیار ارزشمند است.

مقایسه با ویرایش چهارم

موضوع	ویرایش چهارم	ویرایش پنجم
ضوابط انتخاب رکورد	محدود	کامل تر و شفاف تر
مقیاس کردن رکوردها	اشاره کلی	تشریح دقیق تر
تطبیق طیفی	محدود	توسعه یافته
توجه به رکوردهای نزدیک گسل	کم رنگ	پررنگ تر
چارچوب تحلیل تاریخچه زمانی	محدود	منسجم تر

جمع‌بندی فصل سیزدهم

پیوست پنجم ویرایش پنجم استاندارد ۲۸۰۰، استفاده از تحلیل تاریخچه زمانی را از یک روش صرفاً پژوهشی به ابزاری مهندسی برای پروژه‌های خاص نزدیک‌تر کرده است. این پیوست با ارائه الزامات روشن‌تر برای انتخاب، مقیاس کردن و به‌کارگیری رکوردهای زلزله، دقت تحلیل‌های دینامیکی را افزایش داده و زمینه را برای طراحی مبتنی بر عملکرد و ارزیابی واقع‌بینانه‌تر پاسخ سازه فراهم می‌کند.

تهیه کننده: مجید کولیوند - دکترای مهندسی عمران، سازه - کانال تلگرام: <https://t.me/DrMKoolivandChannel>

فصل چهاردهم

پیوست ششم

ضوابط طراحی و اجرای اجزای غیرسازه‌ای

از طراحی صرف سازه تا تضمین عملکرد کل ساختمان پس از زلزله

مقدمه

در بسیاری از زلزله‌های بزرگ دنیا، ساختمان‌ها فرو نریختند، اما به دلیل آسیب گسترده به اجزای غیرسازه‌ای، عملاً از بهره‌برداری خارج شدند.

نمونه‌هایی از این آسیب‌ها عبارت‌اند از :

- سقوط نمای ساختمان
- ریزش سقف‌های کاذب
- تخریب دیوارهای جداکننده
- شکست لوله‌های تأسیساتی
- واژگونی تجهیزات مکانیکی و برقی
- شکستن شیشه‌ها

این تجربه‌ها باعث شد که در ویرایش پنجم، علاوه بر فصل چهارم، یک پیوست اجرایی و تخصصی نیز برای این اجزا تدوین شود.

هدف اصلی این پیوست

این پیوست سه هدف اساسی را دنبال می‌کند :

۱. حفظ جان افراد
۲. کاهش خسارت اقتصادی
۳. تداوم بهره‌برداری ساختمان پس از زلزله

به عبارت دیگر، ساختمان فقط نباید فرو نریزد؛ بلکه باید پس از زلزله نیز تا حد امکان قابل استفاده باقی بماند.

دامنه کاربرد

پیوست ششم طیف گسترده‌ای از اجزای غیرسازه‌ای را پوشش می‌دهد، از جمله :

اجزای معماری

- دیوارهای داخلی
- دیوارهای پیرامونی
- نما
- جان پناه
- سقف کاذب
- کف کاذب
- شیشه‌ها
- درها و پنجره‌ها

اجزای تأسیساتی

- کانال‌های هوا
- لوله‌های آب
- لوله‌های گاز
- سینی کابل
- تجهیزات برقی
- تجهیزات مکانیکی
- مخازن کوچک
- پمپ‌ها

تجهیزات خاص

- آسانسور
- تجهیزات بیمارستانی
- رک‌های سرور
- تجهیزات آزمایشگاهی
- تجهیزات صنعتی

مهم‌ترین تغییر نسبت به ویرایش چهارم

در ویرایش چهارم :

بسیاری از این موضوعات فقط به صورت توصیه های کلی مطرح شده بودند.

اما در ویرایش پنجم :

برای بسیاری از اجزا، ضوابط طراحی، مهاربندی، اتصالات و جزئیات اجرایی با دقت بیشتری ارائه شده است.

دیوارهای داخلی

یکی از پراسیب ترین اجزای ساختمان در زلزله.

پیوست ششم به مواردی مانند :

- اتصال مناسب دیوار به سازه
- درزهای جداسازی
- محدودیت طول و ارتفاع
- مهاربندی دیوار
- جلوگیری از شکست خارج از صفحه

می پردازد.

دیوارهای پانلی و سبک

با گسترش استفاده از :

- پنل های گچی
- دیوارهای سبک
- سیستم های خشک

نیاز به ضوابط اختصاصی احساس می شد.

ویرایش پنجم برای این سیستم ها نیز الزامات اجرایی مشخص تری ارائه کرده است.

نمای ساختمان

یکی از مهم ترین موضوعات این پیوست.

در زلزله های گذشته، سقوط نما یکی از عوامل اصلی ایجاد خسارت و تلفات بوده است.

پیوست ششم بر موارد زیر تأکید دارد :

- طراحی اتصالات
- مهار مناسب نما
- امکان تغییر مکان نسبی طبقات
- جلوگیری از جداشدگی پنل ها

سقف کاذب

در گذشته معمولاً سقف کاذب به عنوان یک جزء معماری ساده در نظر گرفته می شد.

اما اکنون برای آن موارد زیر بررسی می شود :

- مهاربندی لرزه ای
- نحوه آویزها
- فاصله مهارها
- کنترل تغییر مکان
- جلوگیری از ریزش

شیشه ها

شکستن شیشه ها می تواند علاوه بر خسارت مالی، خطر جدی برای افراد ایجاد کند.

به همین دلیل، پیوست به موضوعاتی مانند :

- لقی مناسب شیشه
- فضای حرکت قاب
- جلوگیری از گیر کردن شیشه

توجه ویژه ای دارد.

تأسیسات مکانیکی و برقی

یکی از مهم ترین توسعه های ویرایش پنجم.

پیوست برای تجهیزات زیر الزامات مهاربندی لرزه ای ارائه می کند :

- کانال ها
- لوله ها
- چیلر

- هواساز
- تابلو برق
- ژنراتور
- تجهیزات سنگین

هدف آن است که تجهیزات در هنگام زلزله جابه‌جا یا واژگون نشوند.

آسانسورها

آسانسور علاوه بر جنبه بهره‌برداری، یک موضوع ایمنی نیز محسوب می‌شود.

در این پیوست، به هماهنگی اجزای مرتبط با چاه آسانسور، ریل‌ها و اتصالات با تغییر مکان لرزه‌ای ساختمان توجه شده است.

اهمیت اجرای صحیح

یکی از نکات کلیدی این پیوست آن است که:

حتی بهترین طراحی، بدون اجرای صحیح، عملکرد مطلوبی نخواهد داشت.

به همین دلیل، بسیاری از الزامات این پیوست مستقیماً متوجه مرحله اجرا و کنترل کیفیت هستند.

مثال کاربردی

فرض کنید در یک بیمارستان:

- سازه سالم باقی مانده است.
- اما سقف کاذب اتاق عمل فرو می‌ریزد.
- لوله‌های اکسیژن می‌شکنند.
- رک‌های تجهیزات پزشکی واژگون می‌شوند.

در این حالت، هرچند سازه فرو نریخته، اما بیمارستان عملاً از مدار بهره‌برداری خارج می‌شود.

هدف این پیوست جلوگیری از چنین شرایطی است.

اثر بر فرآیند طراحی

پس از انتشار ویرایش پنجم، مسئولیت مهندس محاسب تنها به طراحی تیر، ستون و دیوار برشی محدود نمی‌شود.

اکنون لازم است هماهنگی میان :

- مهندس سازه
- معمار
- مهندس مکانیک
- مهندس برق
- مجری پروژه

برای طراحی و اجرای اجزای غیرسازه‌ای نیز برقرار باشد.

مقایسه با ویرایش چهارم

موضوع	ویرایش چهارم	ویرایش پنجم
پیوست مستقل	×	✓
دیوارهای غیرسازه‌ای	ضوابط محدود	توسعه یافته
نمای ساختمان	اشاره کلی	الزامات دقیق تر
سقف کاذب	بسیار محدود	ضوابط اجرایی مستقل
تجهیزات مکانیکی	محدود	مهاربندی لرزه‌ای مشخص
تجهیزات برقی	محدود	توسعه یافته
شیشه‌ها	اشاره کلی	الزامات روشن تر
هماهنگی بین رشته‌ها	کم رنگ	بسیار پررنگ

اشتباهات رایج در پروژه‌ها

بر اساس تجربه پروژه‌های اجرایی، مهم‌ترین خطاها عبارت‌اند از :

- اتصال صلب دیوارهای جداکننده به قاب بدون پیش‌بینی درز مناسب.
- اجرای نمای سنگی بدون مهار مکانیکی کافی.
- نصب سقف کاذب بدون مهاربندی لرزه‌ای.
- مهار نکردن تجهیزات سنگین تأسیساتی.
- عبور لوله‌ها و کانال‌ها بدون پیش‌بینی فضای تغییر مکان.

ویرایش پنجم تلاش کرده است با ارائه جزئیات اجرایی، احتمال وقوع این خطاها را کاهش دهد.

جمع‌بندی فصل چهاردهم

پیوست ششم استاندارد ۲۸۰۰ را می‌توان یکی از مهم‌ترین اسناد اجرایی این ویرایش دانست. این پیوست نشان می‌دهد که ایمنی لرزه‌ای تنها به مقاومت اسکلت محدود نیست و عملکرد اجزای معماری، نما، دیوارها، تأسیسات و تجهیزات نیز نقش تعیین‌کننده‌ای در حفظ جان افراد و تداوم بهره‌برداری ساختمان دارند. توسعه این ضوابط، استاندارد ۲۸۰۰ را یک گام دیگر به سمت طراحی مبتنی بر عملکرد و تاب‌آوری نزدیک کرده است.

تهیه کننده: مجید کولیوند - دکترای مهندسی عمران، سازه - کانال تلگرام: <https://t.me/DrMKoolivandChannel>

فصل پانزدهم

پیوست هفتم

تعیین زمان تناوب اصلی سازه‌های غیرساختمانی

دقیق‌تر شدن تحلیل لرزه‌ای تجهیزات و سازه‌های صنعتی

مقدمه

یکی از مهم‌ترین پارامترهای هر تحلیل لرزه‌ای، زمان تناوب اصلی (Fundamental Period) است. این پارامتر تعیین می‌کند که سازه چگونه به ارتعاشات زمین پاسخ خواهد داد و مستقیماً بر:

- مقدار شتاب طیفی
- برش پایه
- تغییر مکان
- نیروهای داخلی اعضا

تأثیر می‌گذارد.

در ساختمان‌های متعارف، زمان تناوب معمولاً با روابط آیین‌نامه‌ای یا تحلیل سازه به دست می‌آید. اما در مورد سازه‌های غیرساختمانی مانند مخازن، سیلوها، دکل‌ها و سازه‌های نگهدارنده تجهیزات، رفتار دینامیکی متفاوت است و استفاده از روابط ساختمان‌ها می‌تواند نتایج نادرستی ایجاد کند.

به همین دلیل، ویرایش پنجم استاندارد ۲۸۰۰ پیوست هفتم را به تعیین زمان تناوب این سازه‌ها اختصاص داده است.

چرا زمان تناوب اهمیت دارد؟

در تحلیل طیفی، شتاب طراحی تابعی از زمان تناوب سازه است.

اگر زمان تناوب کمتر از مقدار واقعی در نظر گرفته شود:

- ممکن است نیروهای لرزه‌ای بیش از مقدار واقعی محاسبه شوند.

اگر بیشتر از مقدار واقعی فرض شود:

- احتمال کاهش غیرواقعی برش پایه و طراحی نایمن وجود دارد.
- بنابراین، تعیین صحیح زمان تناوب یکی از پایه‌های طراحی لرزه‌ای است.

مشکل ویرایش چهارم

در ویرایش چهارم، برای بسیاری از سازه‌های غیرساختمانی رابطه اختصاصی وجود نداشت.

در نتیجه، طراحان معمولاً:

- از روابط ساختمان‌ها استفاده می‌کردند،
- یا به آیین‌نامه‌های خارجی مراجعه می‌کردند.

این موضوع باعث ایجاد ناهماهنگی در طراحی پروژه‌های صنعتی می‌شد.

رویکرد ویرایش پنجم

ویرایش پنجم این خلأ را برطرف کرده و برای گروه‌های مختلف سازه‌های غیرساختمانی، روش‌های مناسب‌تری برای برآورد زمان تناوب معرفی کرده است.

هدف این است که:

رفتار واقعی سازه، مبنای تحلیل قرار گیرد، نه صرفاً یک رابطه تجربی مربوط به ساختمان‌ها.

سازه‌هایی که این پیوست پوشش می‌دهد

این پیوست برای طیف وسیعی از سازه‌ها کاربرد دارد، از جمله:

- مخازن قائم
- مخازن هوایی
- سیلوها
- دودکش‌ها
- برج‌های خنک‌کننده
- دکل‌ها
- سازه‌های نگهدارنده تجهیزات
- قاب‌های صنعتی
- تجهیزات فرآیندی

عوامل مؤثر بر زمان تناوب

زمان تناوب این سازه‌ها تنها به ارتفاع وابسته نیست.

عواملی مانند :

- جرم سازه
- توزیع جرم
- سختی اعضا
- نوع تکیه‌گاه
- شکل هندسی
- وجود سیال در مخازن
- انعطاف پذیری اتصالات

همگی بر پاسخ دینامیکی اثر می‌گذارند.

تفاوت مخزن پر و خالی

یکی از مثال‌های مهم این پیوست، رفتار مخازن است.

یک مخزن خالی و همان مخزن در حالت پر از آب، زمان تناوب یکسانی ندارند.

زیرا جرم سیال و اندرکنش سیال-سازه بر پاسخ دینامیکی اثر می‌گذارد.

این موضوع در طراحی لرزه‌ای مخازن بسیار مهم است.

اهمیت در تحلیل طیفی

پس از تعیین زمان تناوب :

- مقدار شتاب طیفی متناظر استخراج می‌شود.
- نیروی زلزله محاسبه می‌شود.
- طراحی اعضا انجام می‌شود.

بنابراین، خطا در تعیین زمان تناوب می‌تواند کل فرآیند طراحی را تحت تأثیر قرار دهد.

ارتباط با تحلیل مودال

در بسیاری از پروژه‌ها، زمان تناوب از طریق تحلیل مودال به دست می‌آید.

اما پیوست هفتم به مهندس کمک می‌کند تا :

- مقدار به دست آمده از نرم افزار را ارزیابی کند،
- و از معقول بودن نتایج اطمینان حاصل نماید.

اثر بر نرم افزارهای تحلیلی

در نرم افزارهایی مانند :

- SAP2000
- ETABS
- OpenSees
- ABAQUS

تحلیل مودال معمولاً زمان تناوب را محاسبه می‌کند.

اما کیفیت این نتایج به :

- مدل سازی صحیح جرم،
- شرایط تکیه گاهی،
- سختی اعضا،
- و تعریف مناسب اجزای غیرسازه‌ای

وابسته است.

پیوست هفتم چارچوبی برای کنترل این نتایج در اختیار طراح قرار می‌دهد

اشتباهات رایج

از جمله خطاهایی که در پروژه‌ها دیده می‌شود :

- استفاده از روابط ساختمان‌ها برای سازه‌های صنعتی.
- نادیده گرفتن جرم تجهیزات.
- مدل سازی نادرست مخازن حاوی سیال.
- کنترل نکردن نتایج تحلیل مودال.
- فرض یکسان بودن رفتار همه سازه‌های غیرساختمانی.

ویرایش پنجم تلاش کرده است این خطاها را کاهش دهد.

مثال کاربردی

فرض کنید قرار است یک مخزن فولادی مرتفع در یک مجتمع پتروشیمی طراحی شود.

اگر زمان تناوب آن با رابطه مربوط به یک ساختمان بتن آرمه برآورد شود، احتمال دارد :

- شتاب طیفی نادرست انتخاب شود،
- برش پایه اشتباه محاسبه شود،
- و طراحی پایه‌ها یا مهاربندها از نظر اقتصادی یا ایمنی مناسب نباشد.

استفاده از ضوابط این پیوست، تحلیل را به رفتار واقعی سازه نزدیک‌تر می‌کند.

مقایسه با ویرایش چهارم

موضوع	ویرایش چهارم	ویرایش پنجم
پیوست اختصاصی	X	✓
روابط زمان تناوب سازه‌های غیرساختمانی	بسیار محدود	توسعه یافته
پوشش مخازن و سیلوها	محدود	جامع‌تر
کنترل نتایج تحلیل مودال	اشاره محدود	پررنگ‌تر
هماهنگی با تحلیل طیفی	محدود	کامل‌تر

جمع‌بندی فصل پانزدهم

پیوست هفتم یکی از مهم‌ترین گام‌های ویرایش پنجم در توسعه دامنه استاندارد ۲۸۰۰ به سمت سازه‌های صنعتی و غیرساختمانی است. این پیوست با ارائه روش‌های مناسب‌تر برای تعیین زمان تناوب، دقت تحلیل لرزه‌ای را افزایش داده و از استفاده نادرست از روابط مربوط به ساختمان‌های متعارف برای تجهیزات و سازه‌های ویژه جلوگیری می‌کند. در پروژه‌های صنعتی، انتخاب صحیح زمان تناوب می‌تواند تأثیر قابل توجهی بر نیروهای طراحی، هزینه اجرا و سطح ایمنی داشته باشد.

فصل شانزدهم

پیوست هشتم

طیف‌های ویژه ساختگاه و مطالعات خطر ویژه لرزه‌ای

پیشرفته‌ترین بخش استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش پنجم

مقدمه

در تمام فصل‌های گذشته مشاهده کردیم که ویرایش پنجم تلاش کرده است طراحی لرزه‌ای را از روش‌های ساده و تجربی، به سمت تحلیل‌های دقیق‌تر و مبتنی بر ویژگی‌های واقعی ساختگاه هدایت کند.

آخرین گام این مسیر، پیوست هشتم است.

در این پیوست، استاندارد بیان می‌کند که برای برخی پروژه‌های مهم، استفاده از طیف استاندارد آیین‌نامه ممکن است کافی نباشد و لازم است طیف پاسخ ویژه ساختگاه (Site-Specific Response Spectrum) بر اساس مطالعات تخصصی تهیه شود.

این رویکرد، یکی از مهم‌ترین تفاوت‌های ویرایش پنجم با ویرایش چهارم است و نشان‌دهنده حرکت استاندارد به سمت طراحی مبتنی بر شناخت دقیق خطر لرزه‌ای هر محل است.

چرا طیف استاندارد همیشه کافی نیست؟

طیف استاندارد آیین‌نامه برای اکثر ساختمان‌های معمولی مناسب است، زیرا بر اساس شرایط عمومی و محافظه‌کارانه تدوین شده است.

اما در برخی پروژه‌ها، شرایط ساختگاه می‌تواند به‌طور قابل توجهی با فرضیات عمومی متفاوت باشد.

برای مثال :

- وجود لایه‌های بسیار نرم خاک
- مجاورت با گسل‌های فعال
- تغییرات شدید زمین‌شناسی
- ساختگاه‌های با توپوگرافی خاص

- پروژه‌های بسیار مهم و حساس

در چنین شرایطی، استفاده از طیف عمومی ممکن است پاسخ واقعی سازه را به درستی نشان ندهد.

طیف ویژه ساختگاه چیست؟

طیف ویژه ساختگاه، طیفی است که به جای استفاده از روابط عمومی آیین‌نامه، بر اساس مطالعات اختصاصی همان محل تهیه می‌شود.

برای تهیه این طیف معمولاً موارد زیر بررسی می‌شوند:

- ویژگی‌های ژئوتکنیکی ساختگاه
- سرعت موج برشی لایه‌های خاک
- پروفیل زمین
- فاصله تا گسل‌های مؤثر
- ویژگی‌های لرزه‌زمین‌ساختی منطقه
- تحلیل خطر لرزه‌ای احتمالاتی یا تعیینی

در نتیجه، طیف حاصل نماینده رفتار واقعی همان ساختگاه خواهد بود.

چه پروژه‌هایی به این مطالعات نیاز دارند؟

مطالعات ویژه ساختگاه معمولاً برای پروژه‌هایی انجام می‌شود که اهمیت یا حساسیت بالایی دارند، مانند:

- بیمارستان‌های مرجع
- نیروگاه‌ها
- سدها
- مراکز مدیریت بحران
- پالایشگاه‌ها
- پتروشیمی‌ها
- ساختمان‌های بسیار بلند
- زیرساخت‌های حیاتی

در این پروژه‌ها، دقت بیشتر در تعیین خطر لرزه‌ای، نقش مهمی در ایمنی و تداوم بهره‌برداری دارد.

مراحل تهیه طیف ویژه ساختگاه

به‌طور خلاصه، فرآیند تهیه طیف ویژه شامل مراحل زیر است:

۱. مطالعات زمین‌شناسی و ژئوتکنیکی
۲. شناسایی منابع لرزه‌زا و گسل‌های مؤثر
۳. تحلیل خطر لرزه‌ای
۴. انتخاب یا شبیه‌سازی رکوردهای مناسب
۵. تحلیل پاسخ ساختمان
۶. استخراج طیف طراحی ویژه

این فرآیند معمولاً توسط تیمی متشکل از مهندسان ژئوتکنیک، زلزله و سازه انجام می‌شود.

تفاوت با ویرایش چهارم

در ویرایش چهارم نیز امکان استفاده از مطالعات ویژه وجود داشت، اما ضوابط آن محدودتر و کمتر نظام‌مند بود. ویرایش پنجم با توسعه این مباحث، جایگاه مطالعات ویژه را شفاف‌تر کرده و مسیر استفاده از آن‌ها را روشن‌تر ساخته است.

ارتباط با سایر فصل‌های استاندارد

پیوست هشتم در واقع جمع‌بندی تمام تغییرات ویرایش پنجم است.

این پیوست با موضوعات زیر ارتباط مستقیم دارد :

- نقشه‌های جدید خطر لرزه‌ای
- پارامترهای SS و S1
- گروه طراحی لرزه‌ای
- طبقه‌بندی ساختمان
- تحلیل تاریخچه زمانی
- تحلیل مبتنی بر عملکرد
- اندرکنش خاک و سازه

به بیان دیگر، بسیاری از مفاهیمی که در فصل‌های قبل آموختیم، در این پیوست به صورت یکپارچه به کار گرفته می‌شوند.

مزایای استفاده از طیف ویژه

در پروژه‌هایی که مطالعات ویژه انجام می‌شود :

- تحلیل به شرایط واقعی ساختمان نزدیک‌تر است.
- احتمال طراحی بیش از حد یا کمتر از حد کاهش می‌یابد.
- پاسخ لرزه‌ای با دقت بیشتری برآورد می‌شود.
- تصمیم‌گیری درباره سامانه باربر جانبی منطقی‌تر خواهد بود.

البته انجام این مطالعات نیازمند اطلاعات ژئوتکنیکی دقیق، تخصص بالا و هزینه بیشتر است.

مثال کاربردی

فرض کنید دو بیمارستان با سازه‌ای یکسان در دو محل مختلف ساخته می‌شوند.

- بیمارستان اول روی خاک متراکم قرار دارد.
- بیمارستان دوم روی خاک نرم و نزدیک یک گسل فعال.

اگر هر دو تنها بر اساس طیف استاندارد طراحی شوند، ممکن است تفاوت واقعی خطر لرزه‌ای آن‌ها به طور کامل منعکس نشود. استفاده از طیف ویژه ساختگاه می‌تواند این تفاوت را در طراحی نشان دهد و منجر به انتخاب مناسب‌تر سیستم سازه‌ای و جزئیات اجرایی شود.

مقایسه با ویرایش چهارم

موضوع	ویرایش چهارم	ویرایش پنجم
جایگاه طیف ویژه ساختگاه	محدود	توسعه یافته و نظام مند
ارتباط با تحلیل خطر لرزه‌ای	محدود	پررنگ تر
استفاده از مطالعات ژئوتکنیکی	کمتر	گسترده تر
هماهنگی با طراحی مبتنی بر عملکرد	محدود	بیشتر
ارتباط با سایر پیوست‌ها	کم	یکپارچه

جمع بندی فصل شانزدهم

پیوست هشتم را می‌توان نقطه اوج ویرایش پنجم استاندارد ۲۸۰۰ دانست. این پیوست نشان می‌دهد که طراحی لرزه‌ای آینده، بیش از آنکه بر روابط ثابت و ساده متکی باشد، بر شناخت دقیق ساختگاه، ویژگی‌های زمین و تحلیل‌های پیشرفته استوار خواهد بود. برای ساختمان‌های متعارف، استفاده از طیف‌های استاندارد همچنان پاسخگوی نیازهای طراحی است؛ اما برای پروژه‌های مهم و حساس، مطالعات ویژه ساختگاه می‌توانند ایمنی و قابلیت اطمینان طراحی را به طور قابل توجهی افزایش دهند.

جمع بندی نهایی کتاب

اکنون که تمام فصل‌ها و پیوست‌های استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش پنجم را مرور کردیم، می‌توان مهم‌ترین تغییرات این ویرایش را در چند محور خلاصه کرد:

۱. تغییر فلسفه تعیین خطر لرزه‌ای

- حذف رویکرد مبتنی بر شتاب مبنای طرح (A)
- استفاده از پارامترهای طیفی مانند SS، S1، SDS و SD1
- تعریف گروه طراحی لرزه‌ای

۲. توجه بیشتر به شرایط واقعی ساختگاه

- بازنگری در طبقه‌بندی ساختگاه
- توسعه مطالعات پاسخ ساختگاه
- معرفی طیف ویژه ساختگاه

۳. توسعه روش‌های تحلیل

- تأکید بیشتر بر تحلیل دینامیکی
- جایگاه روشن‌تر تحلیل تاریخچه زمانی
- تقویت مباحث تحلیل غیرخطی و طراحی مبتنی بر عملکرد

۴. توجه به عملکرد واقعی ساختمان

- توسعه ضوابط اجزای غیرسازه‌ای
- توجه به بهره‌برداری پس از زلزله
- کاهش خسارت‌های عملکردی

۵. گسترش دامنه استاندارد

- پوشش بهتر سازه‌های غیرساختمانی
- توجه به تجهیزات صنعتی
- توسعه مباحث اندرکنش خاک و سازه

۶. هم‌راستایی با آیین‌نامه‌های بین‌المللی

ویرایش پنجم در بسیاری از مفاهیم، به استانداردهای روز دنیا نزدیک‌تر شده و از رویکرد صرفاً مقاومتی به سمت طراحی مبتنی بر عملکرد، تحلیل پیشرفته و مدیریت خطر لرزه‌ای حرکت کرده است.