

آیین نامه ACI 318-05 یکی از معتبرترین آیین نامه‌ها برای طراحی سازه‌های ساختمانی بتن مسلح است که در کشور ما نیز در کنار سایر آیین نامه‌ها کاربرد گسترده‌ای برای طراحی سازه‌های بتنی دارد. در فصل 21 این آیین نامه و فصل 20 مبحث نهم مقررات ملی ساختمان، ضوابط ویژه‌ای برای طراحی سازه‌های موجود در مناطق لرزه‌خیز گنجانده شده است.

هدف اصلی این کتاب، تفهیم عمیق‌تر فصل 21 آیین نامه ACI31-05 و فصل 20 مبحث نهم مقررات ملی ساختمان از طریق شکل‌های مختلف در مورد جزییات آرماتورگذاری و ارتباط دادن آن با بندهای متناظر در این آیین نامه‌ها است. امیدواریم آنچه در این کتاب نگارش شده است راه‌گشای حل برخی از مسائل موجود در زمینه طراحی سازه‌های بتن مسلح باشد. پست الکترونیک نشر علم عمران [info@elme-omran.com](mailto:info@elme-omran.com) آماده دریافت نظرها، پیشنهادهای و انتقادات شما در مورد نشر علم عمران و محصولات آن است.

نشر علم عمران

## مقدمه نویسندگان

طی سالیان دراز، پهنه لرزه‌خیز ایران در گوشه و کنار خود، وقوع زلزله‌های مکرری را تجربه کرده و هر چند سال یکبار رویداد زلزله‌ای ویرانگر در نقطه‌ای از کشور، خسارات جانی و مالی فراوانی به بار آورده است.

بررسی زلزله‌های اخیر مانند زلزله رودبار، منجیل، بم به وضوح آسیب‌پذیری لرزه‌ای ساختمانها را نمایان ساخته است. در بسیاری از موارد، علت اصلی خرابی‌ها عدم درک صحیح از آیین‌نامه‌ها و اجرای نامناسب جزئیات اجرایی مربوط به سازه‌ها تشخیص داده شده است. طبق ویرایش سوم آیین‌نامه طراحی ساختمانها در برابر زلزله (استاندارد ۲۸۰۰)، اکثر شهرهای مهم کشور ما از لحاظ درجه‌بندی خطر نسبی لرزه‌خیزی، جزو پهنه با خطر نسبی زیاد هستند. کتاب حاضر اقتباسی از فصل 21 آیین‌نامه بتن آمریکا ACI 318-05 بوده و خلاصه‌ای از ضوابط و جزئیات اجرایی سازه‌های بتنی واقع در مناطق با خطر نسبی زیاد را بیان می‌کند.

جدول‌ها و شکل‌های موجود در کتاب، نشان‌دهنده خلاصه‌ای از ضوابط و جزئیات اجرایی مربوط به اعضای مورد بحث در کتاب هستند. هر جدول شامل ضوابط اجرایی مشخص شده به همراه شماره بند مطابق با آیین‌نامه ACI 318-05 است. وجود شکل‌های متناظر بندها، تفسیر بندهای مورد نظر آیین‌نامه را آسان‌تر می‌کند. در قسمت‌هایی از کتاب، به بندهایی از فصول دیگر آیین‌نامه به غیر از فصل 21 اشاره شده که این بندها در قسمت پیوست کتاب آورده شده‌اند.

در ویرایش کنونی کتاب ضوابط و جزئیات اجرایی سازه‌های بتنی واقع در مناطق زلزله‌خیز بر اساس مبحث نهم مقررات ملی ساختمان نیز به آن افزوده شده است.

امید است تالیف این کتاب گامی در جهت ارتقای دانش فنی و اجرایی مهندسين و بهبود ساخت و ساز در کشور باشد. تمام سعی مترجم در ارائه بی‌عیب و نقص این مجموعه بوده است. با این وجود امکان دارد علیرغم ویرایش‌های مکرر، نواقصی در کتاب وجود داشته باشد. مترجم از نظرها و پیشنهادهای مفید خوانندگان گرامی در بهبود مجموعه حاضر استقبال کرده و آماده دریافت آن از طریق آدرس اینترنتی [Ghazipour@elme-omran.com](mailto:Ghazipour@elme-omran.com) است.

وحید قاضی‌پور

تهران- زمستان ۱۳۸۶

سید مهدی داودنوبی

سید مهیار لاجوردی

بخش اول: جزییات آرماتورگذاری لرزه‌ای در مناطق زلزله‌خیز بر اساس ACI 318-05 ..... ۱

فصل اول: معرفی ..... ۳

۱-۱- ملاحظات کلی ..... ۳

۲-۱- ضوابط و مقررات عمومی ..... ۵

۳-۱- دامنه کاربرد بخش اول کتاب ..... ۷

فصل دوم: اعضای خمشی قاب‌های خمشی ویژه ..... ۹

۱-۲- ضوابط کلی ..... ۹

۲-۲- آرماتورهای طولی ..... ۹

۳-۲- آرماتورهای عرضی ..... ۱۳

فصل سوم: اعضای قاب‌های خمشی ویژه تحت بارهای خمشی و محوری ..... ۱۷

۱-۳- ضوابط کلی ..... ۱۷

۲-۳- حداقل مقاومت خمشی ستونها ..... ۱۷

۳-۳- آرماتورهای طولی ..... ۱۹

۴-۳- آرماتورهای عرضی ..... ۲۱

فصل چهارم: گره‌های قاب‌های خمشی ویژه ..... ۲۷

۱-۴- ضوابط کلی ..... ۲۷

۲-۴- آرماتورهای عرضی ..... ۲۹

۳-۴- مقاومت برشی ..... ۳۱

۴-۴- طول مهاری میلگردها در کشش ..... ۳۲

فصل پنجم: تیرهای کوپله و دیوارهای سازه‌ای بتن مسلح ویژه ..... ۳۷

۱-۵- کاربرد ..... ۳۷

۲-۵- آرماتورگذاری ..... ۳۷

۳-۵- مقاومت برشی ..... ۴۰

۴-۵- المان‌های مرزی دیوارهای سازه‌ای بتن مسلح ..... ۴۱

۵-۵- تیرهای کویله ..... ۴۸

فصل ششم: دیافراگم‌های سازه‌ای و خریاها ..... ۵۳

۱-۶- محدوده کاربرد ..... ۵۳

۲-۶- کمترین ضخامت دیافراگم ..... ۵۳

۳-۶- آرماتورگذاری ..... ۵۳

۴-۶- مقاومت برشی ..... ۵۷

۵-۶- المان‌های مرزی دیافراگم‌های سازه‌ای ..... ۵۸

فصل هفتم: پی‌ها ..... ۶۱

۱-۷- کاربرد ..... ۶۱

۲-۷- پی‌ها، پی‌های گسترده و سرشمع‌ها ..... ۶۱

۳-۷- تیرها و دال‌های روی زمین ..... ۶۳

۴-۷- شمع‌ها، پایه‌ها و پی‌های صندوقه‌ای مدفون در آب ..... ۶۶

فصل هشتم: اعضای قاب طراحی نشده به عنوان بخشی از سیستم مقاوم در برابر نیروهای جانبی ..... ۷۱

۱-۸- اعضای قاب طراحی نشده به عنوان بخشی از سیستم مقاوم در برابر نیروهای جانبی ..... ۷۱

فصل نهم: قاب‌های خمشی متوسط ..... ۸۱

۱-۹- ضوابط کلی ..... ۸۱

۲-۹- تیرها ..... ۸۱

۳-۹- ستون‌ها ..... ۸۱

۴-۹- دال‌های دوطرفه بدون تیر ..... ۸۷

فصل دهم: پیوست‌های آیین‌نامه ۳۱۸-۰۵ ACI ..... ۹۱

فصل یازدهم: فهرست علائم ..... ۱۰۵

۱-۱۱- فهرست علائم ..... ۱۰۵

۱۰۹	بخش دوم: جزییات آرماتورگذاری لرزه‌ای در مناطق زلزله‌خیز بر اساس مقررات ملی ساختمان (مبحث نهم)
۱۱۱	فصل اول: علائم اختصاری و تعاریف
۱۱۱	۱-۱- علائم اختصاری و تعاریف
۱۱۹	فصل دوم: اعضای تحت خمش در قاب‌های با شکل‌پذیری زیاد
۱۱۹	۱-۲- ضوابط هندسی
۱۲۱	۲-۲- ضوابط آرماتورهای خمشی
۱۲۳	۳-۲- ضوابط وصله‌های پوششی
۱۲۵	۴-۲- ضوابط آرماتور عرضی
۱۲۹	فصل سوم: اعضای تحت اثر توأم فشار و خمش در قاب‌های با شکل‌پذیری زیاد
۱۲۹	۱-۳- ضوابط هندسی
۱۳۱	۲-۳- ضوابط آرماتورهای طولی و وصله‌ها
۱۳۴	۳-۳- ضوابط آرماتورهای عرضی
۱۳۹	۴-۳- حداقل مقاومت خمشی ستون‌ها
۱۴۱	فصل چهارم: دیوارهای سازه‌ای، دیافراگم‌ها و خرپاها در قاب‌های با شکل‌پذیری زیاد
۱۴۱	۱-۴- ضوابط هندسی
۱۴۳	۲-۴- ضوابط آرماتورگذاری
۱۴۶	۳-۴- اجزای مرزی در دیوارهای سازه‌ای و دیافراگم‌ها
۱۵۰	۴-۴- تیرهای همبند در دیوارهای همبسته
۱۵۳	فصل پنجم: اتصال‌های تیر به ستون‌ها در قاب‌های با شکل‌پذیری زیاد
۱۵۳	۱-۵- ضوابط هندسی
۱۵۴	۲-۵- آرماتورگذاری
۱۵۵	۳-۵- طول گیرایی میلگردهای کششی

۱۵۹	فصل ششم: ضوابط طراحی برای برش در قاب‌های با شکل‌پذیری زیاد
۱۵۹	۱-۶- ضوابط طراحی برای برش در قاب‌ها
۱۶۱	۲-۶- دیوارهای سازه‌ای و دیافراگم‌ها
۱۶۳	فصل هفتم: اعضای از قاب‌های با شکل‌پذیری زیاد که برای تحمل نیروهای زلزله طراحی نمی‌شوند
۱۶۳	۱-۷- ضوابط طرح
۱۶۹	فصل هشتم: اعضای تحت خمش در قاب‌های با شکل‌پذیری متوسط
۱۶۹	۱-۸- ضوابط هندسی
۱۷۱	۲-۸- ضوابط آرماتورهای طولی و عرضی
۱۷۵	فصل نهم: اعضای تحت فشار و خمش در قاب‌های با شکل‌پذیری متوسط
۱۷۵	۱-۹- ضوابط هندسی
۱۷۷	۲-۹- ضوابط آرماتورهای طولی و عرضی
۱۸۳	فصل دهم: دیوارهای سازه‌ای، دیافراگم‌ها و خرپاها در قاب‌های با شکل‌پذیری متوسط
۱۸۳	۱-۱۰- ضوابط آرماتورگذاری
۱۸۵	فصل یازدهم: اتصال‌های تیر به ستون در قاب‌های با شکل‌پذیری متوسط
۱۸۵	۱-۱۱- ضوابط اتصال‌های تیر به ستون
۱۸۷	فصل دوازدهم: ضوابط طراحی برای برش در قاب‌های با شکل‌پذیری متوسط
۱۸۷	۱-۱۲- ضوابط طراحی در برابر برش
۱۸۸	واژه‌نامه
۱۹۲	فهرست مرجع

## فصل اول

### معرفی

#### ۱-۱- ملاحظات کلی

هدف اصلی طراحی سازه‌های مقاوم در برابر زلزله، دستیابی به مقاومت و شکل‌پذیری مناسب و ایمن در برابر زلزله‌های شدید و قابل انتظار در طول عمر سازه برای جلوگیری از فرو ریختن آن‌ها است. در بسیاری از سازه‌های تحت زلزله‌های متوسط تا شدید، طراحی اقتصادی و مقاوم در برابر زلزله با برقراری امکان تسلیم شدن در برخی از اعضای سازه‌ای میسر می‌شود. عموماً طراحی سازه‌ها در محدوده الاستیک برای بزرگ‌ترین نیروهای لختی ناشی از زلزله، از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه و عملی نیست. با این وجود، طراحی برخی از انواع سازه‌ها مانند سازه‌های محتوی مواد هسته‌ای، در محدوده تسلیم پاسخ‌گو نبوده و طراحی ضرورتاً باید در محدوده الاستیک صورت گیرد.

سازه‌هایی که محل نگهداری امکانات حیاتی هستند، مانند بیمارستان‌ها، آتش‌نشانی‌ها، کارخانجات و مراکز عمومی علاوه بر اینکه باید بدون فرو ریختن ایمن جان افراد باشند، باید پس از زلزله همان کارایی و عملکرد سابق را داشته باشند. از اینرو برای تأمین امنیت زندگی، کنترل خرابی سازه‌های مهم و حیاتی ضروری است. این مسئله حتی برای سازه‌های دیگر از لحاظ شناخت و برآورد هزینه تلفات و خسارت‌های پس از زلزله و قابل استفاده بودن ساختمان پس از وقوع زلزله دارای اهمیت است.

در حالت کلی، اغلب ضوابط لرزه‌ای آیین‌نامه ACI 318-05 به صورتی تنظیم شده است که در ساختمان‌های تحت زلزله‌های خفیف، هیچ‌گونه خرابی بوجود نیاید. این سازه‌ها در برابر زلزله‌های متوسط، متحمل خرابی‌های سازه‌ای جزئی و بعضی خرابی‌های غیرسازه‌ای شده و در برابر زلزله‌های شدید، خرابی‌های سازه‌ای و غیرسازه‌ای قابل قبولی را متحمل می‌شوند. با توجه به مطالب بیان شده، سازه‌ها باید بتوانند در برابر حرکت‌های شدید زمین، بدون اینکه فرو بریزند، مقاومت کافی از خود نشان دهند.

طراحی سازه‌ها در برابر اثرات ناشی از زلزله شامل موارد زیر است:

- انتخاب سیستم مقاوم در برابر نیروهای جانبی<sup>۱</sup> (LFR) که متناسب با تکان‌های پیش‌بینی شده زمین باشد. این سیستم باید به صورتی باشد که سازه هنگام حرکت زمین، عملکرد اصلی خود را در برابر نیروهای متوالی و اضافی بطور کامل و یکپارچه حفظ کند.
- تعیین نیروهای آیین‌نامه‌ای<sup>۲</sup> و تغییرشکل‌های ایجاد شده در اثر حرکت‌های زمین و توزیع نیروها به المان‌های مختلف سیستم LFR. مشخصات محل، شکل و توپوگرافی زمین، سیستم سازه‌ای و ارتفاع سازه متغیرهایی هستند که در تعیین این نیروها باید بررسی شوند.
- طراحی و تعیین جزییات سازه‌ای اعضا و اتصالات برای اثرات ترکیبی نیروهای ثقلی و جانبی (شامل باد) به صورتی که مقاومت و سختی جانبی و قائم کافی داشته باشند، برای تأمین عملکرد سازه‌ای مناسب و تغییرشکل‌های قابل قبول معین شده در آیین‌نامه اداره ساختمان<sup>۳</sup> است.

در گذشته ضوابط ساختمانی مندرج در مراجع [1] الی [3] و منابع و مدارک دیگر، به صورت سنتی اندازه نیروهای لرزه‌ای را کم‌تر از نیروهای طراحی ناشی از حرکت زمین در نظر می‌گرفتند. این فرض در مورد مرجع [4] (که بر مبنای ضوابط مرجع [5] است) نیز صادق است. بنابراین انتظار می‌رود سازه‌ها تحت اثر زلزله‌های شدید متحمل تغییرشکل‌های بزرگی شوند. هدف این ضوابط، ایجاد تغییرشکل‌های بزرگ بوسیله تسلیم شدن برخی از اعضای سازه‌ای است. بنابراین ساختمان‌هایی که تحت نیروهای لرزه‌ای مشخص شده توسط آیین‌نامه قرار می‌گیرند، باید تغییرشکل‌پذیری غیرارتجاعی کافی داشته باشند تا بتوانند هنگام وارد شدن بارهای متوالی غیرارتجاعی، بدون فرو ریختن استحکام خود را حفظ کنند. برای سازه‌های بتنی، رعایت ضوابط طراحی و آرماتورگذاری فصل 21 آیین‌نامه بتن آمریکا ACI 318-05، تغییرشکل‌پذیری غیرارتجاعی مورد نیاز را که جزو اصلی آیین‌نامه‌ها است برآورده می‌کند.

آزمایش‌ها و تجربیات بدست آمده از زلزله‌های اخیر نشان می‌دهد که ساختمان‌های بتنی طراحی شده بر اساس نیروهای لرزه‌ای متناظر سطح زلزله می‌توانند بدون افت قابل ملاحظه مقاومت در برابر زمین لرزه‌های شدید مستحکم باقی بمانند. سازه‌های بتنی که جزییات آنها به درستی اجرا شده باشد، علاوه بر آنکه در برابر حرکات شدید زمین مقاومت دارند، سختی مؤثر آنها هنگام افزایش استهلاک انرژی بیشتر خواهد شد. اعضای بتن مسلحی که به درستی طراحی و اجرا شده باشند، می‌توانند با تغییرشکل‌های غیرارتجاعی، انرژی لرزه‌ای را به خوبی مستهلک کنند.

۱- Lateral Force Resisting

۲- Code-Prescribed

۳-Governing building code



## ۱-۲- ضوابط و مقررات عمومی

ضوابط آرماتورگذاری مندرج در فصل 21 آیین‌نامه بتن آمریکا (ACI 318-05) بستگی به نوع سیستم قاب سازه‌ای، طبقه‌بندی خطر لرزه‌خیزی منطقه، تراز استهلاک انرژی (یا سختی) فرض شده در محاسبه نیروهای لرزه‌ای طراحی و محل استقرار سازه دارد. سطوح خطر لرزه‌خیزی منطقه به سه دسته کم، متوسط، زیاد طبقه‌بندی شده است. خطر لرزه‌خیزی یک منطقه یا نوع طراحی یا عملکرد لرزه‌ای یک سازه، بر اساس آیین‌نامه اداره ساختمان یا با استفاده از مراجع محلی تعیین می‌شود. در جدول ۱-۱، خلاصه‌ای از طبقه‌بندی عملکرد لرزه‌ای<sup>۱</sup> (SPC) و طبقه‌بندی طراحی لرزه‌ای<sup>۲</sup> (SDC) مندرج در آیین‌نامه‌های ساختمانی و سایر مراجع و مدارک نشان داده شده است.

جدول ۱-۱- رابطه میان اصطلاحات لرزه‌ای در آیین‌نامه‌های مختلف

آیین‌نامه، استاندارد و یا منابع مستند معتبر	طبقه‌بندی خطر زلزله‌خیزی، عملکرد یا نوع طراحی		
	کم	متوسط	زیاد
IBC 2000, 2003; NFPA 5000, 2003; NEHRP 1997, 2000	SDC A, B	SDC C	SDC D, E, F
BOCA 1993, 1996, 1999; SBC 1994, 1997, 1999; ASCE 7-93, 7-95; NEHRP 1991, 1994	SPC A, B	SPC C	SPC D, E
UBC 1991, 1994, 1997	ناحیه لرزه‌خیز ۱	ناحیه لرزه‌خیز ۲	ناحیه لرزه‌خیز ۳ و ۴

عبارت‌های معمولی، متوسط و ویژه بستگی به درجات مختلف سختی لازم و در نتیجه به تراز آرماتورگذاری مندرج در فصل 21 آیین‌نامه دارد. فصل 1 الی 18 و فصل 22 مربوط به سازه‌هایی است که در مناطق با خطر لرزه‌خیزی کم ساخته شده یا در طراحی، عملکرد لرزه‌ای کمی برای آنها در نظر گرفته شده است (بند 21.2.1.2 را ملاحظه کنید). هدف اصلی ضوابط طراحی و اجرایی این فصول، ایجاد طاقت کافی در سازه‌هایی است که در مناطق ذکر شده و تحت شرایط SDC و SPC ساخته می‌شوند. قاب‌های خمشی معمولی و دیوارهای سازه‌ای معمولی جزو سیستم‌های سازه‌ای هستند که می‌توانند بکار روند. برای طراحی سازه‌های با طاقت بیشتر در برابر نیروهای لرزه‌ای، استفاده از قاب‌های خمشی

۱- Seismic Performance Categories

۲- Seismic Design Categories

متوسط و ویژه یا دیوارهای سازه‌ای بتن مسلح که باعث کاهش نیروهای لرزه‌ای می‌شوند مجاز است. در این حالت باید ضوابط طراحی و آرماتورگذاری مطابق فصل 21 رعایت شود.

در مناطق با خطر لرزه‌خیزی متوسط و یا سازه‌هایی که جزو دسته طراحی یا عملکرد لرزه‌ای متوسط هستند، باید از قاب‌های خمشی متوسط و ویژه، یا دیوارهای بتن مسلح سازه‌ای معمولی و ویژه طبق بند 21.2.1.3 استفاده شود. ضوابط مربوط به قاب‌های خمشی متوسط در بند 21.12 آورده شده است.

در مناطق با خطر لرزه‌خیزی زیاد یا برای سازه‌هایی که دارای عملکرد لرزه‌ای زیاد هستند، برای مقاومت در برابر نیروهای بوجود آمده در اثر زلزله باید از قاب‌های خمشی ویژه، دیوارهای سازه‌ای ویژه، دیافراگم‌ها و خرپاهای مطابق بندهای 21.2 الی 21.10 استفاده کرد. اعضایی که برای مقاومت در برابر نیروهای ناشی از زلزله طراحی نشده‌اند، باید مطابق بند 21.11 باشند (بند 21.2.1.4 را ملاحظه کنید).

جدول ۱-۲ خلاصه‌ای از قسمت‌های مختلف فصل 21 را نشان می‌دهد که برای طراحی سازه‌های مقاوم در برابر زلزله در مناطق با خطر لرزه‌خیزی متوسط و زیاد و یا سازه‌هایی که برای عملکرد لرزه‌ای متوسط و زیاد طراحی می‌شوند بکار می‌روند.

جدول ۱-۲- مواردی از فصل 21 و 22 آیین‌نامه که باید برای طراحی برآورده شوند.\*

میزان خطر زلزله یا عملکرد لرزه‌ای سازه (به همان صورتی که در آیین‌نامه تعریف شده است)		قسمت سازه‌ای مقاوم در برابر اثرات زلزله
زیاد (21.2.1.4)	متوسط 21.2.1.3	
21.2, 21.3, 21.4, 21.5	21.12	المان‌های قاب
21.2, 21.7	ندارد	دیوارهای سازه‌ای و تیرهای کوبله
21.2, 21.9	ندارد	دیافراگم‌ها و خرپاهای سازه‌ای
21.2, 21.10	ندارد	پی‌ها
21.11	ندارد	اعضای طراحی نشده به عنوان بخشی از سیستم مقاوم در برابر نیروهای جانبی
22.4, 22.10.1	22.4	بتن غیرمسلح

علاوه بر ضوابط فصول 1 الی 18 برای سازه‌های واقع در مناطق با خطر زلزله‌خیزی متوسط (بند 21.2.1.3 را ملاحظه کنید) و مندرج در فصول 1 الی 17 برای سازه‌های واقع در مناطق با خطر زلزله‌خیزی زیاد (بند 21.2.1.4 را ملاحظه کنید).

### ۱-۳- دامنه کاربرد بخش اول کتاب

هدف اصلی بخش اول این کتاب، توضیح جامع ضوابط طراحی و اجرایی لرزه‌ای سازه‌های بتنی بر اساس فصل 21 آیین‌نامه ACI 318-05، مرجع

[6] است. همچنین این آیین‌نامه با مرجع [4] مطابقت داده شده است. موضوعات مورد بحث این کتاب به ترتیب زیر هستند:

۱- اعضای خمشی قاب‌های خمشی ویژه

۲- اعضای قاب‌های خمشی ویژه تحت بارهای خمشی و محوری

۳- گره‌های قاب‌های خمشی ویژه

۴- تیرهای کوپله و دیوارهای بتن مسلح ویژه

۵- دیافراگم‌های سازه‌ای و خرپاها

۶- پی‌ها

۷- اعضای طراحی نشده به عنوان بخشی از سیستم مقاوم در برابر نیروهای جانبی

۸- قاب‌های خمشی متوسط