

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



تحلیل غیر خطی و طراحی لرزه‌ای سازه‌های بتن مسلح

تألیف

آرش رستمی
عباس قاسمی



سرشناسه	رستمی، آرش، ۱۳۶۸ -
عنوان و نام پدیدآور	تحلیل غیرخطی و طراحی لرزه‌ای سازه‌های بتن مسلح / تألیف آرش رستمی، عباس قاسمی.
مشخصات نشر	تهران: سیمای دانش؛ آذر، ۱۳۹۵.
مشخصات ظاهری	(۲۸ ص.: مصور.
شابک	978-600-120-305-3
وضعیت فهرست نویسی	فیبا
یادداشت	کتاب حاضر از کتاب « Seismic design aids for nonlinear analysis of reinforced concrete structures, c2010. تألیف سری نیواسان چاندراسکاران... و ادیگران اقتباس شده است.
موضوع	ساختمان‌های ضد زلزله
موضوع	Earthquake resistant design
موضوع	ساختمان‌سازی با بتن مسلح
موضوع	Reinforced concrete construction
موضوع	تحلیل سازه
موضوع	(Structural analysis (Engineering
موضوع	نظریه‌های غیرخطی
موضوع	Nonlinear theories
شناسه افزوده	قاسمی، عباس، ۱۳۵۵ -
شناسه افزوده	چاندراسکاران، سری نیواسان
شناسه افزوده	Chandrasekaran, Srinivasan
رده بندی کنگره	۲۹۵ ت ۵۸/۴۴۴ TA
رده بندی دیویی	۶۲۷/۱۸۰۶۱
شماره کتابشناسی ملی	۴۴۰۸۹۴۲

تحلیل غیرخطی و طراحی لرزه‌ای سازه‌های بتن مسلح

تألیف:	آرش رستمی، عباس قاسمی
ناشر:	انتشارات سیمای دانش
ناشر همکار:	انتشارات آذر
نوبت چاپ:	اول/ ۱۳۹۵
تیراژ:	۱۰۰۰ نسخه
لیتوگرافی:	باختر
چاپخانه:	فرشیوه
صحافی:	روشنک
شابک:	۹۷۸-۶۰۰-۱۲۰-۳۰۵-۳
قیمت:	۲۸۰۰۰ تومان

کلیه حقوق این اثر برای انتشارات سیمای دانش محفوظ است.

انتشارات سیمای دانش: خیابان انقلاب - ابتدای خیابان ۱۲ فروردین
 پلاک ۳۱۸ - تلفن: ۶۶۴۶۴۷۷۹
 فروشگاه سیمای دانش: ۶۶۴۶۰۵۴۵
 انتشارات آذر: ۶۶۴۶۵۸۱۳۰
 کتابفروشی عصر دانش: ۶۶۴۹۳۷۰۱
 کتابفروشی پرهام: ۶۶۴۶۸۲۳۵

پیشگفتار مؤلفین

در بازبینی‌های اخیر، بر روند طراحی حالت حدی اعضای بتن مسلح تأکید بیشتر بر روش مبتنی بر عملکرد می‌باشد. این روش طراحی لرزه‌ای نیازمند درک صحیحی از رفتار غیرخطی اعضا می‌باشد. با توجه کمبود منابع معتبر در زمینه آنالیز و طراحی لرزه‌ای سازه‌های بتن مسلح با رویکرد عملکردی در کشور و نیاز دانشجویان کارشناسی ارشد و دکتری و همچنین جامعه مهندسين به مفاهيم بنيادين مربوطه، نويسندگان را بر آن داشت تا به تدوين مجموعه‌ای در اين زمینه همت گمارند. عمده مطالب کتاب حاضر از کتاب «Seismic Design Aids for Nonlinear Analysis of Reinforced Concrete Structures» اقتباس شده است. در کتاب حاضر با توجه به مثال‌ها و برنامه‌های کامپیوتری ارائه شده پیچیدگی‌هایی که در ارزیابی برخی پارامترهای ورودی پایه برای آنالیزهایی غیرخطی موجود ندارد، سادگی و شفاف سازی نماید. لزوم طراحی ایمن سازه بدلیل افزایش در خسارت ساختمان‌ها در طی زلزله‌های اخیر در حال تبدیل شدن به یک نگرانی و دلوایسی قابل ملاحظه در نزد جامعه مهندسی می‌باشد. اکثر ساختمان‌های موجود با آیین‌نامه‌های موجود جوابگو نبوده و لذا لازم است که ایمنی سازه ای آنها ارزیابی گردد و به سؤالاتی که در ارتباط با ایمنی سازه ای آنها ایجاد شبهه می نماید دارای پاسخ شفاف باشد. برای اکثر این ساختمان‌ها لازم است تا از شکست سازه ای جلوگیری گردد هرچند وقوع خسارات محدود معمولاً مورد پذیرش می باشد. به عنوان یک واقعیت مهم باید اذعان داشت که آنالیز غیرخطی سازه ای یک ابزار پایه و اساسی برای سی سال پیش بوده است لیکن به صورت وسیعی در دروس دانشگاهی بدان اشاره نشده بود و از این رو اکنون توسط مهندسين سازه براحتی بکار گرفته نمی شود. به عبارت دیگر گسترش برنامه‌های آنالیز سازه ای کامپیوتری مهندسين را به سمت یک طرز برخورد انفعالی سوق داده به نحوی که در عمل با تصدیق و اعتبارسنجی کامل پروسه طراحی در تضاد می‌باشد. روشهای آنالیز غیرخطی شبیه پوش

اور استاتیکی معمولاً مورد پذیرش بوده و به عنوان یک ابزار مورد اعتماد جهت ارزیابی لرزه ای ساختمان‌ها توسط آیین نامه‌های بین المللی توصیه می‌گردد، لیکن دقت تخمین ظرفیت لرزه ای شدیداً به پارامترهای ورودی این چنین آنالیزهایی وابسته می‌باشد. برخی از ورودی‌های پایه نظیر اندرکنش نیروی محوری - لنگر خمشی تسلیم، لنگر- انحناء و مشخصات لنگر- دوران که برای رفتار غیرخطی مناسب مصالح پایه المان‌های بتن مسلح لحاظ می‌گردند، نیازمند بازبینی مجدد جهت انجام یک آنالیز پوش اور دقیق است. احساس می‌شود که استفاده مناسب از خصوصیات غیرخطی مصالح پایه برای مهندسين طراح در حین به کارگیری نرم افزارها چندان مرسوم نمی‌باشد. مهندسين تمایل دارند که از خصوصیات از پیش تعیین شده مصالح بعنوان ورودی آنالیز غیر خطی استفاده نمایند بدون اینکه درک نمایند یک تغییر جزئی و کوچک در مشخصات غیر خطی مصالح پایه نظیر بتن و فولاد می‌تواند به راه حل غیر رضایت بخش منجر گردد و در نهایت به ارزیابی و تفسیر اشتباه منتهی می‌گردد. دلیل اصلی عدم توجه یاد شده می‌تواند از پیچیدگی های ذاتی خصوصیات بتن مسلح ناشی گردد که استخراج و بکارگیری خصوصیات مذکور، ساختار پایه برپای آن آنالیز غیرخطی می‌باشد.

کتاب حاضر مشتمل بر پنج بخش است: الف) اندرکنش نیروی محوری- لنگر خمشی تسلیم ب) رابطه لنگر خمشی - انحناء ج) مشخصات لنگر خمشی - دوران برای تیرهایی با شرایط تکیه گاهی و بارگذاری مختلف د) ضرایب خالی بارگذاری لرزه ای برای سازه‌های قابی شکل منظم با استفاده از تئوری‌های پلاستیک و با استفاده از نتایج تحلیل حدی کران بالا و کران پایین ه) تصدیق قانون جریان پلاستیک برای دامنه‌های اندرکنشی نیروی محوری- لنگر خمشی توسعه یافته. یک مدل ریاضی اندرکنش P-M تیرهای بتن مسلح به طبع مستطیلی با جزئیات کامل و بر مبنای آیین نامه‌های بین المللی نظیر یوروکد با معرفی ریزه نمونه‌ها و مرزها و همچنین مجموعه عبارات تحلیلی در بخش اول کتاب پیشنهاد شده است. در بخش دوم- انحناء تیرها (فاقد نیروی محوری) و ستون‌ها (با لحاظ نمودن سطوح مختلف نیروهای محوری) در بخش دوم کتاب ارائه شده است. در بخش سوم کتاب برای لنگر- دوران و نسبت‌های شکل دهی برای هر مکانیسم شکست و گسترش مفاصل پلاستیک عبارات تحلیلی کامل ارائه شده است و برخی از موارد کاربردی تیرها با شرایط بارگذاری و تکیه گاهی ارائه شده است. در بخش چهارم با تعیین ضرایب بار شکست با استفاده از تئوری پلاستیک برای مثال‌های متنوعی از قاب‌ها که به صورت معمول و به صورت تیر ضعیف - ستون قوی منظور می‌گردند، سرو کار خواهیم داشت. مدلسازی تحلیلی توسعه یافته اندرکنش P-M با استفاده از قانون جریان پلاستیک در بخش پنجم مورد تصدیق و تایید قرار می‌گیرد. هرچند خصوصیات مصالح در کتاب حاضر محدود به آیین نامه‌های بین المللی مشخصی می‌باشند لیکن خواننده می‌تواند به آسانی به استخراج عبارات

مورد نیاز که با آیین نامه بین المللی انتخابی دیگر تطابق دارد، بردارد. این امر با جایگزین کردن تعداد معادلات محدود که خصوصیات مصالح را بیان می نماید با ارائه گام به گام استخراج عبارات در بخش های مربوطه امکان پذیر است. به سادگی می توان به عبارات مورد نظر دست یافت با این وجود با استفاده از الگوریتم مشابه این اطمینان وجود دارد که مهندسين طراح و محققين به سادگی می توانند موارد دیگری که در این کتاب بدان اشاره نشده است، بدان دست یابند.

همچنین یک روش گام به گام جهت انجام آنالیز پوش اور یک مثال قابی شکل با استفاده از منحنی های طراحی پیشنهادی و جداول به عنوان پارامترهای ورودی ارائه شده است. دو رابطه بسیار ساده برای کران های بالا و پایین ضرایب بار لرزه ای برای قاب های منظم تیپ تیر ضعیف - ستون قوی پیشنهاد شده است. مطابق پیش بینی انطباق مناسبی با مقادیر حاصل از آنالیز پوش اور برای قاب های مازم سازه ای مورد تحلیل دارا می باشند. اطلاع از ضرایب استاتیکی که بر مبنای یک شیوه تدریس ساده بنا شده هم برای ارزیابی لرزه ای و هم طراحی لرزه ای مفید می باشد زیرا سازه تحت بارهای لرزه ای که با کران پایین استاتیکی تشدید یافته اند، ایمن خواهد بود. برنامه های کامپیوتری مورد استفاده برای بهینه سازی غیرخطی ضرایب شکست با استفاده از تئوری استاتیکی و همچنین جهت تعیین ضرایب کینماتیکی در CD ضمیمه ارائه شده است. با استفاده از این برنامه به آسانی جهت تعیین ضرایب برای حالات مختلف می توان داده های ورودی را اصلاح نمود. ضرایب کینماتیکی و استاتیکی برای بارهای شکست قاب ها با نتایج حاصل از روش پوش اور استاتیکی غیرخطی مقایسه شده اند تا سطح اطمینان نتایج حاصل از آنالیز حدی را نشان دهند. جداول و منحنی های طراحی برای ترکیب مناسب ابعادی سطح مقطع تیرها و ستونها با مجموعه ای از در صد آرما توره ای کششی و فشاری که با صورت مرسوم در طراحی مورد استفاده قرار می گیرد، پیشنهاد شده است. کتاب حاضر جهت ارزیابی ظرفیت المان های بتن مسلح که دارای سطح مقطع مشخص بوده و همچنین جهت انجام آنالیز غیرخطی با استفاده از برنامه های کامپیوتری در دسترس، بسیار مفید می باشد. گام های لازم جهت استفاده از برنامه هایی که در قالب فایل EXCELL و در CD ضمیمه ارائه شده است، در انتهای هر بخش ارائه شده است. نویسندگان امیدوارند کتاب حاضر به عنوان یک مرجع مفید در دروس و دوره های پیشرفته طراحی لرزه ای سازه ها مورد استفاده قرار گیرد.

از جناب طالقانی مدیریت محترم انتشارات انتشارات سیمای دانش که نسبت به چاپ، نشر و توزیع کتاب عنایت ویژه داشتند تشکر و سپاسگزاری می کنیم. همچنین از خانم سارا رستمی (کانون تبلیغات نقش واره) که زحمت تایپ، صفحه آرایی و طراحی جلد را بر عهده داشتند صمیمانه تشکر و قدردانی می نماییم. هر چند طی بازخوانی های مکرر سعی و تلاش فراوان به عمل آمده تا کتاب حاضر از حداقل اشتباهات برخوردار باشد، لیکن باور داریم این اثر دارای لغزش ها و

کاستی‌هایی است پیشاپیش از خوانندگان محترم به لحاظ وجود اشتباهات و اشکالاتی که از نظر دور مانده صمیمانه پوزش می‌خواهیم.

دریافت نقطه نظرات، پیشنهادات و رهنمودهای همکاران محترم، دانشجویان عزیز و مهندسان گرامی موجب قدردانی و سپاسگزاری است.

www.ketab.ir

۱۵	فصل اول: اندرکنش گسیختگی نیروی محوری-لنگر خمشی
۱۷	۱-۱. خلاصه
۱۸	۲-۱. مقدمه
۲۰	۳-۱. توسعه ریاضی
۲۳	۴-۱. شناسایی زیر دامنه‌ها
۲۳	۱-۴-۱. زیر دامنه‌های ۱ و ۲: خرابی ناشی از تسلیم آرماتورها
۳۰	۲-۴-۱. زیر دامنه‌های ۳ و ۴: خرابی ناشی از خرد شدگی بتن
۳۲	۵-۱. مطالعات عددی و تجربی مربوطه
۶۱	۶-۱. نتیجه گیری
۶۳	فصل دوم: روابط لنگر-انحناء برای مقاطع بتن آرمه
۶۵	۱-۲. خلاصه
۶۵	۲-۲. مقدمه
۶۷	۳-۲. توسعه ریاضی
۶۸	۴-۲. لنگر-انحناء در محدوده الاستیک
۶۹	۱-۴-۲. نیروی محوری کششی
۷۱	۲-۴-۲. فاقد نیروی محوری
۷۱	۳-۴-۲. نیروی محوری فشاری
۷۳	۵-۲. حد الاستیک لنگر خمشی و (انحناء)
۷۳	۱-۵-۲. مورد ۱: کرنش آرماتور کششی به حد تسلیم می‌رسد و تنش در بتن ناپدید می‌گردد
۷۳	۲-۵-۲. مورد ۲: کرنش در فولاد کششی به حد تسلیم می‌رسد اما تنش در بتن وجود دارد
۷۵	۳-۵-۲. مورد ۳: کرنش در آرماتور فشاری به حد الاستیک می‌رسد.
۷۶	۴-۵-۲. مورد ۴: رسیدن کرنش در دورترین تار فشاری بتن به مقدار حدی الاستیک
۷۸	۶-۲. درصد میلگرد برای مقطع متعادل
۷۹	۷-۲. رابطه انحناء لنگر خمشی نهایی
۷۹	۱-۷-۲. موقعیت محور خنثی با فرض مقادیر منفی
۸۰	۲-۷-۲. موقعیت محور خنثی با فرض مقادیر مثبت
۸۶	۸-۲. مطالعات عددی و بحث پیرامون آن

۱۱۰	۹-۲. نتیجه گیری
۱۱۱	۱۰-۲. برنامه صفحه گسترده
۱۱۱	۱۰-۱. روش گام به گام استفاده از برنامه صفحه گسترده ارائه شده در وب سایت
۱۱۵	فصل سوم: رابطه لنگر-چرخش برای تیرهای بتن آرمه
۱۱۷	۱-۳. خلاصه
۱۱۷	۲-۳. مقدمه
۱۱۹	۳-۳. توسعه ریاضی
۱۲۱	۴-۳. روابط تحلیلی لنگر-دوران
۱۲۲	۴-۱. تیر ثابت تحت بار متمرکز مرکزی
۱۲۸	۴-۲. تیر تک تکیه ساده تحت بار متمرکز مرکزی
۱۳۲	۴-۳. تیر ثابت تحت بار متمرکز
۱۳۸	۵-۳. مطالعات عددی و مباحث مربوط به آن
۱۴۷	۶-۳. نتیجه گیری
۱۴۸	۷-۳. برنامه صفحه گسترده
۱۴۸	۷-۱. روش گام به گام جهت استفاده از روش عددی در وب سایت
۱۴۹	فصل چهارم: محدوده بارهای خرابی برای فب‌های ساختمانی تحت بارهای لرزه‌ای (مقایسه با آنالیز استاتیکی غیرخطی پیش اور)
۱۵۱	۱-۴. خلاصه
۱۵۲	۲-۴. مقدمه
۱۵۳	۳-۴. ضرایب خرابی
۱۵۵	۴-۱-۳. ضریب کینماتیک KK_s
۱۵۷	۴-۲-۳. ضریب استاتیکی
۱۶۰	۴-۳-۳. تحلیل گام به گام برای یک قاب ساده با بر هم کنش P-M
۱۶۷	۴-۴. مطالعات عددی و مباحث مربوط به آن
۱۷۴	۵-۴. نتیجه گیری
۱۷۵	فصل پنجم: اعتبارسنجی قانون جریان برای دامنه های اندرکنش نیروی محوری-لنگرخمشی
۱۷۷	۱-۵. خلاصه
۱۷۷	۲-۵. مقدمه
۱۷۹	۳-۵. بسط و توسعه ریاضی

۱۸۳	۵-۳-۱. زیر دامنه ۱ تا $2b^2$: شکست به علت تسلیم فولاد
۱۸۹	۵-۳-۲. زیر دامنه ۳ تا b : شکست به علت خرد شدن بتن
۱۹۰	۵-۴. کرنش پلاستیک افزایشی در دامنه‌های مختلف
۱۹۶	۵-۵. اعتبارسنجی قانون جریان
۱۹۷	۵-۶. نتیجه گیری
۲۰۷	فصل ششم: برنامه کامپیوتری برای ضرایب خرابی (فروریزش)
۲۰۹	۶-۱. مقدمه
۲۱۰	۶-۲. برنامه نویسی کامپیوتری برای ضرایب فروریزش
۲۱۰	۶-۲-۱. قاب منظم یک طبقه - یک دهانه
۲۱۶	۶-۲-۲. قاب منظم دو طبقه - یک دهانه
۲۱۷	۶-۲-۳. قاب یک طبقه - یک دهانه دارای ستون هایی با طول های غیریکسان
۲۱۹	۶-۲-۴. قاب منظم دو طبقه - چهار دهانه
۲۲۰	۶-۲-۵. قاب نامنظم سه طبقه - شش دهانه
۲۲۲	۶-۲-۶. قاب منظم سه طبقه - شش دهانه
۲۲۴	۲-۷. قاب منظم ده طبقه پنج دهانه
۲۲۷	۶-۲-۸. روش کلی برای قاب های منظم با M طبقه - M دهانه
۲۳۲	۶-۲-۹. کدنویسی کامپیوتر برای محاسبه ضرایب فروریزش استاتیکی (LINGO)
۲۳۴	۶-۳. راهکاری جهت انجام تحلیل پوش اور
۲۳۷	۶-۳-۱. روش گام به گام با استفاده از SAP ۲۰۰۰
۲۶۱	منابع