

کنترل هماهنگ‌ساز در سازه طبقاتی

مؤلفان:

جواد مصباحی (عضو هیئت علمی دانشگاه پیام نور)

علی‌اکبر الدین ملک (عضو هیئت علمی دانشگاه تربیت مدرس)

نشر مضمون

سرشناسه:	مصباحی، جواد، ۱۳۴۹ -
عنوان و نام پدیدآور:	کنترل هماهنگ‌ساز در سازه طبقاتی / مولفان جواد مصباحی، علاءالدین ملک.
مشخصات نشر:	تهران: مضمون، ۱۳۹۵.
مشخصات ظاهری:	۱۴۴ ص: مصور، نمودار.
شابک:	۹۷۸-۶۰۰-۵۸۰۰-۲۶-۵
وضعیت فهرست‌نویسی:	فیبا
موضوع:	کنترل ساختاری (مهندسی)
موضوع:	Structural control (Engineering)
موضوع:	مهندسی کنترل
موضوع:	Automatic control
موضوع:	مهندسی کنترل - ریاضیات
موضوع:	Automatic control -- Mathematics
موضوع:	همزمان‌سازی
موضوع:	Synchronization
موضوع:	سازه‌ها - اثر زلزله
موضوع:	Buildings -- Earthquake effects
موضوع:	زلزله - مهندسی
موضوع:	Earthquake engineering
موضوع:	پایداری سازه
موضوع:	Structural stability
شناسه افزوده:	ملک، علاءالدین، ۱۳۴۶ -
رده‌بندی کنگره:	۱۳۹۵ م ۹۶۶/۹۶۶ TA
رده‌بندی دیویی:	۶۲۴/۱۷۱
شماره کتابشناسی ملی:	۴۵۴۰۲۴۳



نشر مضمون

کنترل هماهنگ‌ساز در سازه طبقاتی

جواد مصباحی، علاءالدین ملک

شمارگان: ۵۰۰ جلد

نوبت چاپ: اول - ۱۳۹۵

قیمت: ۱۰۰۰۰ تومان

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۵۸۰۰-۲۶-۵

تمام حقوق برای مؤلفان محفوظ است.

نشانی: تهران - خیابان شریعتی - بالاتر از پل سیدخندان - کوچه ی لادن - شماره ی ۲۷

تلفن: ۲۲۸۶۴۱۵۷ (۲۱) ۹۸+

mazmoon@iran.ir

فهرست مطالب

پیش گفتار مؤلفان.....	۹
مقدمه.....	۱۱
فصل اول: کنترل در ساختمان های طبقاتی.....	۱۵
۱ تاریخچه کنترل در سازه ها.....	۱۵
۲ کنترل و سیستم های کنترلی.....	۲۰
۳ روش کنترل پاسخ دینامیکی در سازه.....	۱
۴ سیستم کنترل فعال.....	۱۳، ۱
۵ سیستم کنترل غیرفعال.....	۲۳، ۱
۶ کنترل نیمه فعال.....	۲۳، ۱
۷ اثر اساسی اعمال کنترل.....	۴، ۱
۸ کنترل حلقه.....	۱، ۴، ۱
۹ کنترل مخوف.....	۲، ۴، ۱
۱۰ کنترل فیدبک کنترل حلقه بسته.....	۲، ۴، ۱
فصل دوم: هماهنگ سازی.....	۲۵
۱ تاریخچه هماهنگ سازی.....	۱، ۲
۲ استراتژی هماهنگ سازی (Synchronization strategy).....	۲، ۲
۳ امنیت.....	۱، ۲، ۲
۴ دقت.....	۲، ۲، ۲
۵ افزایش بهره وری با هماهنگ سازی.....	۲، ۲، ۲
۶ سیستم کنترلی اتومات.....	۳، ۲
۷ هدف از هماهنگ سازی.....	۲، ۴
۸ کنترل هماهنگ برای حرکت یک سکو در راستای مسیر.....	۵، ۲
۹ هماهنگ سازی چندمحوری در کنترل نقطه ای یک موقعیت.....	۶، ۲
فصل سوم: مروری بر ریاضیات در نظریه کنترل.....	۴۱
مقدمه.....	۴۱
۱ ضرب داخلی.....	۱، ۳
۲ نرم برداری.....	۲، ۳
۳ ضرب داخلی و نرم توابع پیوسته.....	۳، ۳
۴ ضرب ماتریس ها.....	۴، ۳
۵ مشتق و انتگرال یک ماتریس وابسته به زمان.....	۵، ۳
۶ مشتق ماتریس.....	۱۵، ۳
۷ انتگرال ماتریس.....	۲۵، ۳
۸ اثر ماتریس مربعی.....	۶، ۳
۹ دترمینان ماتریس.....	۷، ۳

۴۸.....	ماتریس متفرد، ماتریس غیرمتفرد، و ماتریس معکوس.....	۸,۳
۴۸.....	نرم و بهره ماتریس ها.....	۹,۳
۴۹.....	انواع نرمهای ماتریس.....	۱۰,۳
۵۰.....	مقدمه‌ای بر مقدار و بردار ویژه.....	۱۰,۳
۵۱.....	محاسبه مقادیر ویژه و بردارهای ویژه و معادله مشخصه.....	۱۱,۳
۵۱.....	خواص بردار ویژه و مقادیر ویژه در $Cn \times n$	۱۲,۳
۵۴.....	قطری‌سازی ماتریس‌های مربعی.....	۱۳,۳
۵۴.....	ماتریس همانند.....	۱۴,۳
۵۵.....	قطری‌سازی ماتریس‌ها با مقادیر ویژه متمایز و حقیقی.....	۱۵,۳
۵۸.....	مقدمه‌ای بر فضاهاى بردارى نرمندار.....	۱۶,۳
۵۸.....	فضای هیلبرت.....	۱,۱۶,۳
۵۹.....	فضای باناخ.....	۲,۱۶,۳
۵۹.....	فضای L_p	۱۷,۳
۵۹.....	فضای H_2	۴,۱۷,۳

۶۰.....	فضای L_∞	۵,۱۷,۳
۶۰.....	فضای H_∞	۶,۱۷,۳

فصل چهارم: زلزله و اثرات آن بر سازه‌های مهندسی.....

۶۳.....	مقدمه.....	
۶۳.....	کانون و مرکز زلزله.....	۱,۴
۶۳.....	امواج و شدت زلزله.....	۲,۴
۶۴.....	بزرگی زلزله و اثر آن از سازه زلزله.....	۳,۴
۶۵.....	محاسبه نیروی زلزله و محاسبه استاتیکی بر هر طبقه یک ساختمان.....	۴,۴
۶۶.....	ارتعاش سازه با یک درجه آزاده.....	۵,۴
۶۹.....	حرکت سازه با یک درجه آزادی تحت شتاب فونداسیون بر اثر وقوع زلزله.....	۶,۴
۷۰.....	ارتعاش سازه چند درجه آزادی و اشکال مدی.....	۷,۴
۷۳.....	جابجایی و جابجایی نسبی هر طبقه در سازه.....	۸,۴

فصل پنجم: کنترل مقاوم در سازه مهندسی.....

۷۷.....	مقدمه.....	
۷۸.....	معادله فضای حالت در ساختمان‌های چندطبقه تحت زلزله.....	۱,۵
۸۱.....	الگوریتم کنترل H_2	۲,۵
۸۴.....	حل مسئله $(5 - 18)$ با کنترل H_2 به روش ریکاتی.....	۳,۵
۸۶.....	الگوریتم کنترل H_∞	۴,۵
۸۸.....	حل مسئله بهینه کنترل H_∞ با استفاده از معادلات ریکاتی.....	۵,۵
۸۹.....	الگوریتم کنترلی H_∞ با خصوصیات مقاوم بودن.....	۶,۵

فصل ششم: معادله حالت و توابع تبدیل سیستم کنترلی.....

۹۳.....	مقدمه.....	
۹۳.....	توابع تبدیل.....	۱,۶
۹۶.....	فضای حالت سیستم‌های کنترل.....	۲,۶
۹۷.....	معادلات حالت از تابع تبدیل.....	۳,۶
۹۸.....	نمایش‌های ماتریسی.....	۴,۶
۱۰۰.....	رابطه بین تابع تبدیل و معادلات فضای حالت.....	۵,۶

فصل هفتم: مدل ارزیابی ساختمان‌های پنج و هفت طبقه.....

۱۰۳.....	مقدمه.....	
----------	------------	--

۱۰۳.....	مشخصات سازه پنج طبقه	۱,۷
۱۰۴.....	مشخصات سازه هفت طبقه	۲,۷
۱۰۶.....	مشخصات زلزله‌های استفاده شده	۳,۷
۱۰۶.....	زلزله بم ایران سال ۱۳۸۲	۱,۳,۷
۱۰۷.....	زمین لرزه السنترو آمریکا سال ۱۹۴۰ میلادی	۲,۳,۷
۱۰۹.....	کنترل هماهنگ‌ساز شبیه‌سازی شده در نرم‌افزار <i>Matlab</i> با الگوریتم H_{∞}	۴,۷

- فصل هشتم: شبیه‌سازی عددی		
۱۱۱.....	استخراج تاریخچه زمانی برای کنترلر هماهنگ‌ساز H_2/LQG و بدون کنترل	۱,۸
۱۲۲.....	استخراج تاریخچه زمانی برای کنترلر هماهنگ‌ساز H_{∞} و بدون کنترل	۲,۸
۱۳۱.....	استخراج تاریخچه زمانی برای کنترلر هماهنگ‌ساز H_{∞} و H_{∞} مقاوم	۳,۸
۱۳۵.....	مقایسه تاریخچه زمانی با کنترلر هماهنگ‌ساز H_2/LQG , H_{∞}	۴,۸
۱۳۷.....	کمینه نمودن نیروهای کنترلی با الگوریتم H_{∞}	۵,۸
۱۳۸.....	نتیجه کلی	

www.ketab.ir

پیش‌گفتار مؤلفان

در زمینه کنترل زلزله در ساختمان‌های چندطبقه تاکنون کتابی به زبان فارسی تألیف یا ترجمه نگردیده است. وجود چنین کتابی در کشوری زلزله‌خیز که روی گسل‌های فراوان قرار دارد ضروری به نظر می‌رسد. همچنین توجه به علوم ریاضی کاربردی و مهندسی عمران می‌تواند پشتوانه‌های علمی این فرآیند تخریب‌گرا را به‌گونه‌ای بررسی نماید تا طراحان و متخصصان قادر گردند پس از وقوع این وقایع غیرمترقبه، خسارات ممکنه را حداقل نمایند. آنچه در ادبیات کنترل زلزله برای ساختمان‌های چندطبقه به زبان لاتین وجود داشت شامل استفاده از کنترل‌گرهای (سنسورهای) مختلف در نقاط مختلف سازه بود که با در نظر گرفتن یادخ این سنسورها در حین زلزله، تخریب ساختمان را با مصرف انرژی زیادی کنترل نمایند. براساس آنچه مؤلفان کتاب حاضر تاکنون بررسی نموده‌اند در این کتاب برای اولین بار در ایران علاوه بر کنترل‌های مختلف، هماهنگ‌سازی‌های لازم (synchronization) نیز استرگژید. ترکیب علم هماهنگ‌سازی علوم ریاضی کاربردی، علم کنترل مهندسی کنترل، و علم زلزله مهندسی عمران منجر به ایجاد الگوریتم‌های کنترلی هماهنگ‌ساز متفاوت گردیده که با استفاده از این الگوریتم به‌دست‌آمده می‌توان کاهش چشمگیری در خسارات جانی و مالی وارده در وقوع زلزله به‌وجود آورد. قسمتی از این کتاب مجموعه‌ای از بررسی، تحقیق، و پژوهش و تألیف نویسندگان در رشته عمران و ریاضی کاربردی (گرایش بهینه‌سازی و کنترل) می‌باشد. مطالب این کتاب بین‌رشته‌ای، درخصوص استفاده از روابط جدید ریاضی در مسائل مهندسی عمران (زلزله) و مهندسی کنترل می‌باشد.

مقدمه

سازه‌های مهندسی بالأخص ساختمان‌های طبقاتی، عمدتاً بر اثر حوادث ایجادشده از قبیل زلزله‌ها و بادهای شدید دچار آسیب‌های جدی می‌شوند. این آسیب‌ها اغلب منجر به تلفات جانی و مالی جبران ناپذیر می‌گردند. در سال‌های گذشته هزاران انسان بر اثر این حوادث جان خود را از دست داده‌اند. این حوادث خسارت مالی زیادی هم به بار آورده است. این موضوع، خطرپذیری محیط‌های پیرامون ما را در برابر زلزله یادآوری می‌نماید. به همین دلیل مقاوم‌سازی و محافظت از سازه‌های مهندسی مخصوصاً ساختمان‌های طبقاتی، یکی از اولویت‌های کاری مهندسان عمران است. چالش اصلی مهندسان سازه ایجاد و گسترش سازه‌های مهندسی امن‌تر جهت مقاومت و پایداری بیشتر در برابر این‌گونه حوادث است. مهندسان با روش‌های مرسوم، سازه را با استفاده از ترکیب سختی، قابلیت شکل‌پذیری سازه، همچنین استهلاک انرژی (میرا نمودن) حاصل از زلزله، مستحکم‌تر و کاراتر در برابر زلزله و بادهای شدید طراحی می‌نمایند. سازه تحت نیروی لرزه‌ای دو رفتار از خود نشان می‌دهد:

الف) سازه در محدوده الاستیک قرار می‌گیرد. یعنی اگر از سازه باربرداری نماییم هیچ تغییرشکلی در سازه باقی نمی‌ماند.

ب) سازه در محدوده غیرالاستیک قرار می‌گیرد، یعنی اگر از سازه باربرداری نماییم تغییر شکل در سازه باقی می‌ماند.

نکته: مهم‌ترین عامل خرابی سازه‌ها، جابجایی نسبی طبقات سازه می‌باشد.

قابل ذکر است که در این کتاب کلیه سازه‌های بررسی‌شده در محدوده الاستیک می‌باشند. در هر کشور قوانینی لازم‌الاجرا درخصوص مشخص نمودن حدود تغییرات قابل قبول برای جابجایی نسبی یک ساختمان با نوشتن آیین‌نامه‌هایی، تدوین می‌گردد. هر کشور با توجه به صنعت ساخت و چگونگی مصالح ساختمانی مصرفی و برای جابجایی نسبی ساختمان، محدوده‌ای را مشخص می‌نماید. آیین‌نامه‌های مذکور با توجه به شرایط خاص هر کشور بر اساس شاخص‌های مهندسی متفاوت، از یکدیگر متمایز

می‌شوند. این موضوع در ایران در آیین‌نامه طراحی مهندسی ۲۸۰۰ آمده است. مهندسان مربوطه، جهت کاهش خسارات ساختمان طبقاتی یا حتی حذف کامل آن، به فکر محدود نمودن جابجایی نسبی طبقات ساختمان افتاده‌اند، که این امر منجر به استفاده از سیستم‌های کنترلی گردیده است. در این کتاب با توجه به اثر زلزله فرض شده، فرمول‌های مربوطه همراه با نیروی‌های زلزله محاسبه شده است. با توجه به مفاهیم ریاضی و فرمول‌های ارائه شده، نیروی زلزله را در طبقات مختلف سازه توزیع نموده و سپس با توجه به معادلات دینامیکی مربوطه و تعریف معادله فضای حالت و با استفاده از الگوریتم‌های کنترلی متفاوت، مدهای مختلف سازه را در هر زمان به دست آوردیم. سپس کوشش گردید تا جابجایی نسبی ساختمان‌ها را در حد مطلوب، محدود نماییم. در این کتاب، آورده‌هایی به شرح زیر برای اولین بار ارائه شده است:

الف) به دنبال کاهش بیشتر جابجایی‌های نسبی طبقات در ساختمان‌ها، با استفاده از یک سیستم جدید به نام "سیستم هماهنگ‌ساز در ساختمان" هستیم، تا جابجایی نسبی طبقات سازه به شدت کاهش یابد. بدین طریق می‌توان خسارت‌های وارده بر اثر وقوع زلزله را در ساختمان‌های طبقاتی کاهش داد.

ب) معمولاً خروجی‌های به دست آمده از منسورهای کار گذاشته شده در یک ساختمان چندطبقه با نتایج اتفاقات واقعی در گذار بر سازه مطابقت ندارند. این موضوع می‌تواند به دلیل عدم رعایت جابجایی درست منسور و ملگر (جک‌های کنترلی) باشد. همچنین ممکن است به دلیل وجود نقص در سره (اگرچه ترک در تیر و ستون) و دینامیک مدل نشده، تفاوت بین خروجی واقعی و مدل ریاضی حاصل شده باشد. لذا با توجه به این عدم تطابق ما به دنبال آن هستیم تا با ارائه یک الگوریتم قابل انجام، هماهنگ‌سازی‌های ممکنه را جهت کاهش چشمگیر جابجایی نسبی ساختمان چندطبقه تحت بارهای شدید یا زلزله ارائه نماییم. تحقیق این موضوع باعث کاهش چشمگیر خسارت‌های مالی و جانی می‌گردد.

ج) یکی از روش‌های کاهش جابجایی نسبی در ساختمان‌های طبقاتی، استفاده از سیستم‌های کنترلی با اعمال نیروهای کنترلی است. ما به دنبال استفاده از سیستم هماهنگ‌ساز بین نیروهای کنترلی طبقات ساختمان هستیم که این موضوع باعث کاهش مصرف انرژی در سیستم کنترلی ساختمان‌های طبقاتی می‌گردد.

در این کتاب انگیزه اصلی محدود نمودن جابجایی نسبی طبقات ساختمان‌ها با استفاده از ترکیب الگوریتم‌های متفاوت کنترلی، با شیوه‌های نوین هماهنگ‌سازی

می‌باشد. در گذشته تحقیقات انجام‌شده در مورد الگوریتم‌های کنترلی مختلف، بدون هماهنگ‌سازی بوده است. هرچند انجام کنترل ریاضی بر روی کاغذ به صورت محاسباتی قابل محاسبه بوده است، با توجه به این که این گونه کنترل‌های غیرهماهنگ انرژی بسیاری را طلب می‌نماید، منطقی و اجرایی بودن فعالیت مذکور همواره مورد تردید بوده است. الگوریتم‌های ترکیبی هماهنگ‌ساز با الگوریتم‌های کنترلی که در فصل هشتم ارائه خواهد شد بیانگر صرفه اقتصادی و منطقی و اجرایی بودن این ایده می‌باشد.

مطالبی که در این کتاب آمده است، به شرح ذیل می‌باشد:

در فصل اول مواردی در خصوص تاریخچه کنترل در سازه، مفاهیم کنترل و سیستم‌های کنترلی، روش کنترل دینامیکی سازه بیان شده است. در این فصل در خصوص اثرات انرژی کنترل و انواع و مزیت‌های آن توضیحاتی داده شده است.

در فصل دوم در خصوص تاریخچه و هدف هماهنگ‌سازی مواردی بیان شده و در مورد مزیت‌های مهم ارائه داده از هماهنگ‌سازی توضیحاتی داده شده است. همچنین در خصوص هماهنگ‌سازی چندمحوری در کنترل نقطه‌ای موقعیت مشخص نیز مواردی بیان شده است.

در این فصل، کنترل، بررسی و تحلیل روش‌های طراحی و کنترل‌های مورد استفاده در ساختمان‌ها مطرح می‌باشد. در ادامه در مورد یکی از کنترل‌های مهم و پرمصرف که در الگوریتم‌ها استفاده می‌گردد، کنترل انرژی ارائه شده است. سپس استراتژی هماهنگ‌سازی بیان و یک مدل آزاد با سیستم کنترلی هماهنگ‌ساز در چندین امتداد مختصاتی، و در مورد یک کنترل هماهنگ‌ساز دینامیکی، تشریح شده است.

در فصل سوم مقدمه‌ای درباره استفاده از ریاضیات در روابط آن در کنترل شامل ضرب داخلی، نرم برداری و نرم توابع پیوسته ذکر شده است. در خصوص ماتریس‌ها نیز مواردی همچون معکوس ماتریس، قطری‌سازی ماتریس، ضرب ماتریس، مشتق و انتگرال ماتریس بیان شده است. همچنین در خصوص بردار ویژه، مقادیر ویژه و چگونگی محاسبه آن مطالبی گفته شده است. در خاتمه این فصل در مورد انواع فضاها مطالبی آورده شده است.

در فصل چهارم پدیده زلزله و خصوصیات آن از قبیل کانون، امواج، شدت، بزرگی و انرژی آزادشده زلزله که مهم‌ترین عامل خرابی در ساختمان‌های طبقاتی به‌شمار می‌آید توصیف شده است. در خصوص چگونگی محاسبه نیروی زلزله و روش توزیع آن در طبقات، نیروهای دینامیکی و ارتعاشی سازه، و مدهای مختلف سازه نیز توضیحاتی داده شده است.