

۲۱۹۱۹۲۲

(۱۳۳۷ و ۱۳۳۸)



دانشگاه سمنان

مدلسازی سازه و روش‌های آزمایشگاهی

www.ketab.ir

مؤلفین :

دکتر امید رضایی‌فر

دانشیار دانشگاه سمنان

دکتر عادل یونسی

دانش آموخته عمران دانشگاه سمنان

دکتر مجید قلمه‌کی

استاد دانشگاه سمنان

سرنشانه	رضایی فر، امید، ۱۳۵۸ -
عنوان و نام پدیدآور	مدلسازی سازه و روش‌های آزمایشگاهی/مولفین امید رضایی فر، عادل یونسی، مجید قلهکی.
مشخصات نشر	سمنان: دانشگاه سمنان، انتشارات، ۱۴۰۰.
مشخصات ظاهری	۲۳۰ ص: مصور (بخشی رنگی)، جدول، نمودار (بخشی رنگی).
شابک	978-622-7237-24-5 وضعیت فهرست نویسی: فیبا یادداشت: واژه نامه.
یادداشت	کتابنامه: ص. ۳۰۱ - ۳۰۵. یادداشت: نمایه.
موضوع	مهندسی سازه -- طراحی الگو
موضوع	Structural engineering -- Pattern design
موضوع	مهندسی سازه -- طراحی و ساخت -- داده پردازی
موضوع	Structural engineering -- Design and construction -- Data processing
موضوع	تحلیل سازه -- الگوهای ریاضی
موضوع	Structural analysis (Engineering) -- Mathematical models
موضوع	طراحی سازه -- الگوهای ریاضی
موضوع	Structural design -- Mathematical models
شناسه افزوده	یونسی، عادل، ۱۳۶۶ - شناسه افزوده: قلهکی، مجید، ۱۳۵۴ -
شناسه افزوده	دانشگاه سمنان، انتشارات
رده بندی دیویی	۱۷۷۱۶۲۴
شماره کتابشناسی ملی	۷۸۷۶۴۲۸
	وضعیت رکورد: فیبا



مدلسازی سازه و روش‌های آزمایشگاهی

- ❖ مولفان: دکتر امید رضایی فر - دکتر عادل یونسی - دکتر مجید قلهکی
- ❖ طرح جلد: اسماعیل شجاعی
- ❖ نوبت چاپ: اول - بهار ۱۴۰۰
- ❖ ناشر: انتشارات دانشگاه سمنان
- ❖ شمارگان: ۲۰۰ جلد
- ❖ قیمت: ۸۰/۰۰۰ تومان

ISBN: 978-622-7237-24-5



شابک:

حق چاپ محفوظ و متعلق به انتشارات دانشگاه سمنان می باشد.

مراکز پخش: سمنان: روبروی پارک سوکان - پردیس شماره ۱ - انتشارات دانشگاه سمنان

تلفن: ۰۲۳۱۵۲۲۷۰ وب سایت: www.press.semnan.ac.ir

تهران: میدان انقلاب - ابتدای خیابان ۱۲ فروردین - پلاک ۹ - تلفن: ۰۲۱۶۶۹۶۱۱۴ - ۱۵ انتشارات سیمای دانش

بشرف علوم مهندسی نیاز به شناخت هرچه بیشتر از جهان اطراف و مسائل پیشروی آن را بیش از پیش نشان می‌دهد. نکته‌ای که ذهن مهندسان را همواره درگیر خود کرده این است که چگونه می‌توان ساختمان را در برابر بلایای طبیعی مثل زلزله و طوفان محافظت نمود. بر همین اساس مطالعات گسترده‌ای در بحث علم مهندسی عمران بخصوص پل و ساختمان صورت گرفته است تا بتوان رفتار دقیق سازه موردنظر را در برابر بارهای جانبی و ثقلی پیش‌بینی کرد و راهی برای مقابله با آن پیدا نمود. یکی از راه‌های تشخیص رفتار سازه، مدلسازی آن با مدل‌های جدید مهندسی می‌باشد که با توجه به اختلاف نتایج آن با واقعیت، مدلسازی آزمایشگاهی مورد توجه محققان قرار گرفته است. امروزه تقریباً در اکثر نقاط جهان آزمایشگاه‌هایی مجهز برای این منظور طراحی و ساخته شده‌اند. در این آزمایشگاه‌ها، سازه موردنظر بایستی مدلسازی شود که عملاً مدل کردن تمامی سازه‌ها با مقیاس واقعی 'متری دشوار و هزینه‌بر می‌باشد، به جز در مواردی خاص که نمی‌توان از سازه با مقیاس واقعی استفاده نمود. بنابراین که در مدلسازی باید در نظر گرفته شود این است که برای هر سازه با توجه به اهمیت آن بایستی مقیاس خاصی برای ابعاد، بارها و سایر پارامترها در نظر گرفته شود. انجام هر آزمایش نیازمند تجهیزات خاصی جهت جام، قرانت و ثبت نیروها، تغییر مکان‌ها، خیزها، کرنش‌ها و دیگر موارد می‌باشد. شناخت صحیح این تجهیزات و انجام هر آزمایش امری ضروری و حیاتی است.

مجموعه حاضر سعی شده تا محققین و مهندسان را با نحوه مدلسازی فیزیکی در مهندسی، تئوری‌های موجود مدلسازی، انواع مدل‌های سازه‌ای، مصالح موردنظر، تأثیرات اندازه مواد بر رفتار سازه‌ها، انواع سیستم‌های نگهداری، تجهیزات آزمایش، ثبت اطلاعات و تفسیر نتایج آشنا کرده و دید گسترده‌ای از تمامی جوانب یک کار آزمایشگاهی قابل اطمینان و اعتماد در اختیار مهندسان قرار داده شود. در مجموعه حاضر که قسمت اعظم آن گرفته از مطالعات انجام شده توسط نگارنده در دانشگاه امیرکبیر و دانشگاه شریف و مرجع [۱] بوده، که بابتاً منجر به تدوین نشریه ۵۸۳ از سوی سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کل کشور (معاونت برنامه‌ریزی ریاست جمهوری) شده است سعی شده است؛ از ابتدا تا انتهای کار آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفته، تا علاقه‌مندان به انجام کارهای آزمایشگاهی با در اختیار داشتن یک منبع قابل اتکا و اطمینان به تحقیقات در بحث ساختمان بپردازند.

سید استر حاضر برای تمامی علاقه‌مندان مفید واقع گردد. در ضمن نگارندگان از کلیه کسانی که این کتاب را مورد مطالعه قرار می‌دهند تقاضا دارند تا انتقادات و نقطه‌نظرات خود را جهت ارتقاء سطح کیفی این اثر به مؤلفین منعکس نمایند. نگارنده به نوبه خود از زحمات کلیه کسانی که در تهیه این مجلد همکاری داشته‌اند، جناب آقایان دکتر عادل یونسی و مهندس سید حسن یوسفی و نیز آقایان مهندس علیرضا کرک آبادی و اسماعیل شجاعی در طراحی های جلد و همچنین زحمات بی شائبه آقای مهندس مصطفی رثوفی کمال تقدیر و تشکر بعمل می‌آورد.

امید رضائی فر - فروردین ۱۳۹۹

فهرست مطالب

فصل ۱: مقدمه‌ای بر مدل‌سازی فیزیکی در مهندسی سازه

۱-۱- مقدمه

۱-۲- مدل‌های سازه‌ای - تعاریف و طبقه‌بندی‌ها

۱-۲-۱- طبقه‌بندی مدل‌ها

۱-۳- تاریخچه مختصری از مدل‌سازی

۱-۴- مدل‌های سازه‌ای و قوانین

۱-۵- مدل‌سازی فیزیکی در برنامه درسی جدید مهندسی

۱-۶- انتخاب مقیاس هندسی

۱-۷- فرآیند مدل‌سازی

۱-۸- مزایا و محدودیت‌های آنالیز مدل

۱-۹- دقت مدل‌های سازه‌ای

۱-۱۰- آزمایشگاه‌های مدل

۱-۱۱- مطالعات موردی مدل‌سازی

۱-۱۲- خلاصه

فصل ۲: تئوری مدل‌های سازه‌ای

۲-۱- مقدمه و تئوری عمومی مدل

۲-۲- سیستم‌های واحد اندازه‌گیری بین‌المللی

۲-۲-۱- کمیت‌های فیزیکی و واحدهای اندازه‌گیری

۲-۳- تئوری باکینگهام - تحلیل دیمانسیون (ابعادی)

۲-۴- تئوری مدل

۲-۵- مدل‌های با رفتار الاستیک خطی

۲-۶- مدل‌های با رفتار الاستیک غیرخطی

۲-۷- شبیه‌سازی پارامترهای مدل

۲-۷-۱- هندسه مدل

۲-۷-۲- خصوصیات مکانیکی و دینامیکی مدل

۲-۷-۲-۱- رابطه تنش و کرنش

۲-۷-۲-۲- ضریب پواسون

۲-۷-۲-۳- تعیین میرایی مصالح

۲-۷-۲-۴- اثرات سرعت کرنش

۲-۷-۲-۵- اثرات زمان بارگذاری

۲-۷-۲-۶- اثرات اندازه و ابعاد

۲۹	۷-۲-۷-۲- شکل پذیری
۲۹	۸- شبیه سازی جرم و سربار
۲۹	۲-۸-۱- سازه مدل شده با سربارهای شبیه سازی شده
۳۱	۲-۸-۲- سازه مدل شده بدون سربارهای شبیه سازی شده
۳۳	۲-۹- خلاصه
۳۵	فصل ۳: مدل های الاستیک، مصالح و روش های فنی
۳۵	۳-۱- مقدمه
۳۶	۳-۲- مصالح برای مدل های الاستیک
۳۷	۳-۳- بلاستیک ها
۳۷	۳-۳-۱- پلاستیک های ارتجاعی و پلاستیک های سخت (پلاستیک ترموستینگ)
۳۹	۳-۳-۲- مشخصه های کشش، فشار و خمش پلاستیک ها
۳۹	۳-۳-۳- رفتار ویسکوالاستیک پلاستیک ها
۴۰	۳-۳-۴- ویژگی های مکانیکی پلاستیک ها
۴۱	۳-۳-۵- ویژگی های رزین های پلی استایرن ترکیب شده با فیلر آهکی
۴۱	۳-۴- تأثیرات زمان در پلاستیک ها- ارزشیابی و جبران
۴۲	۳-۴-۱- تعیین مدول الاستیسیته وابسته به زمان و نسبت پواسون
۴۴	۳-۵- تأثیرات نرخ بارگذاری، دما و محیط
۴۴	۳-۵-۱- تأثیرات اندازه کرنش بر ویژگی های مکانیکی پلاستیک ها
۴۵	۳-۵-۲- تأثیرات دما و مشکلات حرارتی مربوطه
۴۵	۳-۵-۲-۱- تأثیرات دما بر روی ثابت های الاستیک
۴۵	۳-۵-۲-۲- تأثیرات دما بر روی مقاومت
۴۶	۳-۵-۳- ضرایب انبساط حرارتی
۴۶	۳-۵-۴- هدایت حرارتی (گرمایی)
۴۷	۳-۵-۵- دماهایی که نرم می کنند یا از شکل خارج می سازند
۴۸	۳-۵-۶- تأثیر رطوبت نسبی بر روی ویژگی های الاستیک
۴۸	۳-۶- مشکلات خاص مربوط به مدل های پلاستیکی
۴۸	۳-۶-۱- مدلسازی خزش در سیستم های نمونه اصلی
۴۸	۳-۶-۲- بررسی ضریب پواسون
۴۹	۳-۶-۳- تنوع ضخامت در اشکال تجاری
۴۹	۳-۶-۴- تأثیر فرآیند فشار بر روی مدول الاستیسیته

- ۴۹- ۷-۳- ساخت مدل‌های الاستیک
- ۵۰- ۳-۷-۱- مسائل مربوط به ساخت
- ۵۰- ۳-۷-۲- مجموعه مدل‌های ترکیب شده از دو یا چند ترکیب
- ۵۰- ۳-۷-۱- جوشکاری ظریف
- ۵۱- ۳-۷-۲- چسب‌ها یا چسبنده‌ها
- ۵۱- ۳-۷-۲- رزین‌های اپوکسی
- ۵۱- ۳-۷-۳- فرآیندهای شکل‌دهی حرارتی
- ۵۲- ۳-۷-۴- شکل‌دهی پارچه‌ای یا شکل‌دهی جاذبه‌ای مدل‌های پوسته‌ای
- ۵۲- ۳-۷-۴- قالب‌گیری پارچه‌ای
- ۵۳- ۳-۷-۵- شکل‌دهی خلاء
- ۵۳- ۳-۷-۶- خطاهای ساخت در شکل‌دهی حرارتی
- ۵۴- ۳-۷-۷- قالب‌ریزی مدل‌های پلاستیک
- ۵۴- ۳-۷-۸- شکل‌دهی چرخشی پوسته‌های فلزی
- ۵۴- ۳-۸-۸- مدل‌های الاستیک- کاربردهای طراحی و تحقیق
- ۵۵- ۳-۹- تعیین خطوط و سطوح تأثیر
- ۵۶- ۳-۱۰- تغییر شکل سنج
- ۵۸- ۳-۱۱- مصالح مصرفی در ساخت مدل
- ۵۸- ۳-۱۱-۱- رزین
- ۵۸- ۳-۱۱-۲- فلزات و آلیاژها
- ۵۹- ۳-۱۱-۳- بتن‌های ریز دانه
- ۵۹- ۳-۱۱-۴- گچ و یا مخلوطی از گچ و ماسه
- ۵۹- ۳-۱۱-۵- آرماتورهای مسلح کننده
- ۵۹- ۳-۱۲- خلاصه
- ۶۰- مسائل
- ۶۳- فصل ۴: مدل‌های غیرالاستیک و مصالح سازه‌های بتنی و بنایی بتنی
- ۶۳- ۴-۱- مقدمه
- ۶۳- ۴-۲- بتن‌های نمونه اصلی و مدل
- ۶۴- ۴-۳- خواص مهندسی بتن
- ۶۵- ۴-۳-۱- بتن‌های مدل و نمونه اصلی - تأثیر ریز ساختارها
- ۶۶- ۴-۴- مقاومت فشاری محصورنشده و رابطه تنش-کرنش
- ۶۶- ۴-۴-۱- بتن نمونه اصلی
- ۶۷- ۴-۴-۲- بتن مدل
- ۶۸- ۴-۴-۳- مقایسه ویژگی‌های بتن مدل و نمونه اصلی

۶۸	۴-۴-۴- خزش و بهیود خزش بتن
۶۹	۴-۴-۵- تأثیر مقدار سنگدانه
۷۰	۴-۴-۶- تأثیر نرخ کرنش
۷۰	۴-۴-۷- اثرات از دست دادن رطوبت
۷۱	۴-۴-۸- روابط مقاومت - سن و عمل آوری
۷۱	۴-۴-۹- تغییر آماری مقاومت فشاری
۷۲	۴-۵- مقاومت کششی بتن
۷۳	۴-۶- رفتار خمشی بتن نمونه اصلی و بتن مدل
۷۳	۴-۶-۱- ابعاد نمونه و ویژگی ها
۷۴	۴-۶-۲- منحنی های تنش-کرنش
۷۴	۴-۶-۳- تغییرات مشاهده شده مدول گسیختگی با تغییرات ابعادی
۷۴	۴-۶-۴- نرخ بارگذاری
۷۵	۴-۶-۵- تأثیرات شیب کرنش
۷۵	۴-۷- رفتار در کشش و برش
۷۵	۴-۷-۱- مقاومت شکافت کششی
۷۶	۴-۷-۲- نتایج آزمایشات استوانه شکافت مدل
۷۶	۴-۷-۳- مقاومت شکاف کششی در برابر سن
۷۶	۴-۸- مخلوط های طراحی برای بتن مدل
۷۶	۴-۸-۱- انتخاب مقیاس ماده مدل
۷۷	۴-۸-۲- مشخصات نمونه اصلی برای مدلسازی
۷۷	۴-۹- خلاصه طرح اختلاط بتن مدل توسط محققین
۷۸	۴-۱۰- ملات های سنگ گچ
۷۹	۴-۱۰-۱- روش های عمل آوری و آب بندی کردن
۸۰	۴-۱۰-۲- مشخصات مکانیکی
۸۱	۴-۱۱- مدلسازی سازه های بنایی بتنی
۸۱	۴-۱۱-۱- مشخصات ماده
۸۱	۴-۱۱-۱-۱- واحدهای بنایی نمونه اصلی
۸۱	۴-۱۱-۱-۲- واحدهای بنایی مدل
۸۲	۴-۱۱-۱-۳- ملات ها
۸۲	۴-۱۱-۲- مشخصات مقاومت اساسی