

دینامیک سازه های نانوکامپوزیتی
پیزوالکتریک: پوسته استوانه ای

Dynamics of Piezoelectric
Nanocomposite Structures
Cylindrical Shell

نویسندگان:

دکتر رضا کلاه چلی / دکتری مهندسی مکانیک گرایش طراحی کاربردی
مهندس سید امیرحسین علیزاده / کارشناسی مهندسی مکانیک
مهندس علی جعفرزاده / کارشناسی مهندسی عمران
مهندس مرتضی صفری / کارشناسی ارشد مهندسی صنایع گرایش مهندسی مکانیک

خرداد ۹۵



عنوان و نام پدیدآورندگان:	دینامیک سازه‌های نانوکامپوزیتی پیزوالکتریک: پوسته استوانه‌ای / نویسندگان: رضا کلاه‌چی... (و دیگران)
مشخصات نشر:	اصفهان: سنا، ۱۳۹۵.
مشخصات ظاهری:	۳۰۷ ص.
شابک:	۹۷۸-۶۰۰-۸۰۶۱-۳۳-۵
وضعیت فهرست‌نویسی:	فیپا
یادداشت:	نویسندگان: رضا کلاه‌چی، سید امیرحسین علیزاده مخملی، علی حیدرزاده، مرتضی صفری
موضوع:	نانوچندسازه‌ای‌ها
موضوع:	Nanocomposites (Materials)
موضوع:	دینامیک سازه‌ها
موضوع:	Structural dynamics
موضوع:	پیزوالکتریسته
موضوع:	Piezoelectricity
شناسه ازدوده:	کلاه‌چی، رضا، ۱۳۶۵-
رده‌بندی کنگره:	TA ۴۱۸/۹/۲۵۹۱۳۰
رده‌بندی دیویی:	۶۲۰/۵
شماره کتابشناسی ملی:	۴۰۵۶۳۰۲



انتشارات سنا

نام کتاب:	دینامیک سازه‌های نانوکامپوزیتی پیزوالکتریک: پوسته استوانه‌ای
ناشر:	انتشارات سنا
نویسندگان:	رضا کلاه‌چی، سید امیرحسین علیزاده مخملی، علی حیدرزاده، مرتضی صفری
ویراستار:	سمیرا فتحعلی آشتیانی
صفحه آرا:	هنگامه قهرمانی
طراح جلد:	سید امیرحسین علیزاده مخملی
چاپ یکم:	۱۳۹۵
شمارگان:	۱۰۰۰ نسخه
قیمت:	۱۸۵۰۰ تومان
شابک:	۹۷۸-۶۰۰-۸۰۶۱-۳۳-۵
ISBN:	978-600-8061-33-5
پایگاه اینترنتی:	www.iranpub.com

همه‌ی حقوق مادی و معنوی این اثر برای پدیدآورندگان محفوظ است.

مرکز پخش: اصفهان، حدفاصل صارمیه و صمدیه، بین کوچه‌ی ۷۳ و ۷۵، معاونت حقوقی انتشارات سنا
تلفن: (۰۳۱)۳۲۳۶۳۳۰۴

پیش‌گفتار مؤلفان

امروزه مواد کامپوزیتی هوشمند اهمیت فراوانی از لحاظ تحقیقاتی و کاربردی دارد و برای طراحی محصولات صنعتی و سازه‌های مهندسی نظیر هواافضا، کشتی‌سازی، هسته‌ای، صنایع نفت و گاز، نانوفناوری و... از آن‌ها استفاده می‌شود. اخیراً در اغلب زمینه‌های علمی، تحقیقاتی و صنعتی از نانولوله‌ها برای تقویت استفاده می‌شود. هم‌چنین، بحث پایداری مواد و سازه‌ها به دلیل کاربردهای فراوان بسیار مهم است. لذا بر آن شدیم تا رفتارهای مکانیکی، حرارتی و الکتریکی مواد کامپوزیتی و هم‌چنین مدل‌های متداول و کاربردی برای پایداری کامپوزیت‌های هوشمند تعویض شده با نانولوله‌ها را بررسی کنیم.

برای این کار، ابتدا به صورت مختصر و مفیدی از نانوفناوری، انواع نانولوله‌ها و کامپوزیت‌ها ارائه می‌کنیم و سپس، نظریه‌های مختلف الکترومکانیکی و معادله‌های اساسی را شرح می‌دهیم.

برای این منظور، مدل‌های پوسته از سازه‌های بتدریج نازک و ضخیم را به کار گرفتیم که نتایج تحلیلی و آزمایشگاهی نزدیکی دارند. معادله‌های متشکله‌ی سیستم به فرم دیفرانسیلی، غیرخطی و کوپله به دست آمد. در نهایت، برای حل معادله‌های دیفرانسیل، روش عددی تفاضل‌های مربعی هارمونیک را ارائه کردیم. این روش بهینه‌ترین روش از لحاظ زمان حل و همگرایی جواب است.

در این روش، معادله‌های دیفرانسیل به دستگاه معادله‌های جبری تبدیل می‌شود. روش حل به این ترتیب است که ابتدا قسمت خطی مسئله حل می‌شود و سپس با در نظر گرفتن ترم‌های غیرخطی، مسئله مجدداً حل می‌شود.

نتایج این کتاب مرجع مفیدی برای استفاده‌ی دانشجویان تحصیلات تکمیلی در زمینه‌ی پایداری غیرخطی، انتشار موج و ارتعاش‌های غیرخطی است. در پایان، با امید به گسترش بیش از پیش نانوفناوری در عرصه‌های نظری و کاربردی در

جامعه، وظیفه‌ی خود می‌دانیم از ستاد ویژه‌ی توسعه‌ی نانوفناوری ریاست
جمهوری به خاطر حمایت‌های مالی و معنوی تشکر نماییم.

رضا کلاه‌چی

سید امیرحسین عزیزاده مخملی

علی حیدرزاده

مرتضی صفری

خرداد ۱۳۹۵

www.ketab.ir

فهرست

۱۵	فصل یکم: مقدمه
۱۵	۱-۱. تقسیم‌بندی مواد
۱۶	۱-۱-۱. مواد فلزی
۱۷	۱-۱-۲. مواد غیرفلزی معدنی (سرامیکی)
۱۷	۱-۱-۳. مواد پلیمری
۱۸	۱-۱-۴. مواد نیمه‌هادی
۱۸	۱-۱-۵. مواد مختلط یا کامپوزیت‌ها
۲۰	۱-۵-۱. ساختارهای تشکیل‌دهنده‌ی مواد مرکب
۲۱	۱-۵-۲. فواید مواد مرکب
۲۲	۱-۵-۳. دسته‌بندی
۲۳	۱-۵-۴. مختصری از خواص مکانیکی کامپوزیت‌های الیافی و نظریه‌ی آن‌ها
۲۳	۱-۲. نانو کامپوزیت
۲۶	۱-۲-۱. تاریخچه‌ی نانو کامپوزیت‌ها
۲۷	۱-۲-۲. انواع نانو کامپوزیت‌ها
۲۷	۱-۲-۲-۱. نانو کامپوزیت‌های زمینه‌ی سرامیکی
۲۷	۱-۲-۲-۲. نانو کامپوزیت‌های زمینه‌ی فلزی-سرامیکی
۲۸	۱-۲-۲-۳. نانو کامپوزیت‌های زمینه‌ی فلزی
۲۸	۱-۲-۲-۴. نانو کامپوزیت‌های زمینه‌ی پلیمری
۲۹	۱-۲-۲-۱. خواص و کاربرد نانو کامپوزیت‌های زمینه‌ی پلیمری
۳۱	۱-۲-۲-۲. روش‌های تولید نانو کامپوزیت‌های زمینه‌ی پلیمری
۳۵	۱-۲-۲-۳. نانو کامپوزیت‌های زمینه‌ی پلیمری حاوی نانوذرات
۳۵	۱-۲-۲-۴. نانو کامپوزیت‌های زمینه‌ی پلیمری حاوی نانولایه‌ها
۳۶	۱-۲-۲-۵. نانو کامپوزیت‌های زمینه‌ی پلیمری حاوی نانوالیاف
۳۷	۱-۲-۲-۶. نانو کامپوزیت‌های پلیمری حاوی نانولوله‌ها
۳۸	۱-۳. نانو کامپوزیت‌های زمینه‌ی پلیمری هوشمند
۳۹	۱-۴. معرفی نانولوله‌ها
۳۹	۱-۴-۱. نانولوله‌های کربنی
۳۹	۱-۴-۱-۱. تاریخچه‌ی نانولوله‌های کربنی
۴۱	۱-۴-۱-۲. انواع نانولوله‌های کربنی
۴۱	۱-۴-۱-۲-۱. نانولوله‌های کربنی تک‌جداره
۴۵	۱-۴-۱-۲-۲. نانولوله‌های کربنی چندجداره

۴۵	ویژگی های نانولوله های کربنی
۴۶	روش های تولید نانولوله های کربنی
۴۷	کاربرد نانولوله های کربنی
۴۷	نانولوله های نیتريدبور
۴۸	تاریخچه ی نانولوله های نیتريدبور
۴۹	انواع نانولوله های نیتريدبور
۴۹	ویژگی های نانولوله ی نیتريدبور
۵۳	روش های تولید نانولوله های نیتريدبور
۵۴	ایزدهای نانولوله های نیتريدبور
۵۷	مقایسه ی نانولوله های نیتريدبور با نانولوله های کربنی
۵۸	ساختارهای هندسی
۶۰	۱-۵-۱ معرفی ساختارهای هوشمند
۶۰	۲-۵-۱ تعریف ساختارهای هوشمند
۶۲	۳-۵-۱ اجزای سازنده ی ساختارهای هوشمند
۶۳	۴-۵-۱ معرفی مواد هوشمند
۶۴	۵-۵-۱ تعریف مواد هوشمند
۶۴	۶-۵-۱ مواد پیزوالکتریک
۶۶	۷-۵-۱ تعریف و تاریخچه ی مواد پیزوالکتریک
۶۶	۸-۵-۱ فرایند تولید سرامیک های پیزوالکتریک
۶۸	۹-۵-۱ روابط ساختاری و خواص مواد
۶۹	۱۰-۵-۱ سیستم های کنترل فعال ارتعاش ها
۷۵	فصل دوم: پیزوالکتریسته
۷۵	۱-۲ اثر پیزوالکتریک
۷۵	۱-۱-۲ ساختارهای کریستالی
۷۶	۲-۲ روابط ساختاری
۷۶	۱-۲-۲ میدان های مکانیکی
۷۷	۲-۲-۲ میدان های الکترواستاتیک
۷۸	۳-۲-۲ کوپل شدگی الکترومکانیکی
۷۹	۴-۲-۲ چرخش فضایی
۸۰	۵-۲-۲ تشابه تغییر شکل های الکتریکی و حرارتی تولید شده
۸۱	۳-۲ بررسی ساختاری

۸۱	۲-۳-۱. روابط ساختاری
۸۲	۲-۳-۲. اثر معکوس پیزوالکتریک
۸۴	۲-۳-۳. اثر مستقیم پیزوالکتریک
۸۷	۲-۴. کاهش ساختاری
۸۷	۲-۴-۱. میدان‌های الکترواستاتیک تک‌جهته
۸۸	۲-۴-۲. میدان‌های مکانیکی صفحه‌ای
۹۰	۲-۴-۳. چرخش صفحه‌ای
۹۳	فصل سوم: تعیین حاکم بر نانوکامپوزیت‌ها
۹۳	۳-۱. مقدمه
۹۳	۳-۲. طبقه‌بندی کلی کامپوزیت‌ها
۹۴	۳-۲-۱. بررسی فاز اینکلوژن
۹۴	۳-۲-۲. کامپوزیت‌های لایه‌ای و لایه‌ای الیافی
۹۵	۳-۳. مفهوم کامپوزیت پیزوالکتریک
۹۶	۳-۳-۱. الکترودهای مجتمع و الیاف یزوارک-یک
۹۷	۳-۳-۲. مفهوم الکتروگذاری
۹۹	۳-۳-۳. المان حجمی نمونه (RVE) و هندسه‌ی الیاف
۱۰۲	۳-۴. مدل کردن مقدماتی
۱۰۳	۳-۴. میکرومکانیک با اینکلوژن‌های برابر
۱۰۳	۳-۴-۱. میدان‌های متوسط و ماتریس‌های غلظت
۱۰۴	۳-۴-۲. قوانین مقدماتی اختلاط
۱۰۵	۳-۴-۳. هم‌ارزی اینکلوژن‌ها و ناهمگنی
۱۰۷	۳-۴-۴. غلظت‌های بالا
۱۰۷	۳-۴-۱. روش موری-تاناکا
۱۰۸	۳-۵. روش قانون اختلاط
۱۱۰	۳-۵-۱. کامپوزیت اورتوتروپ
۱۱۲	۳-۵-۲. کامپوزیت آیزوتروپ
۱۱۳	۳-۶. مدل میکرومکانیکی بر اساس انحنای نانولوله
۱۱۷	۳-۷. مدل میکرومکانیکی بر اساس تراکم و انباشتگی نانولوله‌ها
۱۱۹	۳-۸. مدل ارائه‌شده برای شبیه‌سازی جدایی سطح مشترک نانولوله و پلیمر

۱۲۰	۸-۳-۱. نظریه‌ی عمومی برای تخمین جدایی در سطح مشترک
۱۲۲	۸-۳-۲. قانون چسبندگی غیرخطی در سطح مشترک نانولوله‌ی کربنی و
۱۲۴	۸-۳-۳. مدل میکرومکانیکی نانو کامپوزیت بر اساس قانون چسبندگی
۱۲۴	۸-۳-۱. تنش و کرنش ماکروسکوپیک نانو کامپوزیت
۱۲۶	۸-۳-۲. حل تقریبی
۱۲۸	۸-۳-۴. محاسبه‌ی مدول الاستیسیته‌ی معادل کامپوزیت
۱۳۱	۳-۹. مدل کردن خواص الکترومگنتوتروموالاستیک برای کامپوزیت‌های
۱۳۲	۳-۹-۱. مدل‌های میکرومکانیک
۱۳۴	۳-۹-۲. فرض‌ها
۱۳۶	۳-۹-۳. دست آوردن فرمول‌های فرم بسته برای مدل <i>XPEMFRC</i>
۱۴۵	فصل چهارم: «ماده‌ها» حاکم بر پوسته‌های استوانه‌ای
۱۴۵	۴-۱. مقدمه
۱۴۷	۴-۲. روابط کرنش-تغییر مکان
۱۴۸	۴-۲-۱. نظریه‌ی خطی پوسته
۱۴۹	۴-۲-۲. نظریه‌ی غیرخطی پوسته
۱۵۰	۴-۲-۳. نظریه‌ی دائل
۱۵۳	۴-۳. معادله‌های تنش-کرنش
۱۵۳	۴-۳-۱. پوسته استوانه‌ای
۱۵۵	۴-۳-۲. هسته‌ی کامپوزیتی پیزوالکتریکی
۱۵۶	۴-۳-۱-۲. ثوابت الاستیک
۱۵۸	۴-۳-۲-۲. ثوابت پیزوالکتریک و دی‌الکتریک
۱۵۹	۴-۴. روش انرژی
۱۵۹	۴-۴-۱. نظریه‌ی لایه‌ای
۱۶۱	۴-۴-۲. انرژی پتانسیل پوسته استوانه‌ای
۱۶۳	۴-۴-۳. انرژی پتانسیل هسته‌ی کامپوزیتی هوشمند
۱۶۵	۴-۴-۴. انرژی جنبشی پوسته استوانه‌ای
۱۶۶	۴-۴-۵. انرژی جنبشی هسته‌ی کامپوزیتی هوشمند
۱۶۶	۴-۴-۶. کار خارجی ناشی از محیط ویسکو الاستیک
۱۶۷	۴-۴-۷. کار خارجی ناشی از جریان سیال در هسته
۱۶۸	۴-۵. اصل همیلتون

۱۶۹	۴-۵-۱. پوسته استوانه‌ای.....
۱۷۰	۴-۵-۲. هسته‌ی کامپوزیتی.....
۱۷۱	۴-۶. معادله‌های متشکله.....
۱۷۹	فصل پنجم: روش عددی تفاضلات مربعی هارمونیک.....
۱۷۹	۵-۱. مقدمه.....
۱۸۲	۵-۲. معرفی روش DQM و HDQM.....
۱۸۳	۵-۲-۱. انتخاب نقاط نمونه.....
۱۸۵	۵-۲-۲. توابع تست و اعمال روش DQM و HDQM.....
۱۸۶	۵-۲-۲-۱. تابع تست روش DQM.....
۱۸۷	۵-۲-۲-۱-۱. روش اول.....
۱۸۹	۵-۲-۲-۲. روش دو.....
۱۹۲	۵-۲-۲-۲. توابع تست روش HDQM.....
۱۹۳	۵-۳. شرط مرزی و نحوه‌ی اعمال آن.....
۱۹۴	۵-۳-۱. روش دلتا.....
۱۹۴	۵-۳-۲. روش اصلاح ضرایب وزنی.....
۱۹۵	۵-۳-۳. اصلاح ماتریس ضرایب وزنی.....
۱۹۷	۵-۴. مسیر حل معادله‌های حاکمه بر اساس روش HDQM.....
۲۰۳	فصل ششم: ارتعاش‌ها و انتشار موج سازه.....
۲۰۶	۶-۱. مقایسه و بررسی نتایج.....
۲۰۶	۶-۱-۱. بررسی تأثیرات مودهای ارتعاش‌ها.....
۲۱۱	۶-۱-۲. بررسی تأثیرات جنس هسته.....
۲۱۴	۶-۱-۳. بررسی تأثیرات درصد هوشمندی هسته.....
۲۱۷	۶-۱-۴. بررسی تأثیرات پارامتر هندسی پوسته.....
۲۲۰	۶-۱-۵. بررسی تأثیرات زاویه‌ی چیدمان نانولوله در پلیمر.....
۲۲۳	۶-۱-۶. بررسی تأثیرات درصد حجمی نانولوله در پلیمر.....
۲۲۶	۶-۱-۷. بررسی تأثیرات بار حرارتی.....
۲۲۸	۶-۱-۸. بررسی تأثیرات محیط الاستیک.....
۲۳۲	۶-۱-۹. بررسی تأثیرات ضریب دمپر محیط ویسکو الاستیک.....
۲۳۴	۶-۱-۱۰. بررسی تأثیرات ویسکوزیته‌ی جریان سیال.....
۲۳۶	۶-۲. انتشار موج غیر خطی.....

۲۳۶	۱-۲-۶. اثر مود ارتعاشی روی سرعت فاز.....
۲۳۷	۲-۲-۶. اثر جنس هسته روی سرعت فاز.....
۲۳۹	۳-۲-۶. اثر درصد هوشمندی هسته روی سرعت فاز.....
۲۴۰	۴-۲-۶. اثر پارامتر هندسی پوسته روی سرعت فاز.....
۲۴۱	۵-۲-۶. اثر زاویه‌ی چیدمان نانولوله در پلیمر روی سرعت فاز.....
۲۴۲	۶-۲-۶. اثر درصد حجمی نانولوله در پلیمر روی سرعت فاز.....
۲۴۲	۷-۲-۶. اثر بار حرارتی روی سرعت فاز.....
۲۴۴	۸-۲-۶. بررسی تأثیرات محیط الاستیک.....
۲۴۴	۹-۲-۶. اثر سرب دمپر محیط ویسکو الاستیک روی سرعت فاز.....
۲۴۶	۱۰-۲-۶. اثر ویسکریته‌ی جریان سیال بر سرعت فاز.....
۲۴۶	۱۱-۲-۶. اثر سرعت جریان سیال بر سرعت فاز.....
۲۴۹	فصل هفتم: کماتر، پایداری و امپدانس
۲۵۱	۱-۷. کماتر خطی.....
۲۵۱	۱-۱-۷. بررسی تغییرات بار بحرانی نسبت به میزان درصد هسته.....
۲۵۸	۲-۱-۷. تغییرات پتانسیل الکتریکی در پوسته تقویت‌شده با.....
۲۶۰	۲-۷. کماتر غیرخطی.....
۲۶۰	۱-۲-۷. بررسی تغییرات بار بحرانی کماتر در راستای طول پوسته.....
۲۶۶	۲-۲-۷. بررسی تغییرات پتانسیل الکتریکی در راستای طول پوسته.....
۲۶۹	۳-۲-۷. بررسی تغییرات پتانسیل الکتریکی در راستای طول پوسته.....
۲۷۱	۴-۲-۷. بررسی مودهای کماتر بر اثر رشد حداکثر دامنه‌ی جابجایی.....
۲۷۷	۳-۷. کماتر غیرخطی تحت بار دینامیکی.....
۲۷۷	۱-۳-۷. تحلیل پایداری غیرخطی تحت بار دینامیکی.....
۲۸۳	۲-۳-۷. بررسی تغییرات بار بحرانی دینامیکی تحت شرایط مختلف.....
۲۸۹	۳-۳-۷. بررسی تغییرات حداکثر جابه‌جایی عرضی با زمان.....
۲۹۲	۴-۳-۷. پایداری مکانیکی.....
۲۹۷	واژه‌نامه
۳۰۳	منابع