دانشکده فنی و مهندسی

گروه مهندسی مکانیک

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد رشته مهندسی مکانیک

گرایش طراحی کاربردی

تحلیل ارتعاشات آزاد پانل استوانه ای ساخته شده از مواد هدفمند ارتوتروپیک

استاد راهنما :

دکتر محمد حسین یاس

نگارش :

بهنام سبحانی عراق

مهرماه ۱۳۸۸

بسم الله الرحمن الرحيم

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و

نوآوری های ناشی از تحقیق موضوع این پایان نامه

متعلق به دانشگاه رازی است.

دانشکده فنی و مهندسی

گروه مکانیک

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد رشته مهندسی مکانیک

گرایش طراحی کاربردی بهنام سبحانی عراق

تحت عنوان

تحلیل ارتعاشات آزاد پانل استوانه ای ساخته شده از مواد هدفمند ارتوتروپیک

در تاریخ ۱۳۸۸/۷/۱۳ توسط هیآت داوران زیر بررسی و با درجه عالی به تصویب نهایی رسید.

۱- استاد راهنما دکتر محمد حسین یاس با مرتبه علمی دانشیار

۲- استاد داور داخل گروه دکتر مهرداد فروتن با مرتبه علمی استادیار

۳- استاد داور خارج از گروه دکتر اکبر علی بیگلو با مرتبه علمی دانشیار

تقدیر و سپاس

با حمد و ستایش بیکران از ایزد منان، از پدر و مادر گرامیم که آفتاب پر فروغ وجودشان روشنگر راه زندگیم بوده است و محبتشان را در قلب هیچ واژه ای نمی توان گنجاند، تقدیر و تشکر می نمایم. از برادر و خواهر عزیزم، بابک و سمیرا، که مشوق بنده در طول دوران تحصیل بوده اند کمال تشکر و قدردانی می نمایم. همچنین بر خود لازم می دانم از زحمات بی دریغ و راهنمایی های علمی استاد فاضل و ارجمند جناب آقای دکتر محمد حسین یاس تقدیر و تشکر خالصانه و مخلصانه نمایم.

تقدیم به پدر و مادر عزیزم

چکیده

پانل های استوانه ای متشکل از مواد پیشرفته و یا مواد هدفمند استفاده روزافزونی در مهندسی به خصوص در صنایع هوافضا، هسته ای، شیمیایی و غیره پیدا کرده است. در سال های اخیر روش های متعددی جهت مطالعه رفتار استاتیکی و دینامیکی این نوع سازه ها ارائه شده است که اساس آن ها بر پایه تئوری تقریب پوسته جدار نازک، تئوری تغییر شکل برشی و یا تئوری الاستیسیته سه بعدی می باشد. به خاطر اثرات پیچیده نظیر تاثیر زیاد برش عرضی و تغییر شکل قائم عرضی، کوپلینگ خمشی و کششی ناشی از انحنا پوسته و غیره رفتار دینامیکی سازه های هدفمند ارتوتروپ خیلی پیچیده تر از سازه های دیگر می باشد. لذا پیشگویی دقیق رفتار دینامیکی نیاز به تحلیل بر اساس مدل سه بعدی به جای تئوری خمشی می باشد. به خاطر پیچیدگی های ریاضی حل معادلات دیفرانسیل حرکت حاکم بر این سازه های پیشرفته در حالت سه بعدی حل های کمی در این مورد در مقالات وجود دارد.

در این تحقیق، حل الاستیسیته سه بعدی برای تحلیل ارتعاشات آزاد پانل استوانه ای هدفمند ارتوتروپیک با استفاده از روش دیفرانسیل کوادریچر مطالعه شده است. پانل استوانه ای از یک ماده ارتوتروپیک ساخته شده و خواص ماده، تابعی از مختصات شعاعی پانل می باشد. تغییرات تدریجی خواص در پانل ارتوتروپیک به دو صورت تغییر کسر حجمی مواد و نیز تغییر زاویه قرار گیری الیاف نسبت به محور طولی پانل بر اساس قانون توانی در نظر گرفته شده است. معادلات حاکم بر حرکت بر حسب تنش ها بر اساس تئوری الاستیسیته سه بعدی با استفاده از روابط تنش – کرنش و کرنش– تغییر مکان تبدیل به معادلات دیفرانسیل جزئی بر حسب تغییر مکان ها می شود. این معادلات با استفاده از بسط سری مثلثاتی توابع تغییر مکان ها و به طوری که شرایط مرزی تکیه گاهی را برآورده کند به معادلات دیفرانسیل معمولی با ضرایب متغیر تبدیل می شود. سپس معادلات حاکم و شرایط مرزی با استفاده از روش دیفرانسیل کوادریچر تعمیم یافته گسسته سازی شده و در نهایت دستگاه معادلات مقدار ویژه به دست می آید. با حل مسئله مقدار ویژه فرکانس های طبیعی پانل به دست می آیند. در ادامه، نتایج عددی برای پانل استوانه ای ساخته شده از مواد هدفمند ارتوتروپ ارائه شده و با پانل ارتوتروپ با چیدمان های مختلف [۰/۹۰]، [۰/۴۵/۹۰]، [۰/۳۰/۶۰/۹۰] و نیز چیدمان های مختلف کسر حجمی مواد مقایسه شده است. همچنین تاثیر نسبت شعاع به ضخامت پانل، تعداد موج های محیطی، اندیس قانون توانی، نسبت شعاع به طول پانل و دهانه پانل بر روی پارامتر فرکانسی بررسی شده است.

فهرست مطالب

عنوان صفحه

فصل اول : مواد هدفمند

۱-۱- مقدمه ۲
۱-۲- معرفی مواد هدفمند ۲
۱-۳- پیشینه مواد هدفمند ۴
۱-۴- مدلهای ریاضی موجود برای خواص مکانیکی مواد هدفمند ۵
۱-۴-۱- استفاده از تابع نمایی ۵
۱-۴-۲- استفاده از توابع یک یا چند جمله ای ۵
۱-۴-۳- استفاده از رابطه غیر خطی ۵
۱-۴-۴- استفاده از رابطه غیرخطی متأثر از دمای مواد ۸
۱-۴-۵- استفاده از مدل مثلثاتی ۸
۱-۵- مروری بر مقالات انجام شده ۹

فصل دوم : فرمول بندی مسئله

۲-۱- مقدمه ۱۳
۲-۲- پانل استوانه ای هدفمند ارتوتروپیک با طول نامحدود ۱۴
۲-۲-۱- تشریح مسئله ۱۴
۲-۲-۲- معادلات حرکت حاکم ۱۸
۲-۲-۳- شرایط مرزی مسئله ۲۲
۲-۳- پانل استوانه ای هدفمند ارتوتروپیک با طول محدود ۲۳
۲-۲-۱- تشریح مسئله ۲۳
۲-۲-۲- معادلات حرکت حاکم ۲۴
۲-۲-۳- شرایط مرزی مسئله ۲۶

فصل سوم : حل مسئله

۳-۱- روش دیفرانسیل کوادریچر ۲۸
۳-۲- پانل استوانه ای هدفمند ارتوتروپیک با طول نامحدود ۳۱
۳-۲-۱- اعمال روش دیفرانسیل کوادریچر بر معادلات حرکت ۳۱

۳-۲-۲- اعمال روش دیفرانسیل کوادریچر بر شرایط مرزی ۳۲
۳-۲-۳- استخراج فرکانس های طبیعی پانل ۳۳
۳-۲-۴- اعمال روش دیفرانسیل کوادریچر بر پانل ارتوتروپ چند لایه ۳۴
۳-۳- پانل استوانه ای هدفمند ارتوتروپیک با طول محدود ۳۸
۳-۳-۱- اعمال روش دیفرانسیل کوادریچر بر معادلات حرکت ۳۸
۳-۳-۲- اعمال روش دیفرانسیل کوادریچر بر شرایط مرزی ۳۹
۳-۳-۳- استخراج فرکانس های طبیعی پانل ۳۹

فصل چهارم : نتایج عددی

۴-۱- مقدمه ۴۲
۴-۲- پانل استوانه ای هدفمند ارتوتروپیک با طول نامحدود ۴۲
۴-۲-۱- تغییرات تدریجی خواص بر اساس تغییر زاویه قرار گیری الیاف نسبت به محور طولی پانل ۴۲
۴-۲-۱-۱- خواص مواد ۴۲
۴-۲-۱-۲- بررسی همگرایی و دقت پارامتر فرکانسی در روش دیفرانسیل کوادریچر ۴۳
۴-۲-۱-۳- مقایسه پانل استوانه ای هدفمند ارتوتروپ و پانل ارتوتروپیک با چیدمانهای مختلف ۴۵
۴-۲-۱-۴- بررسی اثر پارامتر های مختلف بر مشخصه های فرکانسی پانل استوانه ای هدفمند ارتوتروپ ۴۸
۴-۲-۲- تغییرات تدریجی خواص بر اساس تغییر کسر حجمی مواد ۵۳
۴-۲-۲-۱- خواص مواد ۵۳
۴-۲-۲-۲- بررسی همگرایی و دقت پارامتر فرکانسی در روش دیفرانسیل کوادریچر ۵۵
۴-۲-۲-۳- مقایسه پانل استوانه ای هدفمند ارتوتروپ و پانل ارتوتروپیک با چیدمانهای مختلف ۵۵
۴-۲-۲-۴- بررسی اثر پارامتر های مختلف بر مشخصه های فرکانسی پانل استوانه ای هدفمند ارتوتروپ ۵۸
۴-۳- پانل استوانه ای هدفمند ارتوتروپیک با طول محدود ۶۵
۴-۳-۱- خواص مواد ۶۶
۴-۳-۲- بررسی همگرایی و دقت پارامتر فرکانسی در روش دیفرانسیل کوادریچر ۷۰
۴-۳-۳- مقایسه پانل استوانه ای هدفمند ارتوتروپ و پانل ارتوتروپیک با چیدمانهای مختلف ۷۱
۴-۳-۴- بررسی اثر پارامتر های مختلف بر مشخصه های فرکانسی پانل استوانه ای هدفمند ارتوتروپ ۷۵

فصل پنجم : نتیجه گیری و پیشنهادات

۵-۱- نتیجه گیری ۸۲
۵-۲- پیشنهادات ۸۳
منابع ۸۶

فهرست شکل ها

عنوان صفحه

شکل ۱-۱. هندسه پوسته استوانه ای هدفمند ۷
شکل ۱-۲. تغییرات کسر حجمی مواد هدفمند با z/h بر اساس روابط (۱-۶) و (۱-۷) ۷
شکل ۱-۳. تغییرات کسر حجمی مواد هدفمند با z/h بر اساس روابط (۱-۱۰) و (۱-۱۱) ۹
شکل ۲-۱. تنش های اعمالی روی یک المان حجمی ۱۴
شکل ۲-۲. هندسه پانل استوانه ای با طول نامحدود ۱۶
شکل۲-۳. تغییر زاویه فیبر در راستای شعاعی پانل استوانه ای هدفمندارتوتروپ ۱۷
شکل ۲-۴. هندسه پانل استوانه ای با طول محدود ۲۳
شکل ۴-۱. همگرایی و پایداری پارامتر فرکانس اساسی پانل هدفمند ارتوتروپیک با استفاده از توزیع نقاط مختلف ($S=۱۰۰, \Phi=\pi/۶ , p=۱$) ۴۴
شکل ۴-۲. همگرایی و پایداری پارامتر فرکانس اساسی پانل هدفمند ارتوتروپیک با ازای مقادی مختلف S ($\Phi=\pi/۶ , p=۱$) ۴۴
شکل ۴-۳. اثر S بر روی پارامتر فرکانسی اساسی پانل استوانه ای هدفمند ارتوتروپ و ارتوتروپیک چند لایه ۴۶
شکل ۴-۴. اثرتغییر خطی زاویه فیبر بر روی پانل استوانه ای ارتوتروپ ساخته شده از مواد هدفمند ارتوتروپ و پانل ارتوتروپیک با چیدمان های مختلف به ازای مقادیر مختلف تعداد موج های محیطی ($S=۱۰۰ , \Phi=\pi/۶$) ۴۸
شکل۴-۵. تغییرات پارامتر فرکانسی با تعداد موج های محیطی به ازای مقادیر مختلف دهانه پانل برای پانل استوانه ای هدفمند ارتوتروپ ($S=۱۰۰ , p=۱$) ۵۰
شکل۴-۶. تغییرات پارامتر فرکانسی اساسی با S به ازای مقادیر مختلف دهانه پانل برای پانل استوانه ای هدفمند ارتوتروپ ۵۰
شکل ۴-۷. تغییرات پارامتر فرکانسی با تعداد موج محیطی به ازای مقادیر مختلف ضریب توزیع توانی پانل استوانه ای هدفمندارتوتروپ ($S=۱۰۰ , \Phi=\pi/۶$) ۵۱
شکل ۴-۸. اثر S بر روی پارامتر فرکانسی اساسی به ازای مقادیر مختلف اندیس توزیع توانی پانل استوانه ای هدفمند ارتوتروپ ۵۲
شکل ۴-۹. اثر اندیس توزیع توانی p بر روی پارامتر فرکانسی اساسی پانل استوانه ای هدفمند ارتوتروپ ($S=۱۰۰ , \Phi=\pi/۶$) ۵۲
شکل ۴-۱۰. تغییرات پارامتر فرکانسی اساسی پانل استوانه ای هدفمند ارتوتروپ با اندیس توزیع توانی p به ازای مقادیر مختلف S ۵۳

شکل ۴-۱۱. همگرایی و پایداری پارامتر فرکانس اساسی پانل هدفمند ارتوتروپیک با ازای مقادی مختلف S (Φ=π/۶ , p=۱) ۵۵
شکل ۴-۱۲. اثر S بر روی پارامتر فرکانسی اساسی پانل استوانه ای هدفمند ارتوتروپ و ارتوتروپیک چند لایه ۵۷
شکل ۴-۱۳. مقایسه پارامتر فرکانسی پانل استوانه ای ارتوتروپ ساخته شده از مواد هدفمند ارتوتروپ و پانل ارتوتروپیک با چیدمان های مختلف کسر حجمی تنگستن به ازای مقادیر مختلف تعداد موج های محیطی (S=۱۰۰ , Φ=π/۶) ۵۸
شکل۴-۱۴. تغییرات پارامتر فرکانسی با تعداد موج های محیطی به ازای مقادیر مختلف دهانه پانل برای پانل استوانه ای هدفمند ارتوتروپ (S=۱۰۰ , p=۱) ۶۰
شکل۴-۱۵. تغییرات پارامتر فرکانسی با تعداد موج های محیطی به ازای مقادیر مختلف S برای پانل استوانه ای هدفمند ارتوتروپ (S=۱۰۰ , p=۱) ۶۰
شکل ۴-۱۶. تغییرات پارامتر فرکانسی با تعداد موج محیطی به ازای مقادیر مختلف ضریب توزیع توانی پانل استوانه ای هدفمند ارتوتروپ (S=۱۰۰ , Φ=π/۶) ۶۱
شکل ۴-۱۷. اثر اندیس توزیع توانی p بر روی پارامتر فرکانسی اول پانل استوانه ای هدفمند ارتوتروپ (S=۱۰۰ , Φ=π/۶, m=۱) ۶۲
شکل ۴-۱۸. اثر اندیس توزیع توانی p بر روی پارامتر فرکانسی دوم پانل استوانه ای هدفمند ارتوتروپ (S=۱۰۰ , Φ=π/۶, m=۲) ۶۲
شکل ۴-۱۹. اثر اندیس توزیع توانی p بر روی پارامتر فرکانسی سوم پانل استوانه ای هدفمند ارتوتروپ (S=۱۰۰ , Φ=π/۶, m=۳) ۶۳
شکل ۴-۲۰. اثر اندیس توزیع توانی p بر روی پارامتر فرکانسی چهارم پانل استوانه ای هدفمند ارتوتروپ (S=۱۰۰ , Φ=π/۶, m=۴) ۶۳
شکل ۴-۲۱. اثر اندیس توزیع توانی p بر روی پارامتر فرکانسی پنجم پانل استوانه ای هدفمند ارتوتروپ (S=۱۰۰ , Φ=π/۶, m=۵) ۶۴
شکل ۴-۲۲. اثر اندیس توزیع توانی p بر روی پارامتر فرکانسی ششم پانل استوانه ای هدفمند ارتوتروپ (S=۱۰۰ , Φ=π/۶, m=۶) ۶۴
شکل ۴-۲۳. همگرایی و پایداری پارامتر فرکانس اساسی پانل هدفمند ارتوتروپیک با ازای مقادیر مختلف R/L و R/H (Φ=π/۶ , p=۱) ۷۱
شکل ۴-۲۴. اثر S بر روی پارامتر فرکانسی اساسی پانل استوانه ای هدفمند ارتوتروپ و ارتوتروپیک چند لایه (m=۱ , n=۱, R/L=۱, Φ=π/۶) ۷۳
شکل ۴-۲۵. مقایسه پارامتر فرکانسی پانل استوانه ای هدفمند ارتوتروپ و پانل ارتوتروپیک با چیدمان های مختلف کسر حجمی تنگستن به ازای مقادیر مختلف تعداد موج های محیطی (n=۱ , R/L=۱, S=۱۰۰ , Φ=π/۶) ۷۴

شکل ۴-۲۶. اثر نسبت شعاع میانی به طول پانل بر پارامتر فرکانسی ($\Omega = \omega H\sqrt{\rho^i / E_2^i}$) پانل استوانه ای هدفمند ارتوتروپ و پانل ارتوتروپیک با چیدمان های مختلف کسر حجمی تنگستن (S=۱۰ , $\Phi=\pi/۶$, m=۱, n=۱) ۷۵
شکل ۴-۲۷. تغییرات پارامتر فرکانسی با تعداد موج محیطی به ازای مقادیر مختلف اندیس توزیع توانی پانل استوانه ای هدفمند ارتوتروپ (n=۱ , R/L=۱ , $\Phi=\pi/۶$, S=۱۰۰) ۷۷
شکل ۴-۲۸. اثر اندیس توزیع توانی p بر روی پارامتر فرکانسی اساسی پانل استوانه ای هدفمند ارتوتروپیک ($\Phi=\pi/۶$, R/L=۱, S=۱۰۰, n=۱, m=۱) ۷۸
شکل ۴-۲۹. اثر S بر روی پارامتر فرکانسی پانل استوانه ای هدفمند ارتوتروپ به ازای مقادیر مختلف اندیس توزیع توانی ($\Phi=\pi/۶$, R/L=۱, n=۱, m=۱) ۷۸
شکل ۴-۳۰. تغییرات پارامتر فرکانسی با تعداد موج محیطی به ازای مقادیر مختلف S پانل استوانه ای هدفمند ارتوتروپیک (R/L=۱, $\Phi=\pi/۶$, n=۱) ۷۹
شکل ۴-۳۱. تاثیر R/L بر پارامتر فرکانسی ($\Omega = \omega H\sqrt{\rho^i / E_2^i}$) پانل هدفمند ارتوتروپیک به ازای مقادیر مختلف اندیس توزیع توانی ($\Phi=\pi/۶$, S=۱۰, n=۱, m=۱) ۷۹
شکل ۴-۳۲. تغییرات پارامتر فرکانسی ($\Omega = \omega H\sqrt{\rho^i / E_2^i}$) با تعداد موج محیطی به ازای مقادیر مختلف R/L پانل استوانه ای هدفمند ارتوتروپ (n=۱ , $\Phi=\pi/۶$, S=۱۰) ۸۰

فهرست جدول ها

عنوان صفحه

جدول ۱-۱. مقایسه مواد هدفمند و مواد مرکب متداول ۳

جدول ۴-۱ همگرایی و دقت پارامتر فرکانس اساسی پانل هدفمند ارتوتروپیک به ازای مقادیر مختلف S ۴۵

جدول ۴-۲. پارامتر فرکانسی اساسی پانل استوانه ای هدفمند ارتوتروپ و ارتوتروپیک چند لایه با چیدمان های مختلف به ازای مقادیر مختلف S ۴۷

جدول ۴-۳. پارامتر فرکانسی پانل استوانه ای هدفمند ارتوتروپ و ارتوتروپیک چند لایه با چیدمان های مختلف به ازای مقادیر مختلف تعداد موج های محیطی ($\Phi=\pi/6$, S=۱۰۰) ۴۷

جدول ۴-۴. مقادیر لیست شده پارامتر فرکانسی پانل استوانه ای هدفمند ارتوتروپ برای مقادیر مختلف تعداد موج های محیطی و اندیس توزیع توانی ($\Phi=\pi/6$, S=۱۰۰) ۵۱

جدول ۴-۵. خواص مکانیکی مس و تنگستن ۵۴

جدول ۴-۶. کسر حجمی مس و تنگستن در سه حالت پانل استوا نه ای ۲لایه ارتوتروپ ، ۳لایه ارتوتروپ، ۴لایه ارتوتروپ و پانل استوا نه ای هدفمند ارتوتروپیک ۵۴

جدول ۴-۷. پارامتر فرکانسی اساسی پانل استوانه ای هدفمند ارتوتروپ و ارتوتروپیک چند لایه با چیدمان های مختلف کسر حجمی تنگستن به ازای مقادیر مختلف S ۵۷

جدول ۴-۸. مقادیر لیست شده پارامتر فرکانسی پانل استوانه ای هدفمند ارتوتروپ برای مقادیر مختلف تعداد موج های محیطی و اندیس توزیع توانی ($\Phi=\pi/6$, S=۱۰۰) ۶۱

جدول ۴-۹. مقایسه پارامتر فرکانسی اساسی برای پانل استوانه ای ۲ لایه [۹۰/۰] به ازای مقادیر مختلف $\frac{H}{L}$ و $\frac{R}{L}$ با نتایج مقالات موجود ۶۷

جدول ۴-۱۰. مقایسه پارامتر فرکانسی اساسی برای پانل استوانه ای ۳ لایه [۹۰/۰/۹۰] به ازای مد های مختلف با نتایج مقالات موجود ($\Phi = 60^0$, L=۲۵ , R=۵,) ۶۸

جدول ۴-۱۱. مقایسه پارامتر فرکانسی پانل استوا نه ای هدفمند به ازای مقادیر مختلف اندیس توزیع توانی با نتایج مقالات موجود (m,n=۱ , L/R=۱ , h=۰.۱) ۶۹

جدول ۴-۱۲. مقایسه پارامتر فرکانسی اساسی پانل استوا نه ای هدفمند به ازای مقادیر مختلف اندیس توزیع توانی با نتایج مقالات موجود (N=۱۳) ۶۹

جدول ۴-۱۳. کسر حجمی مس و تنگستن در دو حالت پانل استوا نه ای ۲لایه ارتوتروپ ، ۳لایه رتوتروپ و پانل استوا نه ای هدفمند ارتوتروپیک ۷۰

جدول ۴-۱۴. پارامتر فرکانسی پانل استوانه ای هدفمند ارتوتروپ و ارتوتروپیک چند لایه با چید مان های مختلف کسر حجمی تنگستن به ازای مقادیر مختلف S (m=۱ , n=۱, R/L=۱, $\Phi=\pi/6$) ۷۳

جدول ۴-۱۵. پارامتر فرکانسی پانل استوانه ای هدفمند ارتوتروپ و ارتوتروپیک چند لایه با چیدمان های مختلف کسر حجمی تنگستن به ازای مقادیر مختلف تعداد موج های محیطی (n=۱, R/L=۱ S=۱۰۰ $\Phi=\pi/۶$) ۷۴
جدول ۴-۱۶. مقادیر لیست شده پارامتر فرکانسی پانل استوانه ای هدفمند ارتوتروپ برای مقادیر مختلف تعداد موج های محیطی و اندیس توزیع توانی (n=۱ , R/L=۱ , $\Phi=\pi/۶$, S=۱۰۰) ۷۷

فصل اول

مواد هدفمند

۱-۱- مقدمه

با گسترش روزافزون علوم و فنون در صنایع پیشرفته امروزی (هوافضا، نظامی، هسته ای و ...) شناخت و به کارگیری مواد نو روز به روز از اهمیت بیشتری برخوردار می‌شود. در این راستا تحقیقات صنعتی و دانشگاهی توجه خاصی به شناخت، تولید و گسترش مواد نو دارند. به کارگیری مواد کامپوزیت[۱]، آلیاژهای حافظه دار[۲]، مواد پیزوالکتریک[۳]، نانو مواد[۴] و مواد هدفمند[۵] وگسترش دامنه استفاده از این مواد از جمله تلاش های محققین جهت نیل به اهداف فوق می‌باشد. گسترش به کارگیری این نوع مواد در صنایع باعث گردید فعالیت های علمی و صنعتی بی‌شماری در زمینه‌های تولید و بررسی خواص متالورژیکی و همچنین تحلیل و به کارگیری این نوع مواد در سازه‌ها و اجزاء مکانیکی صورت گیرد.

یک دسته از این مواد نو، تحت عنوان مواد هدفمند شناخته می شوند که امروزه توجه چشمگیری را به عنوان مواد سازه ای پیشرفته به خود معطوف داشته است. در ادامه به بررسی پیشینه، خواص و کاربرد این مواد پرداخته خواهد شد.

۱-۲- معرفی مواد هدفمند

کامپوزیت های لایه ای علیرغم ویژگی های حرارتی و مکانیکی مطلوبی که دارند اما دارای مشکلاتی هستند همچون اثرات تغییر شکل برشی عرضی ناشی از کوچک بودن نسبت مدول برشی عرضی به مدول محوری، گسیختگی ناشی از لایه لایه شدن، ایجاد تمرکز تنش به علت تغییرات سریع خواص مواد در فصل مشترک بین آنها به خصوص در دماهای بالا [۱]. به عنوان مثال در یک محفظه موتور هواپیما متفاوت بودن ضریب انبساط حرارتی سبب ایجاد تنش های پسماند بزرگی می شود که این امر باعث ایجاد ترک در

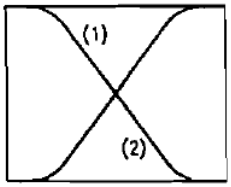
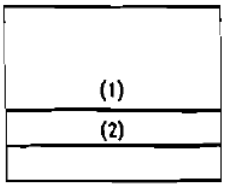
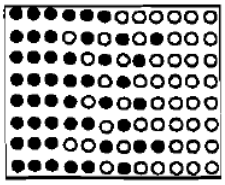
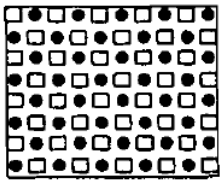
---

[۱] Composites
[۲] Shape memory alloy
[۳] Piezoelectricity materials
[۴] Nanomaterials
[۵] Functionally graded materials(FGM)

لایه های میانی و رشد آن در قسمت های ضعیف تر می شود. مواد هدفمند که خواص مکانیکی و حرارتی در آنها به طور پیوسته و تدریجی تغییر می کند برای حل این مشکل گزینه مناسبی می باشند.

در سالهای اخیر، مواد هدفمند اهمیت و کاربرد قابل ملاحظه در محیط های با درجه حرارت بسیار بالا مانند رآکتور های هسته ای و وسایل شیمیایی پیدا کرده است. مواد هدفمند، کامپوزیت های پیشرفته ای هستند که از لحاظ میکروسکوپی غیر همگن می باشند و خواص مکانیکی در آنها به طور پیوسته و تدریجی از یک سطح به سطح دیگر تغییر می کند.

وجود تغییرات یکنواخت و تدریجی در ساختار این مواد باعث کاهش تمرکز تنش، تنش های حرارتی و تنش های پسماند می شود[۲]. تفاوت های اساسی بین مواد هدفمند و مواد کامپوزیتی متداول در جدول ۱ نشان داده شده است[۳].

Materials Example	FGM	Non-FGM
Function/Property 1. Mechanical strength 2. Thermal conductivity		
Structure/Texture Constituent elements: —Ceramics ● —Metal ○ —Fiber □		

جدول ۱-۱. مقایسه مواد هدفمند و مواد مرکب متداول[۳]

آشنا ترین مواد هدفمند را می توان نمونه ای از سرامیک و فلز را نام برد که در یک سمت سرامیک و در سمت دیگر فلز قرار دارد و خواص ماده در بین این دو حد به طور پیوسته تغییر می کند باید توجه شود این دو جنس وظایف ناسازگار با یکدیگر مثل مقاومت در مقابل حرارت ،خوردگی و زنگ زدن در معرض محیط های با درجه حرارت بالا و همچنین خواص مکانیکی بالایی مانند چغرمگی و قابلیت ماشین کاری را صورت یکجا دارد.

۱-۳- پیشینه مواد هدفمند

مواد هدفمند در بعضی از سازه های موجود در طبیعت وجود دارد، مثل استخوان و نی خیزران که در ساختارشان دارای تغییرات تدریجی می باشند. بدین صورت که در جایی که تنش بیشتر است ساختارشان قویتر است. به طور کلی تفاوت های عمده ای بین ساختار های با تغییرات تدریجی زنده و آنچه به صورت مصنوعی ساخته می شود وجود دارد از جمله این که مواد هدفمند زنده هوشمند می باشد و می تواند محیط در بردارنده تنش موضعی خود را حس کند در حالی که مواد هدفمند ساخت بشر حداقل در حال حاضر فاقد چنین قابلیتی می باشد. پس این مواد جدید نیستند و از طرف دیگر با پیدایش مواد مرکب متداول و قابلیت ترکیب فازهای مختلف مواد، امکان ایجاد ساختاری با اجزا تشکیل دهنده قابل کنترل و همراه با تغییرات تدریجی ایجاد شده است.

استفاده از تغییرات تدریجی و پیوسته در مواد به عنوان یک ایده در سال ۱۹۷۲ میلادی در امریکا توسط بو و دیوز بیان شد[۴] و بر پایه این تئوری، یک تحقیق ملی در زمینه مواد با تغییر عملکرد تدریجی برای اولین بار در سال ۱۹۸۴ میلادی بوسیله نینو و همکارانش در آزمایشگاه ملی هوافضای ژاپن به دنبال راهی برای تولید مواد مقاوم در برابر حرارت انجام شد[۳]. اولین نمونه های آزمایش مواد هدفمند در سالهای ۱۹۸۷-۱۹۸۹ انجام شد که نمونه آزمایش الیافی با قطر حدود ۳۰ میلیمتر و ضخامت ۱ تا ۱۰ میلیمتر بود که می توانست دمای ۲۰۰۰ درجه کلوین و همچنین اختلاف دمای حدود ۱۰۰ درجه را تحمل کند. سپس در سال های ۱۹۹۰-۱۹۹۱ قطعات بزرگتری از مواد هدفمند ساخته شدند همچون یک پوسته مربعی و کاسه های نیمکره ای که در سفینه های فضایی مورد استفاده قرار می گیرند که با موفقیت مورد آزمایش قرار گرفتند. در اواخر دهه ۸۰ میلادی و اوایل دهه ۹۰ خارج از ژاپن در کشور های آلمان، روسه و چین نیز بررسی بر روی مواد هدفمند به یک موضوع جالب برای تحقیق تبدیل شد.

امروزه مواد هدفمند کاربرد وسیعی در صنایع مختلف دارد که از جمله می توان به قسمت های انفجاری موتور، رآکتور های هسته ای، لوله های مبد های حرارتی، اندام های مصنوعی انسان، مواد مرکب با زمینه پلیمری مقاوم، آستر محفظه پرتاب راکت، محافظ های حرارتی سفینه های فضایی و . . . اشاره کرد.

۱-٤- مدل های ریاضی موجود برای خواص مکانیکی مواد هدفمند

به منظور انجام تحلیل های مختلف بر روی سازه های ساخته شده از مواد هدفمند، لازم است تا خواص مکانیکی مواد هدفمند در معادلات حاکم دخالت داده شوند. در ادامه به بررسی برخی مدل های مورد استفاده در مقالات مختلف می پردازیم. برای بیان بهتر روابط، استوانه‌ای توخالی از مواد هدفمند (سطح داخلی ماده ۱ و سطح خارجی ماده ۲ قرار دارد) با شعاع داخلی R_1 و شعاع خارجی R_2 در نظر گرفته می شود.

۱-٤-۱- استفاده از تابع نمایی

در این مدل خواص ماده به صورت یک تابع نمایی از r، راستایی که خواص تغییر می‌کنند، بیان می‌شود.[۵]

$$P(r) = P_2 \exp\left[-\delta\left(1 + \frac{R_1 + R_2}{H} - \frac{2r}{H}\right)\right]$$

$$\delta = \frac{1}{2}\log\left(\frac{P_2}{P_1}\right) \qquad (۱-۱)$$

رابطه فوق برای یک استوانه بیان می‌شود که P بیانگر خواص مکانیکی و r شعاع استوانه، H ضخامت استوانه و اندیس های c,m به ترتیب مربوط به ماده ۱ و ماده ۲ می‌باشند.

۱-٤-۲- استفاده از توابع یک یا چند جمله ای

در این حالت خواص ماده به صورت یک یا چند جمله ای مرتبه m بیان می‌شود. از این مدل بیشتر جهت ارائه راه حل های تحلیلی استفاده می‌کنند[۶] و [۷]:

$$P=P_o r^m \qquad R_1 < r < R_2 \qquad (۲-۱)$$

که در رابطه بالا P_o , m اعداد ثابت می‌باشند.

۱-٤-۳- استفاده از رابطه غیر خطی

یکی از بهترین روابط بیان خواص مکانیکی که در اکثر تحقیقات از آن استفاده می‌شود، بیان خواص به صورت یک رابطه غیرخطی و ترکیبی از خواص سرامیک و فلز می‌باشد. [۲]