بسم الله الرحمن الرحيم

بسمه تعالی

تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان نامه

آقای حسین طورانی پایان نامه ٦ واحدی خود را با عنوان **ارتعاشات آزاد تیر FGP روی تکیه گاه الاستیک با استفاده از دیفرانسیل کوادریچر** در تاریخ ۱۳۹۱/٤/۲٤ ارائه کردند.

اعضای هیات داوران نسخه نهایی این پایان نامه را از نظر فرم و محتوا تایید کرده و پذیرش آنرا برای تکمیل درجه کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک - طراحی کاربردی پیشنهاد می کنند.

عضو هیات داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضا
استاد راهنما	دکتر غلامحسین رحیمی شعرباف مقدس	دانشیار	
استاد مشاور	دکتر اکبر علی بیگلو	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر غلامحسین لیاقت	استاد	
استاد ناظر	دکتر علی اصغر جعفری	دانشیار	
مدیر گروه (یا نماینده گروه تخصصی)	دکتر غلامحسین لیاقت	استاد	

این نسخه به عنوان نسخه نهایی پایان نامه/رساله مورد تایید است.
امضای استاد راهنما:

آیین نامه چاپ پایان‌نامه (رساله)های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه (رساله)های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس، مبین بخشی از فعالیتهای علمی - پژوهشی دانشگاه است بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه،دانش آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می‌شوند:

ماده ۱: در صورت اقدام به چاپ پایان نامه (رساله)ی خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به «دفتر نشر آثارعلمی» دانشگاه اطلاع دهد.

ماده ۲: در صفحه سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه) عبارت ذیل را چاپ کند:

«کتاب حاضر، حاصل پایان نامه کارشناسی ارشد/ رساله دکتری نگارنده در رشته است که در سال در دانشکده دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی سرکار خانم/جناب آقای دکتر ، مشاوره سرکار خانم/جناب آقای دکتر و مشاوره سرکار خانم/جناب آقای دکتر از آن دفاع شده است.»

ماده ۳: به منظور جبران بخشی از هزینه‌های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت‌چاپ) را به «دفتر نشر آثارعلمی» دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می‌تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر درمعرض فروش قرار دهد.

ماده ۴: در صورت عدم رعایت ماده ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ شده را به عنوان خسارت به دانشگاه تربیت‌مدرس، تأدیه کند.

ماده ۵: دانشجو تعهد و قبول می کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می‌تواند خسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند؛ به علاوه به دانشگاه حق می‌دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در ماده ۴ را از محل توقیف کتابهای عرضه شده نگارنده برای فروش، تامین نماید.

ماده ۶: اینجانب حسن طاران دانشجوی رشته مکانیک مقطع ارشد تعهد فوق وضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی: حسن طاران

تاریخ و امضا: ۹۱/۴/۲۴

آيين‌نامه حق مالكيت مادي و معنوي در مورد نتايج پژوهشهاي علمي دانشگاه تربيت مدرس

مقدمه: با عنايت به سياست‌هاي پژوهشي و فناوري دانشگاه در راستاي تحقق عدالت و كرامت انسانها كه لازمه شكوفايي علمي و فني است و رعايت حقوق مادي و معنوي دانشگاه و پژوهشگران، لازم است اعضاي هيأت علمي، دانشجويان، دانش‌آموختگان و ديگر همكاران طرح، در مورد نتايج پژوهشهاي علمي كه تحت عناوين پايان‌نامه، رساله و طرحهاي تحقيقاتي با هماهنگي دانشگاه انجام شده است، موارد زير را رعايت نمايند:

ماده ۱- حق نشر و تكثير پايان نامه/ رساله و درآمدهاي حاصل از آنها متعلق به دانشگاه مي باشد ولي حقوق معنوي پديد آورندگان محفوظ خواهد بود.

ماده ۲- انتشار مقاله يا مقالات مستخرج از پايان‌نامه/ رساله به صورت چاپ در نشريات علمي و يا ارائه در مجامع علمي بايد به نام دانشگاه بوده و با تاييد استاد راهنماي اصلي، يكي از اساتيد راهنما، مشاور و يا دانشجو مسئول مكاتبات مقاله باشد. ولي مسئوليت علمي مقاله مستخرج از پايان نامه و رساله به عهده اساتيد راهنما و دانشجو مي باشد.

تبصره: در مقالاتي كه پس از دانش‌آموختگي بصورت تركيبي از اطلاعات جديد و نتايج حاصل از پايان‌نامه/ رساله نيز منتشر مي‌شود نيز بايد نام دانشگاه درج شود.

ماده ۳- انتشار كتاب، نرم افزار و يا آثار ويژه (اثري هنري مانند فيلم، عكس، نقاشي و نمايشنامه) حاصل از نتايج پايان‌نامه/ رساله و تمامي طرحهاي تحقيقاتي كليه واحدهاي دانشگاه اعم از دانشكده ها، مراكز تحقيقاتي، پژوهشكده ها، پارك علم و فناوري و ديگر واحدها بايد با مجوز كتبي صادره از معاونت پژوهشي دانشگاه و براساس آئين نامه هاي مصوب انجام شود.

ماده ٤- ثبت اختراع و تدوين دانش فني و يا ارائه يافته ها در جشنواره‌هاي ملي، منطقه‌اي و بين‌المللي كه حاصل نتايج مستخرج از پايان‌نامه/ رساله و تمامي طرح‌هاي تحقيقاتي دانشگاه بايد با هماهنگي استاد راهنما يا مجري طرح از طريق معاونت پژوهشي دانشگاه انجام گيرد.

ماده ٥- اين آيين‌نامه در ٥ ماده و يك تبصره در تاريخ۸۷/٤/۱ در شوراي پژوهشي و در تاريخ ۸۷/٤/۲۳ در هيأت رئيسه دانشگاه به تاييد رسيد و در جلسه مورخ ۸۷/۷/۱۵ شوراي دانشگاه به تصويب رسيده و از

«اينجانب حسين حدادي دانشجوي
رشته مكانيك ورودي سال
تحصيلي ۱۳۸۹-۹۰
مقطع دانشكده
متعهد مي شوم كليه نكات مندرج در آئين نامه حق مالكيت مادي و معنوي در مورد نتايج پژوهش هاي علمي دانشگاه تربيت مدرس را در انتشار يافته هاي علمي مستخرج از پايان نامه / رساله تحصيلي خود رعايت نمايم. در صورت تخلف از مفاد آئين نامه فوق الاشعار به دانشگاه وكالت و نمايندگي مي دهم كه از طرف اينجانب نسبت به لغو امتياز اختراع بنام بنده و يا هر گونه امتياز ديگر و تغيير آن به نام دانشگاه اقدام نمايد. ضمناً نسبت به جبران فوري ضرر و زيان حاصله بر اساس برآورد دانشگاه، اقدام خواهم نمود و بدينوسيله حق هر گونه اعتراض را از خود سلب نمودم»

امضا

تاريخ: ۹۱/۴/۲۴

حسين حدادي

مدرستربیتدانشگاه
دانشکده فنی- مهندسی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک- طراحی کاربردی

عنوان پایان‌نامه:

ارتعاشات آزاد تیر FGP بر روی تکیه‌گاه الاستیک با استفاده از روش دیفرانسیل کوادریچر

نگارنده:

حسین طورانی

استاد راهنما:

دکتر غلامحسین رحیمی

استاد مشاور:

دکتر اکبر علی‌بیگلو

تیر ۱۳۹۱

چکیده

در این پایان‌نامه تحلیلاستاتیکی و ارتعاشات آزاد تیر ساخته شده از مواد پیزوالکتریک هدفمند[1] و ارتعاشات آزاد تیر هدفمند یک جهته و دو جهته‌ی مقید بین لایه‌های پیزوالکتریکبر روی بستر الاستیک بر اساس تئوری الاستیسیته و با استفاده از ترکیب روش‌های فضاحالت و دیفرانسیل کوادریچر[2]، که برای تیر هدفمند پیزوالکتریکسه شرایط مرزی مختلف و برای تیر هدفمند مقید در لایه‌های پیزوالکتریک دو شرایط مرزی مطالعه شده است. این روش عددی نیمه تحلیلی، ترکیبی از حل تحلیلی فضاحالت در جهت ضخامت و تکنیک دیفرانسیل کوادریچر در جهت طولی تیر است. فرض شده است که خواص مواد برای تیر تک جهته در راستای ضخامت و برای تیر دو جهته علاوه بر راستای ضخامت، در راستای طولی به صورت پیوسته و با قانون نمایی تغییر می‌کند و بستر الاستیک به صورت مدل دو پارامتری یا پسترناک-وینکلر[3] در نظر گرفته شده است. همگرایی و دقت روش ارائه شده با مقایسه نتایج با مقادیر دیگر تحقیقات اعتبارسنجی شده است. تاثیرات تغییر ضریب الاستیک لایه برشی و ضریب الاستیک وینکلر بستر الاستیک، تغییر اندیس گرادیان خواص مواد و عدد موج بر روی ارتعاشات آزاد و تحلیل استاتیکی این تیر مورد بررسی قرار گرفته است.

کلید واژه: ارتعاشات آزاد- تحلیل استاتیکی- تیر هدفمند پیزوالکتریک- فضا حالت- دیفرانسیل کوادریچر- بستر الاستیک

[1] Functionally graded piezoelectric material (FGPM)
[2] State-space based differential quadrature method (SSDQM)
[3] pasternak-winkler

عنوان **فهرست مطالب** صفحه

فصل ۱-ملاحظاتعمومی.....۱

۱-۱-مقدمه ۱

۱-۲- مروریبرموادهدفمند ۱

۱-۲-۱- مقدمه ۱

۱-۲-۲- انواعموادهدفمند ۳

۱-۲-۲-۱- موادهدفمندفلز-سرامیک ۳

۱-۲-۲-۲- موادهدفمندشیشه–آلومین ۴

۱-۲-۲-۳- موادهدفمندباپایهنیکل ۵

۱-۲-۳- روش‌هایساختموادهدفمند ۵

۱-۲-۳-۱- روشاسپریپلاسما ۵

۱-۲-۳-۲- روشنفوذ..... ۵

۱-۲-۳-۳- روشمخلوطکردناجباریخشک ۵

۱-۲-۳-۴ - روشجداسازیکنترلشده ۶

۱-۲-۳-۵- روشایجادحوضچهمذابباستفادهازلیزر ۶

۱-۲-۴- کاربردموادموادهدفمند..... ۷

۱-۲-۵-روابط حاکم بر مواد هدفمند.....۸

۱-۲-۵-۱-مواد هدفمند با قانون توانی.....۸

۱-۲-۵-۲-موادهدفمند sigmoid ۹

۱-۲-۵-۳-مواد هدفمند لایه مضاعف..... ۱۰

۱-۲-۵-۴-مواد هدفمند نمایی..... ۱۱

۱-۳- موادپیزوالکتریک ۱۲

۱-۳-۱-مقدمه ۱۲

۱-۳-۲-اثرپیزوالکتریک ۱۳

۱-۴-معرفیمحتوایفصل‌ها ۱۴

۱-۵- نوآوری..... ۱۷

۱-۵-۱-نوآوریتئوری ۱۸

فصل۲-روابطریاضیوروشحل ۱۹

۲-۱-مقدمه ۱۹

۲-۲- معادلاتحاکمه ۲۰

۲-۲-۱-معادلاتحاکمبرموادهدفمند ۲۰

۲-۲-۲-معادلاتحاکمبرموادپیزوالکتریک ۲۰

۲-۲-۳-روابطحاکمبرتیر ۲۴

۲-۳- روشحل..... ۲۵

۲-۳-۱-دیفرانسیلکوادریچر ۲۶

۲-۳-۲- روشفضاحالت ۲۸

فصل۳-ارتعاشاتآزادتیرهدفمندیکجهتهودوجهتهمقیددرلایه-

هایپیزوالکتریکرویبسترالاستیک.....

.....۲۹

۳-۱-مقدمه ۲۹

۳-۲-معادلاتاساسی ۲۹

۳-۲-۱ برایتیرهدفمند ۳۰
۳-۲-۱-۱-اعمالدیفرانسیلکوادریچربرمعادلاتتیرهدفمند ۳۱
۳-۲-۱-۲-معادلاتفضاحالتتیرهدفمند ۳۲
۳-۳-ماتریستبدیلعمومیوشرایطمرزی ۳۶
۳-۳-۱-۱- درحالتسطوحآزاد (بدونبسترالاستیک) ۳۷
۳-۳-۱-۲- سطحبالاتنشصفروتکیه‌گاهالاستیکدرسطحپایینتیر ۳۷
۳-۴-۱-تحلیلارتعاشی ۳۹
۳-۴-۱-۱-نتایجارتعاشیدرحالتبدونبستر ۳۹
۳-۴-۱-۲-نتایجارتعاشیتیررویبستر ۴۳
۳-۴-۲-تیرهدفمنددوجهته ۴۹
۳-۴-۲-۱-تیرهدفمنددوجهتهیمقیددرلایه‌هایپیزوالکتریک ۵۲
۳-۴-۲-۲-تیرهدفمنددوجهتهیمقیدبالایه‌هایپیزوالکتریکرویبستر ۵۴
۳-۵-نتیجه‌گیری ۵۶
فصل۴-تحلیلاستاتیکیوارتعاشاتآزادتیرهدفمندپیزوالکتریکبررویبسترالاستیک ۵۸
۴-۱-مقدمه ۵۸
۴-۲- معادلاتاساسی ۵۹
۴-۳- شرایطمرزی..... ۵۹
۴-۴-اعمالشرایطسطحیبالاوپایین ۶۲
۴-۴-۱- شرایطسطحیدرسطحبالایتیر ۶۲
۴-۴-۲- سطحبالاتنشوبسترالاستیکدرسطحپایینتیر ۶۳
۴-۵- بحثونتایج ۶۴
۴-۵-۱-اعتبارسنجی ۶۴

۴-۵-۲-نتایجارتعاشی ۶۵
۴-۵-۲-۱- درحالتبدونبستر ۶۵
۴-۵-۲-۱-نتایجارتعاشیرویبستر ۶۶
۴-۵-۳-تحلیلاستاتیکی ۷۴
۴-۶-نتیجه‌گیری ۸۹
فصل۵-جمعبندی. ۹۱
۵-۱-نتایج ۹۱
۵-۲-پیشنهادات ۹۲
فهرست مراجع ۹۴
ضمیمه ..... آ
الف) روابط بی‌بعد ..... آ
ب) ماتریس G_f ..... آ
۱) برای شرایط ساده-ساده ..... ب
۲) برای شرایط گیردار-گیردار ..... ب
ج)ماتریس G_p ..... ب
۱) برای شرایط ساده ..... ت
۲) برای شرایط گیردار ..... ت
د) **ماتریس** A_b ..... ث
۱) برای شرایط گیردار-گیردار ..... ث
۲) برای شرایط مفصل-غلتکی ..... ج

۳) برای شرایط غلتکی-غلتکی.....ج

شکل **فهرست شکل‌ها** صفحه

شکل ۱-۱-تغییراتمدولیانگباتوان‌هایمتفاوتبرایک ماده هدفمندتوانی ۹
شکل ۱-۲-تغییراتمدولیانگدرجهتضخامتبرایFGM sigmoid..... ۱۰
شکل ۱-۳-تغییراتمدولیانگدرجهتضخامتبرایمواد هدفمند برای لایه مضاعف ۱۱
شکل ۱-۴-تغییراتمدولیانگدرجهتضخامتبرایFGMS EXPONENTIONAL ۱۲
شکل ۱-۵-مدلملکولیسادهایازیکمادهپیزوالکتریک ۱۳
شکل ۱-۶- چگونگیتولیدمیدانالکتریکیبهوسیلهتنشمکانیکیواردبرماده ۱۳
شکل ۱-۷-پلاریزهشدن ۱۴
شکل ۳-۱: هندسهتیرهدفمندبالایه‌هاییپیزوالکتریکروییبسترالاستیک..... ۳۰
شکل ۳-۲- تغییراتفرکانسبرحسبشاخصگرادیانموادبرایحالتساده-ساده ۴۲
شکل ۳-۳-تغییراتاولینفرکانسبرحسبشاخصگرادیانموادبرایحالتگیردار-گیردار ۴۳
شکل ۳-۴- تغییراولینفرکانسبرحسبضریبوینکلربرایشرایطمرزیساده ۴۵
شکل ۳-۵- تغییراولینفرکانسبرحسبضریبوینکلربرایشرایطمرزیگیردار ۴۶
شکل ۳-۶- تغییراولینفرکانسبرحسبضریبلایهبرشیبرایشرایطمرزیساده ۴۷
شکل ۳-۷- تغییراولینفرکانسبرحسبضریبلایهبرشیدرشرایطمرزیگیردار ۴۷
شکل ۳-۸- تغییراولینفرکانسبرحسبشاخصگرادیانمادهبرایشرایطمرزیساده ۴۸
شکل ۳-۹- تغییراولینفرکانسبرحسبشاخصگرادیانمادهبرایشرایطمرزیگیردار ۴۹
شکل ۴-۱- هندسهیکتیرهدفمندپیزوالکتریکبررویبسترالاستیک ۵۹
شکل ۴-۲- تغییرفرکانساول Ω_1 تیرهدفمندپیزوالکتریکبرحسبضریبوینکلر k_w برایشرایطگیردار-گیردار ... ۶۸
شکل ۴-۳- تغییرفرکانساول Ω_1 تیرهدفمندپیزوالکتریکبرحسبضریبوینکلر k_w برایشرایطمفصل-غلتکی ۶۹

شکل ۴-۴- تغییر فرکانس اول Ω_1 تیرهدفمند پیزوالکتریک بر حسب ضریب وینکر k_w شرایط غلتکی-غلتکی ۶۹
شکل ۴-۵- تغییر فرکانس اول Ω_1 تیرهدفمند پیزوالکتریک بر حسب لایه برشی k_g برای شرایط گیردار-گیردار ۷۰
شکل ۴-۶-تغییر فرکانس اول Ω_1 تیرهدفمند پیزوالکتریک بر حسب ضریب وینکلر k_g برای شرایط مفصل-غلتکی ۷۱
شکل ۴-۷-تغییر فرکانس اول Ω_1 تیرهدفمند پیزوالکتریک بر حسب ضریب لایه برشی k_g برای شرایط غلتکی-غلتکی . ۷۱
شکل ۴-۸- تغییرات Ω_1 تیرهدفمند پیزوالکتریک بر حسب α و مقادیر مختلف k_w, k_g برای شرایط تکیه گاهی گیردار-گیردار ۷۲
شکل ۴-۹- تغییرات Ω_1 تیرهدفمند پیزوالکتریک بر حسب α و مقادیر مختلف k_w, k_g برای شرایط تکیه گاهی مفصل-غلتکی ۷۳
شکل ۴-۱۰-تغییرات Ω_1 تیرهدفمند پیزوالکتریک بر حسب α و مقادیر مختلف k_w, k_g برای شرایط تکیه گاهی غلتکی-غلتکی ۷۳
شکل ۴-۱۱-نمودار خیز تیرهدفمند پیزوالکتریک در راستای طول بهازای α های مختلف برای شرایط گیردار-گیردار .. ۷۴
شکل ۴-۱۲-نمودار خیز تیرهدفمند پیزوالکتریک در راستای طول بهازای α های مختلف برای شرایط غلتکی-غلتکی .. ۷۵
شکل ۴-۱۳- تاثیر k_w و k_g بر رویخیز تیرهدفمند پیزوالکتریک در حالت تکیه گاهی گیردار-گیردار ۷۶
شکل ۴-۱۴- تاثیر k_w و k_g بر رویخیز تیرهدفمند پیزوالکتریک در حالت تکیه گاهی مفصل-غلتکی ۷۶
شکل ۴-۱۵- تاثیر k_w و k_g بر رویخیز تیرهدفمند پیزوالکتریک در حالت تکیه گاهی غلتکی ۷۷
شکل ۴-۱۶- نمودار خیز w تیرهدفمند پیزوالکتریک بر حسب ضخامت z برای شرایط تکیه گاهی گیردار-گیردار ۷۸
شکل ۴-۱۷- نمودار خیز w تیرهدفمند پیزوالکتریک بر حسب ضخامت z برای شرایط تکیه گاهی مفصل-غلتکی ۷۸
شکل ۴-۱۸- نمودار خیز w تیرهدفمند پیزوالکتریک در راستای ضخامت برای مقادیر مختلف α در شرایط تکیه گاهی غلتکی-غلتکی ۷۹
شکل ۴-۱۹- نمودار خیز w در راستای ضخامت برای مقادیر مختلف k_g و k_w برای شرایط تکیه گاهی گیردار-گیردار ۸۰
شکل ۴-۲۰- نمودار خیز w در راستای ضخامت برای مقادیر مختلف k_g و k_w برای شرایط تکیه گاهی مفصل-غلتکی ۸۰
شکل ۴-۲۱- نمودار خیز w در راستای ضخامت برای مقادیر مختلف k_g و k_w برای شرایط تکیه گاهی غلتکی-غلتکی ... ۸۱
شکل ۴-۲۲- نمودار تغییرات پتانسیل الکتریکی ϕ در راستای ضخامت برای شرایط گیردار-گیردار ۸۲
شکل ۴-۲۳- نمودار تغییرات پتانسیل الکتریکی ϕ در راستای ضخامت برای شرایط مفصل-غلتکی ۸۲
شکل ۴-۲۴- نمودار پتانسیل ϕ در راستای ضخامت برای مقادیر مختلف k_g و k_w برای شرایط تکیه گاهی گیردار-گیردار ۸۳

شکل۴-۲۵-نمودارپتانسیل ϕ درراستایضخامتبرایمقادیرمختلف k_g و k_w برایشرایطتکیه‌گاهیمفصل-غلتکی ۸۴
شکل۴-۲۶- نمودارجابجاییدیالکتریک D_z برحسب α مختلفدرراستایضخامتبرایشرایطگیردار-گیردار ۸۵
شکل۴-۲۷- نمودارجابجاییدیالکتریک D_z برحسب α مختلفدرراستایضخامتبرایشرایطغلتکی-غلتکی ۸۵
شکل۴-۲۸- نمودارتنشعرضی σ_z برحسب α مختلفدرراستایضخامتبرایشرایطگیردار-گیردار ۸۶
شکل۴-۲۹- نمودارتنشعرضیدرراستایضخامتبرایمقادیرمختلف k_g و k_w برایشرایطتکیه‌گاهیگیردار-گیردار ۸۷
شکل۴-۳۰-نمودارتنشبرشی τ_{xz} برحسب α مختلفدرراستایضخامتبرایشرایطگیردار-گیردار..... ۸۸
شکل۴-۳۱-نمودارتنشبرشی τ_{xz} برحسب α مختلفدرراستایضخامتبرایشرایطمفصل-غلتکی ۸۹

فهرست جدول‌ها

عنوان صفحه

جدول ۱-۱-خواصمربوطبه $SiO2 - zrO2 - caO$ ۴

جدول ۱-۲-خصوصیاتآلومین ۴

جدول ۱-۳-انواعمواد هدفمندبههمراهخصوصیات،روشساختوکاربردآن‌ها. ۷

جدول ۱-۴- تاریخچه‌ایازتحقیقاتومطالعاتانجامگرفته ۱۵

جدول ۳-۱-مقایسههمگراییدهفرکانسبیبعداولیکتیرهدفمند ۳۹

جدول ۳-۲-خواصموادپیزوالکتریک. ۴۰

جدول ۳-۳-پنجفرکانسطبیعیبیبعدبرایحالتساده- ساده ۴۰

جدول ۳-۴- پنجفرکانسطبیعیدرحالتگیردار-گیردار ۴۱

جدول ۳-۵- اولینسهپارامتربیبعدفرکانسطبیعییکتیرهدفمندبالایه

هایپیزوالکتریکبررویبسترالاستیکدرحالتساده ۴۴

جدول ۳-۶-اولینسهپارامتربیبعدفرکانسطبیعییکتیرهدفمندبالایه

هایپیزوالکتریکبررویبسترالاستیکدرحالتگیردار ۴۴

جدول ۳-۷-پنجفرکانسطبیعیبیبعدبهازایتغییرات α_2 حالتساده- ساده ۵۰

جدول ۳-۸-پنجفرکانسطبیعیبیبعدبهازایتغییرات α_2 حالتگیردار-گیردار ۵۰

جدول ۳-۹-پنجفرکانسطبیعیبیبعدبهازایتغییرات α_1 حالتساده- ساده ۵۱

جدول ۳-۱۰-پنجفرکانسطبیعیبیبعدبهازایتغییرات α_1 حالتگیردار ۵۲

جدول ۳-۱۱-پنجفرکانسطبیعیبیبعدتیرهدفمندبالایه‌هایپیزوالکتریکبهازایتغییرات α_2 درحالتگیردار ۵۳

جدول ۳-۱۲- پنجفرکانسطبیعیبیبعدبرایتیرهدفمندبالایه‌هایپیزوالکتریکبهازایتغییرات α_1 حالتگیردار ۵۳

جدول ۳-۱۳-پنجفرکانسطبیعیبیبعدبرایتیرهدفمندبالایه‌هایپیزوالکتریکرویبسترالاستیکبهازای $\alpha_2 = 0$

حالتگیردار ۵۴

جدول ۳-۱۴- پنجفرکانسطبیعیبیبعدبرایتیرهدفمندبالایه‌هایپیزوالکتریکرویبسترالاستیکبهازای $\alpha_2 = 1$

حالتگیردار ۵۵

جدول ۳-۱۵-پنجفرکانسطبیعیبیبعدبرایتیرهدفمندبالایه‌هایپیزوالکتریکرویبسترالاستیکبهازای $\alpha_2 = 2$

حالتگیردار ۵۵

جدول ۳-۱۶-پنچفرکانسطبیعیبیبعدبرایتیرهدفمندبالایه‌هایپیزوالکتریکرویبسترالاستیکبهازای $\alpha_2 = 5$ حالتگیردار ۵۶
جدول ۴-۱-فرکانسطبیعیبیبعدتیرپیزوالکتریک ۶۴
جدول ۴-۲-فرکانسطبیعیبیبعدتیرهدفمندپیزوالکتریک ۶۵
جدول ۴-۳- تغییراتسهپارامترفرکانسطبیعیبرایشرایطگیردار-گیرداربهازایمقادیرمختلفبراینسبتh/l و k_g, k_w ۶۶
جدول ۴-۴-. تغییراتسهپارامترفرکانسطبیعیبرایشرایطمفصل-غلتکیبهازایمقادیرمختلفبراینسبتh/l و k_g, k_w ۶۷
جدول ۴-۵- تغییراتسهپارامترفرکانسطبیعیبرایشرایطغلتکی-غلتکیبهازایمقادیرمختلفبراینسبتh/l و k_g, k_w ۶۷

فهرست علائم و نشانه‌ها

تابع وزنی DQ	g_{ij}
مدول الاستیسیته سطح زیر	E_0
ضخامت تیر در راستای محور Z	h
طول تیر	L
تعداد نقاط نمونه گیری	N
ضخامت لایه‌ی پیزوالکتریک در راستای محور Z	h_p
ثابت‌های الاستیسیته	c_{ij}
جابجایی‌های الکتریکی	D_i
شاخص گرادیان خواص مواد	α
شاخص گرادیان خواص مواد در راستای ضخامت	α_1
شاخص گرادیان خواص مواد در راستای طولی	α_2
ثابت‌های دی الکتریک	k_i
مولفه‌های تنش	σ_{ij}
مولفه‌های کرنش	ε_{ij}
چگالی	ρ
زمان	t
جابجایی در راستای محور x	u
جایجایی در راستای محور z	w
ضریب لایه‌ی برشی	k_g
ضریب لایه‌ی وینکلر	k_w
فرکانس طبیعی	ω
فرکانس طبیعی با بستر	Ω
مولفه‌های میدان الکتریکی	E_i
پتانسیل الکتریکی	φ
مولفه‌ی بی‌بعد شده جابجایی در راستای محور x	$\bar{u}$

مولفه‌ی بی‌بعد شده جابجایی در راستای محور z ..... $\bar{w}$

مولفه‌های بی‌بعد شده تنش ..... $\bar{\sigma}_{ij}$

مولفه‌های بی‌بعد شده جابجایی‌های الکتریکی..... $\bar{D}_i$

ضرایب پیزوالکتریک..... e_i

ضریب پیزوالکتریک بی‌بعد شده..... $\bar{e}_i$

پارامتر فرکانس طبیعی بی‌بعد..... Ω

نسبت پواسون..... ϑ

صلبیت ..... D

ضریب بی‌بعد لایه‌ی برشی..... $\bar{k}_g$

ضریب وینکلر بی‌بعد شده..... $\bar{k}_w$

فصل۱- ملاحظات عمومی

۱-۱- مقدمه

دراین فصل به بررسی مواد هدفمند(FGM) و پیزوالکتریک پرداخته شده، که دربخش مواد هدفمند انواع، خصوصیات و روش‌های ساخت براین مواد بیان شده است.دربخش دوم مواد پیزوالکتریک بحث می‌شود که اثرپیزوالکتریک را بیان می‌کند. و در بخش‌های بعدی نوآوری و تئوری نوآوری و تاریخچه و فصل‌بندی پایان‌نامه بیان شده است.

۱-۲- مروری برمواد هدفمند

۱-۲-۱- مقدمه

مواد هدفمند یا مواد با خصوصیات درجه‌بندی به صورت تابعی،مواد غیرایزوتروپ و غیرهمگن می باشند.مهم‌ترین خصوصیت این مواد اینست که اجزای تشکیل دهنده آن‌ها می‌توانند با خصوصیات متفاوت انتخاب شوند به طوری که خواص در آن‌ها به صورت پیوسته و بر اساس کسر حجمی تغییر می‌کند و نحوی این تغییر، قابل انتخاب و به صورت مطلوب برای کاربردهای گوناگون می‌باشد همین خصوصیتاین مواد که باعث کاربردهای زیاد آنها شده، از جمله این کاربردها می‌توان به زمینه‌های هوافضایی،ماشین آلات صنعتی وپزشکی هسته‌ای،خودرو و صنایع وابسته به آن اشاره کرد[۱].ایده اصلی ساخت مواد هدفمند به سال ۱۹۸۴ باز می‌گردد. ژاپنی‌ها اولین افرادی بودند که این مواد را ساختند آن‌ها زمانی که مشغول ساختن سفینه‌ی فضایی بودند نیاز به ماده‌ای پیدا کردند که بتواند در برابر دمای ۲۰۰۰ کلوین

مقاومت کرده و اختلاف دمایی بیش از ۱۰۰۰ درجه کلوین را در ضخامتی کمتر از یکسانتیمتر حفظ نماید .همچنین این ماده می‌بایست قابلیت جوشکاری با فلز و استحکام بالا نیز داشته باشد[۲].

این مواد می‌توانند از اجزائی تشکیل شوند که هیچ نقطه اشتراکی با هم ندارند تا بتوان از خواص مطلوب و مفید هر یک از فازهای آن‌ها بهره برد برای مثال یکی از فازهای مواد هدفمند ممکن است سرامیک باشد که در دماهای بالا دارای رفتار خوب و مناسبی است ولی از دیدگاه خصوصیات مکانیکی شکننده است فاز دیگر ممکن است فلزی باشد که خواص مکانیکی از جمله خاصیت چقرمگی و هدایت حرارتی آن بهتر می باشد، ولی قابلیت تحمل دماهای بالا را ندارند. لذا با ترکیب مناسب این دو فاز و با بهره‌گیری از خصوصیات مطلوب هر یک از فازهای تشکیل دهنده مواد هدفمند می‌تواند کارایی مطلوب داشته باشد، یعنی بخش سرامیکی در ناحیه گرم و بخش فلزی در ناحیه سرد قرار گیرد.در این نوع از مواد هدفمند قادر به تحمل حرارتی زیاد خواهد بود در حالیکه خصوصیات مفید سازه‌ای را نیز در بردارد. به عنوان نمونه مخزن تحت فشاری که از داخل تحت فشار و دمای بالا قرار گرفته است و.سطح خارجی در شرایط محیطی و معمولی قرار دارد. بنابراین مناسب است که سطح داخلی به علت خصوصیات خوب دمایی سرامیک از آن‌ها استفاده کنیم ودر سطح خارجی به علت خصوصیات خوب مکانیکی فلز،از آن استفاده نماییم. در صورتیکه دو ماده را در یک صفحه میانی به یکدیگر متصل کنیم،منجر به تنش‌های بالا در منطقه میانی (پیوستگی) ودر نتیجه شکست ترد سرامیک یا شکست نرم فلز خواهد شد.بنابراین لازم است که در ترکیب فلز در سرامیک از دیواره ورودی به تدریج افزایش یافته تا در دیواره بیرونی درصد فلز ۱۰۰٪ وسرامیک به صفر برشد.از دیگر مزایای مواد هدفمند تغییر پیوسته خصوصیات مکانیکی در آن است. که باعث از بین رفتن مشکلات ناشی از تغییر فاز در حد فاصل بین فازها می‌شود و بنابراین پدیده جدایی بین لایه‌ها که از معضلات کامپوزیت‌های چند لایه است در موارد مذکور وجود ندارد.در واقع جدایی بینلایه‌ها به علت گرادیان شدید خواص مکانیکی که معمولا به علت تغییر زاویه قرارگیری الیاف