

**دانشگاه آزاد اسلامی**

**واحد تهران جنوب**

**دانشکده فنی مهندسی**

**عنوان:**

**تحلیل تیر خمیده FGM**

**استاد راهنما:**

**دانشجو:**



فهرست مطالب

 عنوان مطالب شماره صفحه

چکیده 1

مقدمه 2

فصل اول: آشنایی با مواد FGM 3

 (1-1تاریخچه مواد FGM 4

1-2) معرفی مواد تابعی مدرج FGM 5

فصل دوم: تحلیل تیرهای خمیده 13

1-2) معادلات انحنا-جابجایی در دستگاه مختصات قطبی 14

2-2) انتخاب تابع شکل 17

2-3) استخراج رابطه انحناء برحسب انحناهای گرهی 19

2-4) ماتریس انتقال بین انحناهای گرهی و جابجایی­های گرهی 20

2-5) معادله تعادل المان 21

2-6) مطالعات عددی 25

فصل سوم: تحلیل تیرهای خمیده FGM 28

3-1) فرضیه­ها و تعاریف 29

3-2) معادلات سینماتیک،تنش و کرنش 30

3-3) نیروی محوری و خمشی لحظه­ای در محور خنثی 31

3-4) ضریب برشی 32

فهرست مطالب

 عنوان مطالب شماره صفحه

3-5) معادلات حرکت 35

3-6) تحلیل عددی و مقایسه 36

3-7) مدلسازی تیر FGM در جهت ضخامت 44

نتیجه گیری 53

پیوست 1 54

پیوست 2 54

منابع و مراجع 56

فهرست جداول

 عنوان مطالب شماره صفحه

جدول (1)- نتایج بررسی مثال1 25

جدول (2)- خواص مواد فلزی و سرامیکی 39

جدول (3)- مقایسه فرکانس­ مدلهای مختلف و روش­های عددی 40

جدول (4)- فرکانس انواع مختلف شرایط مرزی با تکیه گاه ساده 40

فهرست اشکال

 عنوان مطالب شماره صفحه

شکل (1)- تصویر شماتیک ریزساختاری یک ماده تابعی مدرج متشکل از سرامیک-فلز 6

شکل (2)- عکس برداری از مقطع یک ماده تابعی مدرج از جنس Al/si توسط میکروسکوپ نوری 6

شکل (3)- تغییر خواص در برش عرضی پوسته یک صدف 7

شکل (4)- ماده تابعی مدرج با تغییر خواص تدریجی 8

شکل (5)- ماده تابعی مدرج با تغییر خواص پله­ای 8

شکل (6)- توزیع آهن و تنگستن در اثر حرارت 9

شکل (7)- حرارت دادن آهن و فولاد در ماکروویو به اندازه 950 درجه در زمان 3 دقیقه 9

شکل (8)- مولفه جابجائی گره­ای در ابتدا و انتها 14

شکل (9)- مولفه های انحنای گره­ای و بارهای خارجی المان 14

شکل (10)- المان تیر خمیده با درنظر گرفتن جهات قراردادی 15

شکل (11) – نتایج بررسی مثال (2) با $α=60^{°}$ 27

شکل (12)- طرحواره­ی یک تیر خمیده 29

*شکل 13- طرحی از قوس کم عمق 40*

*شکل (14)- تغییرات فرکانس با پارامتر c/a با کمان قید شده در* $r=R\_{G}$ *41*

*شکل (15)- تغییرات فرکانسی با پارامتر c/a با کمان قید شده در* $r=r\_{i}$ *41*

*شکل (16)- تفاوت درصدی در دو شکل قبل 42*

**چکیده:**

در فصل اول این پروژه به آشنایی با مواد FGM پرداخته ایم سپس در فصل دوم با استفاده از روش اجزاء محدود، فرمول بندی جهت تحلیل غیرخطی هندسی تیرهای خمیده ارائه شده است. در فرمول بندی اجزاء محدود تابع شکل برای انحناء بجای تغییر مکانها معرفی شده است. المان تیر خمیده با قوسی از دایره معادل سازی شده و روابط کرنش-تغییر مکان غیرخطی در دستگاه مختصات قطبی نوشته شده است. با دردست داشتن روابط تنش-کرنش و معادلات تعادل، روابط کرنش-انحناء حاصل گردیده که با جانشینی روابط فوق در روابط کرنش-تغییر مکان معادلات دیفرانسیلی که مقادیر تغییر مکان را برحسب انحناء بیان می­دارد بدست آمده است. با در دست داشتن سه انحناء گرهی تابع شکلی از درجه دوم برای انحناء تعریف شده و با استفاده از آن مقادیر تغییر شکلها بر حسب انحناهای گرهی بیان گردیده است، به دنبال آن ماتریس انتقالی ارائه شده، که انحناء گرهی را با تغییر شکلهای گرهی مرتبط می­سازد. سپس انرژی کل المان خمیده به صورت تابعی از انحناء بیان و با کمینه سازی آن رابطه نیرو- تغییر شکل حاصل شده است. از آنجا که روش فوق قادر به منظور نمودن تغییر شکلهای بزرگ، و همچنین تاثیرات نیروهای غشائی و شعاعی در سختی عضو می­باشد، دیگر رابطه نیرو-تغییر شکل خطی نمی­باشد، بدین سبب روش تکرار نیوتن-رافسون جهت همگرایی جواب اختیار شده، و الگوریتمی بر این اساس ارائه گردیده است. با مطالعه چند مثال عددی و مقایسه نتایج بدست آمده با سایر مراجع نشان داده شده است که روش مذکور از دقت، سرعت و کارائی کافی برخوردار است.در فصل سوم تئوری کلاسیک مقاومت مصالح برای تحلیل دینامیکی تیرهای خمیده ضخیم در زمینه مواد تابعی مدرج (FGM) استنباط شده است. فرآیند استخراج شامل ساده سازی دستکاری جبری با استفاده از مفهوم تغییر مکان محور خنثی مواد است.همچنین مطالعات پارامتری بر روی فرکانس­های طبیعی برای نشان دادن تطبیق پذیری از فرمولهای اتخاذ شده با استفاده از راه حل دستی سری توانی ارائه شده است.

**مقدمه:**

در سالهای اخیر با توسعه موتورهای پرقدرت صنایع هوافضا، اوربین­ها و راکتورها و دیگر ماشین ها نیاز به موادی با مقاومت حرارتی بالا و مقاومتر از لحاظ مکانیکی احساس شده است. در سالهای قبل در صنایع هوافضا از مواد سرامیکی خالص جهت پوشش و روکش قطعات با درجه کارکرد بالا استفاده می­شد. این مواد عایقهای بسیار خوبی بودند ولی مقاومت زیادی در برابر تنشهای پس­ماند نداشتند. تنشهای پسماند در این مواد مشکلات زیادی از جمله ایجاد حفره و ترک می­نمود. بعدها برای رفع این مشکل از مواد کامپوزیت لایه­ای استفاده شد. تنشهای حرارتی در این مواد نیز موجب پدیده لایه لایه شدن می­گردید. باتوجه به این مشکلات طرح ماده­ای مرکب که هم مقاومت حرارتی و مکانیکی بالا داشته و هم مشکل لایه لایه شدن نداشته باشد، ضرورت پیدا کرد. بنابر مشکلاتی که در صنایع مختلف برای مواد تحت تنشهای حرارتی بالا وجود داشت، دانشمندان علم مواد در سال 1984 در منطقه سندایی ژاپن برای اولین بار مواد FGM را به عنوان مواد با تحمل حرارتی بالا پیشنهاد نمودند.

بسیاری از سازه­ها نظیر قوسها، پل­ها و لوله­ها حاوی المانهای منحنی گون هستند، از برتری این اعضاء صلبیت و زیبایی می­باشد. همچنین یکی از توانایی­های این نوع المانها در مقایسه با تیرهای مستقیم امکان کاهش تنشهای فشاری یا کششی می­باشد. این مزایا بسیاری از طراحان را ترغیب به استفاده از تیرهای خمیده نموده است. لیکن تحلیل این نوع المانها معمولا با پیچیدگی مواجه است.

در این پروژه سعی شده است تا با توجه به مزیت های مواد FGM، تیرهای خمیده ساخته شده از این مواد را تحلیل کرده و به رابطه­های کاربردی در این زمینه دست یافته و برای نیل به این هدف در ابتدا به تحلیل تیرهای خمیده پرداخته و پس از آشنایی و تحلیل این تیرها به تحلیل تیرهای خمیده ساخته شده از مواد تابعی مدرج پرداخته­ایم.