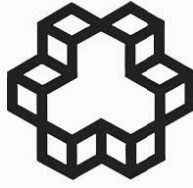


بِسْمِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی

دانشکده مهندسی مکانیک

رساله دوره دکترا

عنوان :

ارتعاشات غیر خطی تیرهای شناور حامل بار متحرک با استفاده از  
روشهای ترکیبی جدید

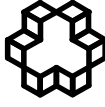
توسط:

سید ابوذرا افتخاری

استاد راهنما :

دکتر علی اصغر جعفری

شهریور ۹۲



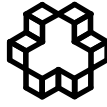
تاسیس ۱۳۰۷

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

## تاییدیه هیأت داوران

هیأت داوران پس از مطالعه پایان نامه و شرکت در جلسه دفاع از پایان نامه تهیه شده تحت عنوان : ارتعاشات غیرخطی تیرهای شناور حامل بار متحرک با استفاده از روشهای ترکیبی جدید توسط سید ابوذر افتخاری صحت و کفایت تحقیق انجام شده را برای اخذ درجه دکترا رشته مهندسی مکانیک گرایش دینامیک و کنترل در تاریخ ۱۳۹۲/۶/۳۰ مورد تأیید قرار دادند.

- |       |  |                           |
|-------|--|---------------------------|
| امضاء | جناب آقای دکتر علی اصغر جعفری          | ۱- استاد راهنما           |
| امضاء | جناب آقای دکتر محمد شرعیات             | ۲- استاد ممتحن داخلی      |
| امضاء | جناب آقای دکتر سید علی اکبر موسویان    | ۳- استاد ممتحن داخلی      |
| امضاء | جناب آقای دکتر سیامک اسماعیل زاده خادم | ۴- استاد ممتحن خارجی      |
| امضاء | جناب آقای دکتر حمید احمدیان            | ۵- استاد ممتحن خارجی      |
| امضاء | جناب آقای دکتر علی کشاورز ولیان        | ۶- نماینده تحصیلات تکمیلی |



تاسیس ۱۳۰۷

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

## اظهارنامه دانشجو

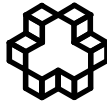
اینجانب سید ابوذر افتخاری دانشجوی دوره دکترا رشته مهندسی مکانیک گرایش دینامیک و کنترل دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی گواهی می‌نمایم که تحقیقات ارائه شده در پایان‌نامه با عنوان:

### ارتعاشات غیرخطی تیرهای شناور حامل بار متحرک با استفاده از روشهای ترکیبی جدید

با راهنمایی استاد محترم جناب آقای دکتر علی اصغر جعفری توسط شخص اینجانب انجام شده است. صحت و اصالت مطالب نگارش شده در این پایان‌نامه مورد تأیید می‌باشد. در مورد استفاده از کار دیگر محققان به مرجع مورد استفاده اشاره شده است. به علاوه گواهی می‌نمایم که مطالب مندرج در پایان‌نامه تاکنون برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی توسط اینجانب یا فرد دیگری در هیچ جا ارائه نشده است و در تدوین متن پایان‌نامه چارچوب (فرمت) مصوب دانشگاه را به طور کامل رعایت کرده‌ام.

امضاء دانشجو:

تاریخ:



تاسیس ۱۳۰۷

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

## حق طبع، نشر و مالکیت نتایج

- ۱- حق چاپ و تکثیر این پایان‌نامه متعلق به نویسنده و استاد راهنمای آن می‌باشد. هرگونه تصویربرداری از کل یا بخشی از پایان‌نامه تنها با موافقت نویسنده یا استاد راهنما یا کتابخانه دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی مجاز می‌باشد.
- ۲- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی می‌باشد و بدون اجازه کتبی دانشگاه به شخص ثالث قابل واگذاری نیست.
- ۳- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود پایان‌نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

## چکیده

مساله اندرکنش سازه - سیال یکی از موضوعات جالب و کاربردی در زمینه مهندسی مکانیک می باشد. از کاربردهای این مساله می توان به طراحی و ساخت سازه های شناور، سدها، بالهای هواپیما و موشک، کشتیها و ناوها اشاره نمود. بدون تردید، در هر یک از سیستمهای فوق، محاسبه دقیق پاسخ دینامیکی سازه و توزیع فشار سیال یکی از پارامترهای مهم و ضروری برای طراحی مطمئن و پیش بینی عمر مفید چنین سازه هایی می باشد.

یکی از راههای ابتدایی برای تحلیل مسائل اندرکنش سازه- سیال استفاده از روشهای تحلیلی می باشد. اما کاربرد این روشها محدود به مسائل بسیار ساده اندرکنش سازه - سیال می باشد. برای فائق آمدن بر محدودیتهای روشهای تحلیلی می توان از روشهای عددی کمک گرفت. روشهای عددی عمدتاً انعطاف پذیری بیشتری نسبت به روشهای تحلیلی داشته و به مسائل متنوع تری قابل اعمال می باشند. اما هر یک از این روشهای عددی دارای مزایا و معایبی می باشند. برای غلبه بر این معایب، یکی از راهها (البته بسیار مشکل) این است که روشهای جدید قدرتمندتری را برای حل مساله توسعه دهیم. از راههای دیگر و البته ساده تر اینست که روشهای موجود را با یکدیگر ترکیب کنیم تا از مزایای هر یک از این روشها بهره برده و قابلیت روشهای موجود را ارتقاء بدهیم. پایان نامه حاضر بر این مبنا بوده و روشهای ترکیبی جدیدی را برای حل مساله ارائه می دهد.

در این پایان نامه، روشهای ترکیبی Ritz-DQEM و FE-DQEM برای تحلیل ارتعاشات آزاد و اجباری تیرهای در تماس با سیال ارائه شده اند. در این روشهای ترکیبی، معادله حرکت تیر با استفاده از روش ریتز یا روش اجزاء محدود گسسته سازی و معادله حاکم بر سیال با استفاده از روش DQEM گسسته سازی می شوند. روش ترکیبی Ritz-DQEM سادگی روش Ritz و دقت بالا و کارآمدی روش DQEM را ترکیب نموده و بسیار مناسب برای تحلیل مسائلی می باشد که هندسه سازه در آنها ساده باشد (مانند موضوع پایان نامه حاضر). روش ترکیبی FE-DQEM انعطاف پذیری هندسی بالای روش FEM را با دقت بالا و سادگی روش DQEM ترکیب نموده و قابلیت اعمال به مسائلی که هندسه سازه پیچیده است را دارا می باشد.

نتایج عددی این پایان نامه هم برای تیر اویلر- برنولی خطی و غیرخطی و هم برای تیر تیموشنکوی خطی و غیرخطی ارائه شده اند. دامنه سیال نیز هم بصورت محدود و هم بصورت نامحدود در نظر گرفته شده است. برای نشان دادن دقت روشهای پیشنهادی، جوابهای تحلیلی برای ارتعاشات آزاد تیرهای در تماس با سیال محدود استخراج شده اند. نتایج عددی ارائه شده حاکی از دقت و همگرایی بالای روشهای ترکیبی پیشنهادی می باشند. در مقایسه با روشهای قدرتمند نظیر روش اجزاء محدود، ابعاد معادلات نهایی در روشهای پیشنهادی بسیار کوچکتر بوده و لذا نیاز به زمان محاسبات بسیار کمتر دارند.

در این پایان نامه، معادلات حاکم بر سیال هم بر اساس فشار سیال و هم بر اساس تابع پتانسیل سرعت فرمولبندی شده اند. گرچه فرمولبندی مساله بر اساس فشار سیال بسیار ساده تر از فرمولبندی مساله بر اساس تابع پتانسیل سرعت می باشد، نتایج عددی ما نشان دادند که فرمولبندی مساله بر اساس تابع پتانسیل سرعت باعث خوش شرطی معادلات نهایی و در نتیجه کاهش نسبی زمان محاسبات می گردد. در مثالهای عددی ارائه شده، همچنین، اثر پارامترهای مختلف تاثیر گذار بر مساله نظیر عمق، شرایط مرزی و تراکم پذیری سیال؛ مقدار سرعت صوت (در محیط سیال)؛ ضخامت، پهنا و طول تیر؛ سرعت و اینرسی بار متحرک مورد بررسی قرار گرفته اند. نتایج ارائه شده در این پایان نامه نشان دادند که تمامی پارامترهای فوق تاثیر قابل توجهی بر پاسخ دینامیکی سیستم دارند.

در این پایان نامه، همچنین، روشهای ترکیبی جدیدی برای تحلیل ارتعاشات آزاد و اجباری تیرها و ورقها بدون در نظر گرفتن اثر سیال ارائه شده است. برای تحلیل ارتعاشات اجباری تیرهای تحت تاثیر بار متحرک، روشهای ترکیبی Ritz-DQEM و FE-DQEM پیشنهاد شده اند که در آنها روش DQEM در دامنه زمانی مساله اعمال شده است. نتایج عددی ما نشان دادند که روش DQEM جوابهای بهتری نسبت به روشهای نیومارک، ویلسون-تتا، هوبولت و رانج-کوتا با استفاده از گامهای زمانی بزرگتر ارائه نموده و در نتیجه نیاز به زمان محاسبات کمتری برای رسیدن به جوابهای دقیق دارد. از آنجا که ابعاد معادلات جبری نهایی در روش DQEM در هر گام زمانی نسبتاً بزرگ می باشد، روش انتگرالگیری زمانی جدید TQR برای حل مسائل مقدار اولیه پیشنهاد و کارآمدی آن نشان داده شده است.

برای مساله ارتعاشات آزاد و اجباری ورقها، روشهای ترکیبی Ritz-DQM و FE-DQM پیشنهاد شده اند که در آنها یک بعد ورق با استفاده از روش Ritz یا FEM و بعد دیگر با استفاده از روش DQM گسسته سازی می شوند. روش ترکیبی Ritz-DQM سادگی روش Ritz را با دقت بالای روش DQM ترکیب می نماید و قابلیت ویژه آن در تحلیل ارتعاشات آزاد ورقهای نوع لوی می باشد. روش ترکیبی FE-DQM نیز انعطاف پذیری هندسی بالای روش FEM را با دقت بالای روش DQM ترکیب نموده و کاربرد و پایداری آن از روش Ritz-DQM بیشتر می باشد. نتایج عددی ما نشان دادند که هر دو روش پیشنهادی دارای مزایایی نسبت به روش نوار محدود نظیر دقت و پایداری بالاتر می باشند.

در این پایان نامه، همچنین، روش تغییراتی جدیدی برای تحلیل ارتعاشات آزاد ورقها پیشنهاد شده است. این روش تغییراتی امکان ارضاء قوی شرایط مرزی طبیعی ورق را نیز برآورده نموده و جوابهای دقیقتری نسبت به روشهای تغییراتی متداول ارائه می نماید.

فهرست مطالب

۱- آشنایی با موضوع رساله، کاربردهای آن و مروری بر کارهای انجام شده .....	۱
۱-۱- مقدمه .....	۱
۲-۱- سازه های شناور خیلی بزرگ (VLFS) .....	۲
۳-۱- کاربردهای VLFS .....	۳
۱-۳-۱- پلهای شناور .....	۴
۲-۳-۱- مخازن شناور ذخیره سازی سوخت .....	۵
۳-۳-۱- پناهگاههای اضطراری .....	۶
۴-۳-۱- نیروگاههای تولید برق .....	۶
۵-۳-۱- اسکله ها و پایانه های دریایی شناور .....	۷
۶-۳-۱- فرودگاههای شناور .....	۷
۷-۳-۱- شهرهای شناور .....	۸
۴-۱- مدلسازی VLFS .....	۸
۵-۱- اشکال هندسی VLFS .....	۹
۶-۱- تجهیزات نگهدارنده VLFS .....	۱۰
۷-۱- موج شکنها .....	۱۰
۸-۱- وسایل ضد حرکت .....	۱۱
۹-۱- روشهای حل .....	۱۲
۱۰-۱- مدل‌های متفاوت عمق آب .....	۱۳
۱۱-۱- ارتعاشات اجباری VLFS تحت بار متحرک .....	۱۴
۲- تعریف دقیق مساله، فرضیات و نوآوریهای پایان نامه .....	۱۸
۱-۲- تعریف دقیق مساله و فرضیات آن .....	۱۸
۱-۱-۲- مدلسازی تیر .....	۱۸
۲-۱-۲- مدلسازی سیال .....	۱۹
۳-۱-۲- مدلسازی بار متحرک .....	۱۹
۲-۲- نوآوریهای پایان نامه .....	۱۹
۱-۲-۲- نوآوری در مدلسازی مساله .....	۱۹
۲-۲-۲- نوآوری در روش حل مساله .....	۲۰
۳-۲-۲- دستاوردهای مورد انتظار پایان نامه .....	۲۱
۴-۲- اعتبار سنجی و صحه گذاری نتایج .....	۲۱
۱-۴-۲- مقایسه نتایج با حل‌های تحلیلی .....	۲۱
۲-۴-۲- مقایسه نتایج با حل‌های عددی .....	۲۱
۳-۴-۲- مقایسه نتایج با نتایج کارهای دیگران .....	۲۲



۲۲	۴-۴-۲- مقایسه نتایج با حل‌های تجربی
۲۳	۳- معادلات حاکم بر مساله
۲۳	۱-۳- معادلات حاکم بر VLFS
۲۳	۳-۱-۱- مدل بار متحرک
۲۵	۳-۱-۲- مدل جرم متحرک
۲۸	۳-۲- معادلات حاکم بر سیال
۲۹	۳-۱-۲- قوانین بقای جرم و بقای مومنتوم
۳۱	۳-۲-۲- فرمولبندی بر اساس فشار هیدرودینامیکی
۳۴	۳-۲-۳- فرمولبندی بر اساس تابع پتانسیل سرعت
۳۷	۴- روش‌های ترکیبی پیشنهادی برای حل مساله
۳۷	۱-۴- مقدمه
۳۷	۴-۱-۱- روش ریتز
۳۸	۴-۱-۲- روش مودال
۳۹	۴-۱-۳- روش اجزاء محدود
۴۱	۴-۱-۴- روش المان مرزی
۴۵	۴-۱-۵- روش سنجش وزنی مشتقات (DQM)
۴۸	۴-۲- دلیل استفاده از روش‌های ترکیبی و تاریخچه ای از کاربردهای این روشها
۵۳	۴-۳- روش‌های ترکیبی پیشنهادی برای حل مساله
۵۴	۴-۴- روش‌های ترکیبی پیشنهادی برای تحلیل ارتعاشات آزاد و اجباری تیرها و ورقها بدون در نظر گرفتن اثر سیال
۵۴	۴-۱-۴- روش‌های ترکیبی پیشنهادی برای ارتعاشات اجباری تیرها
۵۵	۴-۲-۴- روش‌های ترکیبی پیشنهادی برای ارتعاشات آزاد و اجباری ورقها
۵۷	۵- ارتعاشات خطی تیر اوپلر- برنولی در تماس با سیال محدود
۵۷	۱-۵- مقدمه
۵۷	۲-۵- معادلات حاکم بر مساله و شرایط مرزی
۵۹	۳-۵- گسسته سازی معادله سیال با استفاده از روش DQEM
۵۹	۵-۳-۱- المان بندی دامنه سیال، استخراج معادلات المان و مونتاژ معادلات نهایی
۶۳	۵-۳-۲- اعمال شرایط مرزی سیال
۶۴	۵-۴- گسسته سازی معادله تیر
۶۴	۵-۴-۱- گسسته سازی معادله تیر با استفاده از روش ریتز
۶۵	۵-۴-۲- گسسته سازی معادله تیر با استفاده از روش اجزاء محدود
۶۷	۵-۵- استخراج معادلات نهایی
۶۷	۵-۵-۱- معادلات نهایی روش Ritz-DQEM

۶۹.....	۵-۵-۲- معادلات نهایی روش FE-DQEM
۷۱.....	۵-۶- حل معادلات نهایی
۷۱.....	۵-۶-۱- رویه الف): حل مستقیم معادلات کوپله نهایی
۷۲.....	۵-۶-۲- رویه ب): حل معادله تیر و سپس حل معادله سیال
۷۲.....	۵-۶-۳- رویه ج): حل معادله سیال و سپس حل معادله تیر
۷۲.....	۵-۷- تحلیل ارتعاشات آزاد
۷۳.....	۵-۸- حل مساله بر اساس فرمولبندی تابع پتانسیل سرعت
۷۵.....	۵-۹- نتایج عددی
۷۶.....	۵-۹-۱- ارتعاشات آزاد تیرهای در تماس با سیال محدود تراکم ناپذیر با شرط مرزی دیریکله
۹۱.....	۵-۹-۲- ارتعاشات آزاد تیرهای در تماس با سیال محدود تراکم ناپذیر با شرط مرزی نیومن
۹۹.....	۵-۹-۳- ارتعاشات آزاد تیرهای در تماس با سیال محدود تراکم پذیر
۱۰۶.....	۵-۹-۴- تحلیل ارتعاشات آزاد تیرهای در تماس با سیال محدود با کمک فرمولبندی تابع پتانسیل سرعت
۱۰۸.....	۵-۹-۵- ارتعاشات آزاد تیرهای دوسرآزاد در تماس با سیال محدود: مقایسه با نتایج آزمایش مودال
۱۰۹.....	۵-۹-۶- ارتعاشات اجباری تیرهای در تماس با سیال محدود و تحت تاثیر بار متحرک
۱۲۷.....	۵-۱۰- جمع بندی و نتیجه گیری
۱۲۹.....	۶- ارتعاشات غیرخطی تیر اویلر- برنولی در تماس با سیال محدود
۱۲۹.....	۶-۱- مقدمه
۱۲۹.....	۶-۲- معادلات حاکم برمساله
۱۳۰.....	۶-۳- گسسته سازی معادلات
۱۳۰.....	۶-۳-۱- گسسته سازی معادله سیال
۱۳۰.....	۶-۳-۲- گسسته سازی معادله تیر
۱۳۱.....	۶-۴- استخراج و حل معادلات نهایی
۱۳۳.....	۶-۵- تحلیل ارتعاشات آزاد
۱۳۵.....	۶-۶- نتایج عددی
۱۳۶.....	۶-۶-۱- ارتعاشات آزاد غیرخطی تیرها بدون در نظر گرفتن اثر سیال
۱۳۹.....	۶-۶-۲- ارتعاشات آزاد غیرخطی تیرهای در تماس با سیال محدود تراکم ناپذیر
۱۴۲.....	۶-۶-۳- ارتعاشات آزاد غیرخطی تیرهای در تماس با سیال محدود تراکم پذیر
۱۴۴.....	۶-۶-۴- ارتعاشات اجباری غیرخطی تیرهای در تماس با سیال محدود و تحت تاثیر بار متحرک
۱۵۰.....	۶-۷- جمع بندی و نتیجه گیری
۱۵۱.....	۷- ارتعاشات خطی تیر تیموشنکو در تماس با سیال محدود
۱۵۱.....	۷-۱- مقدمه
۱۵۱.....	۷-۲- معادلات حاکم برمساله
۱۵۲.....	۷-۳- گسسته سازی معادلات

۱۵۲.....	۷-۳-۱- گسسته سازی معادله سیال .....
۱۵۲.....	۷-۳-۲- گسسته سازی معادله تیر .....
۱۵۳.....	۷-۴- استخراج و حل معادلات نهایی .....
۱۵۴.....	۷-۵- تحلیل ارتعاشات آزاد .....
۱۵۴.....	۷-۶- نتایج عددی .....
۱۵۴.....	۷-۶-۱- ارتعاشات آزاد تیرهای تیموشنکو در تماس با سیال محدود تراکم ناپذیر .....
۱۶۵.....	۷-۶-۲- ارتعاشات آزاد تیرهای تیموشنکو در تماس با سیال محدود تراکم پذیر .....
۱۶۹.....	۷-۶-۳- ارتعاشات اجباری تیرهای تیموشنکو در تماس با سیال محدود تراکم پذیر و تحت تاثیر بار متحرک .....
۱۷۳.....	۷-۷- جمع بندی و نتیجه گیری .....
۱۷۴.....	<b>۸- ارتعاشات غیرخطی تیر تیموشنکو در تماس با سیال محدود .....</b>
۱۷۴.....	۸-۱- مقدمه .....
۱۷۴.....	۸-۲- معادلات حاکم برمساله .....
۱۷۵.....	۸-۳- گسسته سازی معادلات .....
۱۷۵.....	۸-۳-۱- گسسته سازی معادله سیال .....
۱۷۵.....	۸-۳-۲- گسسته سازی معادله تیر .....
۱۷۷.....	۸-۴- استخراج و حل معادلات نهایی .....
۱۷۸.....	۸-۵- نتایج عددی .....
۱۷۸.....	۸-۵-۱- ارتعاشات آزاد غیرخطی تیرهای تیموشنکو بدون در نظر گرفتن اثر سیال .....
۱۸۲.....	۸-۵-۲- ارتعاشات آزاد غیرخطی تیرهای تیموشنکو در تماس با سیال محدود .....
۱۸۷.....	۸-۵-۳- ارتعاشات اجباری غیرخطی تیرهای تیموشنکو در تماس با سیال محدود و تحت تاثیر بار متحرک .....
۱۹۲.....	۸-۶- جمع بندی و نتیجه گیری .....
۱۹۳.....	<b>۹- ارتعاشات آزاد و اجباری تیرهای در تماس با سیال نامحدود .....</b>
۱۹۳.....	۹-۱- مقدمه .....
۱۹۵.....	۹-۲- ارتعاشات آزاد خطی تیرهای در تماس با سیال نامحدود .....
۱۹۹.....	۹-۳- ارتعاشات آزاد غیرخطی تیرهای در تماس با سیال نامحدود .....
۲۰۱.....	۹-۴- ارتعاشات اجباری خطی تیرهای در تماس با سیال نامحدود و تحت بار متحرک .....
۲۰۸.....	۹-۵- ارتعاشات اجباری غیرخطی تیرهای در تماس با سیال نامحدود و تحت بار متحرک .....
۲۱۱.....	۹-۶- ارتعاشات آزاد سدهای در تماس با سیال نامحدود .....
۲۱۳.....	۹-۷- ارتعاشات اجباری سدهای در تماس با سیال نامحدود .....
۲۱۷.....	۹-۸- جمع بندی و نتیجه گیری .....
۲۱۸.....	<b>۱۰- روشهای ترکیبی جدید برای تحلیل ارتعاشات آزاد و اجباری تیرها و ورقها بدون در نظر گرفتن اثر سیال .....</b>

۲۱۸	۱-۱۰-۱ مقدمه
۲۱۹	۲-۱۰-۲ روشهای ترکیبی برای تحلیل ارتعاشات اجباری تیرها
۲۱۹	۱-۲-۱۰ روشهای ترکیبی Ritz-DQEM و FE-DQEM
۲۲۱	۲-۲-۱۰ روش ترکیبی Ritz-TQR
۲۲۳	۳-۱۰-۳ روشهای ترکیبی برای تحلیل ارتعاشات آزاد و اجباری ورقها
۲۲۶	۴-۱۰-۴ روش تغییراتی جدید برای تحلیل ارتعاشات آزاد ورقها
۲۳۱	۱-۴-۱۰ کاربردهای دیگر روش تغییراتی پیشنهادی
۲۳۲	۵-۱۰-۵ جمع بندی و نتیجه گیری
۲۳۳	۱۱- جمع بندی و پیشنهادات برای ادامه کار
۲۳۳	۱-۱۱-۱ جمع بندی و نتیجه گیری
۲۳۴	۲-۱۱-۲ پیشنهادات برای ادامه کار
۲۳۶	<b>پیوستها</b>
۲۳۶	پیوست ۱- استخراج توابع درونیاب مرتبه بالا برای فرمولبندی اجزاء محدود تیر
۲۳۷	پیوست ۲- حل تحلیلی صریح برای فرکانسهای طبیعی تیر اویلر- برنولی دو سر مفصل در تماس با سیال محدود تراکم ناپذیر با شرط مرزی دیریکله
۲۳۸	پیوست ۳- حل تحلیلی عمومی غیرصریح برای ارتعاشات آزاد و اجباری تیر اویلر- برنولی در تماس با سیال محدود
۲۴۰	پیوست ۴- فرمولبندی روش اجزاء محدود برای ارتعاشات اجباری تیر اویلر- برنولی در تماس با سیال محدود
۲۴۲	پیوست ۵- فرآیند متعامد سازی گرام- اشمیت
۲۴۲	پیوست ۶- حل تحلیلی صریح برای فرکانسهای طبیعی تیر تیموشنکو دو سر مفصل در تماس با سیال محدود تراکم ناپذیر با شرط مرزی دیریکله
۲۴۴	پیوست ۷- حل تحلیلی عمومی غیرصریح برای ارتعاشات آزاد و اجباری تیر تیموشنکو در تماس با سیال محدود
۲۴۵	لیست مقالات ارائه شده در مجلات
۲۴۷	فهرست منابع و مراجع

فهرست شکلها و نمودارها

- شکل ۱-۱- اجزاء یک سیستم Mega-Float ..... ۳
- شکل ۲-۱- ابتدایی ترین پل شناور ساخت دست بشر (ساخته شده توسط یکی از پادشاهان ایرانی [۴]) ..... ۴
- شکل ۳-۱- پل کانال هود، امریکا ..... ۵
- شکل ۴-۱- پل نوردهردلند، نروژ ..... ۵
- شکل ۵-۱- پل یومیما، ژاپن ..... ۵
- شکل ۶-۱- مخزن ذخیره سازی نفت، کامیگوتوی ژاپن ..... ۶
- شکل ۷-۱- پناهگاه اضطراری، اوزاکای ژاپن ..... ۷
- شکل ۸-۱- پناهگاه اضطراری، توکیوی ژاپن ..... ۷
- شکل ۹-۱- طرح پیشنهادی توسط متخصصان ژاپنی برای ساخت یک نیروگاه بادی شناور ..... ۷
- شکل ۱۰-۱- فرودگاه شناور، ژاپن ..... ۸
- شکل ۱۱-۱- طرح پیشنهادی برای احداث فرودگاه شناور، ژاپن ..... ۸
- شکل ۱۲-۱- تصاویری از طرحهای پیشنهاد شده توسط معماران ژاپنی برای ساخت شهرهای شناور ..... ۹
- شکل ۱۳-۱- انواع مختلف سیستم های نگهدارنده ..... ۱۱
- شکل ۱۴-۱- کاربرد یک ورق افقی آویزان به VLFS به عنوان وسیله ضد حرکت ..... ۱۲
- شکل ۱-۵- هندسه و سیستم مختصات برای یک تیر در تماس با سیال محدود و تحت تاثیر یک جرم متحرک ..... ۵۸
- شکل ۲-۵- تقسیم بندی دامنه سیال به  $N_f$  المان مستطیلی ..... ۵۹
- شکل ۳-۵- آرایش نقاط شبکه در یک المان DQEM ..... ۶۰
- شکل ۴-۵- شکل مودهای یک تیر دوسرمفصل در تماس با سیال محدود تراکم ناپذیر دیریکله ( $\lambda = 0.5, \vartheta = 0.25$ ) ..... ۷۸
- شکل ۵-۵- اثر پارامترهای بی بعد  $\lambda$  و  $\vartheta$  بر فرکانس طبیعی تیر دوسرمفصل در تماس با سیال محدود تراکم ناپذیر دیریکله ..... ۸۳
- شکل ۶-۵- اثر پارامترهای بی بعد  $\lambda$  و  $\vartheta$  بر فرکانس طبیعی تیر دوسرمفصل در تماس با سیال محدود تراکم ناپذیر دیریکله ..... ۸۴
- شکل ۷-۵- شکل مودهای یک تیر دوسردرگیر در تماس با سیال محدود تراکم ناپذیر دیریکله ( $\lambda = \vartheta = 1$ ) ..... ۸۶
- شکل ۸-۵- اثر پارامترهای بی بعد  $\lambda$  و  $\vartheta$  بر فرکانس طبیعی تیر دوسردرگیر در تماس با سیال محدود تراکم ناپذیر دیریکله ..... ۸۸
- شکل ۹-۵- اثر پارامترهای بی بعد  $\lambda$  و  $\vartheta$  بر فرکانس طبیعی تیر دوسردرگیر در تماس با سیال محدود تراکم ناپذیر دیریکله ..... ۸۹
- شکل ۱۰-۵- اثر پارامترهای بی بعد  $\lambda$  و  $\vartheta$  بر شکل مود تیر دوسرمفصل در تماس با سیال محدود تراکم ناپذیر دیریکله ..... ۹۰
- شکل ۱۱-۵- اثر پارامترهای بی بعد  $\lambda$  و  $\vartheta$  بر شکل مود تیر دوسردرگیر در تماس با سیال محدود تراکم ناپذیر دیریکله ..... ۹۰

- شکل ۵-۱۲- شکل مودهای یک تیر دوسرمفصل در تماس با سیال محدود تراکم ناپذیر نیومن ( $\lambda = \vartheta = 1$ ) ..... ۹۲
- شکل ۵-۱۳- شکل مودهای یک تیر دوسردرگیر در تماس با سیال محدود تراکم ناپذیر نیومن ( $\lambda = \vartheta = 1$ ) ..... ۹۳
- شکل ۵-۱۴- شکل مودهای یک تیر دوسر آزاد در تماس با سیال محدود تراکم ناپذیر نیومن ( $\lambda = \vartheta = 1$ ) ..... ۹۵
- شکل ۵-۱۵- اثر پارامترهای بی بعد  $\lambda$  و  $\vartheta$  بر فرکانس طبیعی تیر دوسرمفصل در تماس با سیال محدود تراکم ناپذیر نیومن ..... ۹۶
- شکل ۵-۱۶- اثر پارامترهای بی بعد  $\lambda$  و  $\vartheta$  بر فرکانس طبیعی تیر دوسرمفصل در تماس با سیال محدود تراکم ناپذیر نیومن ..... ۹۷
- شکل ۵-۱۷- اثر پارامترهای بی بعد  $\lambda$  و  $\vartheta$  بر شکل مود تیر دوسرمفصل در تماس با سیال محدود تراکم ناپذیر نیومن ..... ۹۷
- شکل ۵-۱۸- اثر پارامترهای بی بعد  $\lambda$  و  $\vartheta$  بر شکل مود تیر دوسردرگیر در تماس با سیال محدود تراکم ناپذیر نیومن ..... ۹۸
- شکل ۵-۱۹- اثر تراکم پذیری سیال بر شکل مودهای تیر دوسرمفصل در تماس با سیال محدود دیریکله ..... ۱۰۰
- شکل ۵-۲۰- اثر تراکم پذیری سیال بر شکل مودهای تیر دوسردرگیر در تماس با سیال محدود دیریکله ..... ۱۰۱
- شکل ۵-۲۱- اثر تراکم پذیری سیال بر شکل مودهای تیر دوسرمفصل در تماس با سیال محدود نیومن ..... ۱۰۳
- شکل ۵-۲۲- اثر تراکم پذیری سیال بر شکل مودهای تیر دوسردرگیر در تماس با سیال محدود نیومن ..... ۱۰۴
- شکل ۵-۲۳- اثر سرعت صوت (در محیط سیال) بر شکل مودهای تیر دوسرمفصل در تماس با سیال محدود نیومن ..... ۱۰۴
- شکل ۵-۲۴- اثر سرعت صوت (در محیط سیال) بر شکل مودهای تیر دوسردرگیر در تماس با سیال محدود نیومن ..... ۱۰۵
- شکل ۵-۲۵- اثر انعطاف پذیری تیر و تراکم پذیری سیال بر شکل مود تیر دوسردرگیر در تماس با سیال محدود نیومن ..... ۱۰۵
- شکل ۵-۲۶- آزمایش مودال تیر در تماس با سیال و ابعاد مخزن آب [۱۱۸] ..... ۱۰۸
- شکل ۵-۲۷- ابعاد تیر بکارگرفته شده در آزمایش مودال [۱۱۸] ..... ۱۰۹
- شکل ۵-۲۸- همگرایی روش Ritz-DQEM برای محاسبه پاسخ دینامیکی تیر دوسرمفصل تحت تاثیر بار متحرک و در تماس با سیال محدود تراکم ناپذیر دیریکله ( $v = 10 \text{ m/s}$ ) ..... ۱۱۰
- شکل ۵-۲۹- همگرایی روش Ritz-DQEM برای محاسبه پاسخ دینامیکی تیر دوسرمفصل تحت تاثیر بار متحرک و در تماس با سیال محدود تراکم ناپذیر نیومن ( $v = 10 \text{ m/s}$ ) ..... ۱۱۱
- شکل ۵-۳۰- مقایسه بین روشهای ترکیبی پیشنهادی و روشهای عددی دیگر برای محاسبه پاسخ دینامیکی تیر دوسر مفصل تحت تاثیر بار متحرک و در تماس با سیال محدود تراکم ناپذیر ..... ۱۱۲
- شکل ۵-۳۱- مقایسه بین فرمولبندی فشار و تابع پتانسیل سرعت برای محاسبه پاسخ دینامیکی تیر دوسرمفصل تحت تاثیر بار متحرک و در تماس با سیال محدود تراکم ناپذیر ( $v = 100 \text{ m/s}$ ) ..... ۱۱۲
- شکل ۵-۳۲- اثر شرایط مرزی سیال و سرعت بار متحرک بر پاسخ دینامیکی تیر دوسرمفصل تحت تاثیر بار متحرک و در تماس با سیال محدود تراکم ناپذیر ..... ۱۱۳
- شکل ۵-۳۳- اثر اندرکنش تیر و سیال بر پاسخ دینامیکی تیر دوسرمفصل تحت تاثیر بار متحرک و در تماس با سیال محدود تراکم ناپذیر ..... ۱۱۵
- شکل ۵-۳۴- اثر اندرکنش تیر و سیال بر پاسخ دینامیکی تیر دوسردرگیر تحت تاثیر بار متحرک و در تماس با سیال محدود تراکم ناپذیر ..... ۱۱۶
- شکل ۵-۳۵- اثر عمق سیال بر پاسخ دینامیکی تیر دوسرمفصل تحت تاثیر بار متحرک و در تماس با سیال محدود تراکم ناپذیر ( $v = 25 \text{ m/s}$ ) ..... ۱۱۷

شکل ۵-۳۶- اثر عمق سیال بر پاسخ دینامیکی تیر دوسرمفصل تحت تاثیر بار متحرک و در تماس با سیال محدود تراکم ناپذیر ( $v = 25 \text{ m/s}$ )	۱۱۷
شکل ۵-۳۷- اثر شرط مرزی سیال بر پاسخ دینامیکی تیر دوسرمفصل تحت تاثیر بار متحرک و در تماس با سیال محدود تراکم ناپذیر	۱۱۸
شکل ۵-۳۸- اثر شرط مرزی سیال بر پاسخ دینامیکی تیر دوسردرگیر تحت تاثیر بار متحرک و در تماس با سیال محدود تراکم ناپذیر	۱۱۹
شکل ۵-۳۹- اثر تراکم پذیری سیال بر پاسخ دینامیکی تیر دوسرمفصل در تماس با سیال محدود و تحت تاثیر بار متحرک ( $v = 10 \text{ m/s}$ )	۱۲۰
شکل ۵-۴۰- اثر تراکم پذیری سیال بر پاسخ دینامیکی تیر دوسردرگیر در تماس با سیال محدود و تحت تاثیر بار متحرک ( $v = 10 \text{ m/s}$ )	۱۲۰
شکل ۵-۴۱- اثر تراکم پذیری سیال بر پاسخ دینامیکی تیر دوسرمفصل در تماس با سیال محدود نیومن و تحت تاثیر بار متحرک ( $v = 10 \text{ m/s}$ )	۱۲۱
شکل ۵-۴۲- اثر تراکم پذیری سیال بر پاسخ دینامیکی تیر دوسردرگیر در تماس با سیال محدود نیومن و تحت تاثیر بار متحرک ( $v = 10 \text{ m/s}$ )	۱۲۱
شکل ۵-۴۳- اثر سرعت صوت (در محیط سیال) بر پاسخ دینامیکی تیر دوسرمفصل در تماس با سیال محدود نیومن و تحت تاثیر بار متحرک ( $v = 10 \text{ m/s}$ )	۱۲۲
شکل ۵-۴۴- اثر سرعت صوت (در محیط سیال) بر پاسخ دینامیکی تیر دوسردرگیر در تماس با سیال محدود نیومن و تحت تاثیر بار متحرک ( $v = 10 \text{ m/s}$ )	۱۲۲
شکل ۵-۴۵- اثر انعطاف پذیری تیر و تراکم پذیری سیال بر پاسخ دینامیکی تیر دوسردرگیر در تماس با سیال محدود نیومن و تحت تاثیر بار متحرک ( $v = 10 \text{ m/s}$ )	۱۲۳
شکل ۵-۴۶- مقایسه بین جوابهای مدل بار متحرک و جوابهای مدل جرم متحرک برای پاسخ دینامیکی تیر دوسرمفصل تحت تاثیر بار متحرک و در تماس با سیال محدود تراکم پذیر دیریکله ( $M_r = 0.25$ )	۱۲۵
شکل ۵-۴۷- مقایسه بین جوابهای مدل بار متحرک و جوابهای مدل جرم متحرک برای پاسخ دینامیکی تیر دوسرمفصل تحت تاثیر بار متحرک و در تماس با سیال محدود تراکم پذیر دیریکله ( $v = 50 \text{ m/s}$ )	۱۲۵
شکل ۶-۱- اثر شرایط مرزی سیال و نسبت دامنه ( $A_r = W_0/r$ ) بر شکل مودهای غیرخطی تیر دوسرمفصل در تماس با سیال محدود تراکم ناپذیر	۱۴۱
شکل ۶-۲- اثر سرعت صوت (در محیط سیال) و نسبت دامنه ( $A_r = W_0/r$ ) بر شکل مودهای غیرخطی تیر دوسرمفصل در تماس با سیال محدود نیومن	۱۴۳
شکل ۶-۳- اثر انعطاف پذیری تیر بر شکل مودهای غیرخطی تیر دوسرمفصل در تماس با سیال محدود نیومن ( $A_r = 5$ )	۱۴۳
شکل ۶-۴- مقایسه بین روش ترکیبی Ritz-DQM و روشهای عددی دیگر برای محاسبه پاسخ دینامیکی تیر غیرخطی دوسر مفصل تحت تاثیر بار متحرک و در تماس با سیال محدود تراکم پذیر دیریکله	۱۴۵
شکل ۶-۵- مقایسه بین روش ترکیبی Ritz-DQM و روشهای عددی دیگر برای محاسبه پاسخ دینامیکی تیر غیرخطی دوسر مفصل تحت تاثیر بار متحرک و در تماس با سیال محدود تراکم پذیر نیومن	۱۴۵

- شکل ۶-۶- اثر مقدار وزن بار متحرک ( $M_m g$ ) و سرعت بار متحرک بر بیشینه جابجایی تیر دوسر مفصل تحت تاثیر بار متحرک و در تماس با سیال محدود تراکم پذیر دیریکله ..... ۱۴۶
- شکل ۶-۷- اثر مقدار وزن بار متحرک ( $M_m g$ ) و سرعت بار متحرک بر بیشینه جابجایی تیر دوسر مفصل تحت تاثیر بار متحرک و در تماس با سیال محدود تراکم پذیر نیومن ..... ۱۴۶
- شکل ۶-۸- اثر طول تیر ( $L$ ) و سرعت بار متحرک بر بیشینه جابجایی تیر دوسر مفصل تحت تاثیر بار متحرک و در تماس با سیال محدود تراکم پذیر دیریکله ( $M_m g = 75 \text{ kN}$ ) ..... ۱۴۷
- شکل ۶-۹- اثر طول تیر ( $L$ ) و سرعت بار متحرک بر بیشینه جابجایی تیر دوسر مفصل تحت تاثیر بار متحرک و در تماس با سیال محدود تراکم پذیر نیومن ( $M_m g = 750 \text{ kN}$ ) ..... ۱۴۸
- شکل ۶-۱۰- اثر ضخامت تیر ( $h$ ) و سرعت بار متحرک بر بیشینه جابجایی تیر دوسر مفصل تحت تاثیر بار متحرک و در تماس با سیال محدود تراکم پذیر دیریکله ( $L = 60 \text{ m}, M_m g = 75 \text{ kN}$ ) ..... ۱۴۸
- شکل ۶-۱۱- اثر ضخامت تیر ( $h$ ) و سرعت بار متحرک بر بیشینه جابجایی تیر دوسر مفصل تحت تاثیر بار متحرک و در تماس با سیال محدود تراکم پذیر نیومن ( $L = 60 \text{ m}, M_m g = 750 \text{ kN}$ ) ..... ۱۴۹
- شکل ۶-۱۲- اثر پهنای تیر ( $b$ ) و سرعت بار متحرک بر بیشینه جابجایی تیر دوسر مفصل تحت تاثیر بار متحرک و در تماس با سیال محدود تراکم پذیر دیریکله ( $L = 60 \text{ m}, M_m g = 750 \text{ kN}$ ) ..... ۱۴۹
- شکل ۶-۱۳- اثر پهنای تیر ( $b$ ) و سرعت بار متحرک بر بیشینه جابجایی تیر دوسر مفصل تحت تاثیر بار متحرک و در تماس با سیال محدود تراکم پذیر دیریکله ( $L = 60 \text{ m}, M_m g = 750 \text{ kN}$ ) ..... ۱۵۰
- شکل ۷-۱- همگرایی و دقت روش Ritz-DQEM برای محاسبه فرکانس طبیعی بی بعد ( $\Omega = \omega L^2 \sqrt{\rho_s A_s / EI}$ ) تیر دوسر مفصل تیموشنکو در تماس با سیال محدود تراکم ناپذیر دیریکله ( $\lambda = 1, \vartheta = 1$ ) ..... ۱۵۶
- شکل ۷-۲- همگرایی و دقت روش FE-DQEM برای محاسبه فرکانس طبیعی بی بعد ( $\Omega = \omega L^2 \sqrt{\rho_s A_s / EI}$ ) تیر دوسر مفصل تیموشنکو در تماس با سیال محدود تراکم ناپذیر دیریکله ( $\lambda = 1, \vartheta = 1$ ) ..... ۱۵۷
- شکل ۷-۳- بررسی اثر قفل شدگی برشی بر فرکانس طبیعی بی بعد ( $\Omega = \omega L^2 \sqrt{\rho_s A_s / EI}$ ) تیر دوسر مفصل تیموشنکو در تماس با سیال محدود تراکم ناپذیر دیریکله ( $\lambda = 1, \vartheta = 1$ ) ..... ۱۵۷
- شکل ۷-۴- اثر افزایش تعداد المان بر بهبود پدیده قفل شدگی برشی در ارتعاشات آزاد تیر دوسر مفصل تیموشنکو در تماس با سیال محدود تراکم ناپذیر دیریکله ( $\lambda = 1, \vartheta = 1$ ) ..... ۱۵۸
- شکل ۷-۵- تغییرات سه فرکانس طبیعی بی بعد اول ( $\Omega = \omega L^2 \sqrt{\rho_s A_s / EI}$ ) تیر دوسر مفصل تیموشنکو در تماس با سیال محدود تراکم ناپذیر دیریکله بر حسب نسبت ضخامت ..... ۱۵۹
- شکل ۷-۶- اثر پارامترهای بی بعد  $\lambda$  و  $T_r$  بر فرکانس طبیعی بی بعد ( $\Omega = \omega L^2 \sqrt{\rho_s A_s / EI}$ ) تیر دوسر مفصل تیموشنکو در تماس با سیال محدود تراکم ناپذیر دیریکله ( $\vartheta = 0.5$ ) ..... ۱۶۰
- شکل ۷-۷- اثر پارامترهای بی بعد  $\vartheta$  و  $T_r$  بر فرکانس طبیعی بی بعد ( $\Omega = \omega L^2 \sqrt{\rho_s A_s / EI}$ ) تیر دوسر مفصل تیموشنکو در تماس با سیال محدود تراکم ناپذیر دیریکله ( $\lambda = 0.5$ ) ..... ۱۶۰
- شکل ۷-۸- دقت روشهای ترکیبی Ritz-DQEM و FE-DQEM برای محاسبه فرکانس طبیعی بی بعد ( $\Omega = \omega L^2 \sqrt{\rho_s A_s / EI}$ ) تیر دوسر درگیر تیموشنکو در تماس با سیال محدود تراکم ناپذیر دیریکله ( $\lambda = 1, \vartheta = 1$ ) ..... ۱۶۱



- شکل ۷-۹- اثر نسبت ضخامت ( $T_r$ ) بر شکل مودهای خمشی تیر دوسردرگیر تیموشنکو در تماس با سیال محدود تراکم ناپذیر دیریکله ( $\lambda = 1, \vartheta = 1$ ) ..... ۱۶۲
- شکل ۷-۱۰- اثر پارامترهای بی بعد  $\lambda$  و  $T_r$  بر فرکانس طبیعی بی بعد ( $\Omega = \omega L^2 \sqrt{\rho_s A_s / EI}$ ) تیر دوسردرگیر تیموشنکو در تماس با سیال محدود تراکم ناپذیر دیریکله ( $\vartheta = 0.5$ ) ..... ۱۶۲
- شکل ۷-۱۱- اثر پارامترهای بی بعد  $\vartheta$  و  $T_r$  بر فرکانس طبیعی بی بعد ( $\Omega = \omega L^2 \sqrt{\rho_s A_s / EI}$ ) تیر دوسردرگیر تیموشنکو در تماس با سیال محدود تراکم ناپذیر دیریکله ( $\lambda = 0.5$ ) ..... ۱۶۳
- شکل ۷-۱۲- مقایسه روشهای ترکیبی Ritz-DQEM و FE-DQEM برای محاسبه فرکانس طبیعی بی بعد ( $\Omega = \omega L^2 \sqrt{\rho_s A_s / EI}$ ) تیر دوسرمفصل تیموشنکو در تماس با سیال محدود تراکم ناپذیر نیومن ( $\lambda = 1, \vartheta = 1$ ) ..... ۱۶۴
- شکل ۷-۱۳- مقایسه روشهای ترکیبی Ritz-DQEM و FE-DQEM برای محاسبه فرکانس طبیعی بی بعد ( $\Omega = \omega L^2 \sqrt{\rho_s A_s / EI}$ ) تیر دوسردرگیر تیموشنکو در تماس با سیال محدود تراکم ناپذیر نیومن ( $\lambda = 1, \vartheta = 1$ ) ..... ۱۶۴
- شکل ۷-۱۴- اثر شرایط مرزی سیال و نسبت ضخامت ( $T_r$ ) بر شکل مودهای خمشی تیر دوسردرگیر تیموشنکو در تماس با سیال محدود تراکم ناپذیر ( $\lambda = 1, \vartheta = 1$ ) ..... ۱۶۵
- شکل ۷-۱۵- اثر تراکم پذیری سیال و نسبت ضخامت ( $T_r$ ) بر فرکانس طبیعی ( $\omega = \sqrt{\omega}$ ) تیر دوسرمفصل تیموشنکو در تماس با سیال محدود دیریکله ..... ۱۶۶
- شکل ۷-۱۶- اثر تراکم پذیری سیال و نسبت ضخامت ( $T_r$ ) بر فرکانس طبیعی ( $\omega = \sqrt{\omega}$ ) تیر دوسردرگیر تیموشنکو در تماس با سیال محدود دیریکله ..... ۱۶۶
- شکل ۷-۱۷- اثر تراکم پذیری سیال و نسبت ضخامت ( $T_r$ ) بر فرکانس طبیعی ( $\omega = \sqrt{\omega}$ ) تیر دوسرمفصل (SS) و دوسردرگیر (CC) تیموشنکو در تماس با سیال محدود نیومن ..... ۱۶۷
- شکل ۷-۱۸- تفاوت بین نتایج تئوری اویلر- برنولی و تئوری تیموشنکو برای پیش بینی دو فرکانس طبیعی ( $\omega = \sqrt{\omega}$ ) ابتدایی تیر دوسرمفصل (SS) در تماس با سیال محدود تراکم پذیر دیریکله ..... ۱۶۸
- شکل ۷-۱۹- تفاوت بین نتایج تئوری اویلر- برنولی و تئوری تیموشنکو برای پیش بینی پاسخ دینامیکی تیر دوسرمفصل در تماس با سیال محدود تراکم پذیر دیریکله و تحت تاثیر بار متحرک ( $v = 50 \text{ m/s}$ ) ..... ۱۷۰
- شکل ۷-۲۰- تفاوت بین نتایج تئوری اویلر- برنولی و تئوری تیموشنکو برای پیش بینی پاسخ دینامیکی تیر دوسرمفصل در تماس با سیال محدود تراکم پذیر نیومن و تحت تاثیر بار متحرک ( $v = 50 \text{ m/s}$ ) ..... ۱۷۱
- شکل ۷-۲۱- اثر سرعت بار متحرک و نسبت ضخامت ( $T_r$ ) بر پاسخ دینامیکی تیر دوسرمفصل در تماس با سیال محدود تراکم پذیر دیریکله و تحت تاثیر بار متحرک ..... ۱۷۲
- شکل ۷-۲۲- اثر سرعت بار متحرک و نسبت ضخامت ( $T_r$ ) بر پاسخ دینامیکی تیر دوسرمفصل در تماس با سیال محدود تراکم پذیر نیومن و تحت تاثیر بار متحرک ..... ۱۷۳
- شکل ۸-۱- اثر نسبت دامنه ( $A_r = W_0/r$ ) و نسبت ضخامت ( $T_r = h/L$ ) بر نسبت فرکانس ( $F_i$ ) تیر دوسرمفصل تیموشنکو ..... ۱۷۹
- شکل ۸-۲- اثر نسبت دامنه ( $A_r = W_0/r$ ) و نسبت ضخامت ( $T_r = h/L$ ) بر نسبت فرکانس اول ( $F_1$ ) تیر دوسردرگیر تیموشنکو ..... ۱۸۰

- شکل ۸-۳- اثر نسبت دامنه ( $A_r = W_0/r$ ) و نسبت ضخامت ( $T_r = h/L$ ) بر نسبت فرکانس دوم ( $\mathcal{F}_2$ ) تیر دوسردرگیر تیموشنکو ..... ۱۸۱
- شکل ۸-۴- اثر نسبت دامنه ( $A_r = W_0/r$ ) و نسبت ضخامت ( $T_r = h/L$ ) بر نسبت فرکانس سوم ( $\mathcal{F}_3$ ) تیر دوسردرگیر تیموشنکو ..... ۱۸۱
- شکل ۸-۵- اثر تراکم پذیری سیال، نسبت دامنه ( $A_r = W_0/r$ ) و نسبت ضخامت ( $T_r = h/L$ ) بر نسبت فرکانس اول ( $\mathcal{F}_1$ ) تیر دوسرمفصل تیموشنکو در تماس با سیال محدود دیریکله ..... ۱۸۴
- شکل ۸-۶- اثر تراکم پذیری سیال، نسبت دامنه ( $A_r = W_0/r$ ) و نسبت ضخامت ( $T_r = h/L$ ) بر نسبت فرکانس اول ( $\mathcal{F}_1$ ) تیر دوسردرگیر تیموشنکو در تماس با سیال محدود دیریکله ..... ۱۸۵
- شکل ۸-۷- اثر تراکم پذیری سیال، نسبت دامنه ( $A_r = W_0/r$ ) و نسبت ضخامت ( $T_r = h/L$ ) بر نسبت فرکانس دوم ( $\mathcal{F}_2$ ) تیر دوسرمفصل تیموشنکو در تماس با سیال محدود نیومن ..... ۱۸۷
- شکل ۸-۸- اثر تراکم پذیری سیال، نسبت دامنه ( $A_r = W_0/r$ ) و نسبت ضخامت ( $T_r = h/L$ ) بر نسبت فرکانس دوم ( $\mathcal{F}_2$ ) تیر دوسردرگیر تیموشنکو در تماس با سیال محدود نیومن ..... ۱۸۷
- شکل ۸-۹- اثر تراکم پذیری سیال و نسبت ضخامت بر پاسخ دینامیکی تیر دوسرمفصل تیموشنکو در تماس با سیال محدود دیریکله و تحت تاثیر بار متحرک ( $v = 25 \text{ m/s}$ ) ..... ۱۸۸
- شکل ۸-۱۰- اثر تراکم پذیری سیال و نسبت ضخامت بر پاسخ دینامیکی تیر دوسرمفصل تیموشنکو در تماس با سیال محدود نیومن و تحت تاثیر بار متحرک ( $v = 25 \text{ m/s}$ ) ..... ۱۸۸
- شکل ۸-۱۱- تفاوت بین نتایج تئوری اوپلر- برنولی و تئوری تیموشنکو برای پیش بینی پاسخ دینامیکی تیر دوسرمفصل در تماس با سیال محدود تراکم پذیر دیریکله و تحت تاثیر بار متحرک ( $v = 25 \text{ m/s}$ ) ..... ۱۸۹
- شکل ۸-۱۲- تفاوت بین نتایج تئوری اوپلر- برنولی و تئوری تیموشنکو برای پیش بینی پاسخ دینامیکی تیر دوسرمفصل در تماس با سیال محدود تراکم پذیر نیومن و تحت تاثیر بار متحرک ( $v = 25 \text{ m/s}$ ) ..... ۱۹۰
- شکل ۸-۱۳- اثر مقدار وزن بار متحرک ( $Mm g$ ) و ضخامت تیر بر بیشینه جابجایی تیرهای دوسرمفصل اوپلر- برنولی (EBT) و تیموشنکو (TBT) تحت تاثیر بار متحرک و در تماس با سیال محدود تراکم پذیر دیریکله ( $v = 50 \text{ m/s}$ ) ..... ۱۹۰
- شکل ۸-۱۴- اثر مقدار وزن بار متحرک ( $Mm g$ ) و ضخامت تیر بر بیشینه جابجایی تیرهای دوسرمفصل اوپلر- برنولی (EBT) و تیموشنکو (TBT) تحت تاثیر بار متحرک و در تماس با سیال محدود تراکم پذیر نیومن ( $v = 50 \text{ m/s}$ ) ..... ۱۹۱
- شکل ۹-۱- هندسه و سیستم مختصات برای یک تیر در تماس با سیال نامحدود و تحت تاثیر یک جرم متحرک ..... ۱۹۵
- شکل ۹-۲- تغییرات چهار فرکانس طبیعی بی بعد اول ( $\Omega = \omega L^2 \sqrt{\rho_s A_s / EI}$ ) تیر دوسرمفصل اوپلر- برنولی در تماس با سیال نامحدود تراکم ناپذیر بر حسب نسبت طول ( $\lambda = 0.5, \vartheta = 1.0$ ) ..... ۱۹۷
- شکل ۹-۳- تغییرات دو فرکانس طبیعی بی بعد اول ( $\Omega = \omega L^2 \sqrt{\rho_s A_s / EI}$ ) تیر دوسرمفصل تیموشنکو در تماس با سیال نامحدود تراکم ناپذیر بر حسب نسبت طول ( $\lambda = 0.5, \vartheta = 1.0$ ) ..... ۱۹۸
- شکل ۹-۴- تغییرات نسبت فرکانس اول ( $\mathcal{F}_1$ ) تیر دوسرمفصل اوپلر- برنولی در تماس با سیال نامحدود تراکم ناپذیر بر حسب نسبت طول ( $X_r = x_{\infty} / L$ ) برای مقادیر مختلف نسبت دامنه ( $A_r = W_0 / r$ ) ..... ۱۹۹
- شکل ۹-۵- تغییرات نسبت فرکانس اول ( $\mathcal{F}_1$ ) تیر دوسرمفصل تیموشنکو در تماس با سیال نامحدود تراکم ناپذیر بر حسب نسبت طول ( $X_r = x_{\infty} / L$ ) برای مقادیر مختلف نسبت دامنه ( $A_r = W_0 / r$ ) و نسبت ضخامت ( $T_r = h / L$ ) ..... ۲۰۱
- شکل ۹-۶- تغییرات بیشینه جابجایی دینامیکی تیر دوسرمفصل اوپلر- برنولی در تماس با سیال نامحدود تراکم ناپذیر و تحت تاثیر بار متحرک بر حسب نسبت طول برای مقادیر سرعت کوچکتر از سرعت بحرانی ( $h = 2m, v < v_{cr}$ ) ..... ۲۰۳

- شکل ۷-۹- تغییرات بیشینه جابجایی دینامیکی تیر دوسرمفصل اوپلر- برنولی در تماس با سیال نامحدود تراکم ناپذیر و تحت تاثیر بار متحرک بر حسب نسبت طول برای مقادیر سرعت بزرگتر از سرعت بحرانی ( $h = 2m, v > v_{cr}$ ) ..... ۲۰۳
- شکل ۸-۹- تغییرات بیشینه جابجایی دینامیکی تیر دوسرمفصل اوپلر- برنولی در تماس با سیال نامحدود تراکم ناپذیر و تحت تاثیر بار متحرک بر حسب نسبت طول برای مقادیر سرعت کوچکتر از سرعت بحرانی ( $h = 3m, v < v_{cr}$ ) ..... ۲۰۴
- شکل ۹-۹- تغییرات بیشینه جابجایی دینامیکی تیر دوسرمفصل اوپلر- برنولی در تماس با سیال نامحدود تراکم ناپذیر و تحت تاثیر بار متحرک بر حسب نسبت طول برای مقادیر سرعت بزرگتر از سرعت بحرانی ( $h = 3m, v > v_{cr}$ ) ..... ۲۰۴
- شکل ۱۰-۹- تغییرات بیشینه جابجایی دینامیکی تیر دوسرمفصل اوپلر- برنولی در تماس با سیال نامحدود تراکم ناپذیر و تحت بار متحرک بر حسب نسبت طول و عمق سیال برای مقادیر سرعت کوچکتر از سرعت بحرانی ( $h = 2m, v < v_{cr}$ ) ..... ۲۰۵
- شکل ۱۱-۹- تغییرات بیشینه جابجایی دینامیکی تیر دوسرمفصل اوپلر- برنولی در تماس با سیال نامحدود تراکم ناپذیر و تحت بار متحرک بر حسب نسبت طول و عمق سیال برای مقادیر سرعت بزرگتر از سرعت بحرانی ( $h = 2m, v > v_{cr}$ ) ..... ۲۰۵
- شکل ۱۲-۹- تغییرات بیشینه جابجایی دینامیکی تیر دوسرمفصل اوپلر- برنولی در تماس با سیال نامحدود تراکم ناپذیر و تحت بار متحرک بر حسب نسبت طول و عمق سیال برای مقادیر مختلف سرعت بار متحرک ( $h = 3m$ ) ..... ۲۰۶
- شکل ۱۳-۹- تغییرات بیشینه جابجایی دینامیکی تیر دوسرمفصل اوپلر- برنولی در تماس با سیال نامحدود تراکم ناپذیر و تحت بار متحرک بر حسب نسبت طول و عمق سیال برای مقادیر مختلف سرعت بار متحرک ( $h = 2m$ ) ..... ۲۰۶
- شکل ۱۴-۹- تغییرات بیشینه جابجایی دینامیکی تیر دوسرمفصل تیموشنکو در تماس با سیال نامحدود تراکم ناپذیر و تحت تاثیر بار متحرک بر حسب نسبت طول برای مقادیر مختلف سرعت بار متحرک ..... ۲۰۷
- شکل ۱۵-۹- تغییرات بیشینه جابجایی دینامیکی تیر دوسرمفصل اوپلر- برنولی در تماس با سیال تراکم ناپذیر و تحت تاثیر بار متحرک بر حسب سرعت بار متحرک برای مقادیر مختلف وزن بار متحرک ..... ۲۰۸
- شکل ۱۶-۹- تغییرات بیشینه جابجایی دینامیکی تیر دوسرمفصل اوپلر- برنولی در تماس با سیال تراکم ناپذیر و تحت تاثیر بار متحرک بر حسب وزن بار متحرک برای مقادیر مختلف سرعت بار متحرک ..... ۲۰۹
- شکل ۱۷-۹- تغییرات بیشینه جابجایی دینامیکی تیر دوسرمفصل تیموشنکو در تماس با سیال تراکم ناپذیر و تحت تاثیر بار متحرک بر حسب سرعت بار متحرک برای مقادیر مختلف ضخامت تیر ( $M_m g = 2.5 \text{ kN}$ ) ..... ۲۱۰
- شکل ۱۸-۹- تغییرات بیشینه جابجایی دینامیکی تیر دوسرمفصل تیموشنکو در تماس با سیال تراکم ناپذیر و تحت تاثیر بار متحرک بر حسب سرعت بار متحرک برای مقادیر مختلف ضخامت تیر ( $M_m g = 2.5 \times 10^5 \text{ kN}$ ) ..... ۲۱۰
- شکل ۱۹-۹- تغییرات بیشینه جابجایی دینامیکی تیر دوسرمفصل تیموشنکو در تماس با سیال تراکم ناپذیر و تحت تاثیر بار متحرک بر حسب وزن بار متحرک برای مقادیر مختلف سرعت بار متحرک ( $T_r = 0.05$ ) ..... ۲۱۱
- شکل ۲۰-۹- هندسه و سیستم مختصات برای یک سد در تماس با سیال نامحدود ..... ۲۱۲
- شکل ۲۱-۹- شتاب ناشی از زلزله ال سنترو (بر واحد شتاب جاذبه) ..... ۲۱۴
- شکل ۲۲-۹- اثر موقعیت مرز برش بر فشار هیدرو دینامیکی در پایین و وسط سد تحت شتاب رمپ ..... ۲۱۵
- شکل ۲۳-۹- مقایسه بین نتایج تحقیق حاضر و نتایج مرجع [۱۲۷] برای تحلیل دینامیکی سد تحت شتاب رمپ ..... ۲۱۵
- شکل ۲۴-۹- اثر موقعیت مرز برش بر فشار هیدرو دینامیکی در پایین و وسط سد تحت زلزله ال سنترو ..... ۲۱۶
- شکل ۲۵-۹- مقایسه بین نتایج تحقیق حاضر و نتایج مرجع [۱۲۷] برای تحلیل دینامیکی سد تحت زلزله ال سنترو ..... ۲۱۶

## فهرست جدولها

- جدول ۲-۱- مروری بر جزئیات کارهای انجام شده در زمینه ارتعاشات تیرهای در تماس با سیال و حامل بار متحرک ... ۲۰
- جدول ۵-۱- همگرایی و دقت روش Ritz-DQEM برای محاسبه فرکانس طبیعی بی بعد ( $\Omega = \omega L^2 \sqrt{\rho_s A_s / EI}$ ) تیر دوسرمفصل در تماس با سیال محدود تراکم ناپذیر دیریکله ( $\lambda = 0.5, \vartheta = 0.25, N_f = 1, N = 4$ ) ..... ۷۷
- جدول ۵-۲- همگرایی و دقت روش Ritz-DQEM برای محاسبه فرکانس طبیعی بی بعد ( $\Omega = \omega L^2 \sqrt{\rho_s A_s / EI}$ ) تیر دوسرمفصل در تماس با سیال محدود تراکم ناپذیر دیریکله ( $\lambda = 0.5, \vartheta = 0.25, N_f = 1, n = 20, m = 10$ ) ..... ۷۸
- جدول ۵-۳- همگرایی و دقت روش Ritz-DQEM برای محاسبه فرکانس طبیعی بی بعد ( $\Omega = \omega L^2 \sqrt{\rho_s A_s / EI}$ ) تیر دوسرمفصل در تماس با سیال محدود تراکم ناپذیر دیریکله ( $\lambda = 0.5, \vartheta = 0.25, N = 6, m = 10$ ) ..... ۷۹
- جدول ۵-۴- همگرایی و دقت روش FE-DQEM برای محاسبه فرکانس طبیعی بی بعد ( $\Omega = \omega L^2 \sqrt{\rho_s A_s / EI}$ ) تیر دوسرمفصل در تماس با سیال محدود تراکم ناپذیر دیریکله ( $\lambda = 0.5, \vartheta = 0.75, N_f = N_s = 1, q = 13$ ) ..... ۸۰
- جدول ۵-۵- همگرایی و دقت روش FE-DQEM برای محاسبه فرکانس طبیعی بی بعد ( $\Omega = \omega L^2 \sqrt{\rho_s A_s / EI}$ ) تیر دوسرمفصل در تماس با سیال محدود تراکم ناپذیر دیریکله ( $\lambda = 0.5, \vartheta = 0.75, N_f = N_s = 2, n = 14, m = 14$ ) ..... ۸۰
- جدول ۵-۶- همگرایی و دقت روش FE-DQEM برای محاسبه فرکانس طبیعی بی بعد ( $\Omega = \omega L^2 \sqrt{\rho_s A_s / EI}$ ) تیر دوسرمفصل در تماس با سیال محدود تراکم ناپذیر دیریکله ( $\lambda = 0.5, \vartheta = 0.75, m = 14$ ) ..... ۸۱
- جدول ۵-۷- دقت روشهای ترکیبی Ritz-DQEM و FE-DQEM برای محاسبه فرکانس طبیعی بی بعد ( $\Omega = \omega L^2 \sqrt{\rho_s A_s / EI}$ ) تیر دوسرمفصل در تماس با سیال محدود تراکم ناپذیر دیریکله ..... ۸۱
- جدول ۵-۸- همگرایی روش اجزاء محدود (FEM) برای محاسبه فرکانس طبیعی بی بعد ( $\Omega = \omega L^2 \sqrt{\rho_s A_s / EI}$ ) تیر دوسرمفصل در تماس با سیال محدود تراکم ناپذیر دیریکله ( $\lambda = 0.5, \vartheta = 1.0, q = 7, r = 2$ ) ..... ۸۲
- جدول ۵-۹- مقایسه بین روشهای ترکیبی پیشنهادی و روش اجزاء محدود (FEM) برای محاسبه فرکانس طبیعی بی بعد ( $\Omega = \omega L^2 \sqrt{\rho_s A_s / EI}$ ) تیر دوسرمفصل در تماس با سیال محدود تراکم ناپذیر دیریکله ( $\lambda = 1.0$ ) ..... ۸۲
- جدول ۵-۱۰- همگرایی و دقت روش Ritz-DQEM برای محاسبه فرکانس طبیعی بی بعد ( $\Omega = \omega L^2 \sqrt{\rho_s A_s / EI}$ ) تیر دوسردرگیر در تماس با سیال محدود تراکم ناپذیر دیریکله ( $\lambda = 1.0, \vartheta = 1.0, N_f = 1, N = 5$ ) ..... ۸۵
- جدول ۵-۱۱- همگرایی و دقت روش Ritz-DQEM برای محاسبه فرکانس طبیعی بی بعد ( $\Omega = \omega L^2 \sqrt{\rho_s A_s / EI}$ ) تیر دوسردرگیر در تماس با سیال محدود تراکم ناپذیر دیریکله ( $\lambda = 1.0, \vartheta = 1.0, N_f = 1, n = 20, m = 15$ ) ..... ۸۵
- جدول ۵-۱۲- دقت روشهای ترکیبی پیشنهادی برای محاسبه فرکانس طبیعی بی بعد ( $\Omega = \omega L^2 \sqrt{\rho_s A_s / EI}$ ) تیر دوسردرگیر در تماس با سیال محدود تراکم ناپذیر دیریکله ..... ۸۷
- جدول ۵-۱۳- مقایسه بین روشهای ترکیبی پیشنهادی و روش اجزاء محدود (FEM) برای محاسبه فرکانس طبیعی بی بعد ( $\Omega = \omega L^2 \sqrt{\rho_s A_s / EI}$ ) تیر دوسردرگیر در تماس با سیال محدود تراکم ناپذیر دیریکله ( $\lambda = 1.0$ ) ..... ۸۷
- جدول ۵-۱۴- همگرایی و دقت روش Ritz-DQEM برای محاسبه فرکانس طبیعی بی بعد ( $\Omega = \omega L^2 \sqrt{\rho_s A_s / EI}$ ) تیر دوسرمفصل در تماس با سیال محدود تراکم ناپذیر نیومن ( $\lambda = 1, \vartheta = 1, N_f = 1, n = 17, m = 13$ ) ..... ۹۲