

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

۱۳۸۰ / ۱۲ / ۲۲

016837

مرکز اطلاعات و آرشیو ملی ایران  
توسعه و نگهداری اسناد



دانشگاه شهید باهنر کرمان

دانشکده فنی و مهندسی - بخش مهندسی مکانیک

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک  
طراحی کاربردی

تحت عنوان:

روش اجزاء محدود و آنالیز حساسیت برای ارائه مدل ساده زمین  
هماهنگ با مدهای ارتعاش آزاد زمین

مؤلف

ماشالله یزدان پناه

۴۰۱۶۶

استاد راهنما

دکتر فرزاد آریانا

اردیبهشت ۸۰

بسمه تعالی

این پایان نامه

به عنوان یکی از شرایط احراز درجه کارشناسی ارشد

به

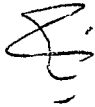
بخش مکانیک

دانشکده فنی دانشگاه شهید باهنر کرمان

تسلیم شده است و هیچ گونه مدرکی به عنوان فراغت از تحصیل دوره مزبور شناخته نمی شود.

امضاء

دانشجو: آقای ماشاءالله یزدان پناه



از طرف

اساتید راهنما: آقای دکتر فرزاد آریانا

داور ۱: آقای دکتر محمدعلی حاج عباسی

داور ۲: آقای دکتر جلیل فاطمی

داور ۳: آقای دکتر سعید کریمی نسب



حق چاپ محفوظ و مخصوص به مولف است

(ج)

تقدیم به

پدر و مادر مهربانم که شمع وجودشان روشنی  
بخش زندگی امر است

تقدیم به

روان اولین معلم و برادر عزیزم محمد یزدان پناه

با تشکر از اساتید محترم دکتر فرزاد آریانا و دکتر

علی سینایی که در انجام این پایان نامه مرا یاری کردند

## چکیده

در تحلیل زمین به عنوان یک سیستم مکانیکی نیاز به مدلی ساده از آن میباشد، زیرا مدل‌هایی که بر اساس سرعت امواج حجمی برای زمین بدست می‌آیند، خواص زمین را بر حسب عمق به صورت تابعی نقطه ای بیان میکنند و استفاده از آنها به عنوان مدل زمین در محاسبات، حجم محاسبات را بالا برده و رسیدن به جواب را دچار مشکل می‌سازد. در این تحقیق سعی شده تا مدلی ساده برای زمین ارائه شود که دو قید جرم و پریود اولین نوسان آزاد زمین را ارضاء کند. جهت رسیدن به این هدف ابتدا فرم اجزا محدود سه دسته مسائل تنش صفحه ای، کرنش صفحه ای و تقارن محوری بیان شده است، بعد رابطه آنالیز حساسیت برای مقادیر ویژه نسبت به دانسیته المانها بدست آمده که از آن برای تطبیق پریود طبیعی اول مدل با پریود اندازه گیری شده مربوطه استفاده شده است. در مرحله بعدی برنامه مورد نیاز جهت انجام محاسبات به زبان فرترن نوشته شده که در پیوست الف اصل برنامه آورده شده است. در قسمت آخر با فرض تقارن محوری برای زمین چهار مدل ساده ارائه شده که مقادیر مربوط به خواص لایه های مختلف این مدلها با میانمایی از مدلهای بدست آمده از طریق امواج حجمی، در نظر گرفته شده اند و با استفاده از برنامه کامپیوتری این مدلها اصلاح شده اند.

## فهرست

صفحه	عنوان
	لیست علائم
۱.....	فصل اول: مقدمه
۲.....	۱-۱-مقدمه
۶.....	فصل دوم: تئوری اجزا محدود
۷.....	۲-۱-مقدمه
۷.....	۲-۲-اصل انرژی پتانسیل
۸.....	۲-۳-اصل حداقل انرژی پتانسیل
۹.....	۲-۴-۱-روش ریلی- ریتز
۱۰.....	۲-۴-۲-روش اجزا محدود
۱۲.....	۲-۵-فرمول بندی اجزا محدود برای ارتعاشات آزاد
۱۳.....	۲-۶-۱-ارتعاشات اجسام دو بعدی
۱۶.....	۲-۶-۱-مسائل تنش صفحه ای
۱۹.....	۲-۶-۲-مسائل کرنش صفحه ای
۲۰.....	۲-۶-۳-مسائل تقارن محوری
۲۴.....	۲-۷-سوار کردن المانها
۲۶.....	۲-۸-اعمال شرایط مرزی

فصل سوم: آنالیز حساسیت ..... ۲۷

۱-۳-مقدمه ..... ۲۸

۲-۳-آنالیز حساسیت برای سیستم با ارتعاشات آزاد ..... ۲۸

۳-۳-رابطه حساسیت مقادیر ویژه نسبت به دانسیته ..... ۳۰

فصل چهارم: الگوریتم برنامه کامپیوتری ..... ۳۲

۱-۴-مقدمه ..... ۳۳

۱-۲-۴-الگوریتم بدست آوردن توابع شکل ..... ۳۳

۲-۲-۴-الگوریتم بدست آوردن ماتریس جرم ..... ۳۴

۳-۴-راهنمای استفاده از برنامه کامپیوتری ..... ۳۵

۱-۳-۴-برنامه اصلی ..... ۳۵

۲-۳-۴-زیر برنامه PROG ..... ۳۶

۴-۴-فایل‌های ورودی ..... ۳۸

۵-۴-فلوچارت برنامه ..... ۳۹

فصل پنجم: ارائه مدل ساده برای زمین ..... ۴۰

۱-۵-مقدمه ..... ۴۱

۲-۵-مروری بر کارهای انجام شده ..... ۴۲

۱-۲-۵-روابط خطی برای دانسیته ..... ۴۲

۲-۲-۵-روابط بین سرعت امواج لرزه و دانسیته ..... ۴۳

۳-۵-روابط تجربی ارائه شده بین دانسیته و سرعت امواج حجمی داخل زمین ..... ۴۶



۴۷	۴-۵-ارائه الگوی دانسیته هماهنگ با نوسانات آزاد زمین
۴۷	۵-۵-اطلاعات مربوط به زمین
۴۸	۶-۵-ارائه مدل‌های ساده برای زمین
۴۹	۵-۶-۱-مدل اول
۵۰	۵-۶-۲-مدل دوم
۵۱	۵-۶-۳-مدل سوم
۵۳	۵-۶-۴-مدل چهارم
۵۵	-نتیجه گیری
۵۶	-پیشنهادات
۵۷	پیوست الف: برنامه کامپیوتری
۷۲	پیوست ب: پرلود نوسانات آزاد زمین
۷۴	مراجع

## لیست علائم

$\pi_T$	انرژی پتانسیل کل
U	انرژی کرنشی
W	کار پتانسیل
f	نیروی حجمی
q	نیروی سطحی
P	نیروی متمرکز
u, v, w	تغییر مکان
h	ضخامت
A	مساحت
r	شعاع
$\bar{r}$	شعاع متوسط
G	ثابت گرانش
M	جرم زمین
R	شعاع زمین
I	ممان اینرسی
Y	بردار ویژه
$V_P, V_S$	سرعت امواج حجمی
$\bar{M}$	وزن اتمی

$E$	ضریب الاستیک
$\nu$	نسبت پواسون
$\omega$	فرکانس زاویه ای
$\zeta$	مقدار ویژه
$\mu, \lambda$	ضرایب لامه
$\psi$	کرنش میانگین
$\tau, \sigma$	تنش
$\gamma, \varepsilon$	کرنش
$\kappa$	ضریب تراکم پذیری
$\phi$	پارامتر لرزه
$[N]$	ماتریس توابع شکل
$[D]$	ماتریس ارتباط دهنده تنش با کرنش
$[d]$	ماتریس ارتباط دهنده کرنش با تغییر مکان
$[\Delta]$	بردار تغییر مکان گره ای
$[\rho]$	ماتریس دانسیته
$[M]$	ماتریس جرم
$[K]$	ماتریس سختی
$[C]$	ماتریس استهلاک
$\rho_0$	دانسیته گوشته
$\rho_1$	دانسیته هسته
$A_1, A_2, B$	ضرایب ثابت

# فصل اول

## مقدمه

۱-۱-مقدمه

در طراحی یک سیستم بر اساس آنالیز حساسیت، پارامترهای طراحی طوری تغییر داده میشوند تا سیستم پاسخ مورد نظر را ایجاد کند. جابجایی، تنش، فرکانس طبیعی و بار کمانشی از جمله این پاسخها محسوب می شوند و پارامترهای طراحی مانند سطح مقطع اعضاء، ضخامت صفحات، خواص مکانیکی میباشدند. برای مثال جودی و بهایی آنالیز حساسیت را برای خرپا مورد استفاده قرار داده اند، آنها فرکانس طبیعی ارتعاشات را به عنوان پاسخ سیستم و سطح مقطع اعضاء را به عنوان پارامترهای طراحی در نظر گرفته اند [۱]. برای استفاده از آنالیز حساسیت در یک سیستم باید ابتدا معادلات حاکم بر آن سیستم را بدست آورد، بعد با دیفرانسیل گیری از این معادلات نسبت به هر پارامتر موجود در مسئله می توان میزان حساسیت پاسخ خواسته شده را نسبت به آن پارامتر بدست آورد. لازم به ذکر است که محدوده مورد توجه در این تحقیق بر روی سازه های مکانیکی با خواص الاستیک خطی میباشد [۲]. زمینه مطالعه در آنالیز حساسیت به دو دسته تقسیم می شود. برای دسته اول، حساسیت یک سیستم نسبت به پارامترهای مورد نظر بدست آورده می شود و در دسته دوم پارامتر طراحی سیستم با توجه به پاسخ خواسته شده بهینه سازی می شود، که در این تحقیق مسئله از نوع اول میباشد.

به دلیل آنکه برای استفاده از آنالیز حساسیت نیاز به فرمول بندی اجزاء محدود سیستم میباشد، در قسمت اول تحقیق طریقه فرمول بندی کردن سه دسته از مسائل تنش صفحه ای، کرنش صفحه ای و تقارن محوری به طور مفصل آورده شده است. در قسمت بعد تئوری آنالیز حساسیت برای ارتعاشات آزاد یک سیستم بیان شده است.

مسئله ارائه مدل مناسب برای زمین دارای سابقه طولانی است، ویچر در سال ۱۸۹۷ اولین کسی بود که زمین را از دو لایه مجزا به نام هسته و گوشته در نظر گرفت او با توجه به ترکیب شهابسنگها جنس هسته را آهن و جنس گوشته را از سنگ فرض کرد [۳]. در سال ۱۹۲۴ جفریز مدلی ارائه کرد که قیود جرم و ممان اینرسی را ارضاء می کرد، مدل او شامل دو لایه با دانسیته ثابت بود، او در مدلس مرز بین هسته و گوشته را  $0.78R$  در نظر گرفته بود که در این رابطه  $R$  شعاع زمین میباشد. با این محاسبات او دانسیته هسته  $\rho_1 = 8220 \text{ kg/m}^3$  و دانسیته گوشته را  $\rho_0 = 3120 \text{ kg/m}^3$  بدست آورد. در پنج سال بعد جفریز با در نظر گرفتن  $0.545R$  برای مرز بین هسته و گوشته و ارضاء قیود جرم و ممان اینرسی، دانسیته هسته را  $\rho_1 = 12040 \text{ kg/m}^3$  و دانسیته گوشته را  $\rho_0 = 4270 \text{ kg/m}^3$  بدست آورد [۴].

در سال ۱۹۲۳ آدامز و ویلیامسون رابطه بین دانسیته و سرعت امواج حجمی را به صورت  $\frac{dp}{dr} = -\frac{Gmp}{r^2\phi}$  بدست آوردند [۴] که در آن  $\phi$  پارامتر لرزه میباشد که مقدار آن به سرعت امواج طولی ( $V_p$ ) و عرضی ( $V_s$ ) طبق رابطه  $V_p^2 - \frac{4}{3}V_s^2 = \phi$  وابسته است. آنها با فرض ناچیز بودن اثر استهلاک بر روی امواج حجمی و با ارضاء قیود جرم و ممان اینرسی زمین مدلی نقطه ای برای دانسیته بر حسب شعاع برای زمین ارائه کردند و بعدها کار آنها بوسیله بولن ادامه یافت [۴]. با مشاهده نوسانات آزاد زمین بعد از زلزله بزرگ شیلی در سال ۱۹۶۰ اطلاعات جدیدی در مورد زمین بدست آمد که اندرسون و هارت در سال ۱۹۷۶ بر اساس این اطلاعات مدل جدیدی برای زمین ارائه کردند آنها در این مدل سعی کردند علاوه بر قیود جرم و ممان اینرسی زمین پریرود نوسانات آزاد زمین را نیز ارضاء کنند در این مدل دانسیته به

صورت تابعی نقطه ای از شعاع زمین ارائه شده است. در این تحقیق برای مقایسه نتایج از این مدل استفاده شده است.

در سالهای اخیر نیز با توجه به این نکته که در تحلیل زمین به عنوان یک سیستم مکانیکی نیاز به یک مدل ساده هماهنگ با رفتار واقعی زمین میباشد، لذا با استفاده از داده های مربوط به زمین مانند جرم و مدلهای دانسیته بدست آمده بوسیله امواج حجمی مدلهای ساده ارائه شده است از جمله آنها مدل میلار و میتالاس میباشد. آنها مدلی شبیه به مدل جفریز ارائه دادند در این مدل آنها شتاب جاذبه پوسته را ثابت در نظر گرفتند و با استفاده از روابط

$$\frac{dP(r)}{dr} = -g(r)\rho(r) \text{ و } g(r) = \frac{Gm(r)}{r^2}$$

مدل ارائه شده بدست آورند [۴]. در این تحقیق چهار مدل ساده برای زمین ارائه شده است، که با استفاده از برنامه کامپیوتری موجود در پیوست الف مدلهای طوری ارائه شده اند که اولین پیوند نوسانات آزاد آنها با اولین پیوند نوسانات آزاد زمین واقعی یکی باشد و همچنین قیود جرم نیز اعمال شده است.

در مدل اول فرض شده که زمین همانند کره ای با خواص یکنواخت از جنس فولاد باشد [۵] و در سه مدل دیگر زمین مرکب از هشت لایه فرض شده است که در مدل دوم و سوم دانسیته های لایه ها متفاوت و خواص مکانیکی دیگر در همه لایه ها ثابت در نظر گرفته شده است و در مدل چهارم هم دانسیته ها و هم خواص مکانیکی لایه ها با یکدیگر متفاوت هستند. در قسمت بعد با داشتن روابط مزبوط به فرمول بندی اجزاء محدود و آنالیز حساسیت الگوریتم کامپیوتری مورد نیاز به زبان فرترن نوشته شده است که از این برنامه میتوان در حل