دانشگاه کردستان

دانشکده مهندسی

گروه مهندسی عمران

عنوان:

ارزیابی احتمالاتی پاسخ لرزه‌ای غیرخطی سیستم یک درجه آزادی

پژوهشگر:

محمدرشید سلیمی

استاد راهنما:

دکتر آزاد یزدانی

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی عمران گرایش زلزله

مهر ماه ۱۳۹۱

کلیه حقوق مادی و معنوی مترتب بر نتایـج مطالعات،

ابتکارات و نوآوری های ناشی از تحقیق موضوع

این پایان‌نامه (رسـاله) متعلق به دانشـگاه کردستان است.

تعهد نامه

اینجانب محمدرشید سلیمی دانشجوی کارشناسی ارشد رشته مهندسی عمران گرایش زلزله دانشگاه کردستان، دانشکده مهندسی گروه مهندسی عمران تعهد می نمایم که محتوای این پایان نامه نتیجه تلاش و تحقیقات خود بوده و از جایی کپی برداری نشده و به پایان رسانیدن آن نتیجه تلاش و مطالعات مستمر اینجانب و راهنمایی و مشاوره اساتید بوده است.

با تقدیم احترام

۱۳۹۱ / ۷ / ۵

چکیده

در مهندسی سازه همواره با مسائلی که دربرگیرنده متغیرها و فرآیندهای تصادفی و غیرقابل پیش‌بینی می‌باشند، روبه‌رو هستیم. در این موارد تحلیل احتمالاتی به عنوان یک رویکرد منطقی در رویارویی با این مسائل می‌باشد. هدف این پایان‌نامه ارزیابی احتمالاتی پاسخ غیرخطی لرزه‌ای سیستم‌های SDOF با در نظر گرفتن رفتار دوخطی تابع سختی می‌باشد. پاسخ غیرخطی با استفاده از معادلات فوکر-پلانک مانا بدست می‌آید. معادلات فوکر-پلانک مانا برای سیستم‌های تحت تحریک نویز سفید گوسین جهت ارزیابی احتمالاتی پاسخ دینامیکی کاربرد دارد.

عدم قطعیت‌های موجود در بارهای محیطی، خصوصیات مصالح یا رواداری‌های ساخت و ساز ه می‌توانند بر روی پراکندگی پاسخ تاثیر بگذارند. در این مطالعه به ارزیابی اثر این عدم قطعیت‌ها بر روی پاسخ سازه‌های SDOF پرداخته شده است که این کار با استفاده از تحلیل حساسیت صورت گرفته است. روش‌های مختلفی جهت تحلیل حساسیت توسعه داده شده است که در این کار از روش تحلیل حساسیت بر مبنای تجزیه واریانس‌ها که از نوع تحلیل حساسیت کلی بشمار می‌رود، استفاده شده است. در تحلیل حساسیت بر مبنای واریانس از روش شبیه‌سازی مونت کارلو جهت ارزیابی پراکندگی پارامترها و تعیین شاخص حساسیت استفاده شده است. نتایج تحلیل حساسیت نشان می‌دهد که اثر عدم قطعیت پارامترهای تحریک ورودی دارای بیشترین اثر و عدم قطعیت پارمترهای مدل در پراکندگی پاسخ غیرخطی اثر قابل ملاحظه‌ای دارد.

کلمات کلیدی: ارزیابی احتمالاتی، عدم قطعیت، پاسخ غیرخطی، معادلات فوکر-پلانک، نویز سفید، تابع سختی دو خطی، تحلیل حساسیت، شبیه‌سازی مونت کارلو.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول (دینامیک سازه احتمالاتی) ۱

۱-۱-دینامیک سازه احتمالاتی ۲

۱-۲- دسته بندی مسائل دینامیک احتمالاتی ۴

۱-۳- علائم ۶

۱-۴- نمای کلی پایان نامه ۷

فصل دوم (پیشینه و تاریخچه تحقیق) ۸

۲-۱-مقدمه ۹

۲-۲- بررسی پاسخ غیرخطی سازه ها ۹

۲-۳- بررسی تاثیر عدم قطعیت ها بر روی پاسخ ۱۵

۲-۴- هدف تحقیق ۱۹

فصل سوم (ارزیابی پاسخ غیرخطی سازه ها) ۲۰

۳-۱- مقدمه ۲۱

۳-۲- فرآیندهای مارکوف ۲۲

۳-۲-۱- مشخصه های فرآیند مارکوف ۲۲

۳-۲-۲- معادله فوکر-پلانک ۲۴

۳-۲- چگالی احتمال ۲۹

۳-۲-۱ خطی سازی آماری ۲۹

۳-۲-۲- روش های غیرخطی سازی معادل ۳۰

۳-۲-۳-سیستم هایی با تحریک خارجی ۳۱

۳-۲-۳-۱- معادلات فوکر-پلانک ۳۲

۳-۲-۳-۲- روش کافی ۳۳

۳-۲-۳-۳- روش غیرخطی سازی معادل ۳۵
۳-۲-۴- روابط چگالی احتمال ۳۶
۳-۲-۴-۱- حالت اصلاح شده متغیرهای فضایی ۳۶
۳-۲-۴-۲- چگالی احتمال انرژی ۳۸
۳-۳- چگالی طیف توان ۳۹
۳-۳-۱- پیش زمینه ۴۰
۳-۳-۱-۱- توسعه خطی سازی معادل ۴۰
۳-۳-۱-۲- تابع خود همبستگی و چگالی طیف توان ۴۱
۳-۳-۱-۳- سیستم ها با رفتار سختی خطی ۴۲
۳-۳-۲- سیستم خطی ۴۲
۳-۳-۲-۱- سیستم های تحت تحریک خارجی ۴۳
۳-۳-۳- سیستم ها با رفتار غیرخطی سختی ۴۵
۳-۳-۳-۱- ارتعاش آزاد نامیرا ۴۵
۳-۳-۴- تقریب اولیه برای چگالی طیف توان ۴۶
۳-۳-۴-۱- حل موضعی برای تابع خود همبستگی و چگالی طیف ۴۷
۳-۴- نمونه ای از حل مسائل با استفاده از چگالی طیف و چگالی احتمال ۴۹
۳-۴-۱- نوسانگر با رفتار دو خطی سختی ۵۰
۳-۴-۱-۱- چگالی احتمال ۵۱
۳-۴-۱-۲- ارتعاش آزاد نامیرا ۵۳
۳-۴-۱-۳- چگالی طیف ۵۷
فصل چهارم (تولید زمین لرزه و تعیین پاسخ غیرخطی) ۶۲
۴-۱- مقدمه ۶۳
۴-۲- روش مدل لرزه شناسی ۶۴
۴-۲-۱-فاکتور چشمه $S(M_0,f)$ ۶۴
۴-۲-۲- فاکتور کاهندگی هندسی $G(R)$ ۶۸
۴-۲-۳- فاکتور کاهندگی غیرالاستیک کل مسیر $An(f)$ ۷۰

۴-۲-۴-فاکتور کاهندگی لایه های فوقانی $D(f)$ ۷۱
۴-۲-۵-فاکتور افزایش دامنه موج در اثر لایه های فوقانی $V(f)$ ۷۲
۴-۳- ارزیابی پاسخ غیرخطی با فرض فرآیند باند پهن ۷۳
۴-۳-۱- تعیین شدت نویز سفید S_0 ..... ۷۴
۴-۴- صحت سنجی نتایج ۷۸
فصل پنجم (تحلیل حساسیت) ۸۲
۵-۱- مقدمه ۸۳
۵-۲- تحلیل حساسیت ۸۳
۵-۲-۱- تحلیل حساسیت بر مبنای واریانس ۸۵
۵-۲-۲- تحلیل حساسیت به روش شبیه سازی مونت کارلو ۸۶
۵-۲-۲-۱- متغیرهای ورودی با توزیع یکنواخت ۸۷
۵-۲-۲-۲- متغیرهای ورودی با توزیع گوسین ۸۸
۵-۳- فرضیات تحقیق ۸۹
۵-۴- نتایج تحلیل حساسیت ۹۱
فصل ششم (نتیجه گیری و ارائه پیشنهادات) ۹۶
۶-۱- نتیجه گیری ۹۷
۶-۲- ارائه پیشنهادات ۱۰۰
منابع ۱۰۱

فهرست جدول‌ها

جدول **صفحه**

جدول ۴-۱ : مقادیر Q_0 و N در رابطه کاهندگی غیرالاستیک برای مناطق مختلف ۷۰

جدول ۴-۲ : ضرایب افزایش دامنه برای انواع خاک ۷۲

جدول ۴-۳ : اطلاعات زمین لرزه های شمال غربی آمریکا *WNA* (کالیفرنیا) ۷۸

جدول ۴-۴ : پاسخ سیستم های یک درجه آزادی مربوط به زمین لرزه *LOMA PRIETA, 1989,NEHRP C , R=28.2* ۷۹

جدول ۴-۵ : پاسخ سیستم های یک درجه آزادی مربوط به زمین لرزه *LOMA PRIETA, 1989,NEHRP D , R=25.8* ۷۹

جدول ۴-۶ : پاسخ سیستم های یک درجه آزادی مربوط به زمین لرزه *SUPERSTITN HILLS, 1987,NEHRP D, R=24.4* ۸۰

جدول ۴-۷ : پاسخ سیستم های یک درجه آزادی مربوط به زمین لرزه *SAN FERNANDO, 1971,NEHRP C, R=21.2* ۸۰

جدول ۵-۱: مقادیر متوسط و ضریب تغییرات مربوط به متغیرهای تصادفی ۹۱

فهرست شکل‌ها

شکل **صفحه**

شکل ۱-۱ : آونگ با جرمی ناچیز تحت تحریکات تصادفی ۳

شکل ۲-۱ : رابطه تغییر شکل-نیرو برای سیستم دو خطی ۱۱

شکل ۲-۲ : طیف مقاومت همپایه شده برای میرایی ۵ ٪ و $\alpha = 0.05$ ۱۱

شکل ۲-۳ : چگالی طیف توان برای سیستم دو خطی، نمودار خط توپر نتایج تحلیل دقیق در حوزه زمانی و نمودار خطچین نتایج تحلیل تقریبی ۱۲

شکل ۲-۴ : چگالی طیف توان جابجایی، نمودار خط توپر نتایج تئوری ارائه شده و نمودار خطچین نتایج روش های عددی ۱۳

شکل ۲-۵ : چگالی طیف پاسخ بدست آمده از روش های مختلف ۱۴

شکل ۲-۶ : چگالی طیف، الف) $\Omega = 2, \beta = 0.5$ ب) $\Omega = 5, \beta = 0.5, \tilde{\gamma} = 0.05$

(•) شبیه سازی تصادفی (--) یک جمله (-.-) دو جمله (—)سه جمله ۱۵

شکل ۲-۷ : نتایج تحلیل حساسیت ۱۷

شکل۲-۸ : منحنی تورنادو و نتایج تحلیل *FOSM* ۱۷

شکل۲-۹ : نتایج تحلیل حساسیت پارامترهای زمین لرزه بر روی پاسخ سازه ۱۸

شکل ۳-۱ الف : متغیرهای سطح فازی اولیه (z_1, z_2) شکل ۳-۱ ب : متغیرهای سطح فازی اصلاح شده (z_1, z_2) ۳۶

شکل ۳-۲ : تابع سختی دو خطی ۵۰

شکل ۳-۳ : چگالی احتمال انرژی بی بعد، الف) $\Omega = 0.2, \beta = 0.2$ ب) $\Omega = 5, \beta = 0.2$

(–) تحلیلی (--) یک جمله (-.-) سه جمله ۵۷

شکل ۳-۵ : چگالی طیف، الف) $\Omega = 0.6, \beta = 1$ ب) $\Omega = 0.2, \beta = 1, \tilde{\gamma} = 0.05$

(•) شبیه سازی تصادفی (--) یک جمله (–)سه جمله ۵۸

شکل ۳-۶ : چگالی طیف، الف) $\Omega = 2, \beta = 0.5$ ب) $\Omega = 0.2, \beta = 0.5, \tilde{\gamma} = 0.05$

(•) شبیه سازی تصادفی (--) یک جمله (–)سه جمله ۵۹

شکل ۳-۷ : چگالی طیف، الف) $\Omega = 0.3, \beta = 1$ ب) $\Omega = 0.3, \beta = 1, \tilde{\gamma} = 0.05$

(•) شبیه سازی تصادفی (--) یک جمله (-.-) دو جمله.....(–)سه جمله ۶۰

شکل ۴-۱ : الف) تابع جابجایی چشمه ب) تابع شتاب چشمه ۶۶

شکل ۴-۲ : الف) تابع لغزش و زمان گسلش ب) شعاع گسیختگی گسل ۶۷

شکل ۴-۳ : فاکتور کاهندگی هندسی..... ۶۸

شکل۴-۴ : تابع کاهندگی مسیر..... ۶۹

شکل ۴-۵ : نمودار چگالی طیف، الف) چگالی طیف پهنا محدود ب) چگالی طیف باند پهن

ج) چگالی طیف نویز سفید ۷۳

شکل ۴-۶ : مدل دو خطی جابجایی-نیرو برای سیستم یک درجه آزادی ۷۴

شکل ۴-۷ : طیف دامنه فوریه تولیدی و واقعی مربوط به رکورد *SAN FERNANDO, 1971,NEHRP C, R=21.2* ۸۱

شکل ۵-۱ : مراحل تحلیل حساسیت پارامترهای ورودی ۸۴

شکل ۵-۲ : نتایج تحلیل حساسیت سازه *SDOF* با پریود ۰/۲ ثانیه در شکل پذیری های۱، ۳ و ۴

تحت زلزله تولیدی *MW=6.6, R=21.2 KM*..... ۹۳

شکل ۵-۳ : نتایج تحلیل حساسیت سازه *SDOF* با پریود ۰/۲ ثانیه در شکل پذیری های۱، ۳ و ۴

تحت زلزله تولیدی *MW=6.9, R=28.2 KM*..... ۹۴

شکل ۵-۴ : نتایج تحلیل حساسیت سازه *SDOF* با پریود ۱ ثانیه در شکل پذیری های۱، ۳ و ۴

تحت زلزله تولیدی *MW=6.6, R=21.2 KM* ۹۵

شکل ۵-۵: نتایج تحلیل حساسیت سازه *SDOF* با پریود ۰/۲ ثانیه در شکل پذیری های۱، ۳ و ۴

تحت زلزله تولیدی *MW=6.9, R=28.2 KM* ۹۵

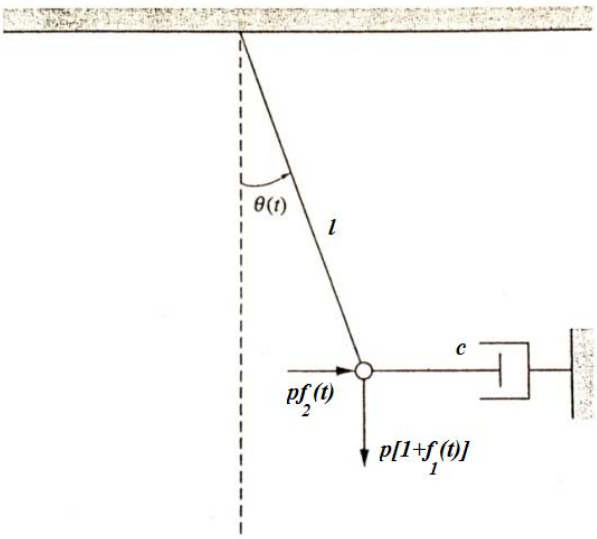
فصل اول

دینامیک سازه احتمالاتی

۱-۱-دینامیک سازه احتمالاتی

دینامیک سازه احتمالاتی برای اولین بار در سال ۱۹۵۰ در شاخه‌های مختلفی همچون مهندسی سازه، مهندسی هوا و فضا، مهندسی مکانیک و غیره توسعه پیدا کرد. مولفه های اصلی این زمینه در شاخه مهندسی، تئوری ریاضیاتی فرآیندهای آماری و دینامیک سازه‌ها می‌باشند.

دینامیک سازه احتمالاتی تحت اثر عدم قطعیت‌های موجود در حرکت سازه‌های مهندسی می‌باشد که این عدم قطعیت ممکن است ناشی از عدم پیش‌بینی تحریک ورودی، نبود اطلاعات دقیق در مدل فیزیکی مسائل و یا ترکیبی از دیگر عدم قطعیت‌ها باشد. از این رو مسائل دینامیک احتمالاتی در ترم‌های احتمالاتی برای معادلات و شرایط اولیه مطرح می‌شود و پاسخ معادلات حرکت نیز همچنین در ترم‌های احتمالاتی بیان خواهند شد. برای این منظور می‌توان به مثال ساده سیستم آونگ اشاره کرد. شکل (۱-۱) یک سیستم آونگ که تحت اثر دو تحریک تصادفی، نیروی قائم $P[1+f_1(t)]$ و نیروی افقی $Pf_2(t)$ که در آن P مقادیر ثابت و $f_1(t)$ و $f_2(t)$ توابعی تصادفی نسبت به زمان می‌باشد، را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۱ : آونگ با جرمی ناچیز تحت تحریکات تصادفی

با فرض صلبیت اتصالات در محل گره‌ها، معادله حرکت این سیستم دینامیکی به صورت زیر بدست می‌آید.

$$c\frac{d}{dt}[l\sin\theta(t)]l\cos\theta(t)+P[1+f_1(t)]l\sin\theta(t)=P[1+f_2(t)]l\cos\theta(t) \qquad (۱-۱)$$

که c ظریب میرایی، l طول آونگ و θ جابجایی زاویه ای حرکت آونگ می‌باشد. عدم قطعیت در $\theta(t)$ می‌تواند ناشی از عدم قطعیت در $f_1(t)$، $f_2(t)$، c، l ، P و شرایط اولیه $\theta(0)$ به صورت مجزا و یا ترکیبی از این عدم قطعیت‌ها باشد. پاسخ این سیستم به صورت ترم احتمالاتی متناظر با این متغیرهای تصادفی بدست می‌آید.

ارتعاش سازه‌های حساس که در دینامیک سازه بررسی می‌شود اغلب توسط نیروهایی به وجود می‌آیند که نا مشخص و یا غیرقابل پیش‌بینی هستند. نمونه‌های معمولی بارهایی هستند که توسط باد، امواج و تحرکات لرزه‌ای تولید می‌شوند. یک راه برای مواجه شدن با این گونه مسائل ، مدل کردن تحریک های ورودی به عنوان فرآیندهای تصادفی می‌باشد.

نیروهای ورودی در مهندسی اغلب به وسیله یک طیف پهنا محدود[1] مشخص می‌شوند، به این معنی است که انرژی تحریک ورودی در یک محدوده از فرکانس توزیع شده است. سازه‌های دارای میرایی ناچیز دارای پاسخی خواهند بود که در محدوده فرکانس کوتاهی متمرکز هستند. بنابراین تحریک های ورودی را می‌توان با تقریب قابل قبولی به عنوان یک طیف باند پهن[2] و حتی یک نویز سفید[3] (یک تحریک ورودی با توزیع یکسان انرژی در تمامی فرکانس‌ها) مدل نمود. فرآیند بار به این ترتیب به جای حوزه زمانی در حوزه فرکانسی مدل می‌شود. اگر فرآیند تحریک ورودی به صورت یک فرآیند معمولی فرض شود در این صورت توسط طیف کاملا مشخص می‌شود. همچنین اگر سیستم مورد نظر خطی و فرآیند تحریک یک فرآیند معمولی باشد ، قسمت عمده تئوری، برای ارزیابی پاسخ آماری بسط داده می‌شود. برای سیستم‌های غیرخطی شکل بسته شده حل‌ها در مورد تعداد اندکی از سیستم‌ها، در بیشتر موارد برای سازه‌های یک درجه آزادی با در نظر گرفتن تحریک نویز سفید مانا در دسترس می‌باشند. در این پایان‌نامه حل‌های دقیق و تقریبی برای چگالی احتمال و چگالی طیف پاسخ غیرخطی سیستم‌های یک درجه آزادی با تحریک ورودی پهنا محدود مانا بررسی می‌گردد.

۱-۲- دسته بندی مسائل دینامیک احتمالاتی

راه‌های مختلفی جهت دسته‌بندی مسائل مربوط به دینامیک احتمالاتی وجود دارد. یکی از این راه‌ها، تمرکز بر روی منابع اتفاقی مسائل می‌باشد. در این حالت پاسخ سیستم در اثر اتفاقی بودن تحریک ورودی و یا به علت طبیعت احتمالاتی پارامترهای سیستم بایستی به صورت احتمالاتی مورد بررسی قرار گیرد. این دسته پیکره اصلی تئوری ارتعاشات تصادفی را در می‌گیرد. در سال‌های اخیر، مطالعاتی زیادی در زمینه سیستم‌های دینامیکی با پارامترهای تصادفی (شناخته شده به عنوان تئوری ارتعاشات تصادفی

1 Band Limited

2 Broad Band

3 White Noise

پارامتری) صورت گرفته است که مورد توجه محققان زیادی در ارتباط با مسائل دینامیک احتمالاتی قرار گرفته شده است (ابراهیم ۱۹۸۵).

جهت تحلیل دینامیکی سیستم‌ها نیاز به سه فاکتور اصلی می‌باشد. فاکتور اول مربوط به تحریک ورودی (بار دینامیکی) می‌باشد که ماهیت تصادفی دارد. فاکتور دوم در ارتباط با دستگاه معادلات حاکم بر ارتعاش سیستم می‌باشد که مانند یک دستگاه پردازنده عمل می‌کند. این پردازنده، تحریک ورودی را به عنوان داده‌های ورودی پردازش کرده و در نهایت پاسخ سیستم را به عنوان مولفه سوم تحلیل دینامیکی مشخص می‌کند. همانطور که ذکر شد، جهت تعیین خصوصیات مولفه سوم مسائل دینامیکی نیاز به مشخص شدن دو مولفه اول می‌باشد. بنابراین یکی از مباحث این است که فرآیند بار و پارامترهای سیستم ارتعاشی معلوم باشد و پاسخ سیستم مورد نیاز باشد. این دسته رویکرد به عنوان پاسخ تعینی مسائل شناخته می‌شود.گاهی اوقات تحریک ورودی و فرآیندهای پاسخ مشخص می‌باشد (از طریق تحلیل آماری رکوردهای شبیه‌سازی شده)، تا این که پارمترهای سیستم ارتعاشی شناخته شوند (سونگ ۱۹۷۳). این دسته رویکرد به عنوان مسائل مربوط به شناسایی سیستم‌ها، شناخته می‌شوند. در واقعیت مسائل مربوط به شناسایی سیستم‌ها به طور فراوان در تحلیل سازه‌های مهندسی (از قبیل پل‌ها، سدها، ساختمان‌ها و غیره)، که تحت بارهای تصادفی یا کنترل شده همچون بار باد و زمین‌لرزه یا بارهای ترافیکی می‌باشد، به کار گرفته می‌شوند. این مسائل از طریق نصب یک سری دستگاه های اندازه‌گیری پاسخ (همچون کرنش سنج‌ها، شتاب‌نگاشت‌ها و غیره) بررسی می‌شوند.

سومین دسته‌بندی مربوط به امکان رفتار غیرخطی مصالح در سیستم‌های دینامیکی می‌باشد. رفتار غیرخطی یا بر روی پارامترهای مکانیکی سیستم یا بر روی مکانیسم کارکرد نیروها به صورت غیر مستقیم تاثیر می گذارد. در ارتباط با سیستم‌های سازه‌ای، به طور کلی دو حالت غیرخطی می‌توان تعریف کرد. اولین

حالت غیرخطی مربوط به مصالح می‌باشد(غیرخطی مصالح[1]) که در این حالت المان‌های سازه وارد ناحیه پلاستیک و جاری شدن می‌شوند. حالت دیگر غیرخطی مربوط به هندسه سازه می‌باشد (غیرخطی هندسی[2]) که در این حالت المان‌های سازه الزاما به تنش جاری شدن نمی‌رسند و در محدوده الاستیک باقی می‌مانند. برای حالت غیرخطی هندسی می‌توان به پدیده $P-\Delta$ که در آن ستون‌ها در اثر بارگذاری خروج از مرکزیت و در نهایت افزایش جابجایی کمانش می‌کنند، اشاره نمود. حل ریاضی این رویکردها، سخت و پیچیده می‌باشند به طوری که پاسخ معادلات دیفرانسیل غیرخطی تعادل دینامیکی را می‌توان یا از طریق روش‌های تقریبی بدست آورد یا از روش‌های حل عددی، این معادلات را می‌توان حل نمود (روبرتز و اسپانوز ۱۹۹۰).

۱-۳- علائم

در متون مربوط به تئوری احتمالاتی ، متغیرهای تصادفی غالبا با استفاده از حروف بزرگ نشان داده می‌شوند. حروف کوچک مشابه برای نشان دادن متغیر در روش‌های تعینی به کارگرفته می‌شود. به عنوان مثال $P\{X<x\}$ احتمال کوچکتر بودن مقدار متغیر تصادفی X از مقدار تعینی x را بیان می‌کند. برخی متون از علائمی با پیچیدگی کمتری استفاده می‌کنند تا جایی که از نمادهای یکسانی برای متغیرهای تصادفی و متغیرهای مستقل در گزاره‌های تعینی در مورد متغیرهای تصادفی (مانند تابع چگالی احتمال) استفاده می‌کنند.

در این پایان نامه مهم است که بین متغیرهای تصادفی و تعینی تمایز قائل شویم زیرا متغیرهای تصادفی گاهی اوقات دارای یک مقدار ثابت هستند. انرژی جنبشی مثالی از این نوع متغیر است. در کل انرژی جنبشی یک فرآیند تصادفی است اما در بعضی از مشتقات یک سطح انرژی مشخص مد نظر است و بنابراین انرژی باید به عنوان یک متغیر تعینی ظاهر شود. در این پایان نامه حروف بزرگ برای نشان دادن

1 Material Nonlinearity

2 Geometric Nonlinearity

متغیرهای تصادفی و حروف کوچک در مورد معادله‌های تعینی به منظور اجتناب از سردرگمی به کار رفته است.

۱-۴- نمای کلی پایان نامه

پایان نامه به ۶ بخش تقسیم شده است. فصل اول این پایانامه مقدمه‌ای بر تحلیل‌های احتمالاتی و منابع عدم قطعیت دارد. فصل دوم، شامل مرروی بر کارهای صورت گرفته در راستای این تحقیق می‌باشد که خود این فصل به دو قسمت تقسیم شده است. قسمت اول مربوط به کارهای صورت گرفته در زمینه پاسخ غیرخطی و قسمت دوم آن مربوط به مطالعات صورت گرفته در زمینه ارزیابی عدم قطعیت‌ها می‌باشد. در فصل سوم به روش‌های حل معادلات حرکت برای بدست آوردن پاسخ غیرخطی در حوزه فرکانس می‌پردازد. در این فصل حل‌های دقیق و تقریبی برای چگالی احتمال و چگالی طیف توان مربوط به پاسخ تصادفی بحث شده است. فصل چهارم تحقیق، اشاره به مبانی روش‌های تولید زمین‌لرزه و نحوه بدست آوردن پاسخ غیرخطی مدل استفاده شده در این مطالعه می‌پردازد و در ادامه این فصل، مقایسه‌ای بین نتایج پاسخ غیرخطی بدست آمده در حوزه فرکانس با حوزه زمان را ارائه می‌کند. در فصل پنجم مبانی تحلیل حساسیت با بکارگیری روش شبیه‌سازی مونت‌کارلو به طور مفصل شرح داده شده است. در این فصل نتایج حاصل از تحلیل حساسیت سازه‌های یکدرجه آزادی در پریود های مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. و در نهایت فصل ششم به نتیجه گیری نتایج بدست آمده در این مطالعه می‌پردازد و در ادامه، پیشنهاداتی برای کارهای آتی در این راستا را ارائه می‌کند.

فصل دوم

پیشینه و تاریخچه تحقیق