دانشکده فنی

پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد

بررسی اثر ناهمگونی نهشته های طبیعی بر رفتار دینامیکی ساختگاه به روش محاسباتی

از

شیرین امین زاده بستانی طالشانی

استادان راهنما

دکتر رضا جمشیدی چناری

دکتر رضا صالح جلالی

بهمن ۱۳۹۲

به نام یزدان پاک

دانشگاه گیلان

دانشکده‌ی فنی – گروه مهندسی عمران

گرایش مکانیک خاک و پی

پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد

بررسی اثر ناهمگونی نهشته های طبیعی بر رفتار دینامیکی ساختگاه به روش محاسباتی

از

شیرین امین زاده بستانی طالشانی

استادان راهنما

دکتر رضا جمشیدی چناری

دکتر رضا صالح جلالی

استاد مشاور

دکتر رضا انصاری خلخالی

بهمن ۱۳۹۲

تقدیم به:

پدرم به پاس تمام زحماتش

و مادرم بخاطر همه مهربانی هایش

آنان که در تمام راه همراه من بودند و به من امید و اطمینان دادند تا من بتوانم امروز در این جایگاه بایستم.

تقدیر و تشکر:

از خداوند متعال سپاسگزارم که این توفیق را نصیب من کرد تا بتوانم این پژوهش را به سرانجام برسانم و از زحمات بی دریغ استاد ارجمندم جناب آقای دکتر **رضا جمشیدی چناری** کمال تشکر را دارم که در تمامی راه گردآوری این مطالب همراه من بودند و دلسوزانه دانسته های خود را به من آموختند و با شکیبایی بسیار مرا راهنمایی نمودند. از حمایت های بی دریغ جناب آقای دکتر **رضا صالح جلالی** و توصیه های ارزشمند جناب آقای دکتر **رضا انصاری خلخالی** که مسیر انجام این پژوهش را آسان نمودند، تشکر و قدردانی می نمایم. از داوران محترم جناب آقای دکتر **سعید پورزینلی** و جناب آقای دکتر **مهدی ویس کرمی** که زحمت بازخوانی و داوری این مجموعه را بر عهده داشتند، صمیمانه تشکر و قدردانی دارم.

فهرست مطالب

تقدیم ..... ب

تقدیر و تشکر ..... پ

فهرست شکل ها..... چ

فهرست جداول ..... د

فهرست نما ها ..... ذ

چکیده فارسی..... ز

چکیده انگلیسی ..... ژ

۱ فصل اول: کلیات..... ۱

۱-۱ مقدمه ۲

۱-۲ اهداف پژوهش ۳

۱-۳ روش انجام پژوهش..... ۳

۱-۴ معرفی فصول پایان نامه..... ۴

۲ فصل دوم: مروری بر ادبیات فنی..... ۵

۲-۱ مقدمه ۶

۲-۲ عدم قطعیت ۶

۲-۲-۱ عدم قطعیت در مهندسی ژئوتکنیک..... ۸

۲-۲-۲ عدم قطعیت در مهندسی ژئوتکنیک لرزه ای ۱۱

۲-۳ مطالعات صورت گرفته بر روی تحلیل پاسخ زمین ۱۱

۲-۳-۱ ناهمگونی لایه بندی ۱۱

۲-۳-۲ ناهمگونی یقینی..... ۱۲

۲-۳-۳ ناهمگونی ذاتی و تغییر پذیری فضایی خصوصیات خاک..... ۱۴

۳ فصل سوم: انتشار امواج در محیط ناهمگون یقینی..... ۱۷

۳-۱ مقدمه ۱۸
۳-۲ انتشار امواج ۱۸
۳-۲-۱ هندسه و پارامترهای نهشته ناهمگون یقینی ۲۰
۳-۲-۲ تحلیل داده های درجا ۲۱
۳-۲-۳ تحلیل رگرسیون داده ها ۲۵
۳-۲-۴ معادلات حاکم بر انتشار موج ۲۷
۳-۲-۴-۱ تغییرات خطی سرعت موج برشی ۲۸
۳-۲-۴-۲ تغییرات توانی سرعت موج برشی ۲۸
۳-۲-۴-۳ تغییرات هذلولوی سرعت موج برشی ۲۹
۳-۳ تحلیل دینامیکی یک بعدی ۲۹
۳-۳-۱ تحلیل به روش خطی ۳۰
۳-۳-۲ نتایج تحلیل خطی خاک ناهمگون ۳۱
۳-۴ مفهوم خاک همگون معادل و پارامترهای تاثیرگذار ۳۴
۳-۴-۱ معرفی پروفیل خاک همگون معادل ۳۴
۳-۴-۲ نتایج تحلیل خطی خاک همگون معادل ۳۶
۳-۵ بررسی نتایج تحلیل یقینی ۳۹
۴ فصل چهارم: انتشار امواج در محیط ناهمگون کاتوره ای ۴۱
۴-۱ مقدمه ۴۲
۴-۲ تئوری میدان تصادفی ۴۲
۴-۳ تغییرپذیری فضایی ذاتی خاک ۴۳
۴-۳-۱ تغییرپذیری فضایی پیوسته ۴۴
۴-۳-۲ تغییرپذیری فضایی گسسته ۴۴
۴-۳-۳ تغییرپذیری پروفیل خاک ۴۵
۴-۳-۳-۱ ساختار همبستگی ۴۶
۴-۳-۳-۲ ضریب تغییرات ۴۶
۴-۳-۳-۳ مقیاس نوسان و تابع همبستگی ۴۸

۴-۳-۴ مشخصات احتمالاتی تغییرپذیری فضایی ویژگی های خاک ۵۰
۴-۴ توابع توزیع احتمال ۵۳
۴-۴-۱ توزیع احتمالی پیوسته ۵۳
۴-۴-۱-۱ تابع توزیع نرمال (گوسی) ۵۴
۴-۴-۱-۲ تابع توزیع نرمال لگاریتمی ۵۵
۴-۵ انتشار امواج ۵۶
۴-۵-۱ هندسه و پارامترهای نهشته ناهمگون کاتوره ای ۵۶
۴-۵-۲ معادلات حاکم بر انتشار موج ۵۷
۴-۶ تحلیل دینامیکی کاتوره ای ۵۸
۴-۶-۱ تولید میدان کاتوره ای ۵۹
۴-۶-۱-۱ تجزیه ماتریس کواریانس (CMD) ۵۹
۴-۶-۲ واقعی سازی مونت کارلو ۶۰
۴-۶-۳ بررسی کفایت تعداد واقعی سازی ها ۶۲
۴-۶-۴ تحلیل نتایج خاک ناهمگون کاتوره ای ۶۳
۴-۷ بررسی نتایج تحلیل کاتوره ای ۶۷
۵ فصل پنجم: جمع بندی و نتیجه گیری ۶۸
۵-۱ کلیات پژوهش ۶۹
۵-۲ نتیجه گیری ۶۹
۵-۳ ارائه پیشنهاد جهت ادامه پژوهش ۷۱
منابع و مراجع ۷۳
۶ پیوست الف: تابع انتقال بر حسب پارامترهای آماری ۸۲

فهرست شکل ها

فصل دوم: مروری بر ادبیات فنی

شکل ۲-۱: عدم قطعیتها در تخمین ویژگی های خاک (گریفیتس؛ ۲۰۰۰) ۹

فصل سوم: انتشار امواج در محیط ناهمگون یقینی

شکل ۳-۱: مکانیزم تولید و انتشار امواج زلزله تا سطح زمین (مطلبیان؛ ۱۳۸۸) ۱۹

شکل ۳-۲: میانگین طیف شتاب ساختگاه های مختلف (سید و همکاران؛ ۱۹۷۴) ۲۰

شکل ۳-۳: تغییرپذیری فضایی یقینی سرعت موج برشی با عمق تحت تغییرات؛ الف) خطی، ب) توانی (سهمی وار)، پ) هذلولوی (مجانبی). ۲۱

شکل ۳-۴: پروفیل واقعی تغییرات سرعت موج برشی ۱۵۱ داده درجا (مطابق جدول ۳-۱).....۲۵

شکل ۳-۵: رگرسیون خطی سرعت موج برشی شاخص ۳۰ .....۲۶

شکل ۳-۶: سیستم Kelvin-Voigt تحت برش هارمونیک افقی (کرامر؛ ۱۹۹۶).....۲۸

شکل ۳-۷: روند شکست امواج در حین عبور از لایه های خاک (کرامر؛ ۱۹۹۶) ۳۰

شکل ۳-۸: تاثیر تغییرات V_{ratio} بر تابع انتقال تک لایه ناهمگون تحت تغییرات خطی سرعت موج برشی با عمق؛ ξ = ۰/۰۵. .....۳۲

شکل ۳-۹: تاثیر تغییرات V_{ratio}و n بر تابع انتقال خاک تک لایه ناهمگون با تغییرات توانی سرعت موج برشی با عمق؛ الف) V_0/V_H=۰/۱، ب) V_0/V_H = ۰/۷۵؛ ξ = ۰/۰۵ .....۳۳

شکل ۳-۱۰: تاثیر تغییرات V_{ratio} بر تابع انتقال خاک تک لایه ناهمگون با تغییرات هذلولوی سرعت موج برشی با عمق؛ الف) $f_1=f_2$=۰/۱ ، ب) $f_1=f_2$=۰/۷۵ ؛ ξ = ۰/۰۵ .....۳۳

شکل ۳-۱۱: مفهوم سنگ بستر مهندسی ۳۵

شکل ۳-۱۲: مقایسه روش های مختلف میانگین گیری در پروفیل های مختلف تغییرات سرعت موج برشی؛ الف) V_0/V_H=۰/۱، ب) V_0/V_H = ۰/۷۵.....۳۶

شکل ۳-۱۳: نسبت فرکانس و دامنه تشدید بر حسب V_0/V_H در تغییرات خطی پروفیل سرعت با عمق، الف) H_{ave}=۳۰۰ m، ب) H_{ave}=۳۰ m ۳۷

شکل ۳-۱۴: نسبت فرکانس و دامنه تشدید بر حسب فاکتور ناهمگونی n در تغییرات توانی سرعت موج برشی بـا عمـق؛ الـف) H_{ave}=۳۰۰ m ،$V_{eq}=V_{hom1}$ ب) H_{ave}=۳۰ m ،$V_{eq}=V_{hom1}$ پ) H_{ave}=۳۰۰ m ،$V_{eq}=V_{hom2}$ ت) H_{ave}=۳۰ m ،$V_{eq}=V_{hom2}$ ث) H_{ave}=۳۰۰ m ،$V_{eq}=V_{hom3}$ ج) H_{ave}=۳۰ m ،$V_{eq}=V_{hom3}$ ۳۸

شکل ۳-۱۵: نسبت فرکانس و دامنه تشدید بر حسب V_0/V_H در تغییرات هذلولوی سرعت مـوج برشـی بـا عمـق؛ الـف) ۰/۱ =$f_1=f_2$، H_{ave}=۳۰۰ m ب) ۰/۱=$f_1=f_2$ ، H_{ave}=۳۰m پ) ۰/۷۵=$f_1=f_2$ ، H_{ave}=۳۰۰ m ت) ۰/۷۵=$f_1=f_2$ ، H_{ave}=۳۰ m ۳۹

فصل چهارم: انتشار امواج در محیط ناهمگون کاتوره ای

شکل ۴-۱: پارامترهای مختلف آماری ویژگی خاک (نوبهار و پاپسکو؛ ۲۰۰۱c)..... ۴۳

شکل ۴-۲: نمونه یک پروفیل خاک در آزمایش SCPT (اسکنیدر و ماینِ؛ ۲۰۰۰) ۴۴

شکل ۴-۳: آزمایشات مقاومت نوک مخروط برجای ثبت شده (CSA؛ ۱۹۸۱) ۴۵

شکل ۴-۴: ضریب تغییرات تغییرپذیری ذاتی مقاومت برشی زهکشی نشده در برابر میـانگین مقاومـت برشـی زهکشـی نشـده (نوبهار؛ ۲۰۰۳) ۵۱

شکل ۴-۵: ضریب تغییرات، مقاومت برشی زهکشی نشده در برابر میانگین مقاومت برشی زهکشی نشـده (فِرِدلونـد و داهلمـن؛ ۱۹۷۲) ۵۲

شکل ۴-۶: نمونه ای از یک توزیع نرمال پیوسته (دگروت و باچر؛ ۱۹۹۳)..... ۵۵

شکل ۴-۷: نمونه ای از یک توزیع لگاریتم نرمال (دگروت و باچر؛ ۱۹۹۳)..... ۵۶

شکل ۴-۸: تغییرپذیری فضایی کاتوره ای سرعت موج برشی با عمق؛ الف) تغییـرات کلـی، ب) تغییـرات یقینـی، پ) تغییـرات کاتوره ای. ۵۷

شکل ۴-۹: نحوه تولید ماتریس فاصله در المان بندی مدل تفاضل محدود ۶۱

شکل ۴-۱۰: کفایت تعداد واقعی سازی ها ۶۳

شکل ۴-۱۱: تاثیر تغییرات CoV بر تابع انتقال خاک تک لایه ناهمگون تحت تغییرات کاتوره ای سرعت موج برشـی بـا ۰/۱ =$d=f_1=f_2$؛ الف) ۰/۲=L_v، ب) ۱۰=L_v؛ ۰/۰۵=ξ ۶۴

شکل ۴-۱۲: تاثیر تغییرات CoV بر تابع انتقال خاک تک لایه ناهمگون تحت تغییرات کاتوره ای سرعت موج برشی با ۰/۷۵ =$d=f_1=f_2$؛ الف) ۰/۲=L_v، ب) ۱۰=L_v؛ ۰/۰۵=ξ ۶۴

شکل ۴-۱۳: تاثیر تغییرات CoV بر تابع انتقال خاک تک لایه ناهمگون تحت تغییرات کاتوره ای سرعت مـوج برشـی بـا ۱ =d و ۰=$f_1=f_2$ ؛ الف) ۰/۲=L_v، ب) ۱۰=L_v؛ ۰/۰۵=ξ ۶۴

شکل ۴-۱۴: افزایش نقاط نرم (نواحی ضعیف) با افزایش ضریب تغییرات سختی برشی؛ الف) CoV=۰/۲، ب) CoV=۰/۴، پ) CoV= ۰/۶ (علی نژاد و همکاران، ۲۰۱۱). ۶۵

شکل ۴-۱۵: تاثیر تغییرات L_v بر تابع انتقال خاک تک لایه ناهمگون تحت تغییرات کاتوره ای سرعت موج برشی با ۰/۱ =d=f_1=f_2؛ الف) CoV=۰/۰۵، ب) CoV=۰/۲؛ ξ=۰/۰۵ ..... ۶۶

شکل ۴-۱۶: تاثیر تغییرات L_v بر تابع انتقال خاک تک لایه ناهمگون تحت تغییرات کاتوره ای سرعت موج برشی با ۰/۷۵ =d=f_1=f_2؛ الف) CoV=۰/۰۵، ب) CoV=۰/۲؛ ξ=۰/۰۵ ..... ۶۶

شکل ۴-۱۷: تاثیر تغییرات L_v بر تابع انتقال خاک تک لایه ناهمگون تحت تغییرات کاتوره ای سرعت موج برشی با d=۱ و f_1=f_2=۰ ؛ الف) CoV=۰/۰۵، ب) CoV=۰/۲؛ ξ=۰/۰۵ ..... ۶۶

پیوست الف: تابع انتقال بر حسب پارامترهای آماری

شکل الف-۱: تاثیر تغییرات CoV بر تابع انتقال خاک تک لایه ناهمگون تحت تغییرات کاتوره ای سرعت موج برشی با ۰/۱ =d=f_1=f_2؛ الف) L_v=۰/۵، ب) L_v=۱، پ) L_v=۵؛ ξ =۰/۰۵ ..... ۸۳

شکل الف-۲: تاثیر تغییرات CoV بر تابع انتقال خاک تک لایه ناهمگون تحت تغییرات کاتوره ای سرعت موج برشی با ۰/۷۵ =d=f_1=f_2؛ الف) L_v=۰/۵، ب) L_v=۱، پ) L_v=۵؛ ξ =۰/۰۵ ..... ۸۴

شکل الف-۳: تاثیر تغییرات CoV بر تابع انتقال خاک تک لایه ناهمگون با تغییرات کاتوره ای سرعت موج برشی با d=۱ و f_1=f_2=۰ ؛ الف) L_v=۰/۵، ب) L_v=۱، پ) L_v=۵؛ ξ =۰/۰۵ ..... ۸۵

فهرست جداول

فصل سوم: انتشار امواج در محیط ناهمگون یقینی

جدول ۳-۱: خلاصه رکورد ثبت شده..... ۲۲

جدول ۳-۲: نتایج تجزیه و تحلیل مدل ریاضی ۲۶

جدول ۳-۳: محدوده تغییرات پارامترهای آماری حاصل از نتایج تحلیل رگرسیون مدل های مفروض ۲۷

فصل چهارم: انتشار امواج در محیط ناهمگون کاتوره ای

جدول ۴-۱: ضرایب تغییرات ویژگی های خاک (هار؛ ۱۹۸۷) ۴۷

جدول ۴-۲: توابع خودهمبستگی و مقیاس نوسان متناظر با آن ها (فون و کولهاوی؛ ۱۹۹۹) ۴۹

جدول ۴-۳: طول همبستگی برای ویژگی های مختلف خاکها (دِگروت؛ ۱۹۹۶)..... ۴۹

جدول ۴-۴: مشخصات توزیع فضایی نتایج آزمایش CPT برای خاک های چسبنده و غیر چسبنده (آسیماکی و همکاران؛ ۲۰۰۳) ۵۰

جدول ۴-۵: مقادیر بدست آمده از مطالعات محققین مختلف برای مقیاس نوسان ۵۲

جدول ۴-۶: مقادیر بدست آمده از مطالعات محققین مختلف برای مقیاس نوسان..... ۵۳

جدول ۴-۷: مدلهای رایج برای متغیرهای کاتوره ای پیوسته ۵۴

فهرست نماها

الف

امید ریاضی $E[X]$

انحراف از معیار استاندارد $\sigma, s.d[X]$

ب

بردار با اعضای کاتوره ای نرمال استاندارد U

پ

پارامترهای مجانب f_1, f_2

ت

تابع احتمال E

تابع انتقال سطح به بستر $F(\omega)$

تابع چگالی احتمال استاندارد $P_s(X)$

تابع چگالی احتمال $P(X)$

تابع روند یقینی مرکزی $\mu, t(z)$

ترانهاده ماتریس T

ترم وابسته به مکان جابجایی $U(z)$

تنش برشی τ

توابع بسل اصلاح شده I, K

توزیع نرمال استاندارد $N(0,1)$

ج

جابجایی هارمونیک افقی $u(z,t)$

چ

چگالی ρ

د

دامنه اساسی تشدید خاک ناهمگون A_{1Inhom}

دامنه اساسی تشدید خاک همگون معادل A_{1hom}

ز

زمان t

س

سختی برشی در بستر G_H

سختی برشی مختلط G^*

سختی برشی G

سرعت موج برشی V_s

سرعت موج برشی خاک همگون معادل V_{hom}

سرعت موج برشی در بستر V_H

سرعت موج برشی در بی نهایت V_∞

سرعت موج برشی در سطح V_0

سرعت موج برشی کاتوره ای $V_{s,st}$

سرعت موج برشی مختلط V_s^*

سرعت موج برشی یقینی $V_{s,det}$

ض

ضخامت لایه	H
ضخامت میانگین گیری	H_{ave}
ضرایب ناهمگون بدون بعد	q, n, d, b
ضریب تغییرات	CoV
ضریب همبستگی	ρ_d

ط

طول همبستگی	L, L_v

ع

عدد موج در بستر	k_H
عمق	z
عدد موهومی	i

ف

فاصله تأخیر	d
فرکانس	f
فرکانس دایره ای	ω
فرکانس طبیعی اساسی (اولیه)	f_1
فرکانس طبیعی اساسی خاک ناهمگون	f_{1Inhom}
فرکانس طبیعی اساسی خاک همگون معادل	f_{1hom}
فرکانس نرمالایزشده	f/f_{1soil}

م

ماتریس پایین مثلثی	L
ماتریس فاصله	d_{ij}
ماتریس کواریانس معین	Bij, A
متغیر احتمالاتی	p
متغیر با توزیع لگاریتم نرمال	Y
متغیر با توزیع نرمال استاندارد	Z
متغیر با توزیع نرمال	X
متغیر فضایی	$X(z)$
مقاومت برشی زهکشی نشده	C_u
مقیاس نوسان افقی	Θ_h
مقیاس نوسان قائم	Θ_v
مقیاس نوسان	Θ, δ
مولفه پسماند (نوسانی)	$\varepsilon(z)$
مولفه پسماند ناشی از تغییرپذیری ذاتی طبیعی	$\varepsilon_r(z)$
مولفه پسماند ناشی از خطای اندازه گیری	$\varepsilon_n(z)$
میانگین سرعت موج برشی در ۳۰ متر سطحی	$V_{s,30}$
میانگین متغیر X	$\bar{X}$
میانگین محلی	t_i

ن

نسبت سرعت موج برشی سطح به بستر	V_{ratio}
نسبت میرایی	ξ

و

واریانس	$V[X], \sigma^2, c_0$

چکیده فارسی

بررسی اثر ناهمگونی نهشته های طبیعی بر رفتار دینامیکی ساختگاه به روش محاسباتی

شیرین امین زاده

ارزیابی اثرات ساختگاه بر دامنه و محتوای فرکانسی امواج عبوری از لایه های آبرفتی، گامی اساسی و مهم در تحلیل پاسخ زمین بشمار می رود. در این پژوهش با استفاده از روش های محاسباتی، معادله دیفرانسیل انتشار یک بعدی موج و پاسخ ساختگاه ویسکوالاستیک تحت تغییرات پیوسته یقینی (خطی، توانی و هذلولوی) و کاتوره ای سرعت موج برشی با عمق مورد مطالعه قرار می گیرد. نتایج حاصل از رگرسیون خطی ۱۵۱ پروفیل واقعی سرعت موج برشی، حاکی از نمایش بهتر تغییرات هذلولوی این پارامتر نسبت به تغییرات خطی و توانی آن در بیش از ۸۴ درصد داده ها می باشد. بررسی تاثیر عمق میانگین گیری بر سه پروفیل همگون از دیگر بخش های این پژوهش است که نشان می دهد استفاده از میانگین هارمونیک سرعت موج برشی در ۳۰ متری سطح پروفیل خاک، لزوماً نمی تواند تصویر درستی از خاک همگون معادل، ارائه دهد. در بخش پایانی از تئوری میدان تصادفی در کنار شبیه سازی مونت کارلو، جهت تحلیل لرزه ای تغییرات کاتوره ای سرعت موج برشی استفاده شده است که نتایج آن نمود روشنی از تاثیرات اجتناب ناپذیر پارامترهای آماری در افزایش ناهمگونی و تغییر رفتار ارتعاشی ساختگاه می دهد.

کلید واژه: ناهمگونی، پاسخ ساختگاه، نهشته آبرفتی، امواج لرزه ای، تغییر پذیری سرعت موج برشی، شبیه سازی مونت کارلو، تئوری میدان تصادفی.

چکیده انگلیسی

Abstract

Analytical solution on site response in heterogeneous deposits

Shirin Aminzadeh

Estimation of the local site effects on the amplitude and the frequency content of seismic wave through alluvial deposits is an important and substantial step in the seismic risk mitigation. In this research, analytical and numerical methods are adopted to investigate the influence of deterministic (linear, power and hyperbolic) and stochastic variation of shear wave velocity on the differential equation of the wave propagation and the seismic site response analysis. Among different linear and power variation, the hyperbolic variation is found to best represent the actual shear wave velocity profiles for more than 84% of 151 cases. Moreover, investigation on the effect of the averaging depth on three homogeneous scenarios (arithmetic, harmonic and mid-value averaging) indicates that harmonic averaging of the velocity of the shear wave in the depths of the first 30 m of the strata is not necessarily the best alternative for equivalent homogeneous analyses. Finally, random field theory along with Monte-Carlo simulations was adopted to evaluate ground response under stochastic variation of the shear wave velocity, indicating significant influences of statistical parameters of heterogeneity on site vibration behavior.

Keywords: Heterogeneity, Site response, Alluvial deposits, Seismic wave, Variability of SWV, Monte-Carlo simulation, Random field theory.

فصل اول: کلیات

۱-۱ مقدمه

زلزله شناسی و مهندسی زلزله به علم شناخت پدیده وقوع زلزله و راه های کاهش خطرات آن اطلاق می گردد. زلزلـه در اثر لغزش ناگهانی زمین در طول صفحه گسل رخ می دهد که در نتیجه آن انرژی ذخیره شده در گسل به صورت امواج انتشـار می یابد. محیط طبیعی انتشار امواج زلزله سنگ بنای نظری رشته های مختلفی چون زلزله شناسی و مهندسی زلزلـه، انتقـال امواج صوتی و الکترومغناطیسی، اکتشافات زیرسطحی و غیره می باشد که همواره مورد توجـه محققـین بـوده اسـت. حرکـات لرزه ای و امواج لرزه ای ایجاد شده، بعنوان یکی از مخرب ترین عوامل طبیعی، منجر به خرابی های زیـادی در سـاختمان هـا، پل ها، برج ها، کارخانه ها، سدها و سایر ساخته های دست بشر می شود. از این رو یکـی از اصـلی تـرین و پـر اسـتفاده تـرین مباحث دینامیک خاک، مباحثی هستند که در ارتباط با مهندسی زلزله و تحلیل پاسخ زمـین در برابـر امـواج لـرزه ای مطـرح می شوند (بازیار و قناد؛ ۱۳۹۱).

بررسی مکانیسم منبع، پدیده میرایی موج در مسیر و تاثیرات محلی ساختگاه جهت شناسایی پتانسیل خطر وقـوع زلزلـه در یک ساختگاه مشخص ضروری به نظر می رسد. بررسی های زلزله شناسان بیشتر محـدود بـه دو مـورد اول مـی باشـد و از اوایل قرن بیستم تاثیرات محلی ساختگاه بر روی انتشار امواج از بین لایه های پروفیل خاک (عامـل ارتبـاطی زلزلـه شناسـی و مهندسی زلزله) مورد توجه مهندسان قرار گرفته است. آنان با بررسی آثار ایجاد شده در اثر امواج زلزله در نقـاط مختلـف یـک ساختگاه و همچنین شرایط لایه های آبرفتی محل تاثیر ساختگاه را در تغییر خصوصیات مختلف امواج زلزله مورد ارزیابی قـرار داده اند. این بررسی ها تا به امروز ادامه داشته و پس از وقوع زلزله های جدید در نقاط مختلف دنیا تحقیقات زیادی در ارتبـاط با چگونگی تاثیر ساختگاه بر شدت این زلزله ها صورت گرفته است.

یکی از منابع عدم قطعیت پیش روی مهندسان ژئوتکنیک در ارتباط با تاثیر ساختگاه، سـاختار پیچیـده و ناشـناخته زمین می باشد. ناهمگونی ذاتی بعلت مکانیسم شکل گیری نهشته های طبیعی دارای ماهیت کـاتوره ای اسـت کـه در صـورت عدم انجام اندازه گیری های دقیق فیزیکی، منجر به عدم قطعیت در پاسخ پیش بینی شده می گردد. مدلسـازی دقیـق مولفـه های ژئوتکنیکی سیستم خاک ـ سازه که بشدت وابسته به خواص خاک مجاور و زیرین سازه مورد بررسی اسـت، لازمـه پـیش بینی عملکرد سازه ها در طول زلزله می باشد. از این رو در سالیان اخیر، اهمیت شناسایی پروفیل تغییرات واقعـی پارامترهـای دینامیکی نهشته آبرفتی طبیعی فزونی یافته و تاکید و توجه دوچندانی به مسئله کمی سـازی عـدم قطعیـت در پاسـخ زمـین ناشی از تغییرپذیری خواص رفتاری لایه های سطحی شده است.کمی سازی عدم قطعیـت خـواص، در مسـائل ژئـوتکنیکی در

چارچوب مدل های یقینی[۱] و احتمالاتی[۲] بیان می شود. خواص نامشخص خاک در مدل های یقینی از طریق یک توصیف گر گسسته ساده[۳] و در مدل های احتمالاتی به کمک توصیف گر گسسته آماری[۴] و یا توابع توزیع احتمال[۵] بعنوان یک پارامتر یا میدان تصادفی وابسته به مکان و زمان مدل می شود (جونز و همکاران؛ ۲۰۰۲).

در گذشته مدل های آزمایشگاهی و محاسبات تحلیلی، یکی از روش های مطالعه و بررسی عملکرد رفتار استاتیکی و دینامیکی سازه های خاکی بوده اند، اما پیشرفت های سریع کامپیوترها در سال های اخیر منجر به شکل گیری روش های عددی از قبیل اجزاء محدود و تفاضل محدود در بسیاری از زمینه های مهندسی عمران از جمله تحلیل پاسخ دینامیکی سازه های خاکی، شده است.

۱-۲ اهداف پژوهش

ارزیابی پاسخ ساختگاه از طریق روش های تجربی یا محاسباتی صورت می پذیرد. روش های تجربی از رکوردهای واقعی زلزله در ساختگاه هایی با شرایط زمین شناسی مختلف استفاده می کنند. در روش های محاسباتی (عددی یا تحلیلی) نیز در نظر گرفتن عدم قطعیت موجود در پارامترهای خاک ناشی از ساختار پیچیده و خواص کاتوره ای زمین ضروری به نظر می رسد. این عدم قطعیت می تواند در تحلیل های دینامیک احتمالاتی خاک بصورت پارامترهای وابسته به مکان که حول مقدار میانگین خود نوسان می کند مدلسازی شود و مورد محاسبه قرار گیرد.

در این پژوهش، تغییرات پیوسته سرعت موج برشی با عمق به منظور جلوگیری از برآورد پاسخ دست پایین[۶] ناشی از خطاهای عددی، لحاظ گردیده و پاسخ ساختگاه و تابع انتقال پروفیل خاک تک لایه ویسکوالاستیک تحت اثر تغییرات یقینی (خطی، توانی و هذلولوی) و کاتوره ای این پارامتر بصورت عددی و یا تحلیلی بررسی شده است. تحلیل رگرسیون۱۵۱ پروفیل واقعی سرعت موج برشی، معرفی خاک همگون معادل و مطالعه نحوه تاثیر پارامترهای ناهمگونی و آماری بر تابع انتقال از جمله سایر مباحث مطرح شده می باشد.

۱-۳ روش انجام پژوهش

در این مطالعه، با استفاده از نرم افزار MATLAB به تحلیل دینامیکی خطی یک بعدی ساختگاه تحت تغییرات یقینی

[1] Deterministic
[2] Probabilistic
[3] Simple discrete descriptor
[4] Discrete statistical descriptor
[5] Probability distribution functions
[6] Underestimate

(خطی، توانی و هذلولوی) و کاتوره ای سرعت موج برشی با عمق پرداخته شده است. در تحلیل اثرات یقینی ساختگاه، تحلیل رگرسیون خطی بر روی ۱۵۱ پروفیل واقعی تغییرات سرعت موج برشی صورت پذیرفته و معادله دیفرانسیل مرتبه دوم انتشار موج در خاک همگون معادل و ناهمگون خطی و توانی به روش تحلیلی (توابع بسل) و در خاک ناهمگون هذلولوی به روش عددی (تفاضل محدود مرکزی) حل شده است. در بخش تغییرات کاتوره ای نیز، روش شبیه‌سازی مونت‌کارلو در تحلیل تفاضل محدود برای مطالعه اثر ناهمگونی خاک روی پاسخ دینامیکی پروفیل خاک به کار رفته و از روش تجزیه چولسکی[1] برای تولید میدان های کاتوره ای همبسته استفاده شده است تا توابع نمونه‌ای از میدان های کاتوره ای را تولید کنیم.

بطور کلی در این مطالعه دو هدف اصلی مورد نظر می‌باشد: بیان اثر تغییرپذیری یقینی و کاتوره ای سرعت موج برشی و پارامترهای مربوطه بر پاسخ ساختگاه در قالب تغییرات دامنه و فرکانس تابع انتقال و بررسی تاثیرات عمق میانگین گیری بر خاک همگون معادل.

۱-۴ معرفی فصول پایان نامه

جهت بررسی موارد ذکر شده در ادامه، فصول مختلفی از نظر خواهد گذشت که در اینجا به معرفی عناوین آن ها پرداخته می شود:

فصل اول شامل مقدمه و بیان موضوع، اهداف و روش انجام پژوهش می باشد.

فصل دوم به ناهمگونی خاک، تعریف و بیان مشخصات احتمالاتی ویژگی‌های خاک، عدم قطعیت موجود در طراحی‌های ژئوتکنیکی و ادبیات فنی اختصاص دارد.

فصل سوم به بررسی انتشار امواج در محیط ناهمگون یقینی می پردازد. این فصل شامل تحلیل ۱۵۱ پروفیل واقعی تغییرات سرعت موج برشی با عمق، معادلات حاکم بر انتشار یک بعدی امواج در شرایط تغییرات خطی، توانی و هذلولوی و نیز معرفی خاک همگون معادل با در نظر گرفتن تاثیر عمق میانگین گیری بر روی پاسخ می باشد.

فصل چهارم تئوری میدان تصادفی و کاربرد آن در مهندسی ژئوتکنیک لرزه ای را ارائه می دهد و سپس به تحلیل یک بعدی پاسخ زمین در اثر انتشار کاتوره ای امواج با استفاده از شبیه سازی مونت کارلو و تجزیه چولسکی می پردازد.

در پایان به جمع‌بندی مسئله و نتیجه‌گیری پرداخته و پیشنهاداتی در ارتباط با ادامه تحقیقات در آینده ذکر خواهد شد.

[1] Choleski Decomposition