

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

دانشکده عمران

پایان نامه کارشناسی ارشد

گرایش خاک و پی

عنوان:

تاثیر عدم قطعیت پارامترهای ورودی در طراحی شمع

استاد راهنما:

دکتر حسن قاسم زاده

نگارش:

جواد نظری

شهریور ۱۳۹۲

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

تقدیم به

پدر دلسوز و مادر مهربانم که در تمامی مراحل زندگی غمخوار و پشتیبان من هستند.

تقدیر و تشکر

در ابتدا بر خود واجب می‌دانم که از زحمات استادم جناب آقای دکتر حسن قاسم زاده که در تمامی مراحل انجام کار حامی و پشتیبان این بنده حقیر بودند کمال تشکر و قدردانی را بنمایم. همچنین لازم است از جناب آقای مهندس یاری و عزیزترینم شادی که در جمع آوری اطلاعات لازم برای انجام کار کمک نمودند صمیمانه تشکر و قدردانی بنمایم و از خداوند منان برای همه این عزیزان آرزوی توفیق روزافزون دارم.

چکیده

همانند تمام علوم در موضوعات مرتبط با مهندسی، عدم قطعیت‌هایی وجود دارند که باید برای حصول نتایج قابل قبول به نحو مطلوب مورد ملاحظه قرار گیرند. این عدم قطعیت‌ها به خصوص در مباحث مهندسی ژئوتکنیک نظیر طراحی شمع ملموس‌تر است که اغلب به علت خطاهای آزمایشگاهی، کمبود داده‌ها، عدم یکنواختی خصوصیات مصالح خاکی و بعضاً کمبود دانش کافی برای مدل کردن مساله ایجاد می‌شوند.

در این پروژه تاثیر عدم قطعیت پارامترهای ورودی بر روی نتایج طراحی شمع بررسی شده است، به این منظور پس از بیان مباحث آماری و روش‌های طراحی شمع در فصول ابتدایی، تاثیر عدم قطعیت پارامترهای ورودی بر روی طراحی شمع برای تحمل بارهای قائم، با دو روش استاتیکی و دینامیکی و برای بار جانبی با روش برومز بررسی شده است. نمودارهای توزیع فراوانی نسبی و تجمعی ظرفیت باربری مجاز شمع در خاک‌ها با لایه‌ها و انواع مختلف رسم شده‌اند و پارامترهای آماری مناسب (ضریب تغییرات، میانگین و ...) از آنها استخراج شده است. در انتها نیز تاثیر روش‌های مختلف طراحی (روش حد نهایی، تنش مجاز) بر روی نتایج، بررسی و ارائه شده است. در بخش آخر این نگارش نتایج حاصل از این پروژه گنجانده شده و با ارائه پیشنهاداتی برای ادامه تحقیقات ایمن پروژه خاتمه یافته است.

فهرست مطالب

فصل ۱- مقدمه و کلیات ۱

۱-۱- مقدمه ۲

- ۲-۱- ضرورت تحقیق..... ۴
- ۳-۱- سابقه تحقیق..... ۵
- ۴-۱- هدف تحقیق..... ۶
- ۵-۱- ساختار تحقیق..... ۶

فصل ۲- عدم قطعیت و تئوری‌های احتمال ۷

- ۱-۲- پیشگفتار..... ۸
- ۲-۲- تئوری احتمال..... ۹
- ۳-۲- جامعه آماری..... ۹
- ۴-۲- فضای احتمال..... ۱۰
- ۵-۲- متغیرهای تصادفی..... ۱۱
- ۶-۲- توابع احتمال..... ۱۲
- ۷-۲- تابع توزیع تجمعی..... ۱۳
- ۸-۲- امید ریاضی..... ۱۳
- ۹-۲- توزیع‌های احتمال ویژه..... ۱۴
- ۱-۹-۲- توزیع یکنواخت..... ۱۴
- ۲-۹-۲- توزیع نرمال..... ۱۵
- ۳-۹-۲- توزیع لگاریتم نرمال..... ۱۶
- ۴-۹-۲- توزیع تصادفی نمایی..... ۱۷
- ۵-۹-۲- توزیع گاما..... ۱۸
- ۶-۹-۲- تخمین توزیع‌های احتمال..... ۱۹
- ۱۰-۲- عدم قطعیت در ویژگی‌های خاک..... ۲۰
- ۱-۱۰-۲-..... ۲۰

۲۰.....	تعیین کمی عدم قطعیت در ویژگی خاک	۲-۱۰-۲
۲۲.....	ویژگی های اندازه گیری شده آزمایشگاهی	۳-۱۰-۲

۲-۱۱- شبیه سازی چیست: ۲۵

۱-۱۱-۲.....	مقدمه:	۲۵
-------------	--------	----

۲۵.....	ماهیت شبیه سازی:	۲-۱۱-۲
۲۶.....	حالت عدم اطمینان در سیستم:	۳-۱۱-۲
۲۶.....	مراحل شبیه سازی	۴-۱۱-۲
۲۸.....	انواع شبیه سازی:	۵-۱۱-۲
۲۹.....	روش شبیه سازی مونت کارلو	۶-۱۱-۲
۳۰.....	تولید اعداد تصادفی	۷-۱۱-۲
۳۱.....	تخمین پارامتری ورودی	۸-۱۱-۲
۳۲.....	تنظیمات برای هم بستگی (ارتباط)	۹-۱۱-۲
۳۲.....	آنالیز آماری	۱۰-۱۱-۲
۳۳.....	تعداد دنباله های مونت کارلو	۱۱-۱۱-۲
۳۴.....	استفاده از توزیع نرمال در خاک	۱۲-۱۱-۲

فصل ۳- روش های طراحی ۳۷

۱-۳.....	مقدمه ۳۸
۲-۳.....	طراحی به روش بار مجاز
۳-۳.....	روش طراحی بر مبنای حد نهایی
۴-۳.....	بدست آوردن ضرایب بار و مقاومت در روش طراحی بر مبنای ریسک
۴۷.....	۱-۴-۳ کالیبراسیون براساس روش ASD
۴۸.....	۲-۴-۳ محاسبه ضرایب بار و مقاومت بر مبنای ریسک:

فصل ۴- روشهای طراحی در خاک ۵۲

۱-۴.....	پیشگفتار
۲-۴.....	روش های تحلیل استاتیکی
۵۳.....	۱-۲-۴ تعیین از خصوصیات خاک
۵۶.....	۲-۲-۴ ظرفیت شمع در خاک های چسبنده

۶۷.....	۳-۲-۴- مقایسه روش‌های متفاوت استاتیک
۶۹.....	۳-۴- روش‌های تحلیل دینامیکی
۷۲.....	۴-۴- روش‌های تحلیل بار جانبی
۷۲.....	۴-۴-۱- روش Broms

فصل ۵- نتایج تحلیل‌ها ۷۶

۷۷.....	۵-۱- پیشگفتار
۷۸.....	۵-۲- محاسبه ظرفیت باربری شمع در خاک‌های با مقادیر ورودی مشخص ۷۸
۸۸.....	۵-۲-۱- روش‌های استاتیکی
۹۰.....	۵-۲-۲- دینامیکی
۹۴.....	۵-۲-۳- نتایج تحلیل شمع تحت اثر نیروی جانبی
۹۵.....	۵-۲-۴- توزیع نتایج خروجی
۹۵.....	۵-۲-۵- تاثیر تغییر درصد رطوبت خاک بر روی ظرفیت باربری شمع
۹۹.....	۵-۳- محاسبه ظرفیت باربری شمع در خاک‌های با مقادیر ورودی متغیر ۹۹
۱۰۰.....	۵-۳-۱- تاثیر تغییر ضریب تغییرات پارامترهای ورودی در ظرفیت باربری شمع ۹۹
۱۱۴.....	۵-۳-۲- خاک‌های تک لایه
۱۱۴.....	۵-۴- طراحی بر مبنای ریسک
۱۱۶.....	۵-۴-۱- تغییر ضریب اطمینان
۱۱۹.....	۵-۴-۲- مقایسه روش‌های طراحی
۱۱۹.....	۵-۴-۳- طراحی بر مبنای ریسک برای خاک‌های ریزدانه و با دو روش آلفا و لاندا

فصل ۶- نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۱۲۷

۱۲۸.....	۶-۱- نتیجه‌گیری
۱۳۰.....	۶-۲- پیشنهادات

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۲- منابع عدم قطعیت در خصوصیات خاک [۲]..... ۹
- شکل ۲-۲- توضیحات طرحی از متغیر تصادفی- هر المان نمونه‌ای از فضای Ω است [۲]..... ۱۲
- شکل ۳-۲- توزیع یکنواخت: (a) تابع توزیع تجمعی (b) تابع چگالی احتمال [۱۸]..... ۱۵
- شکل ۴-۲- توزیع نرمال: (a) تابع احتمال چگالی (b) تابع توزیع تجمعی [۱۴]..... ۱۶
- شکل ۵-۲- تاثیر تغییر انحراف استاندارد بر نمودار چگالی در توزیع نرمال [۱۸]..... ۱۶
- شکل ۶-۲- توزیع لگاریتمی: تابع چگالی احتمال (a) $\ln(x)$, تابع چگالی احتمال (b) x [۱۴]..... ۱۷
- شکل ۷-۲- توزیع نمایی: (a) تابع چگالی احتمال (b) تابع توزیع تجمعی [۱۸]..... ۱۸
- شکل ۸-۲- توزیع نمایی: (a) تابع چگالی احتمال (b) تابع توزیع تجمعی [۱۴]..... ۱۹
- شکل ۹-۲- متغیرهای درونی خاک [۲۷]..... ۲۲
- شکل ۱۰-۲- تعداد آزمون‌های مورد نیاز مونت کارلو براساس ضریب اطمینان و تعداد متغیرها [۲]..... ۳۴
- شکل ۱۱-۲- انواع توزیع نرمال با بردار میانگین و کواریانس‌های مختلف [۲۰، ۴۲]..... ۳۵
- شکل ۱-۳- ضریب اطمینان در روش ASD..... ۳۹
- شکل ۲-۳- ضریب اطمینان در روش LRFD..... ۴۰
- شکل ۳-۳- نمودار نمونه توزیع بار و مقاومت در طراحی سازه..... ۴۱
- شکل ۴-۳- توزیع بار و مقاومت با مقادیر میانگین ثابت..... ۴۲
- شکل ۵-۳- نمودار مشخصه تعریف شاخص اطمینان β ۴۲
- شکل ۶-۳- نمودار خسارت وارده براساس مقدار احتمال خرابی..... ۴۴
- شکل ۷-۳- تابع چگالی احتمال برای مقاومت و بار که بصورت نرمال توزیع شده‌اند..... ۴۵
- شکل ۱-۴- مقادیر اندازه‌گیری شده α با استفاده از تحلیل برگشتی از آزمایش‌های بار استاتیک مقایسه داده شده است با چندین توابع پیشنهادی برای (from Coduto, ۲۰۰۱) α [۲۶]..... ۵۹
- شکل ۲-۴- قدار گیرایی برای شمع در خاک‌های چسبنده (Tomlinson, ۱۹۷۹) [۲۹]..... ۶۱
- شکل ۳-۴- ضریب گیرایی برای شمع‌های کوبشی در خاک‌های رسی (Tomlinson, ۱۹۸۰) [۲۹]..... ۶۲
- شکل ۴-۴- ضریب β در برابر انواع خاک با استفاده از زاویه (Fellenius, ۱۹۹۱) ϕ' [۸]..... ۶۳
- شکل ۵-۴- ضریب N_t در برابر انواع خاک با استفاده از زاویه (Fellenius, ۱۹۹۱) ϕ' [۸]..... ۶۳
- شکل ۶-۴- منحنی ضریب λ براساس طول نفوذ شمع (Vijayvergiya and Focht, ۱۹۷۲) [۸]..... ۶۵
- شکل ۷-۴- مقاومت جانبی شمع در خاک‌های چسبنده روش Broms..... ۷۳
- شکل ۸-۴- مقاومت جانبی شمع در خاک‌های غیرچسبنده روش Broms..... ۷۴
- شکل ۱-۵- توزیع فراوانی شمع ۳۰ متری در خاک ریزدانه با روش‌های آلفا و لاندن..... ۷۹
- شکل ۲-۵- نمودار تنش مجاز شمع و استحکام برشی زهکشی نشده برای خاک ریزدانه محاسبه شده بوسیله دو روش آلفا و لاندن ۸۰..... ۸۰

- شکل ۳-۵ توزیع فراوانی ظرفیت باربری شمع ۳۰ متری در خاک رس نوع ۱ با روش‌های آلفا و لاند ۸۱
- شکل ۴-۵ نمودار تنش مجاز شمع و استحکام برشی زهکشی نشده برای خاک رس نوع ۱ محاسبه شده بوسیله دو روش آلفا و لاند ۸۲
- شکل ۵-۵ توزیع فراوانی ظرفیت باربری مجاز شمع ۳۰ متر در خاک رس نوع ۲ با روش‌های آلفا و لاند ۸۲
- شکل ۶-۵ توزیع فراوانی ظرفیت باربری مجاز شمع ۳۰ متری در انواع خاک‌های ماسه‌ای با بتا ۸۴
- شکل ۷-۵ توزیع فراوانی ظرفیت باربری شمع ۳۰ متری در انواع خاک رس سیلتی با روش‌های بتا و آلفا ۸۵
- شکل ۸-۵ توزیع فراوانی ظرفیت باربری شمع ۳۰ متری در خاک ماسه‌ای با استفاده از نتایج مستقیم آزمایش SPT و داده‌های تبدیل یافته ۸۷
- شکل ۹-۵ نمودار تنش مجاز شمع و نتایج تبدیل یافته SPT برای خاک ماسه‌ای روش بتا ۸۷
- شکل ۱۰-۵ مقادیر فراوانی نسبی ظرفیت باربری مجاز شمع با روش‌های دینامیکی ۸۹
- شکل ۱۱-۵ مقایسه فراوانی تجمعی ظرفیت باربری مجاز شمع با روش‌های دینامیکی ۹۰
- شکل ۱۲-۵ تاثیر تغییر پارامترهای طراحی بر نتایج مقاومت شمع در خاک ماسه‌ای متراکم ۹۱
- شکل ۱۳-۵ تاثیر تغییر زاویه اصطکاک بر روی ظرفیت باربری جانبی شمع در خاک‌های غیرچسبنده ۹۲
- شکل ۱۴-۵ تاثیر تغییر پارامترهای طراحی بر روی ظرفیت باربری جانبی شمع در خاک ریزدانه ۹۳
- شکل ۱۵-۵ تاثیر تغییر استحکام برشی زهکشی نشده بر روی ظرفیت باربری جانبی شمع در خاک‌های چسبنده ۹۳
- شکل ۱۶-۵ تاثیر تغییر رطوبت بر روی ظرفیت باربری شمع در انواع ماسه‌ها ۹۶
- شکل ۱۷-۵ ظرفیت باربری شمع در خاک رس خشک و مرطوب ۹۷
- شکل ۱۸-۵ تاثیر تغییر رطوبت خاک بر ظرفیت باربری شمع در خاک ریزدانه روش آلفا ۹۸
- شکل ۱۹-۵ تاثیر تغییر رطوبت خاک بر ظرفیت باربری شمع در خاک ریزدانه روش لاند ۹۹
- شکل ۲۰-۵ نمودار فراوانی تجمعی ظرفیت باربری شمع در خاک ریزدانه با کواریانس‌های متفاوت روش آلفا ۱۰۰
- شکل ۲۱-۵ نمودار فراوانی تجمعی ظرفیت باربری مجاز شمع در خاک رس نوع ۱ با کواریانس‌های متفاوت روش آلفا ۱۰۲
- شکل ۲۲-۵ نمودار فراوانی تجمعی ظرفیت باربری شمع در خاک رس نوع ۲ با کواریانس‌های متفاوت روش آلفا ۱۰۲
- شکل ۲۳-۵ تاثیر تغییر همزمان دو متغیر وزن مخصوص و زاویه اصطکاک داخلی بر روی فراوانی تجمعی ظرفیت باربری شمع خاک ماسه‌ای شل روش بتا ۱۰۳
- شکل ۲۴-۵ تاثیر تغییر همزمان دو متغیر وزن مخصوص و زاویه اصطکاک داخلی بر روی فراوانی تجمعی ظرفیت باربری شمع خاک ماسه‌ای متراکم روش بتا ۱۰۴
- شکل ۲۵-۵ توزیع ظرفیت باربری مجاز شمع در خاک چند لایه چسبنده با طول لایه‌های مختلف روش آلفا ۱۰۵
- شکل ۲۶-۵ توزیع ظرفیت باربری مجاز شمع در خاک چند لایه غیرچسبنده شماره ۱ با مقدار ضرایب تغییرات مختلف روش بتا ۱۰۶
- شکل ۲۷-۵ توزیع ظرفیت باربری مجاز شمع در خاک چند لایه غیرچسبنده شماره ۲ با مقدار ضرایب تغییرات مختلف روش بتا ۱۰۷

- شکل ۲۸-۵ توزیع فراوانی نسبی ظرفیت باربری مجاز شمع در خاک چند لایه چسبنده با مقدار ضریب تغییرات‌های مختلف روش
لاندا ۱۰۸
- شکل ۲۹-۵ تاثیر تغییر همزمان دو متغیر وزن مخصوص و استحکام برشی زهکشی نشده بر روی فراوانی تجمعی ظرفیت باربری
شمع خاک چند لایه روش لاندا ۱۰۹
- شکل ۳۰-۵ تاثیر تغییر همزمان سه متغیر وزن مخصوص، زاویه اصطکاک داخلی و استحکام برشی زهکشی نشده بر روی فراوانی
نسبی ظرفیت باربری شمع خاک چند لایه روش بتا و آلفا ۱۱۰
- شکل ۳۱-۵ تاثیر تغییر همزمان سه متغیر وزن مخصوص، زاویه اصطکاک داخلی و استحکام برشی زهکشی نشده بر روی فراوانی
تجمعی ظرفیت باربری شمع خاک چند لایه روش بتا و آلفا ۱۱۰
- شکل ۳۲-۵ ظرفیت باربری شمع کوبیده شده در خاک ریزدانه با و بدون ضریب اطمینان محاسبه شده بوسیله روش‌های آلفا و
لاندا ۱۱۵
- شکل ۳۳-۵ مقاومت شمع کوبیده شده در خاک رس نوع ۱ با و بدون ضریب اطمینان محاسبه شده بوسیله روش‌های آلفا و لاندا
..... ۱۱۶
- شکل ۳۴-۵ نمودار مقایسه مقاومت شمع ۳۰ متری در ماسه محاسبه شده با روش بتا و تحت مبناهای مختلف ۱۱۸
- شکل ۳۵-۵ نمودار مقایسه مقاومت شمع ۳۰ متری در خاک ریزدانه محاسبه شده با روش‌های مختلف در روش لاندا ۱۲۰

فهرست جداول

جدول ۱-۲- جدول خصوصیات توابع توزیع [۲].....	۱۹
جدول ۲-۲- مقادیر COV برای متغیرهای داخلی خاک [۲۶].....	۲۳
جدول ۳-۲- مقادیر COV متغیرهای داخلی خاک برای پارامترهای مقاومت [۲۶].....	۲۴
جدول ۴-۲- مقادیر COV متغیرهای داخلی خاک برای مقدار SPT [۲].....	۲۵
جدول ۱-۳- رابطه بین شاخص اطمینان و احتمال خرابی.....	۴۳
جدول ۲-۳- رابطه بین شاخص اطمینان و احتمال خرابی [۴۸].....	۴۹
جدول ۳-۳- مقادیر ضریب خطا و ضریب تغییرات بارهای مرده و زنده.....	۵۰
جدول ۴-۳- مقادیر شاخص اطمینان برای طراحی پی‌های مختلف [۴۸].....	۵۰
جدول ۵-۳- مقادیر ضرایب بار در طراحی پی عمیق.....	۵۱
جدول ۶-۳- مقدار ضرایب مقاومت برای طراحی بر مبنای ریسک.....	۵۱
جدول ۱-۴- روابط بین مقادیر SPT-N و پارامترهای متفاوت خاک [۲۴].....	۵۵
جدول ۲-۴- روابطی Dr و ϕ و γ با مقادیر اصلاح شده N (after Bowles, ۱۹۷۷) [۲۱].....	۵۵
جدول ۳-۴- تغییرات Su و γ با نسبت SPT اصلاح نشده (after Bowles, ۱۹۷۷) [۲۱].....	۵۶
جدول ۴-۴- روابط بین CPT و پارامترهای متفاوت خاک (after Bowles, ۱۹۷۷) [۲۱].....	۵۶
جدول ۵-۴- مقدار ضریب فشار جانبی K^0 برای ماسه.....	۶۴
جدول ۶-۴- رابطه بین ضریب اصطکاک جانبی و KS.....	۶۴
جدول ۷-۴- مقدار زاویه اصطکاک برای شمع‌های مختلف در ماسه.....	۶۴
جدول ۸-۴- مقایسه روش‌های تحلیل استاتیکی برای ارزیابی ظرفیت شمع [۸].....	۶۷
جدول ۹-۴- روش‌های تحلیل دینامیکی.....	۷۱
جدول ۱-۵- مقایسه داده‌های ورودی و نتایج بدست آمده برای شمع کوبیده شده در خاک‌های چسبنده.....	۸۳
جدول ۲-۵- مقایسه داده‌های ورودی و نتایج بدست آمده برای شمع کوبیده شده در خاک‌های غیرچسبنده.....	۸۴
جدول ۳-۵- مشخصات چکش کوبش.....	۸۸
جدول ۴-۵- نتایج خروجی ظرفیت باربری شمع با روش‌های مختلف دینامیکی.....	۹۰
جدول ۵-۵- مقایسه توزیع داده‌های ورودی با توزیع داده‌های خروجی برای روش‌های مختلف مورد بررسی.....	۹۴
جدول ۶-۵- تاثیر تغییر ضریب تغییرات استحکام برشی بر روی ضریب تغییرات ظرفیت باربری شمع با روش آلفا در خاک چسبنده.....	۱۱۱
جدول ۷-۵- تاثیر تغییر همزمان ضرایب تغییرات وزن مخصوص و زاویه اصطکاک داخلی بر روی ضریب تغییرات ظرفیت باربری شمع در خاک ماسه ای روش بتا.....	۱۱۲

جدول ۸-۵	تاثیر تغییر همزمان ضریب تغییرات وزن مخصوص و زاویه اصطکاک داخلی بر روی ضریب تغییرات ظرفیت باربری شمع در خاک لایه‌ای روش بتا	۱۱۳
جدول ۹-۵	تاثیر تغییر همزمان ضریب تغییرات وزن مخصوص و زاویه اصطکاک داخلی بر روی ضریب تغییرات ظرفیت باربری شمع در خاک لایه‌ای روش بتا	۱۱۴
جدول ۱۰-۵	مقادیر ضریب تغییرات ظرفیت باربری شمع در خاک‌های استفاده شده در بخش ۵-۲	۱۱۷
جدول ۱۱-۵	مقایسه نتایج حاصل از طراحی شمع در ماسه به روش‌های مختلف با رابطه بتا	۱۱۷
جدول ۱۲-۵	تاثیر تغییر ضریب بتا بر روی مقدار ضریب مقاومت و میانگین مقاومت شمع در خاک ماسه‌ای و تحت رابطه بتا	۱۱۸
جدول ۱۳-۵	مقایسه نتایج حاصل از طراحی به روش‌های مختلف برای خاک ریزدانه و با رابطه لاندا	۱۱۹
جدول ۱۴-۵	تاثیر تغییر شاخص اطمینان بر روی مقدار ضریب مقاومت و میانگین مقاومت شمع در خاک ریز دانه و با روش لاندا	۱۲۱
جدول ۱۵-۵	مقایسه نتایج حاصل از طراحی به روش‌های مختلف برای خاک ریزدانه و با رابطه آلفا	۱۲۱
جدول ۱۶-۵	تاثیر تغییر شاخص اطمینان بر روی مقدار ضریب مقاومت و میانگین مقاومت شمع در خاک ریزدانه و با رابطه آلفا	۱۲۲
جدول ۱۷-۵	مقایسه نتایج حاصل از طراحی به روش‌های مختلف برای خاک رس نوع ۱ و با رابطه آلفا	۱۲۳
جدول ۱۸-۵	تاثیر تغییر شاخص اطمینان بر روی مقدار ضریب مقاومت و میانگین مقاومت شمع در خاک رس نوع ۱ و با رابطه آلفا	۱۲۳
جدول ۱۹-۵	مقایسه نتایج حاصل از طراحی به روش‌های مختلف برای خاک رس نوع ۱ و با رابطه لاندا	۱۲۴
جدول ۲۰-۵	تاثیر تغییر شاخص اطمینان بر روی مقدار ضریب مقاومت و میانگین مقاومت شمع در خاک رس نوع ۱ و با رابطه لاندا	۱۲۴
جدول ۲۱-۵	مقایسه نتایج حاصل از طراحی به روش‌های مختلف برای خاک رس نوع ۲ و با رابطه آلفا	۱۲۵
جدول ۲۲-۵	تاثیر تغییر شاخص اطمینان بر روی مقدار ضریب مقاومت و میانگین مقاومت شمع در خاک رس نوع ۲ و تحت رابطه آلفا	۱۲۵
جدول ۲۳-۵	مقایسه نتایج حاصل از طراحی به روش‌های مختلف برای خاک رس نوع ۲ و با رابطه لاندا	۱۲۶
جدول ۲۴-۵	تاثیر تغییر شاخص اطمینان بر روی مقدار ضریب مقاومت و میانگین مقاومت شمع در خاک رس نوع ۲ و تحت رابطه لاندا	۱۲۶

فصل ۱ – مقدمه و کلیات

عدم قطعیت به عنوان یک عبارت مصطلح در میان مردم دارای مفهوم مشخصی می باشد که ممکن است این مفهوم در تقاطع با علوم مختلف تعاریف متفاوتی را شامل گردد. در هر علم و هر حوزه عدم قطعیت همان ابهامات موجود در آن فضا را در بر می گیرد و لذا تعاریف دچار تنوع می گردند. اما عدم قطعیت به عنوان یک مفهوم عمومی اصطلاحی است که عدم اطمینان انسان را در مورد برخی اشخاص، اشیا و یا اطلاعات منعکس می نماید، و بازه باز میان اطمینان کامل و عدم اطمینان محض را در بر می گیرد.

عدم قطعیت را می توان به عنوان خاصیتی از سیستم در نظر گرفت که توصیف کننده نقص دانش بشر درباره یک سیستم و وضعیت پیشرفت آن، می باشد. مطرح نمودن مبحث عدم قطعیت را برای اولین بار، با عنوان احتمال، به ارسطو نسبت داده اند. برخی از اصول ریاضی مرتبط با عدم قطعیت، تا قرن بیستم بر اساس تعبیر تناوب احتمال توسط پاسکال، فرما، برنولی و لاپلاس تشریح شد. تئوری احتمال جدید، بر اساس تعریف کلموگوروف ارائه گردید. وضعیتی که عدم قطعیت در تصمیم گیری به وجود می آورد، باعث ایجاد انحرافات مثبت (شانس) و منفی (تهدید) از نتایج مورد انتظار می شود. [۴۳] عدم قطعیت می تواند توصیف کننده کیفیت دانش انسان در رابطه با یک مورد خاص باشد. در این میان ممکن است درجه بالایی از ابهام در رابطه با این مورد خاص وجود داشته باشد، یا این که متقابلاً ابهام موجود ناچیز و قابل چشم پوشی باشد. باید توجه نمود که میزان ابهام به طور مستقیم به محیط موجود بستگی دارد و لذا می توان گفت عدم قطعیت عبارت است از عدم اطمینان در رابطه با یک مساله خاص در محیط پیرامون آن مساله. تاکید بر وجود واژه محیط به این دلیل است که در حقیقت این محیط است که میزان عدم اطمینان را تعیین می کند. اگر عمل تصمیم گیری به عنوان یک سیستم در نظر گرفته شود که هدف آن تعیین بهترین گزینه و اجزای آن شامل تصمیم گیران، گزینه های موجود و محدودیت های مستقیم بوده و محیط سیستم، طبیعت (کلیه ی نیروهای خارجی) باشد، آن گاه این محیط، سیستم است که تعیین کننده عدم قطعیت می باشد، به طوری که هرچه محیط گسترده تر و شناخته شده تر باشد، تاثیرات محیطی نمایان تر بوده و عدم قطعیت کاهش می یابد.

در مهندسی ژئوتکنیک دسترسی به محل مورد بحث و بررسی دقیق تقریباً غیرممکن است بنابراین آنچه از متغیرهای خاک بدست می آید نتیجه آزمایشات مختلف در چند نقطه است که آگاهی دقیقی از محل مورد نظر ارائه نمی دهد. نتیجه چنین تحلیلی بوجود آمدن عدم قطعیت فراوانی است که در تمام داده های مهندسی خاک غیر قابل اجتناب است. هدف از مشخص کردن داده های خاک استفاده از آنها در طراحی و تحلیل انواع پی ها، سدها و مقاومت خاک در مقابله با نیروهای عمودی و افقی وارد بر آن است.

اهمیت برخی از این بررسی‌ها تا حدی است که تغییرات اندک در خاصیت باعث بوجود آمدن مشکلات در زمان بهره‌برداری است. شمع‌ها از پی‌های عمیقی هستند که در طراحی آن‌ها تعیین مقاومت و ابعاد با استفاده از نتایج بررسی خاک تعیین می‌شود در واقع هدف از طراحی شمع، تعیین ابعاد و عمق نفوذ شمع در بستر خاک می‌باشد تا بتواند بار وارد بر آن را تحمل کند. در استفاده از روابط تئوریک و کلاسیک، برای تعیین نتایج بررسی‌ها استفاده از متغیرهای مختلف خاک نظیر زاویه اصطکاک داخلی، استحکام برشی زهکشی نشده و غیره اجتناب‌ناپذیر است که اغلب این داده‌ها با کمک آزمون‌های برجا و آزمایشگاهی تعیین می‌شوند که مطمئناً عوامل مختلفی در ایجاد خطا در آنها نقش اساسی دارند [۸].

مهمترین خصوصیات مهندسی که در حال حاضر برای طراحی شمع استفاده می‌شوند عبارتند از مقاومت برشی زهکشی‌نشده، زاویه اصطکاک داخلی و مقدار نفوذ در مقابل یک ضربه. (باقی خواص خاک به طور مستقیم و یا غیر مستقیم بر روی این خصوصیات تاثیر می‌گذارند) برخی از این خصوصیات را می‌توان به خوبی با استفاده از آزمون‌های آزمایشگاهی بر روی نمونه‌های دست نخورده تخمین زد که با دشواری کمی می‌توان آنها را تهیه کرد. به دست آوردن نمونه واقعاً دست نخورده خاک تقریباً غیر ممکن است، به همین دلیل استفاده عمومی از اصطلاح دست نخورده به این معنی است که برای تهیه نمونه دقت شده است که حداقل دست‌خوردگی در ساختار خاک موجود ایجاد شود. با این توضیح، کیفیت نمونه‌های دست نخورده در میان آزمایشگاه‌های خاک متفاوت است. در زیر عواملی که سبب دشواری تهیه نمونه دست نخورده می‌شوند، فهرست می‌گردد:

- ۱) همیشه فشارهای محدود کننده درجا از روی نمونه برداشته می‌شود و این به انبساط نامشخص منجر می‌گردد. در جداره‌های گمانه انبساط جانبی روی می‌دهد، بنابراین آزمایش درجا با استفاده از قطر چاله به عنوان مرجع، شامل مقدار نامشخصی دست‌خوردگی است. به همین دلیل است که تعیین K بوسیله آزمایشگاه‌های صحرایی این قدر دشوار است.
- ۲) نمونه‌هایی که به جز از گودال‌های آزمایشگاه به دست می‌آیند، در اثر جابجایی حجمی لوله یا دیگر وسایل نمونه‌گیری دچار دست‌خوردگی می‌شوند. وجود شن، دست‌خوردگی نمونه را به مقدار زیادی افزایش می‌دهد.
- ۳) اصطکاک نمونه با جداره‌های وسیله نمونه‌گیری باعث فشردگی نمونه در زمان نمونه‌گیری می‌شود. اکثر لوله‌های نمونه‌گیری حالت سنبه‌ای دارند، به طوری که لبه برش تا حدودی کوچکتر از قطر داخلی است تا بدین ترتیب اصطکاک جداره کاهش پیدا کند.
- ۴) بسته به روش نمونه‌گیری و وجود یا عدم وجود آب در زمین یا گمانه، تغییر نامشخصی در میزان رطوبت نمونه روی می‌دهد.
- ۵) افت فشار ایستایی می‌تواند به ایجاد فضاهای خالی از حباب‌های گاز در نمونه منجر گردد.

۶) جابجایی و حمل نمونه از محل به آزمایشگاه و انتقال نمونه از وسیله نمونه‌گیری به دستگاه آزمایش، کمابیش باعث دست‌خوردگی نمونه می‌شود.

۷) مهارت یا آگاهی کارکنان حفاری، تکنسین‌های آزمایشگاهی و مهندس ناظر ممکن است ضعیف باشد.

در روزهای بسیار گرم یا سرد، در صورت عدم حفاظت از نمونه‌ها در محل ممکن است تبخیر یا انجماد صورت گیرد. به علاوه توانایی کارگران نیز ممکن است در دماهای بسیار بالا یا پایین کاهش یابد [۱]. علاوه بر آنچه در بالا اشاره شد مقدار پارامترهای خاک از نقطه‌ای به نقطه دیگر می‌تواند نتایج متفاوت داشته باشد.

مقدار نفوذ شمع مورد آزمایش در اثر هر ضربه نیز بسیار متأثر از شرایط خاک است و تغییر در آن در تعیین مقاومت بسیار مؤثر است به این دلیل از چندین شمع در محل‌های مختلف و در طول لایه‌های مختلف برای بدست آوردن بیشترین اطلاعات استفاده می‌شود.

۱-۲- ضرورت تحقیق

همانطور که در اغلب کتاب‌های مهندسی پی مشاهده شده است بیشتر پارامترهای خاک از قبیل زاویه اصطکاک داخلی، چسبندگی، مقاومت برشی و غیره از نتایج حاصل از آزمایشات میدانی و درجا و یا نمونه‌های برداشت شده از سایت بدست می‌آید. در حال حاضر دو آزمایش بسیار مهم که بیشتر داده‌های خاک از آنها استخراج می‌شوند آزمایشات CPT و SPT می‌باشند [۱۵] از بین این آزمایشات صحرایی بیشتر داده‌های اولیه که در طراحی یک شمع از آن استفاده شده است آزمایش SPT می‌باشد، آزمایش نفوذ استاندارد در حدود سال ۱۹۲۷ به وجود آمد و امروزه متداول‌ترین و اقتصادی‌ترین روش برای به دست آوردن اطلاعات زیر سطحی (در خشکی و ساحل) می‌باشد. تخمین زده می‌شود که ۸۵ تا ۹۰ درصد طراحی پی‌های معمول در آمریکای شمالی و جنوبی با آزمایش نفوذ استاندارد انجام می‌شود. همچنین از این آزمایش به وسعت در دیگر مناطق جغرافیایی نیز استفاده می‌شود. علارغم اینکه این روش از سال ۱۹۵۸ تحت عنوان ASTM D۱۵۸۶ استاندارد شده و تا به امروز به صورت دوره‌ای مورد تجدید نظر قرار گرفته است اما هنوز هم نتایج بدست آمده از آن به صورت یک بازه می‌باشد و بدست آوردن اطلاعات بسیار دقیق از آن به علت نحوه آزمایش تقریباً غیرممکن است. بنابراین استفاده از نتایج حاصل از آن همواره با عدم قطعیت روبرو می‌گردد. این عدم قطعیت در برخی نقاط که نیاز به دقت بالا در بدست آوردن نتایج دقیق است، ما را دچار مشکل می‌کند. بنابراین ارائه روش‌های مختلف آماری که نتایج خروجی را در یک بازه مناسب توزیع و احتمال وقوع هر خروجی را به ما نشان می‌دهد ضروری به نظر می‌رسد [۱۰، ۱].

۳-۱- سابقه تحقیق

بررسی عدم قطعیت در طراحی سازه‌هایی که داده‌های ورودی آنها را نمی‌توان به طور دقیق تعیین نمود در دو دهه اخیر رشد چشمگیری داشته است [۵]. رشد مقالات و کارهای تحقیقاتی که در این زمینه دستاوردهای مثبتی انجام داده‌اند و کتاب‌هایی که در این زمینه نگارش شده‌اند خود گویای این موضوع می‌باشد. محققین بوسیله بررسی و استفاده همزمان از نتایج دو آزمایش CPT و SPT نشان دادند که نتایج حاصل از آزمایش SPT دارای عدم قطعیت‌هایی است که به سختی می‌توان از آنها اجتناب نمود [۱۶، ۱۷]. علاوه بر این عدم قطعیت‌های ذاتی، به علت جابجایی، نیز امکان بوجود آمدن تغییرات و از دست دادن دقت نیز وجود دارد [۱۵]. تغییرات وزن واحد بوسیله Hammit و همکاران بر روی بیش از ۱۰۰ نمونه مورد بررسی قرار گرفته است. [۱۸] K.C. Foye در سال ۲۰۰۶ در مورد طراحی پی بر روی خاک ماسه‌ای بوسیله روش LRFD و بررسی عدم قطعیت متغیرها بر قابلیت اطمینان آن آزمایشاتی را انجام داده است. [۱۸] بررسی عدم قطعیت‌های موجود در هر یک از متغیرها که در طراحی پی منفرد مستطیلی، مشخص کردن آزمایش‌های مربوط به هر متغیر و بررسی قابلیت اعتماد با در نظر گرفتن جابجایی و تأثیر روابط موجود بین متغیرها در این تحقیق انجام شده است. در پایان آقای Foye به این نتیجه رسیده است که عدم قطعیت برای هر یک از متغیرهای طراحی بستگی به عدم قطعیت نوع مصالح مورد استفاده و نیز نحوه حمل و نقل آن‌ها دارد. هر چه عدم قطعیت در این دو بالا رود عدم قطعیت ترکیب متغیرها بالا نیز می‌رود. و در پایان یک مدل برای تحلیل سیستماتیک، از منابع عدم قطعیت که در معادله ظرفیت باربری، برای ماسه و رس ارائه داده است [۳].

در سال ۱۹۹۵ دکتر phoon و kulhavy تحقیقات بسیاری بر روی چند نمونه از خاک انجام داده‌اند که در آن گستره توزیع داده‌های بدست آمده از این آزمایش به خوبی نمایش داده شده است در سال‌های بعد Lacasse و Nadim توزیع‌های مناسبی را برای این داده‌ها پیشنهاد داده‌اند. نتایج این تحقیقات را می‌توان در مقالات و کتاب‌های مربوطه بدست آورد [۲].

آقای yu Wang در سال ۲۰۱۱ مطالعه‌ای بر روی قابلیت اعتماد رابطه استفاده شده، برای طراحی شمع حفاری شده با استفاده از روش شبیه‌سازی مونت کارلو داشته است. در این تحقیق سعی شده است تا حد ممکن اصلاحاتی بر روش RBD که اغلب برای این نوع طراحی استفاده می‌شود، صورت گیرد و تا حد ممکن عدم قطعیت‌های موجود در مدل مورد استفاده در این روش شناسایی و کاهش یابد [۶].

در سال‌های اخیر نیز دکتر قاسم‌زاده تحقیقات گسترده‌ای در زمینه بررسی تأثیر عدم قطعیت در پارامترهای روسازی و تونل انجام داده‌اند [۴، ۵].

۴-۱- هدف تحقیق

مهمترین هدف این تحقیق بررسی مدل‌های مورد استفاده در طراحی شمع، تهیه لیستی از پارامترهای ورودی غیرقطعی در طراحی براساس مدل مورد ارزیابی، تهیه تابع احتمال و بررسی مشخصات و تغییرات پارامترهای ورودی در طول طراحی و نیز جداسازی پارامترهای غیرقطعی موجود می‌باشد.

۵-۱- ساختار تحقیق

در فصل دوم این پایان‌نامه به بررسی متون فنی مرتبط با موضوع عدم قطعیت، که عمدتاً شامل بررسی کلی عدم قطعیت، احتمال، معرفی عدم قطعیت در ویژگی‌های خاک و روش‌های شبیه‌سازی پرداخته شده می‌شود. در فصل سوم به انواع روش‌های طراحی سازه و زیر سازه اشاره می‌گردد. فصل چهارم شامل روابط مورد استفاده در طراحی شمع می‌شود. در فصل پنجم نیز به نتیجه‌گیری و در فصل ششم به ارائه پیشنهادات جهت تحقیقات آتی پرداخته می‌شود. در آخر نیز به منابع و مراجع مورد استفاده در پایان‌نامه اشاره می‌شود.

فصل ۲ – عدم قطعیت و

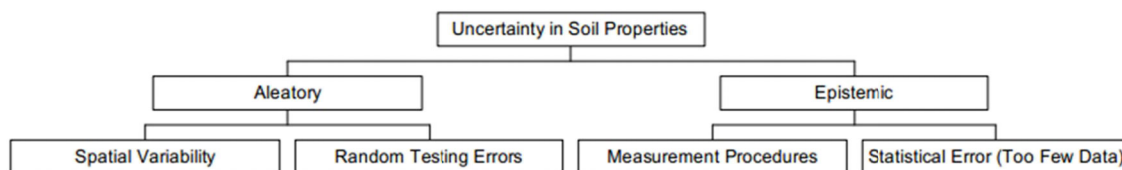
تئوری‌های احتمال

قطعیت مربوط به حالت‌هایی است که در آن حاصل و نتیجه یک رویداد یا مقدار یک پارامتر با احتمال واحد مشخص می‌شود. برعکس، عدم قطعیت زمانی رخ می‌دهد که مجموعه‌ای از مقادیر که در شرایط عادی به شرایط نامعلوم (غیرقطعی) مرتبط می‌شوند با احتمالات غیرمنفی برای حداقل دو مقدار ممکن متفاوت رخ دهند. ساده‌ترین مثال برای شرایط غیرقطعی عبارتست از پرتاب یک سکه یا غلتاندن یک مهره و یا تاس می‌باشد. بررسی عدم قطعیت‌های یک رویکرد نوظهور (در حال ظهور) است که در آن سعی می‌شود با استفاده از تکنیک‌های تخمین و شبیه‌سازی و با در نظر گرفتن دامنه و قابلیت اطمینان اطلاعات موجود نسبت به تعیین بازه‌ای که اطلاعات مورد نظر در آن قرار می‌گیرند اقدام نمود. با وجود اینکه این روش هنوز بطور گسترده در کارهای مهندسی خاک و پی بکار نرفته است اما می‌تواند بینش جدیدی در زمینه اطلاعات موجود برای سیستم‌های خاک و پی ناهمگن ارائه نماید، همانگونه که می‌دانیم عدم قطعیت بر بسیاری از جنبه‌های مهندسی زلزله، خاک و پی، بویژه در تعیین مشخصه‌های خاک سایه افکنده است. در حالت کلی عدم قطعیت‌هایی که در مسائل مهندسی بوجود می‌آید به طور عمده به دو گروه تقسیم می‌شوند:

- ۱- عدم قطعیت‌هایی که ناشی از مشکلات و ضعف‌های موجود در نحوه و نوع اندازه‌گیری‌ها و بدست آوردن مقادیر دقیق می‌باشد. ۲- عدم قطعیت‌هایی که ناشی از ضعف در مدل‌ها، معادلات و سیستم‌های مورد استفاده در تحلیل و طراحی است. عدم قطعیت‌های دیگری نیز می‌توانند در نتیجه تغییرپذیری فضایی باشند که مورد بررسی‌های خاصی قرار نمی‌گیرند. عدم قطعیت در ویژگی‌های خاک در مهندسی خاک و پی می‌تواند رسماً به دو گروه ۱- عدم قطعیت شانسی یا ذاتی^۱ ۲- عدم قطعیت شناختی یا اتفاقی^۲ تقسیم شوند. عدم قطعیت اتفاقی، اتفاقی بودن طبیعی یک ویژگی را نشان می‌دهد و تابعی از تغییرپذیری فضایی آن ویژگی می‌باشد. تشخیص این تغییرپذیری فضایی مهم است چرا که می‌تواند به تشخیص دادن فاصله‌های بین مقداری که رخ داده است در مقایسه با مقیاس اطلاعات مورد نظر کمک کند. عدم قطعیت شناختی در اثر فقدان اطلاعات و کاستی‌های موجود در اندازه‌گیری و یا محاسبه بوجود می‌آید. این نوع عدم قطعیت، شامل خطای سیستماتیک ناشی از عواملی چون روش اندازه‌گیری ویژگی مورد نیاز، کمیت اطلاعات موجود و مدل‌سازی خطاها می‌باشد. شکل ۱-۲ انواع عدم قطعیت‌ها را در ویژگی‌های ژئوتکنیکی خاک شرح می‌دهد. خطای انسانی بعنوان سومین منبع عدم قطعیت در نظر گرفته می‌شود ولی در این بررسی‌ها وارد نمی‌شود زیرا مجزا کردن آن برای شرایط مورد نظر و در برخی موارد غیرممکن است و در ضمن بسیار امید است که

^۱ Aleatory uncertainty^۲ Epistemic uncertainty

اثرات آن هنگام گردآوری و تلفیق آمارها و اطلاعات مربوط به عدم قطعیت شانس یا اتفاقی در نظر گرفته می‌شوند [۲].



شکل ۲-۱- منابع عدم قطعیت در خصوصیات خاک [۲].

بعنوان مثال، نمونه‌گیری SPT را در درون یک شن و ماسه سست را در نظر بگیرید. منابع عدم قطعیت اتفاقی در مقاومت SPT اندازه‌گیری شده شامل تغییرپذیری طبیعی رسوب خاک و خطاهای آزمایش تصادفی مانند آنهایی که در اثر عیوب تکی خاک بوجود می‌آیند، می‌باشد [۱۳، ۱۵].

منابع عدم قطعیت شناختی می‌تواند شامل تجهیزات غیر استاندارد (مانند اندازه نمونه‌گیر، نمونه‌های تغییر شکل یافته، طول میله، سیستم افتادن چکش، وزن چکش و غیره و عدم مطابقت آنها با استاندارد SPT) و اطلاعات ناکافی برای تهیه آمارهای مناسب مانند یک سوراخ درون یک سایت بزرگ باشد. یادآوری این نکته مهم می‌باشد که عدم قطعیت اتفاقی را معمولاً با افزایش اطلاعات از سایت مورد نظر و یا بهبود روش‌های اندازه‌گیری، می‌توان کاهش داد. عدم قطعیت ذاتی به موجودیت محیط باز می‌گردد و نمی‌توان آنرا با اطلاعات اضافی کاهش داد [۲۲، ۲۵].

۲-۲- تئوری احتمال

فهم پایه و اساس برخی از جنبه‌های احتمال، برای درک بهتر کمیت و ماهیت عدم قطعیت در ویژگی‌های ژئوتکنیکی خاک لازم و ضروری می‌باشد. این مفاهیم عبارتند از: جامعه آماری، فضای احتمال، توزیع‌ها و توابع احتمالاتی می‌باشد. مرور مختصری از مفاهیم پایه و اصطلاحات احتمال در قسمت‌های بعدی ارائه خواهد شد. توضیحات بیشتر و مفصل‌تر در بسیاری از کتاب‌های موجود در زمینه احتمالات مانند Benjamin & Cornell (۱۹۷۰) و Beaver & Mendenhall (۱۹۹۱) می‌توان بوفور یافت [۱۸، ۱۴].

۲-۳- جامعه آماری

به مجموعه‌ای از اشیا و انسان‌هایی که دارای حداقل یک ویژگی مشترک هستند گفته می‌شود ویژگی‌های مشترک یک جامعه آماری از عضوی به عضو دیگر تغییر می‌کند که آنها را متغیر می‌نامند.

متغیرها معمولاً به دو نوع تقسیم می‌شوند: متغیر کمی که با اعداد و ارقام قابل اندازه‌گیری هستند و متغیر کیفی که با اعداد قابل اندازه‌گیری نیستند مانند گروه خونی. متغیر کمی بر دو نوع هستند:

۸) گسسته: متغیرهایی که بین آنها هیچ عددی قابل تصور نمی‌باشد.

۹) پیوسته: متغیرهایی که بین آنها می‌تواند عددی قابل تصور باشد.

تشکیل یک جامعه آماری برای مرتب کردن داده‌های آماری، تهیه جدول و نسبت دادن مقادیر عددی به داده‌های غیر قابل اندازه‌گیری، ارائه توزیع‌های مناسب و استخراج نتایج مورد نظر از آنها انجام می‌شود [۱۴].

۲-۴- فضای احتمال

مفهوم فضای احتمال، بنیان و اساس تئوری احتمال است. فضای احتمال متشکل از موارد زیر می‌باشد.

۱۰) مجموعه‌ای از نتایج (S) که حاوی تمام مولفه‌های تمام مجموعه داده‌های مورد نظر می‌باشد و یا در حالت کلی مجموعه‌ای از تمامی حالات ممکن که از انجام یک آزمایش بدست می‌آید را فضای نمونه می‌نامند.

۱۱) هر زیرمجموعه از مجموعه نتایج را یک پیشامد گویند و با E نمایش داده می‌شود و تعداد زیرمجموعه‌های هر مجموعه نتایج برابر 2^n است که در آن n تعداد اعضای مجموعه اصلی یا همان فضای احتمال می‌باشد.

۱۲) یک دستورالعمل برای محاسبه وقایع که جرم احتمال نامیده می‌شود (تابع چگالی احتمال $p(x)$ یا تابع جرم احتمال $f(x)$). توابع جرم و توابع چگالی در قسمت‌های بعدی توضیح داده خواهند شد.

مجموعه R بعنوان مجموعه تمام اعداد حقیقی تعریف می‌شود. در R و $S = \{x \mid 3 < x < 6\}$ مجموعه تمام x های حقیقی بزرگتر از ۳ و کمتر از ۶ است. عبارت‌های فضای نمونه و مجموعه دارای نتایج یکسان می‌باشند. ذکر این نکته ضروری است که برای اینکه مجموعه‌ها یا وقایع مورد نیاز مفید باشند، باید قابلیت تعیین و تخصیص یک احتمال را داشته باشند. دو نوع کلی از فضاهای احتمال که وجود دارند به شرح زیر می‌باشند:

۱۳) فضای محدود (یا فضای گسسته) که در برگیرنده تعداد محدودی از نمونه‌های ممکن می‌باشد. به عنوان مثال می‌توان از درصد سوراخ‌های حفاری شده که در یک سایت مانند S به یک لایه زغال

سنگ نفوذ کرده است اشاره نمود. اگر N سوراخ حفاری شود، می‌توان با اطمینان گفت که دقیقاً $N+1$ مقدار ممکن برای درصد سوراخ‌های نفوذ کرده به درون لایه ذغال سنگ وجود دارد. در یک فضای محدود، احتمال وقوع یک پیشامد (واقعه)، برابر یا بزرگتر از صفر و مجموع تمام احتمالات وقوع یک پیشامد، برابر با ۱ است [۲۱].

$$p(\vartheta) \geq 0 \text{ for all } \vartheta \in \Omega \text{ and } \sum_{\vartheta \in \Omega} p(\vartheta) = 1. \quad (1-2)$$

۱۴) فضای نامحدود (یا فضای پیوسته) حاوی یک تعداد از نمونه‌های ممکن با مقدار نامعلوم و نامحدود است که از یک بازه پیوسته (مداوم) برداشته می‌شوند. به عنوان مثال از ویژگی‌های ژئوتکنیکی خاک می‌توان، توزیع استحکام برشی در یک لایه از خاک موجود در یک سایت را نام برد. از لحاظ احتمالات، یک فضای احتمال کاملاً پیوسته در R حاوی مجموعه نتایج (S) است که یک بازه f_x (x) بصورت زیر می‌باشد:

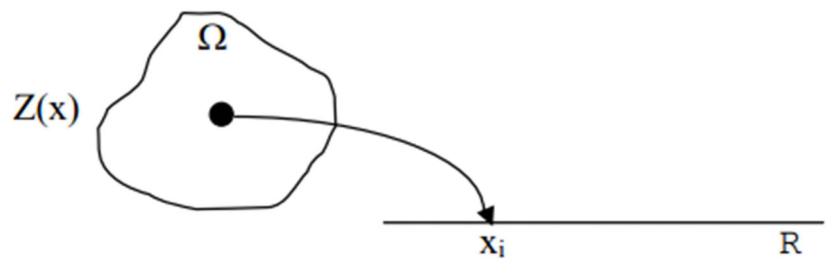
$$f_x(x) \geq 0 \text{ for all } x \in \Omega \text{ and } \int_{\Omega} f_x(x) dx = 1 \quad (2-2)$$

بعبارت دیگر، فضای احتمال پیوسته حاوی یک تعداد نامشخص از نمونه‌های ممکن و نمونه‌هایی که قابل شمارش نیستند می‌باشد (اما از یک بازه پیوسته گرفته می‌شوند). اکثر پدیده‌های ژئوتکنیکی در فضای پیوسته رخ می‌دهند [۲].

۲-۵- متغیرهای تصادفی

یک متغیر تصادفی تابعی از فضای نمونه به زیر مجموعه‌ای ناتهی از اعداد حقیقی است که غالباً با حروف بزرگ نمایش می‌دهیم، می‌توان گفت که محدوده یا دامنه یک متغیر تصادفی، مجموعه نتایج و برد آن همان مجموعه مقادیر ممکن می‌باشد که اغلب از حروف کوچک استفاده می‌کنیم. از لحاظ ریاضی، یک متغیر تصادفی می‌تواند بصورت یک تابع حقیقی $Z(X)$ بیان شود که به یک عددی حقیقی مانند x_i مرتبط است و در آن عدد حقیقی x_i برابر با هر خروجی (نتیجه) یک آزمایش خواهد بود و تابع $\{Z(x) \leq x_i\}$ یک رویداد (واقعه) متناظر برای هر عدد حقیقی x_i است و در نتیجه می‌توان گفت احتمالات $P\{Z(x) = +\infty\}$ و $P\{Z(x) = -\infty\}$ برای متغیر تصادفی، صفر خواهند بود. متغیر تصادفی می‌تواند

بصورت یک تابع که نقش یک فضای نمونه را روی یک خط حقیقی نشان می‌دهد نشان داده شود مانند آنچه در شکل ۲-۲ مشخص شده است.



شکل ۲-۲- توضیحات طرحی از متغیر تصادفی- هر المان نمونه‌ای از فضای Ω است $Z(x)$.

دو نوع متغیر تصادفی وجود دارد: گسسته و پیوسته. ورودی متغیرهای تصادفی گسسته مقادیر موجود در فضای احتمال گسسته هستند بعنوان مثال می‌توان مقاومت SPT یا نوع خاک USCS را نام برد که برای آنها می‌توان تنها یک تعداد محدود از مقادیر مختلف را فرض کنند. متغیرهای تصادفی پیوسته، مقادیر را از فضای احتمال پیوسته می‌گیرند. مثال رایج می‌تواند زاویه اصطکاک، نفوذ پذیری، گرادیان‌های خروجی در لبه خاکریز و زمان وقوع هر رخداد باشد [۲،۲۶].

۲-۶- توابع احتمال

تابع جرم احتمال^۱ و تابع دانسیته احتمال^۲، توابعی هستند که یک احتمال را برای هر بازه از مجموعه نتایج به ترتیب برای متغیرهای تصادفی گسسته و پیوسته اختصاص می‌دهند. PMF و PDF به ترتیب با $P_X(x)$ و $f_X(x)$ نشان داده می‌شوند که در آن X خود متغیر تصادفی است و X مقداری است که متغیر تصادفی می‌تواند اتخاذ کند توابع احتمال دارای ویژگی‌های زیر می‌باشند:

$$۱) \quad P_X(x) \geq 0 \quad (\text{گسسته}) \quad (۳-۲)$$

$$F_X(x) \geq 0 \quad (\text{پیوسته})$$

$$۲) \quad \sum_{x \in \pi} P(x) = 1 \quad (\text{گسسته}) \quad \text{و} \quad \int_{-\infty}^{+\infty} f(x) dx = 1 \quad (\text{پیوسته}) \quad (۴-۲)$$

^۱ Probability Mass Function (PMF)

^۲ Probability Density Function (PDF)