



دانشگاه صنعتی امیرکبیر  
(پلی تکنیک تهران)

دوره چهل و هفت، شماره ۲، پاییز ۱۳۹۴، صفحه ۱۱ تا ۲۲  
Vol. 47, No. 2, Fall 2015, pp. 11- 22



نشریه علمی پژوهشی امیرکبیر - مهندسی عمران و محیط زیست  
Amirkabir Journal of Science & Research- Civil & Environmental Engineering  
(AJSR - CEE)

## تهیه طیف طرح ویژه ساختگاه برای مناطق مرکزی شهر اردبیل، ایران

غلامرضا نوری<sup>۱</sup>، عباس ارجمندنوشهر<sup>۲\*</sup>، رحمت اله نگهدار<sup>۳</sup>

۱- استادیار، گروه مهندسی عمران دانشکده فنی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران  
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی عمران - زلزله، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران  
۳- استادیار، گروه مهندسی عمران - خاک و پی دانشکده فنی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

(دریافت ۱۳۹۰/۱۰/۲۷، پذیرش ۱۳۹۳/۷/۱۹)

### چکیده

تهیه طیف طرح ویژه ساختگاه برای ساختگاه‌هایی متشکل از آبرفت‌ها و همچنین طراحی سازه‌های بلند و سازه‌های خاص ضروری می‌باشد. به دلیل قرارگیری شهر اردبیل و گسترش آن بر روی آبرفت، و همچنین توسعه ساخت سازه‌های بلند و با اهمیت زیاد در مرکز شهر، بررسی و تهیه طیف ویژه ساختگاه لازم است. با توجه به اطلاعات ژئوتکنیکی که از حفر گمانه‌های عمیق تا ۴۰ متر و انجام آزمایش‌های ژئوتکنیکی در نقاط مختلف شهر وجود داشت، در این مقاله ضمن انجام تحلیل خطر احتمالاتی، طیف ویژه ساختگاه برای محدوده مرکزی شهر اردبیل تهیه شده است. براساس توزیع گمانه‌های حفر شده، محدوده مرکزی شهر به ۱۵ ناحیه با مساحت یک کیلومتر مربع تقسیم شده است. با انجام تحلیل خطر احتمالاتی، شتاب مبنای  $0/32g$  برای زمین‌لرزه‌های با دوره بازگشت ۴۷۵ سال بدست آمد که ۶ درصد بیشتر از مقدار پیشنهادی آیین نامه ۲۸۰۰ می‌باشد. همچنین طیف طرح برای هر ناحیه در محدوده مورد نظر از سه روش تحلیل پاسخ زمین، تحلیل آماری زمین‌لرزه‌های مختلف و طیف خطر یکنواخت حاصل از تحلیل خطر احتمالاتی محاسبه گردید. با استفاده از اطلاعات ژئوتکنیکی، نوع خاک در مناطق مختلف مرکز شهر تعیین گردید، که براین اساس، خاک بیشتر مناطق مرکزی شهر دارای طبقه بندی نوع III برحسب تقسیم بندی آیین‌نامه ۲۸۰۰ می‌باشد. مقایسه مقادیر طیفی بدست آمده با طیف طرح استاندارد آیین‌نامه زلزله ۲۸۰۰ نشان داد که در ناحیه شتاب ثابت، طیف طرح ویژه ساختگاه بطور متوسط به اندازه ۲۵ درصد بیشتر از مقادیر طیف طرح استاندارد می‌باشد که باید مورد توجه قرار گیرد.

### کلمات کلیدی

طیف طرح ویژه ساختگاه، تحلیل خطر احتمالاتی، تحلیل پاسخ زمین، طیف خطر یکنواخت، تحلیل آماری.

\* نویسنده مسئول و عهده دار مکاتبات Email: arjmand.abbas@yahoo.com

## ۱ - مقدمه

طیف ویژه ساختگاه برای ساختگاه‌هایی مشتکل از آبرفت‌ها و همچنین طراحی سازه‌های بلند و سازه‌های خاص مورد نیاز می‌باشد. از نظر ژئومورفولوژی دشت اردبیل توسط رسوبات آبرفتی از جنس سیلت و رس پوشیده شده است. بنابراین توسعه ساخت سازه‌های بلند مسکونی و بخصوص تجاری و اداری در مرکز شهر اردبیل، بررسی و تهیه طیف ویژه ساختگاه را الزام می‌دارد.

بطور کلی دو رهیافت اصلی تعیینی و احتمالاتی برای تحلیل خطر زمین لرزه وجود دارد. در روش تعیینی با داشتن یک رابطه کاهندگی، مقدار پارامتر جنبش شدید زمین بر اساس دو پارامتر اصلی بزرگای زمین لرزه و فاصله ساختگاه تا چشمه زمین لرزه محاسبه می‌شود. در تحلیل خطر با رهیافت تعیینی این دو پارامتر به صورت تعیینی برای هر یک از چشمه‌های لرزه‌ای مشخص و پارامتر جنبش شدید زمین محاسبه می‌گردد. در تحلیل خطر با روش احتمالاتی بر خلاف روش تعیینی پارامترهای مورد استفاده به صورت توابع احتمالاتی معرفی می‌گردند.

ساختگاه مورد مطالعه در این مقاله، محدوده مرکزی شهر اردبیل می‌باشد. در گام اول تحلیل خطر زمین لرزه براساس رهیافت احتمالاتی انجام گرفته و در گام دوم اطلاعات ژئوتکنیکی مربوط به گمانه‌های حفر شده توسط مرکز تحقیقات مسکن و شهرسازی و آزمایشگاه مکانیک خاک وابسته به وزارت راه و شهرسازی در این محدوده تهیه، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و در نهایت و بر اساس اطلاعات، محدوده مورد مطالعه به ۱۵ ناحیه تقسیم شده است. با بکارگیری روابط تجربی و اطلاعات ژئوتکنیکی، طیف طرح از سه روش تحلیل پاسخ زمین، تحلیل آماری زمین لرزه‌های مختلف و طیف خطر

یکنواخت حاصل از منحنی خطر بدست آمده از تحلیل خطر احتمالاتی، محاسبه شده و بر اساس آن، طیف طرح ویژه ساختگاه ارائه شده است.

## ۲- تحلیل خطر زمین لرزه در محدوده ساختگاه

مراحل انجام تحلیل خطر با رهیافت احتمالاتی به طور کلی شامل چهار مرحله به شرح زیر است [۱]:

گام اول - شناسایی چشمه‌های لرزه‌زا

گام دوم - تعیین پارامترهای لرزه‌ای از جمله رابطه بین بزرگی و رخداد زلزله

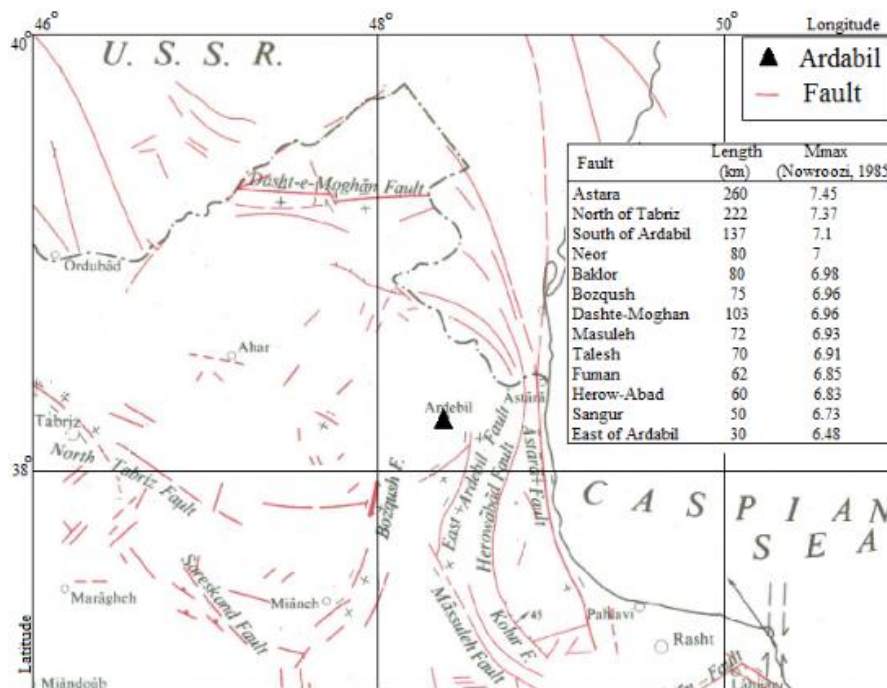
گام سوم - انتخاب روابط کاهندگی مناسب با در نظر گرفتن عدم قطعیت در برآورد پارامتر جنبش شدید زمین، تعیین تابع چگالی و احتمال وقوع زلزله برای هر گسل

گام چهارم - ترکیب نتایج حاصل از همه‌ی گسل‌ها

گسل‌های فعال در محدوده ۱۵۰ کیلومتری مرکز شهر اردبیل براساس اطلاعات نقشه گسل‌های فعال ایران ارائه شده توسط پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله [۲]، سازمان زمین‌شناسی کشور [۳] و نقشه‌ی گسل‌های ارائه شده توسط بربریان (۱۹۷۶) [۴] استخراج و در شکل (۱) نشان داده شده است. مقادیر بزرگای ماکزیمم  $M_{max}$  گسل‌ها با استفاده از رابطه بین طول گسل و بزرگای (نوروزی، ۱۹۸۵) [۶] که در رابطه (۱) ارائه شده است، برآورد و در شکل (۱) ارائه شده است.

$$M_s = 1.259 + 1.244 \log(L) \quad (1)$$

پارامترهای لرزه‌ای از قبیل  $b$  و  $M_{max}$  در رابطه‌ی گوتنبرگ و ریشتر (۱۹۵۴) [۷] با استفاده از روش کیکو (۲۰۰۰) [۸] و براساس کاتالوگ زلزله‌ی رخ داده در بازه زمانی قبل از سال ۱۹۰۰ میلادی (زلزله‌های تاریخی) و ۱۹۰۰ تا ۲۰۱۱ (زلزله‌های دستگاهی) محاسبه شده است.

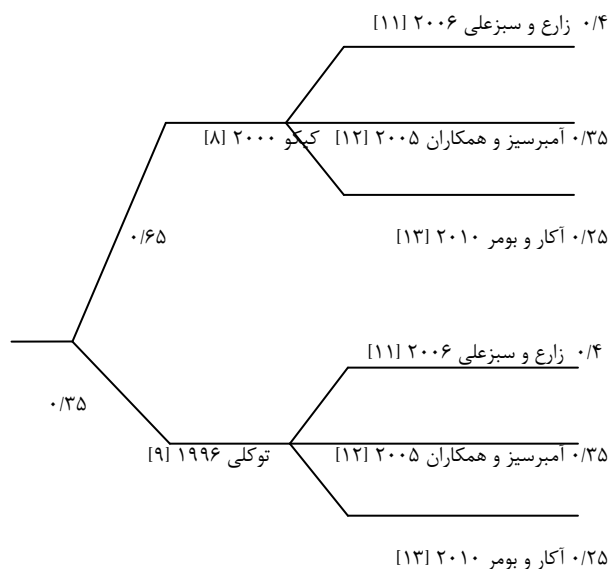


شکل (۱): نقشه گسل های ارائه شده توسط بربریان به همراه مشخصات گسل های فعال در محدوده شعاع ۱۵۰ کیلومتری شهر اردبیل [۵،۴]

همچنین با استفاده از ضرایب ارائه شده توسط توکلی (۱۹۹۶) [۹] محاسبه شده و با بهره گیری از ضرایب درخت منطقی ارائه شده در شکل (۲) ترکیب می شوند. درخت منطقی این امکان را می دهد که با اختصاص دادن ضرایب وزنی به هر پارامتر در فرایند تحلیل خطر لرزه ای احتمالاتی، عدم قطعیت ها را منعکس نماید [۱۴].

فرضیات در نظر گرفته شده در این روش بدین قرار است:

- (۱) به منظور مطابقت با توزیع پواسون، رخداد زلزله ها مستقل از زمان و مکان فرض می شود.
- (۲) پارامترهای لرزه ای برای محدوده شعاع ۱۵۰ کیلومتری شهر اردبیل، یکسان فرض می شود.



شکل (۲): نمودار درختی ضرایب مشارکت روابط کاهندگی و پارامترهای لرزه ای

منحنی خطر لرزه ای بدست آمده در شکل (۳) نشان داده شده است که بر اساس آن شتاب مبنای طرح برای دوره

این فرضیات عدم قطعیت هایی را متوجه روش کیکو (۲۰۰۰) [۸] می سازد که برای جبران عدم قطعیت ها از نتایج روش توکلی (۱۹۹۶) نیز استفاده شده است. توکلی (۱۹۹۶) با تقسیم کشور ایران به ۲۰ منطقه ای سایزوتکتونیکی، پارامترهای لرزه ای برای هر منطقه از کشور را محاسبه نموده است [۹]. این پارامترها از طریق روش درخت منطقی ارائه شده در شکل (۲) در این مقاله اعمال شده است. استفاده از پارامترهای لرزه ای ارائه شده توسط توکلی (۱۹۹۶)، مشکلاتی که بر فرض یکنواختی لرزه خیزی در شعاع ۱۵۰ کیلومتری اردبیل متوجه می شود را تا حد زیادی جبران می نماید [۱۰]. روابط کاهندگی مورد استفاده در این مقاله شامل روابط ارائه شده توسط زارع و سبزی علی (۲۰۰۶) [۱۱]، امبرسیز و همکاران (۲۰۰۵) [۱۲] و رابطه ارائه شده توسط آکار و بومر (۲۰۱۰) [۱۳] می باشد. منحنی های خطر لرزه ای با سه رابطه ای کاهندگی مورد اشاره، با استفاده از پارامترهای لرزه ای بدست آمده از نرم افزار کیکو (۲۰۰۰) [۸] و

است. مشارکت نسبی گسل‌ها اغلب براساس مقادیر بزرگی و فاصله نمایش داده می‌شود. عمل ترکیب این مشارکت‌ها با مقادیر بزرگی و فاصله تا مرحله‌ی نام صورت می‌گیرد  $(h_i = \sum h_k)$ . معرف هر کدام از تقسیم‌بندی‌هایی است که در تحلیل خطر احتمالاتی (گرین و هال، ۱۹۹۴) برای هر گسل انجام می‌گیرد. روند تحلیل خطر برای هر قطعه که در بر گیرنده‌ی فاصله و مقدار بزرگی هر قطعه از طول گسل می‌باشد، انجام می‌پذیرد. در نهایت رابطه (۳) برای تعریف مقادیر بزرگی و فاصله مطابق با روابط فرانکل (۱۹۹۵) و هارمسن (۱۹۹۹) ارائه شده است

[۱۸، ۱۷].

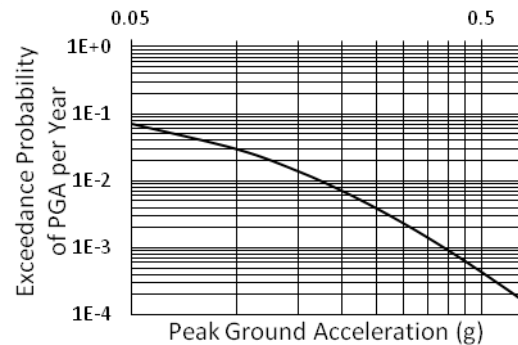
$$\bar{M} = \frac{\sum M_i h_i}{\sum h_i}, \bar{R} = \frac{\sum R_i h_i}{\sum h_i} \quad (3)$$

که در آن  $M_i$  و  $R_i$  به ترتیب بیانگر مقدار بزرگی و فاصله گسل‌ها در مرحله‌ی نام می‌باشد که در این مقاله با توجه به طول گسل‌ها و روابط مختلف بین طول گسل و مقدار بزرگی، فاصله طرح برابر با  $\bar{R} = 45 \text{ km}$  و مقدار بزرگی طرح برابر با  $\bar{M}_w = 7$  برآورد گردیده است. با در نظر گرفتن موارد فوق تعداد ۱۴ شتابنگاشت زمین‌لرزه‌های مختلف (جدول ۱) متناسب با مشخصات زلزله‌ی طرح بر روی بستر سنگی انتخاب شده و نسبت به شتاب مبنای طرح مقیاس شده و جهت انجام تحلیل پاسخ زمین استفاده گردیدند.

### ۳-۱- تحلیل پاسخ زمین

تحلیل پاسخ زمین چگونگی انتشار امواج لرزه‌ای را از سنگ بستر تا سطح زمین نشان می‌دهد. دامنه و محتوی فرکانسی امواج در عبور از لایه‌های مختلف خاک دستخوش تغییر می‌شوند. بر اساس راهنمای پهنه‌بندی خطرات ژئوتکنیک لرزه‌ای (کمیته فنی مهندسی ژئوتکنیک لرزه‌ای TC4، انجمن بین‌المللی مکانیک خاک و مهندسی خاک و مهندسی پی ISSMFE) اطلاعات ژئوتکنیکی باید از گمانه‌هایی تا عمق ۳۰ متری که حداقل یک گمانه در محدوده‌ی حداکثر یک کیلومتر مربعی حفر گردیده است، استخراج گردد ۱۹۱، ۲۰. گمانه‌های حفاری شده در محدوده مطالعه در پژوهش‌های مختلف شهر توسط مرکز تحقیقات مسکن و شهرسازی و آزمایشگاه فنی مکانیک خاک حفاری و مشخصات ژئوتکنیکی آنها

بازگشت ۴۷۵ سال (مطابق آیین نامه ۲۸۰۰ در ۵۰ سال عمر مفید ساختمان) برابر با  $0.32 \text{ g}$  بدست می‌آید.



شکل (۳): منحنی خطر حاصل از روابط کاهندگی (احتمال افزایش سالانه شتاب بر حسب حداکثر شتاب - PGA (g))

### ۳-۲ طیف پاسخ ویژه ساختگاه

برای تهیه طیف پاسخ روی خاک روش‌های مختلفی وجود دارد. در این مقاله از سه روش تحلیل پاسخ زمین، انجام تحلیل‌های آماری زمین‌لرزه‌های مختلف و طیف خطر یکنواخت حاصل از تحلیل خطر احتمالاتی برای بدست آوردن طیف پاسخ ویژه ساختگاه استفاده شده است [۱۵].

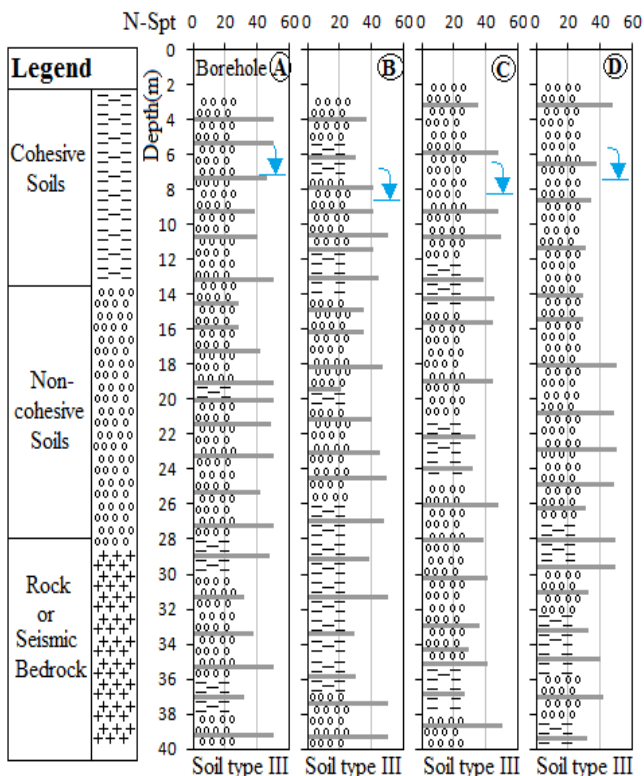
به منظور تحلیل پاسخ زمین نیاز به شتابنگاشت‌های زمین‌لرزه‌های مختلف می‌باشد. برای انتخاب زمین‌لرزه‌ها، باید مقدار بزرگی زلزله ( $M$ ) و فاصله وقوع زلزله از منطقه ( $R$ ) تعیین و از میان زمین‌لرزه‌های رخ داده، چندین زمین‌لرزه متناسب با مشخصات انتخاب گردد. برای تعیین مشخصات زلزله طرح، روش پیشنهادی فرانکل (۱۹۹۵) [۱۶] که منطبق بر روش تحلیل خطر احتمالاتی است، بکار گرفته شده است [۱۵]. براساس مطالعات صورت گرفته توسط فرانکل (۱۹۹۵) اگر ماکزیمم شتاب پایه ناشی از گسل‌های مشخص را  $u$  در نظر بگیریم، احتمال اینکه در گسل  $k$ ام ( $S_k$ ) که دارای یک بزرگی مشخص می‌باشد، مقدار  $u$  از یک مقدار  $u_0$  بیشتر باشد،  $P[u > u_0 | S_k]$  خواهد بود. اگر فراوانی سالانه‌ی زلزله‌ها با همان بزرگی مشخص در هر گسل ( $S_k$ ) را  $f_k$  بنامیم، مقدار میانگین سالانه‌ی افزایش وقوع زلزله در ساختگاه ( $h_k$ ) را می‌توان از رابطه‌ی (۲) (هارمسن، ۱۹۹۹) بدست آورد:

$$h_k = f_k(M) * P[u > u_0 | S_k] \quad (2)$$

در این رابطه  $f_k(M)$  تابع چگالی احتمال برای بزرگا

جدول (۱): مشخصات زمین لرزه‌های انتخاب شده مشابه با زلزله طرح براساس روابط فرانکل (۱۹۹۵) و هارمسن (۱۹۹۹)

تاریخ	فاصله (km)	Mw	توضیحات
1989-10-18	32.37	6.93	Loma Prieta G04000
1989-10-18	32.37	6.93	Loma Prieta G04090
1999-11-12	44.40	7.14	Duzce 1060-N Turkey
1999-11-12	44.40	7.14	Duzce 1060-E Turkey
1999-08-17	47.03	7.51	Kocaeli GBZ000 Turkey
1999-08-17	47.03	7.51	Kocaeli GBZ270 Turkey
1980-11-23	37.15	6.20	Irpinia B-AUL000 Italy-02
1980-11-23	37.15	6.20	Irpinia B-AUL270 Italy-02
1994-01-17	45.77	6.69	Northridge-01 MTW000
1994-01-17	45.77	6.69	Northridge-01 MTW090
1971-02-09	39.17	6.61	San Fernando PSL180
1971-02-09	39.17	6.61	San Fernando PSL270
1992-06-28	42.20	7.30	Landers 29P000
1992-06-28	42.20	7.30	Landers 29P090



شکل (۴): اطلاعات ژئوتکنیکی چند گمانه در محدوده طرح

ارائه شده است. اطلاعات جمع‌آوری شده شامل ۷۰ تعداد گمانه می‌باشد که عمق حفاری آنها عمدتاً ۴۰ متر می‌باشد. در مقاله حاضر بر مبنای آیین‌نامه TC4، اطلاعات ژئوتکنیکی مربوط به گمانه‌های حفر شده در محدوده مرکزی تهیه شده و براساس نوع خاک در نواحی یک کیلومتر مربعی تقسیم‌بندی شده است [۲۱]. در هر سلول گمانه‌ای به عنوان گمانه معرف انتخاب می‌شود که اطلاعات لایه‌های خاک در آن کامل و بیشترین عمق حفاری را داشته باشد. بطور نمونه اطلاعات ژئوتکنیکی چهار گمانه در شکل (۴) نشان داده شده است.

در دهه‌های گذشته روش‌ها و برنامه‌های رایانه‌ای متعددی برای تحلیل پاسخ زمین تدوین شده است. بعضی از این روش‌ها براساس روش خطی معادل و بعضی دیگر براساس مدل‌سازی رفتار غیرخطی خاک در دامنه‌ی زمان کار می‌کنند. روش‌های خطی معادل در محیط فرکانس بسیار مرسوم‌تر از روش‌های غیرخطی در محیط زمان هستند. غیرخطی بودن پاسخ محل، بخصوص به علت وابستگی شدید مقادیری چون ضرایب و خصوصیات میرایی نسبت به کرنش، یکی از مهمترین مباحث ارزیابی اثرات محل می‌باشد. شاهد این موضوع، رفتار غیرخطی مشاهده شده در گزارش‌های زمین‌لرزه‌های مختلف می‌باشد (توکیماتسو می دوریکاوا ۱۹۸۲، چانگ و همکاران ۱۹۹۱ [۲۲،۲۰]).

روش خطی معادل برای یک حرکت با دوره تناوب کوتاه و دامنه بلند بر روی آبرفت با ضخامت زیاد تقریباً نتایج رضایت بخشی نمی‌دهد (جوینر و چن، ۱۹۷۵ [۲۲]). از این رو در این مقاله از تحلیل غیرخطی براساس نرم افزار NERA استفاده شده است. بنا به توصیه آیین‌نامه زلزله ۲۸۰۰ در تحلیل دینامیکی حرکت زمین، به جای استفاده از سه زوج شتابنگاشت و ترکیب نتایج حاصل از بازتاب آنها، می‌توان هفت زوج شتابنگاشت را به کار گرفت و مقدار متوسط بازتاب‌های به دست آمده از آنها را به عنوان بازتاب نهایی در نظر گرفت. بنابراین هر چه تعداد شتابنگاشت‌های مشابه با زلزله طرح بیشتر باشد، نتایج حاصل از متوسط بازتاب‌ها دقیق‌تر خواهد بود.

## ۲-۲- طیف طراحی بر مبنای تحلیل آماری زمین- لرزه‌های مختلف

یکی دیگر از روش‌های بدست آوردن طیف پاسخ ساختگاه، طیف پاسخ بر مبنای تحلیل آماری زمین- لرزه‌های مختلف می‌باشد. این روش توسط کیم بال [۳۳] و کمیته راهبردی هسته‌ای آمریکا USNRC [۳۴] ارائه شده است که شامل انجام تحلیل‌های آماری بر روی گروهی از شتاب‌نگاشت‌هایی که دارای مشخصات مشابه با زلزله‌ی طرح هستند، می‌باشند. در روش حاضر باید شتاب‌نگاشت‌هایی انتخاب شوند که مطابق با نوع خاک ساختگاه مورد مطالعه باشند. بدین منظور سرعت موج برشی میانگین برای هر گمانه محاسبه شده و نوع خاک براساس طبقه‌بندی سرعت موج برشی تعیین می‌شود. سرعت موج برشی میانگین در عمق ۳۰ متری برای هر ناحیه براساس آیین نامه زلزله ۲۸۰۰ مطابق رابطه (۴) محاسبه می‌گردد که براساس تقسیم بندی آیین نامه خاک نوع III دارای سرعت موج برشی بین ۱۷۵ تا ۳۷۵ متر بر ثانیه و در خاک نوع II، سرعت بین ۳۷۵ تا ۷۵۰ متر بر ثانیه خواهد بود.

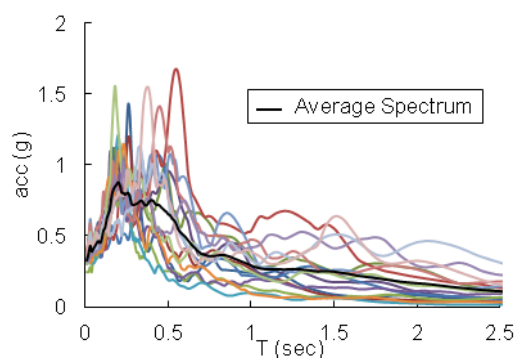
$$\bar{V}_s = \frac{\sum d_i}{\sum \left( \frac{d_i}{V_{si}} \right)} \quad (4)$$

که در آن  $d_i$  ضخامت لایه و  $V_{si}$  سرعت موج برشی در لایه مورد نظر میباشد.

بر این اساس، نوع خاک برای اکثر نواحی ساختگاه از نوع III و برای برخی نواحی از نوع II تعیین شد. سپس برای تعیین طیف پاسخ، تعداد ۲۲ شتاب‌نگاشت که در ساختگاه‌هایی متناسب با مشخصات خاک نوع II و III ثبت شده‌اند، انتخاب گردیدند. شتاب‌نگاشت‌های انتخاب شده به دلیل اختلاف در بزرگای زمین لرزه و فاصله از گسل با پارامترهای زلزله طرح نیاز به اصلاح دارند. با استفاده از رابطه کاهندگی مناسبی مانند امبرسیز و سیمسون (۱۹۹۶) [۳۵] که اثر نوع خاک را نیز در نظر می‌گیرد، نسبت به محاسبه PGA اقدام و شتاب‌نگاشت‌های انتخابی بر این اساس مقیاس شده و به منظور برآورد طیف پاسخ به روش تحلیل آماری مورد استفاده قرار می‌گیرند. طیف پاسخ شتاب برای خاک نوع II و III، براساس تحلیل آماری روی طیف پاسخ اصلاح شده‌ی شتاب‌نگاشت‌های ثبت شده برای خاک نوع II و III بصورت شکل (۶) بدست می‌آید.

به منظور تعیین سرعت موج برشی از روابط تجربی معتبر ارائه شده متناسب با نوع خاک و عمق پروفیل در هر لایه برای تبدیل عدد نفوذ استاندارد (N-SPT) به سرعت موج برشی ( $V_s$ ) استفاده شده است که در تحلیل پاسخ زمین میانگین مقدار حاصله بکار گرفته شده است [۲۳-۲۶]. همچنین منحنی تغییرات مدول برشی ( $G/G_{max}$ ) و ضریب میرایی بر حسب تغییرات کرنش برشی، از منحنی‌های ارائه شده در جدول (۲) که با نوع خاک و زمین‌شناسی منطقه‌ی مورد مطالعه شباهت دارند، استفاده شده است. بر اساس گزارشات PEER ۲۰۰۲، در مناطق آبرفتی برای خاک‌های ماسه‌ای، استفاده از منحنی تغییرات مدول برشی EPR (۱۹۹۳) توصیه شده است [۲۷].

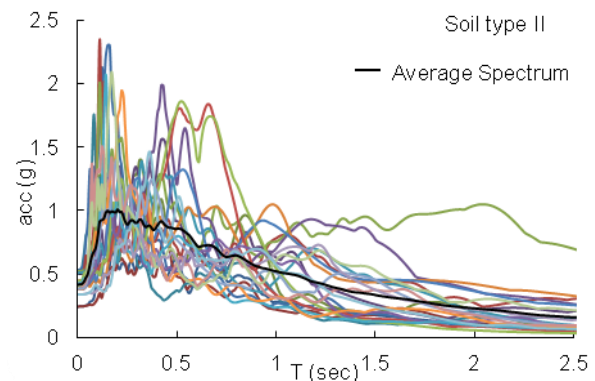
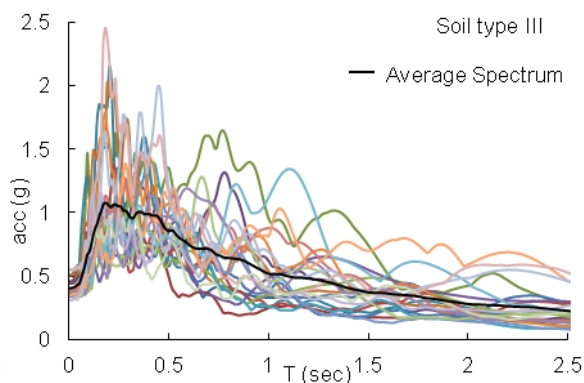
تحلیل پاسخ آبرفت با استفاده از مشخصات گمانه معرف برای هر یک از سلول‌ها و روابط اشاره شده انجام شده و میانگین پاسخ زمین برای زمین‌لرزه‌های مختلف در هر سلول محاسبه می‌شود. همانطور که اشاره شد، منطقه مرکزی شهر اردبیل به ۱۵ ناحیه تقسیم شده و در هر بخش با توجه به گمانه‌های موجود، گمانه‌ای به عنوان گمانه منتخب، انتخاب شده و پاسخ غیرخطی خاک گمانه‌ی منتخب با استفاده از نرم افزار NERA تحلیل شده است. یکی از نتایج تحلیل، ارائه طیف پاسخ شتاب می‌باشد. شکل (۵) طیف پاسخ برای یکی از نواحی ۱۵ گمانه محدوده مرکزی می‌باشد که به طور نمونه نشان داده شده است. این طیف حاصل تحلیل پاسخ غیر خطی با استفاده از ۱۴ شتاب‌نگاشت منتخب و با توجه به مشخصات گمانه منتخب در ناحیه ۱ است.



شکل (۵): طیف‌های پاسخ شتاب حاصل از تحلیل غیرخطی پروفیل خاک گمانه ناحیه ۱

جدول (۲): نمودارهای کاهش مدول برشی بر حسب کرنش مورد استفاده برای تحلیل خاک

Material No. and Reference	Modulus Reduction Relationship
(1)EPRI (1993) [۲۸]	G/Gmax vs. Strain for sand within 0 <Depth(m)<6
(2)EPRI (1993) [۲۸]	G/Gmax vs. Strain for sand within 6 <Depth(m)<15
(3)EPRI (1993) [۲۸]	G/Gmax vs. Strain for sand within 15 <Depth(m)<37
(4)EPRI (1993) [۲۸]	G/Gmax vs. Strain for sand within 37 <Depth(m)<76
(5)Vocetic and Dorby, (1991) [۲۹]	G/Gmax vs. Strain for clay with PI=0
(6)Vocetic and Dorby, (1991) [۲۹]	G/Gmax vs. Strain for clay with PI=15
(7)Vocetic and Dorby, (1991) [۲۹]	G/Gmax vs. Strain for clay with PI=30
(8)Vocetic and Dorby, (1991) [۲۹]	G/Gmax vs. Strain for clay with PI=50
(9)Borden et al., (1996) [۳۰]	G/Gmax vs. Strain for silty soils (ML , MH)
(10) Seed et al., (1984-b) [۳۱]	G/Gmax vs. Strain for gravels
(11)Schnabel et al., (1984) [۳۲]	G/Gmax vs. Strain for rocks



شکل (۶): مقادیر طیفی حاصل از تحلیل آماری برای خاک نوع II و III

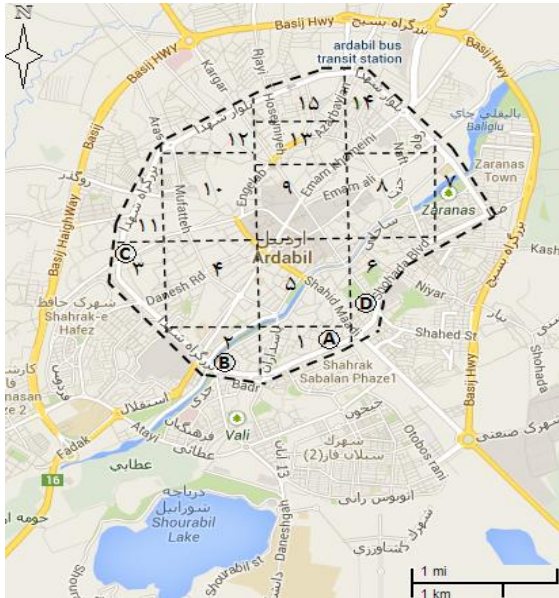
### ۳-۳- طیف خطر یکنواخت

تهیه طیف پاسخ برای استفاده در تحلیل سازه‌ها می‌باشد. برای تهیه این طیف پس از انجام تحلیل خطر احتمالاتی،

هدف کلی از تحلیل خطر احتمالاتی خطر لرزه‌ای،



و طیف طرح نهایی میانگین با استفاده از روش میانگین ۵۰ درصدی هموار شده‌اند. این طیف، طیف طرح ویژه ساختگاه می‌باشد که برای هر قسمت از محدوده مورد مطالعه که در شکل (۸) نشان داده شده است تهیه و در شکل (۹) ارائه شده است.



شکل (۸): محدوده مورد مطالعه در شهر اردبیل و تقسیم بندی آن به ناحیه‌های حداکثر یک کیلومتر مربعی

مقادیر طیفی بدست آمده باید ضوابط حداقلی آیین-نامه زلزله ۲۸۰۰ را برآورده سازد. طبق ضابطه‌ی ۴-۱-۳ آیین نامه‌ی زلزله ۲۸۰۰، مقادیر طیف ویژه ساختگاه را باید حداقل برابر  $\frac{2}{3}$  مقادیر طیف طرح استاندارد در نظر گرفت. از اینرو، در مقایسه‌ی طیف طرح میانگین نهایی بدست آمده با  $\frac{2}{3}$  طیف طرح استاندارد، مقادیر کمتر، برابر  $\frac{2}{3}$  طیف طرح استاندارد در نظر گرفته می‌شود.

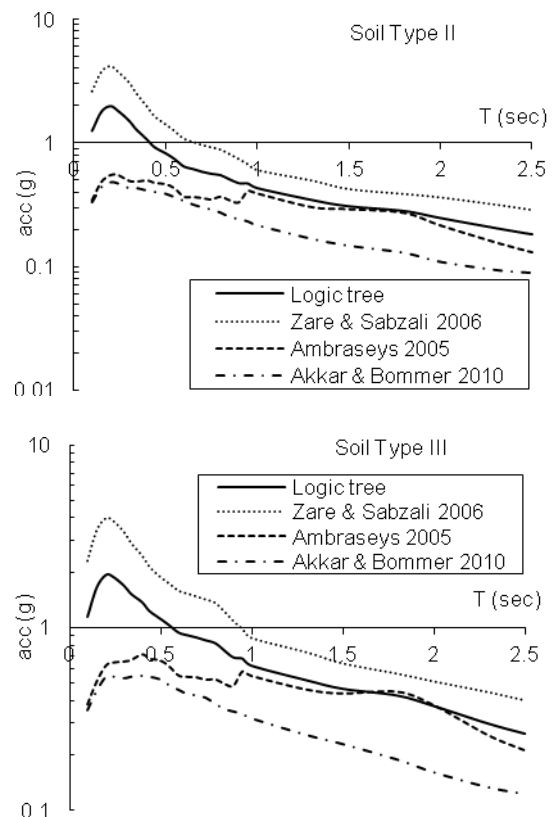
همانگونه که مشاهده می‌شود تمامی طیف‌ها در محدوده مجاز آیین‌نامه زلزله ۲۸۰۰ در مقایسه با طیف طرح استاندارد و  $\frac{2}{3}$  طیف طرح استاندارد قرار دارند. همچنین در ناحیه شتاب ثابت طیف‌های طرح بدست آمده مقادیر بیشتری را در مقایسه با طیف طرح استاندارد آیین-نامه زلزله ۲۸۰۰ نتیجه می‌دهد که باید در طراحی‌ها مورد توجه قرار گیرد.

با انتخاب یک احتمال تجاوز برای دوره تناوب مورد نظر میزان شتاب دامنه طیفی از منحنی خطر خوانده می‌شود.

در این بخش با توجه به تحلیل خطر احتمالاتی انجام شده با در نظر گرفتن روابط کاهندگی مورد اشاره و همچنین ترکیب آنها با ضرایب وزنی نشان داده شده در درخت منطقی، طیف خطر یکنواخت برای دوره بازگشت ۴۷۵ سال (معادل ۱۰٪ تجاوز در عمر مفید ۵۰ ساله) برای هر کدام از روابط کاهندگی و همچنین ترکیب آنها، بدست آمده و در شکل (۷) نشان داده شده است. لازم به ذکر است این طیف‌ها با توجه به طبقه بندی نوع خاک در منطقه مرکزی شهر، برای دو نوع خاک II و III ارایه شده است.

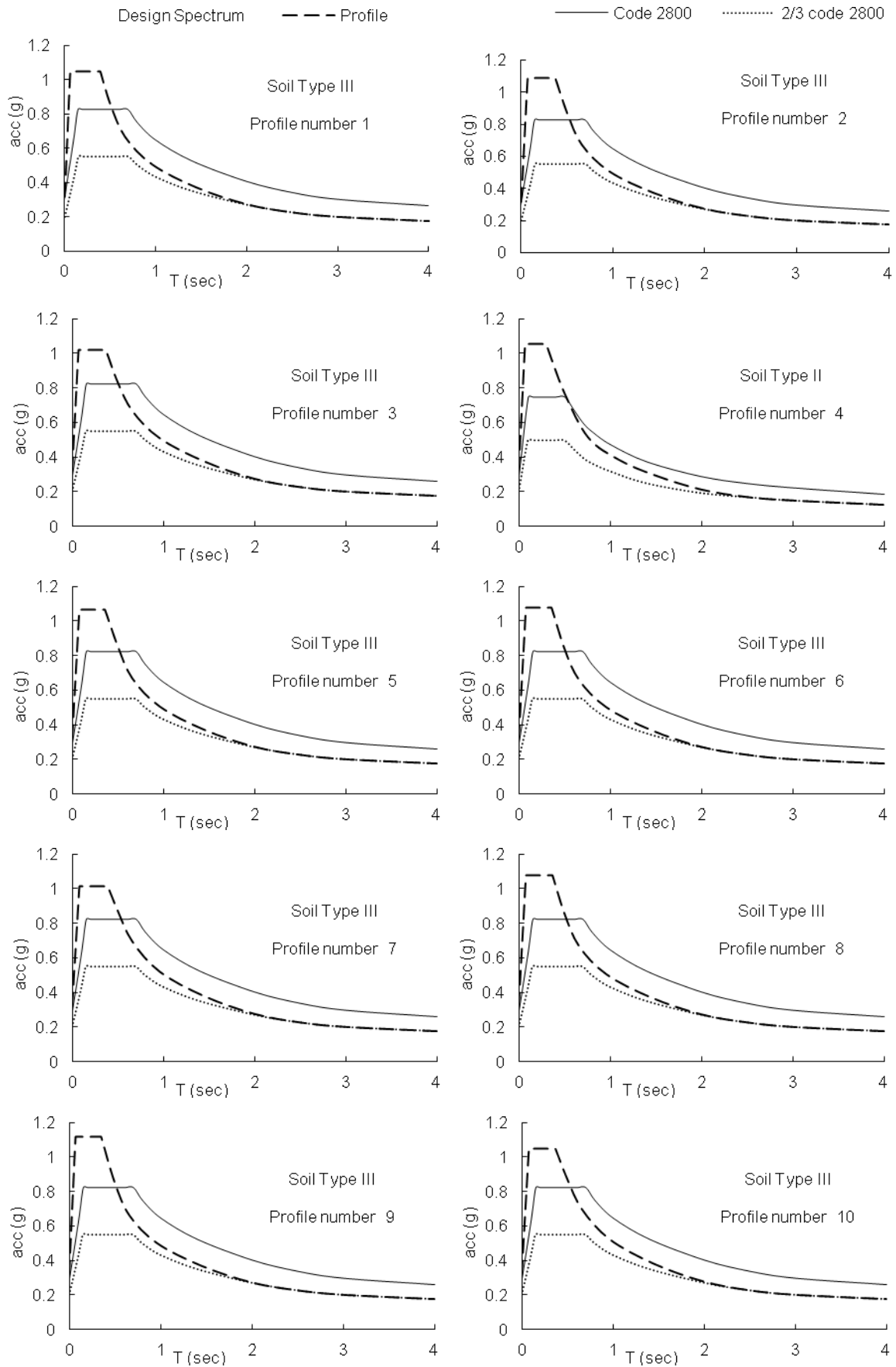
#### ۴- طیف طرح ویژه ساختگاه برای مرکز شهر اردبیل

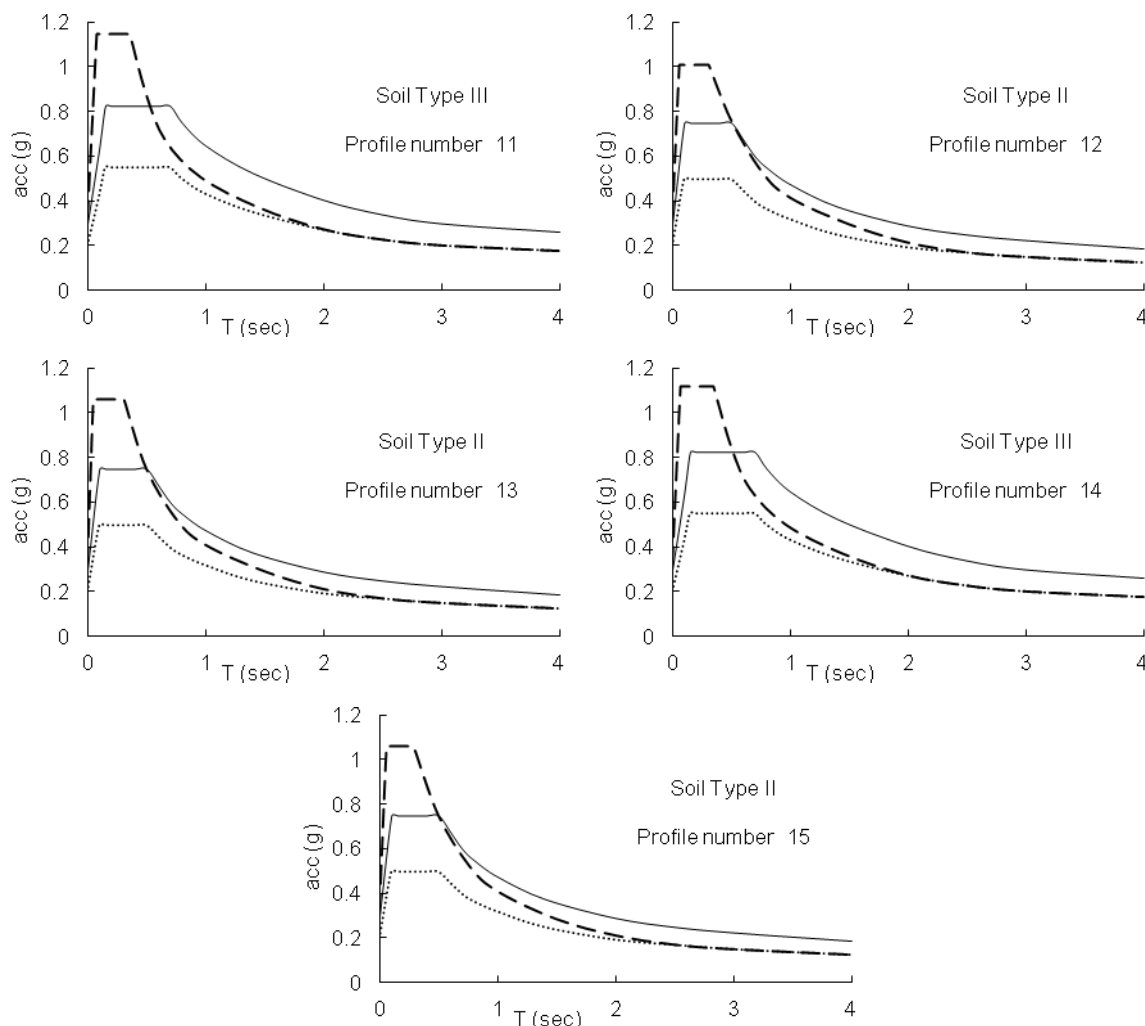
در مقاله حاضر برای محاسبه طیف طرح ویژه ساختگاه سه روش تحلیل پاسخ زمین، تحلیل آماری شتابنگاشت‌های انتخاب شده و طیف خطر یکنواخت حاصل از تحلیل خطر احتمالاتی بکار گرفته شد



شکل (۷): مقادیر طیفی محاسبه شده توسط روابط کاهندگی به روش تحلیل خطر احتمالاتی برای خاک نوع II و III







شکل (۹): طیف طرح ویژه ساختگاه مناطق ۱۵ گانه‌ی محدوده مرکزی شهر اردبیل و طیف طرح آیین‌نامه زلزله ۲۸۰۰

## ۵ - نتیجه گیری

روش احتمالاتی با استفاده از روابط کاهندگی مناسب انجام شده و شتاب مبنای ۰/۳۲g برای زمین‌لرزه با دوره بازگشت ۴۷۵ سال بدست آمد. طیف طرح برای هر ناحیه در محدوده موردنظر از سه روش تحلیل پاسخ زمین، انجام تحلیل آماری روی زمین‌لرزه‌های مختلف و طیف خطر یکنواخت محاسبه گردید که نتایج بدست آمده بدین شرح است:

الف - مقدار شتاب مبنای طرح (۰/۳۲g) به اندازه ۶ درصد بیشتر از مقدار پیشنهادی آیین‌نامه ۲۸۰۰ (۰/۳g) بدست آمد.

ب - جهت سهولت در کاربردهای مهندسی، اطلاعات ژئوتکنیکی در گمانه‌های حفاری شده بررسی و نوع خاک در مناطق مختلف مرکز شهر تعیین شد. براین اساس نوع خاک در ناحیه‌های شماره ۴، ۱۲، ۱۳ و ۱۵ از نوع II و بقیه

به دلیل قرارگیری شهر اردبیل و گسترش آن بر روی رسوبات آبرفتی از جنس سیلت و رس و همچنین توسعه ساخت سازه‌های بلند مسکونی و بخصوص تجاری و اداری در مرکز شهر، بررسی و تهیه طیف ویژه ساختگاه ضروری می‌باشد. با توجه به اطلاعات ژئوتکنیکی ارزشمندی که از حفر گمانه‌های عمیق و انجام آزمایش‌های ژئوتکنیکی در نقاط مختلف شهر وجود داشت، در این مقاله طیف ویژه ساختگاه برای محدوده مرکزی شهر اردبیل تهیه گردید. براساس توزیع گمانه‌های حفر شده منطقه مورد نظر به ۱۵ ناحیه با مساحت یک کیلومتر مربع تقسیم شد.

تحلیل خطر زمین لرزه با در نظر گرفتن ۱۳ گسل فعال شناسایی شده در محدوده ۱۵۰ کیلومتری مرکز شهر و به

- Gutenberg, B., Richter, C. F., "Seismicity of the Earth and Associated Phenomena", Princeton. University Press, New Jersey, U.S.A., 1954. [۷]
- Kijko, A., "Statistical Estimation of Maximum Regional Earthquake Magnitude  $M_{max}$ ", Workshop of Seismicity Modeling in Seismic Hazard Mapping, Poljce, Slovenia, 1985. [۸]
- Tavakoli, B., "Major Seismotectonic Provinces of Iran", International Institute of Earthquake Engineering and Seismology (IIIES), (in Persian), Tehran, Iran, 1996. [۹]
- Ghodrati Amiri, G., Motamed, R. and Eshaghi, H.R., "Seismic hazard assessment of metropolitan Tehran, Iran", Journal of Earthquake Engineering, Vol. 7, No. 3, pp. 347- 372, 2003. [۱۰]
- Zare, M., Sabzali, S., "Spectral attenuation of strong motions in Iran", Proc. of 3rd International Symposium on the Effects of Surface Geology on Seismic Motion, vol.1, pp. 749- 758, 2006. [۱۱]
- Ambraseys, N. N., Douglas, J., Sarma, S. K., Smit, P. M., "Equations for the estimation of strong ground motions from shallow crustal earthquakes using data from Europe and the Middle East: Horizontal peak ground acceleration and spectral acceleration", Bull. of earthq. Eng, Vol. 3, pp. 1- 53, 2005. [۱۲]
- Akkar, S., Bommer, J. J., "Empirical equations for the prediction of PGA, PGV and spectral accelerations in Europe, the Mediterranean region and the Middle East", Seismological Research Letters, Vol. 81, No. 2, pp. 195- 206, 2010. [۱۳]
- Rabinowitz, N., Steinberg, D. M., Leonard, G., "Logic trees, sensitivity analyses and data reduction in probabilistic seismic hazard assessment", Earthq. Spectra, Vol. 14, pp. 189- 201, 1998. [۱۴]
- USACE, "Response spectra and seismic analysis of concrete hydraulic structures", US Army Corps of Engineers, EM 1110- 2- 6050, 1999. [۱۵]
- Frankel, A., "Mapping seismic hazard in the central and eastern United States", Seism. Res. Lett., Vol. 66, No. 4, pp. 8- 21, 1995. [۱۶]
- Frankel, A., Mueller, C., Barnlaard, T., Perkins, D., Leyendecker, E., Dickman, N., Hanson, S. and Hopper, M., "National seismic hazard maps: Documentation", U.S. Geol. Surv. Open-File Report1, Vol. 10, pp. 96- 532, 1996. [۱۷]
- نقاط مرکزی شهر از نوع III می باشد. با توجه به اینکه در ساخت سازه های عادی عمدتاً گمانه های ژئوتکنیکی حفر نمی گردد، این تقسیم بندی برای استفاده مهندسان در طراحی سازه ها مورد استفاده زیادی می تواند داشته باشد.
- ج - طیف طرح ویژه ساختمان برای مناطق مرکزی شهر اردبیل برای هر ۱۵ ناحیه تقسیم بندی شده، ارائه شد که مقایسه این نمودارها با طیف طرح استاندارد آیین نامه زلزله ۲۸۰۰ نشان می دهد که در ناحیه شتاب ثابت، طیف طرح ویژه ساختمان بطور متوسط باندازه ۲۵ درصد بیشتر از مقادیر طیف طرح استاندارد می باشد که باید در طراحی ها مورد توجه قرار گیرد.
- ۶ - تقدیر و تشکر**
- نویسندگان مقاله از مرکز تحقیقات مسکن و شهرسازی و مدیریت محترم آزمایشگاه مکانیک خاک وابسته به وزارت راه و شهرسازی به دلیل فراهم نمودن دسترسی به نتایج آزمایشهای ژئوتکنیکی انجام شده کمال تشکر را بعمل می آورند.
- ۶ - مراجع**
- Green, A. R., Hall, W. J., "An Overview of Selected Seismic Hazard Analysis Methodologies", A report on a research project, Department of Civil Engineering, University of Illinois at Urbana-Champaign, U.S.A., 1994. [۱]
- حسامی، خ، جمالی، ف. و طبسی، ه.، "نقشه گسلهای فعال ایران"، پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، ۱۳۸۲. [۲]
- پایگاه ملی داده های علوم زمین، "نقشه گسلهای ایران"، ایران، <http://www.ngdir.ir>. ۲۰۱۱. [۳]
- Berberian, M., "Generalized Fault Map of Iran 1:5,000,000", Geological Survey of Iran, Report No. 39, 1976. [۴]
- Arjmand Noshahr, A. and Nouri, G., "Seismic Hazards Assessment of Northwest of Iran, Ardabil City," Proc. of the 15<sup>th</sup> World Conf. On Earthquake Engineering, Lisbon, Portugal, 2012. [۵]
- Nowroozi, A., "Empirical Relations Between Magnitude and Fault Parameters for Earthquakes in Iran", Bull. of the Seismol. Society of America, Vol. 75, No. 5, pp. 1327- 1338, 1985. [۶]

- TR- 102293, Palo Alto, CA, 1993.
- Vucetic, M., and Dorby, R., "Effect of soils plasticity on cyclic response", *Journal of Geotechnical Engineering*, ASCE, Vol. 117, No. 1, pp. 898- 907, 1991. [۲۹]
- Borden, R.H., Shao, L., and Gupta, A., "Dynamic properties of Piedmont residual soils", *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, ASCE, Vol. 122, No. 10, pp. 813- 821, 1996. [۳۰]
- Seed, H.B., Wong, R.T., Idriss, I.M., Tokimatsu, K., "Moduli and Damping Factor for Dynamic Analyses of Cohesion less Soils", *Geotechnical Engineering Report No. UCB/EERC 84/14*, University of California at Berkeley, September 1984. [۳۱]
- Schnabel, P.B., Lysmer, J., Seed, H.B., "SHAKE: A Computer Program for Earthquake Response Analysis of Horizontally Layered Sites", *Report No EERC/7212*, Earthquake Engineering Research Center, Uni. of California at Berkeley, p. 88, 1972. [۳۲]
- Kimball, J.K., "The Use of Site Dependent Spectra., *Proceeding of the U.S. Geological Survey Workshop on Site Specific Effects of Soil and Rock on Ground Motions and Implications for Earthquake Resistant Design*", Open-File Report 83- 845, U.S. Geological Survey, Reston, VA, pp. 401- 422, 1983. [۳۳]
- U.S. Nuclear Regulatory Commission, "Standard Review Plan for the Review of Safety Analysis Reports for Nuclear Power Plants", *Report NUREG- 0800, Rev. 2*, Office of Nuclear Reactor Regulation, Rockville, MD, 1990. [۳۴]
- Ambraseys, N. N., Simpson, K. A., and Bommer, J.J., "Prediction of horizontal response spectra in Europe", *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Vol. 25, No. 4, pp. 371- 400, 1996. [۳۵]
- Harmsen, S., Perkins, D., Frankel, A., "Deaggregation of Probabilistic Ground Motions in the Central and Eastern United States", *Bull. of the Seismol. Society of America*, Vol. 89, pp. 1- 13, 1999. [۱۸]
- TC4, "Manual for Zonation on Seismic Geotechnical Hazards", *The Technical Committee for Earthquake Geotechnical Engineering of the International Society for Soil Mechanics and Foundation Eng.*, 1993. [۱۹]
- Kramer, S. L., "Geotechnical Earthquake Engineering", *Prentice-Hall Inc.*, 1996. [۲۰]
- Arjmand Noshahr, A., Nouri, G., Negahdar, R. and Sadeghi, R., "A Seismic Microzonation Study with Geotechnical Aspects on the New Construction Sites in Ardabil, Iran", *Journal of Civil Eng. and Urbanism, JCEU*, Vol. 4, Issue 4, pp. 430- 434, 2014. [۲۱]
- "راهنمای پهنه‌بندی خطرات ژئوتکنیک لرزه‌ای؛" موسسه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، چاپ اول، تهران، صص ۱- ۵۲، ۱۳۷۷. [۲۲]
- Jafari, M. K., Shafiee, A., Razmkhah, A., "Dynamic Properties of Fine Grained Soils in South of Tehran", *Seismol. and Earthq. Eng., JSEE*, Vol. 4, pp. 25- 35, 2002. [۲۳]
- Lee, Sh. H. H., "Analysis of the Multicollinearity of Regression Equations of Shear Wave Velocities", *Soils and Foundations*, Vol. 32, pp. 205- 214, 1992. [۲۴]
- Baziar, M. H., Fallah, H., Razeghi, H. R. and Khorasani, M., "The Relation of Shear Wave Velocity and SPT for Soils in Iran", *CD Proc. of 11<sup>th</sup> European Conf. Earthq. Eng. Paris*, pp. 1- 8, 1988. [۲۵]
- Hasancebi, N. and Ulusay, R., "Empirical correlations between shear wave velocity and penetration resistance for ground shaking assessments", *Bull. Eng. Geol. Environ*, Vol. 66, pp. 203- 213, 2006. [۲۶]
- Stewart, P.J. and Baturay, B.M., "Uncertainty and Bias in Ground Motion Estimates from Ground Response Analyses", *A Report on research sponsored by PEER, University of California, Los Angeles*, p. 53, 2002. [۲۷]
- EPRI, "Guidelines for determining design basis ground motions", *Volume 1: Method and guidelines for estimating earthquake ground motion in eastern North America*, Electrical Power Research Institute, Report No. EPRI [۲۸]