بررسی اثرات زلزله حوزه دور و نزدیک بر طیف ویژه ساختگاه

سید امید حسینیان آقاملکی
دانشجوی کارشناسی ارشد ، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بروجرد، بروجرد، ایران
ohosseinian@yahoo.com

سید مجتبی موسوی
استادیار، پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، تهران، ایران
m.moosavi@iiees.ac.ir

کلید واژه‌ها: *زلزله، حوزه دور و نزدیک، طیف ویژه ساختگاه*

چکیده

در زلزله های گذشته از جمله زلزله های ۱۹۹۲ لندرز، ۱۹۹۴ نورث ریج، ۱۹۹۵ کوبه ژاپن و ۱۹۹۹ چی چی تایوان شاهد اثرات شدید حوزه نزدیک گسل بر سازه های مهندسی بودیم. همچنین مطالعات اخیر در مهندسی زلزله حکایت از تفاوت نگاشتهای حوزه دور و نزدیک گسل دارد. بطوریکه نزدیکی سرعت انتشار شکست گسل با سرعت انتشار امواج زلزله به سمت ساختگاه باعث ایجاد یک تا سه موج پالس گونه در نگاشت سرعت زلزله در راستای عمود بر خط گسل می گردد. مطالعات نشان داده است که بسیاری از آسیبهای وارد شده به سازه ها در حوزه نزدیک گسل به علت وجود این نوع پالس بوده است . این پالسها معمولاً در راستای عمود برگسل مشاهده شده است و به صورت پالس قوی در ابتدای رکورد سرعت ظاهر می شود بنابراین در مدت زمان کم انرژی زیادی به سازه اعمال می کند.

در این پژوهش ۲۰رکورد حوزه دور و نزدیک گسل انتخاب گردیده است و طیف ویژه ساختگاه مورد نظر برای رکورد های دور و نزدیک گسل دسته بندی گردیدند و پس از تحلیل دینامیکی آبرفت طیف نظیر آن بدست آمد. در ادامه نتایج بدست آمده با طیف آئین نامه UBC97 مورد مقایسه قرار گرفته است . نتایج بدست آمده نشان داد که طیف ویژه ساختگاه رکورد های حوزه نزدیک مقدار بیش تری در مقایسه با رکورد های حوزه دور از گسل نشان می دهد. مقایسه طیف های ویژه ساختگاه با طیف آئین نامه UBC97 نشان داد که در برخی موارد طیف آئین نامه موارد کم تری از طیف های بدست آمده را نشان می دهد.

مقدمه

بررسی خسارات زلزله های ۱۹۹۲ لندرز، ۱۹۹۴ نورث ریج، ۱۹۹۵ کوبه ژاپن و ۱۹۹۹ چی چی تایوان نشان دهنده اثرات شدید حوزه نزدیک بوده است. بطوریکه نزدیکی سرعت انتشار شکست گسل با سرعت انتشار امواج زلزله به سمت ساختگاه باعث ایجاد یک تا سه موج پالس گونه در نگاشت سرعت زلزله در راستای عمود بر خط گسل می گردد. این پالس ها به صورت پالس قوی در ابتدای رکورد سرعت ظاهر می شود. بنابراین در مدت زمان کم انرژی زیادی به سازه اعمال می کن . به عبارتی اگرکه هرقسمت از طول‌گسل در یک بازه زمانی مشخص‌گسیخته شود، از گسلش هر جز گسل امواجی به سمت ساختگاه ارسال می‌شود و اگر ساختگاه در جهتی باشدکه گسلش به سمت آن حرکت‌کند، این امواج در محل ساختگاه به هم رسیده و ایجاد یک ضربه بزرگ می کند و باعث می شود که مدت زمانی‌که امواج حاصل از گسلش به ساختگاه می رسد کم شود (جهت پذیری پیشرونده). ولی اگر ساختگاه در جهت خلاف پیشرفت ساختگاه باشد عکس این حالت اتفاق می افتد و باعث می شود امواج از هم دور شده و با مدت زمان بیش تری به هم برسد (جهت پذیری پس رونده). جهت داری خنثی حالتی است که دور شدن یا نزدیک شدن انتشار گسل در ساختگاه قابل تشخیص نباشد. در این حالت جهت داری اثر خاصی روی دامنه و مدت تاریخچه زمانی ندارد (Somerville, 1997).

همچنین سامرویل و همکاران در سال ۱۹۹۷ نشان دادند که اثرات جهت پذیری باعث بزرگ تر شدن طیف پاسخ در پریود های بزرگ تر از 0/6 ثانیه می شود . در سال ۲۰۰۴ بولت‌به این‌موضوع اشاره‌کردکه در محدوده‌نزدیک‌گسل در ساختگاه‌هایی‌که دارای اثرجهت‌پذیری هستند برای محدوده پریود بـیش از ۰/۵ تا ۵ ثانیه دامنه طیف پاسخ بزرگ تر خواهد بود (Bolt, 2004).

با توجه به اهمیت ساختمان در بسیاری از موارد نیاز به استفاده از طیف ویژه ساختگاه می باشد . به عنوان نمونه آئین نامه ۲۸۰۰ تهیه طیف ویژه ساختگاه را برای ساختمان های زیر الزامی می داند : (استاندارد ۲۸۰۰-۹۳).

- ساختمان های با ارتفاع بیش از ۱۵۰ متر از تراز پایه و یا دارای زمان تناوب اصلی نوسان T، بیش تر از ۳.۵ ثانیه.
- ساختمان های با اهمیت خیلی زیاد و زیاد که بر روی زمین های غیر از نوع I ، II یا III جدول آئین نامه می باشد.
- ساختمان های بلند تر از ۵۰ متر که بر روی زمین های غیر از نوع I ، II یا III جدول آئین نامه می باشد .
- ساختمان های بلند تر از ۵۰ متر که بر روی زمین های نوع II یا III ، با ضخامت لایه خاک بیش از ۶۰ متر ساخته می شوند .

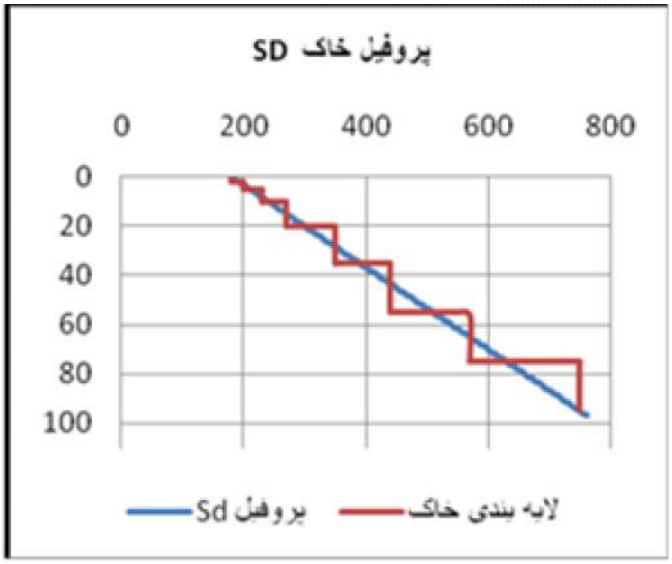
بر مبنای آئین نامه ۲۸۰۰ ایران طیف ویژه ساختگاه با استفاده از مشخصات زلزله های منطقه ساختگاه و با توجه به ویژگی های زمین شناسی، تکتونیکی، لرزه شناسی، میزان خطر پذیری و مشخصات خاک در لایه های مختلف ساختگاه و با به کارگیری نسبت میرایی ۵ ٪ تعیین می گردد. در صورتی که نوع ساختمان و سطح زلزله مورد نظر نسبت میرایی متفاوتی را ایجاب کند می توان آن را مبنای تهیه طیف قرار داد. مقادیر محاسبه شده این طیف باید در ضریب اهمیت I و عکس ضریب رفتار 1/R ضرب شود.

از آنجاییکه در آئین نامه ۲۸۰۰ ایران ویرایش چهارم اثرات حوزه نزدیک به طور کامل دیده نشده است , به منظور مقایسه نتایج بدست آمده با نتایج آئین نامه معتبر, از آئین نامه UBC97 استفاده شده است. در آئین نامه UBC 97 اثرات حوزه نزدیک را برای سطح شتاب ۰/۴ g در نظر گرفته است .

روش تحلیل

برای استخراج طیف ویژه ساختگاه همانگونه که قبلا مطابق آیین نامه ۲۸۰۰ تشریح شد عمدتا نگاه روی زمین های نوع دو , سه و چهار است . با توجه به عمق آبرفت و همچنین سرعت موج برشی و بر اساس طبقه بندی آئین نامه UBC 97 یک پروفیل خاک به شرح ذیل فرض گردید.

ابتدا ساختگاه هایی با بیشینه سطح شتاب ۰/۱۵ g , ۰/۲g , ۰/۲۵ g , ۰/۳ g , ۰/۴ g فرض شده است . همان طور که در شکل شماره ۱ مشخص است تغییرات سرعت موج برشی نسبت به عمق در این پژوهش به صورت خطی فرض شده است . بر اساس تعریف آئین نامه UBC 97 بر مبنای سرعت موج برشی در ۳۰ متر فوقانی , پروفیل خاک SD تعریف شده است . لایه بندی خاک نیز در شکل شماره ۱ مشخص شده است . خاک مورد استفاده در این مقاله از نوع ماسه و با چگالی بین ۱۶ تا ۱۸ در لایه های مختلف فرض شده است . همچنین سرعت موج برشی سنگ بستر نیز ۷۶۰ m/s در نظر گرفته شده است .



شکل ۱: تعریف لایه بندی پروفیل خاک SD (محور افقی سرعت موج برشی m/s – محور عمودی عمق m

در این پژوهش ۲۰ رکورد زلزله انتخاب گردید . از این مجموعه ۱۰ رکورد مربوط به حوزه نزدیک و ۱۰ رکورد نیز از زلزله حوزه دور می باشد . رکورد های حوزه نزدیک به نحوی انتخاب گردیدند که اثرات حوزه نزدیک شامل پالس ابتدای رکورد سرعت در آن مشاهده شده باشد .

جهت تحلیل دینامیکی آبرفت و تهیه طیف ویژه ساختگاه ازنرم افزار Deepsoil نسخه ۵.۱ استفاده گردید (Hashash, 2011). این نرم افزار قادر است طیف پاسخ حاصل از رکورد های زلزله را با در نظر گرفتن اثرات خاک بر روی سنگ بستر به دست آورد . در این نرم افزار در بین گزینه های موجود از تحلیل خطی معادل به دلیل دقت کافی آن استفاده شده است .

در انتها از نتایج بدست آمده از نرم افزار Deepsoil حاصل از ۱۰ رکورد همپایه شده به مقادیر ۰/۱۵ , ۰/۲ , ۰/۲۵ , ۰/۳ و ۰/۴ شتاب گرانش زمین برای پروفیل خاک SD , میانگین بعلاوه انحراف معیار گرفته شد و نتایج را در نمودار های مختلف بر اساس پروید پالس با یکدیگر مقایسه گردید .

جدول ۱: رکورد های حوزه نزدیک استفاده شده در تحلیل (Backer, 2007)

ردیف	نام زلزله	ایستگاه ثبت نگاشت	تاریخ وقوع	مکانیزم شکست	فاصله	بزرگی
1	Northridge-01	Pacoima Dam (downstr)	1994	Reverse	7.01	6.7
2	۰۱Northridge-	Pacoima Dam (upper left)	1994	Reverse	7.01	6.7
3	Chi-Chi, Taiwan	TCU102	1999	Reverse oblique	1.51	7.6
4	Cape Mendocino	Petrolia	۱۹۹۲	Reverse	8.18	7
5	Landers	Lucerne	۱۹۹۲	Strike- slip	2.19	7.3
6	Chi-Chi, Taiwan-03	TCU076	1999	Reverse	14.66	6.2
7	Morgan Hill	Gilroy Array #6	1984	Strike- slip	9.86	6.2
8	Coyote Lake	Gilroy Array #6	۱۹۷۹	Strike- slip	3.11	5.7
9	۰۱Northridge-	LA Dam	1994	Reverse	6.7	5.92
10	Chi-Chi, Taiwan	TCU076	1999	Reverse oblique	2.76	7.6

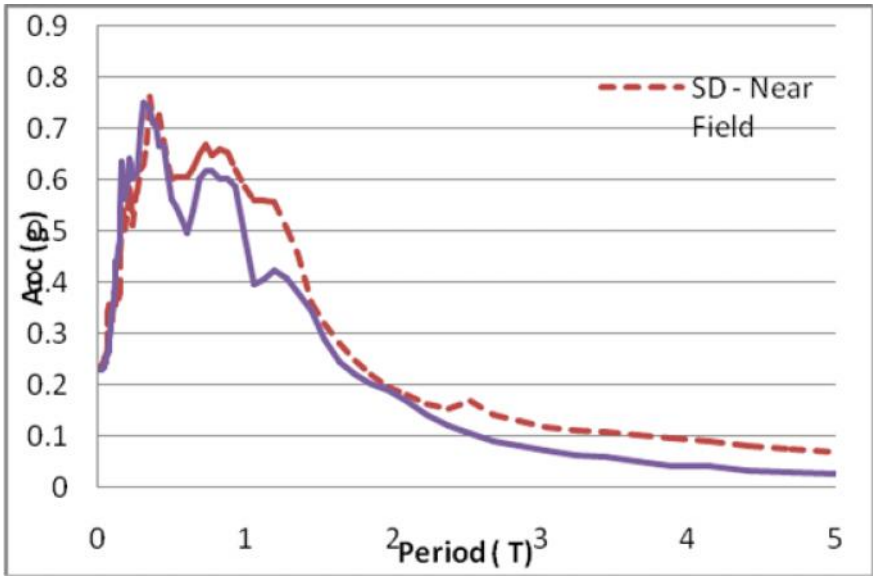
جدول ۲: رکورد های حوزه دور استفاده شده در تحلیل (PEER Strong Motion Database)

ردیف	نام زلزله	ایستگاه ثبت نگاشت	تاریخ وقوع	مکانیزم شکست	فاصله	بزرگی
۱	Northridge-01	Antelope Buttes	1994	Reverse	46.9	6.69
۲	Northridge-01	Anacapa Island	1994	Reverse	68.9	6.69
۳	Loma Prieta	Piedmont Jr High	1989	Reverse-Oblique	73.0	6.93
۴	Loma Prieta	Point Bonita	1989	Reverse-Oblique	83.5	6.93
۵	Loma Prieta	SF - Pacific Heights	1989	Reverse-Oblique	76.0	6.93
۶	Loma Prieta	So. San Francisco, Sierra Pt.	1989	Reverse-Oblique	63.1	6.93
۷	N. Palm Springs	Anza - Tule Canyon	1986	Reverse-Oblique	52.1	6.06
۸	San Fernando	Cedar Springs, Allen Ranch	1971	Reverse	89.7	6.61
۹	Whittier Narrows-01	Vasquez Rocks Park	1987	Reverse-Oblique	50.4	5.99
۱۰	Big Bear-01	Rancho Cucamonga - Deer Can	1992	Strike-Slip	59.4	6.46

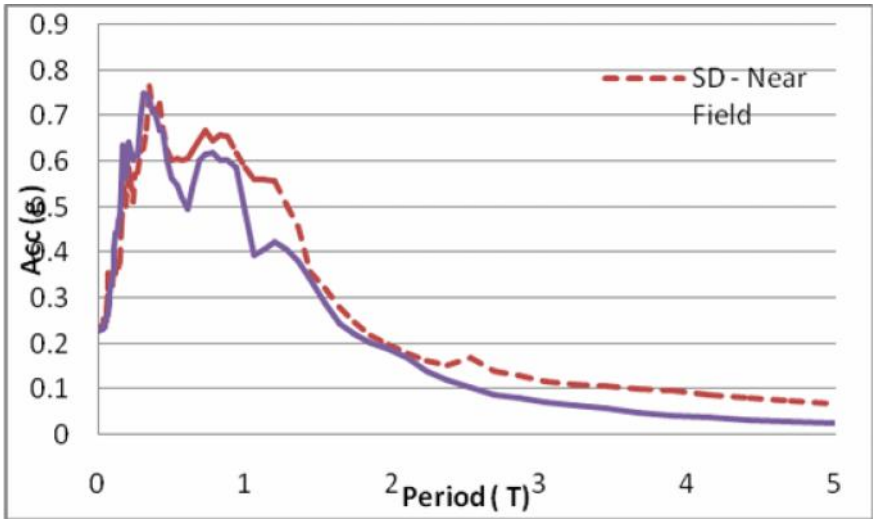
نتایج

نتایج بدست آمده از تحلیل دینامیکی آبرفت ساختگاه مورد نظر در شکل شماره ۲ تا ۶ نشان داده شده است . همانطور که از نمودار های شکل ۲ تا ۶ مشخص است از عدد ۰.۵ ثانیه به بعد طیف رکورد های حوزه نزدیک بالاتر از رکورد های حوزه دور می باشد . این نشان دهنده آن

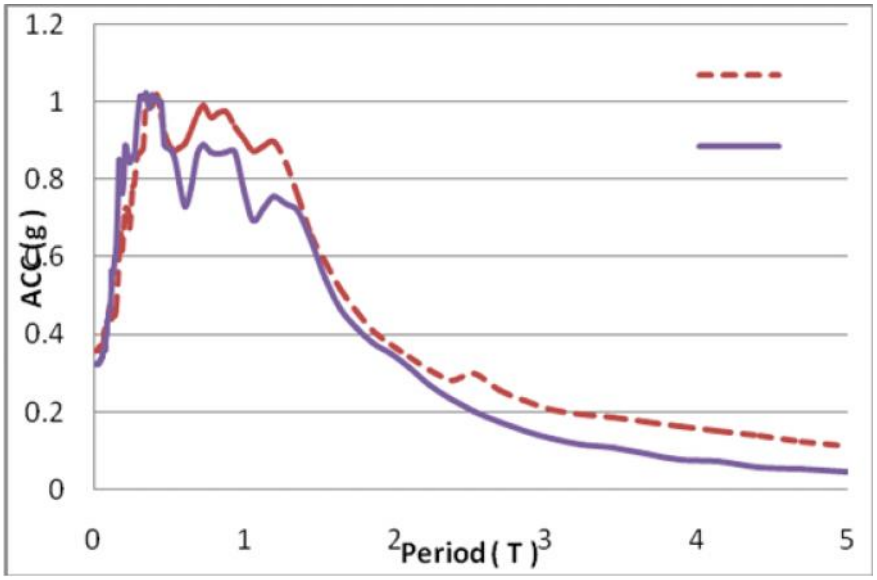
است که برای پریود های پائین تر از این زمان اثرات حوزه نزدیک بر روی طیف پاسخ اثر گذار نمی باشد و از آن زمان به بعد همواره رکورد های حوزه نزدیک عدد بیش تری را نشان می دهند . سامرویل و همکاران در سال ۱۹۹۷ اثرات جهت پذیری بر روی طیف پاسخ را برای پریود های بزرگ تر از ۶ /0ثانیه در نظر گرفتند . همچنین بلت در سال ۲۰۰۴این عدد را برای پریود های بالاتر از ۰.۵ ثانیه در نظر گرفت.



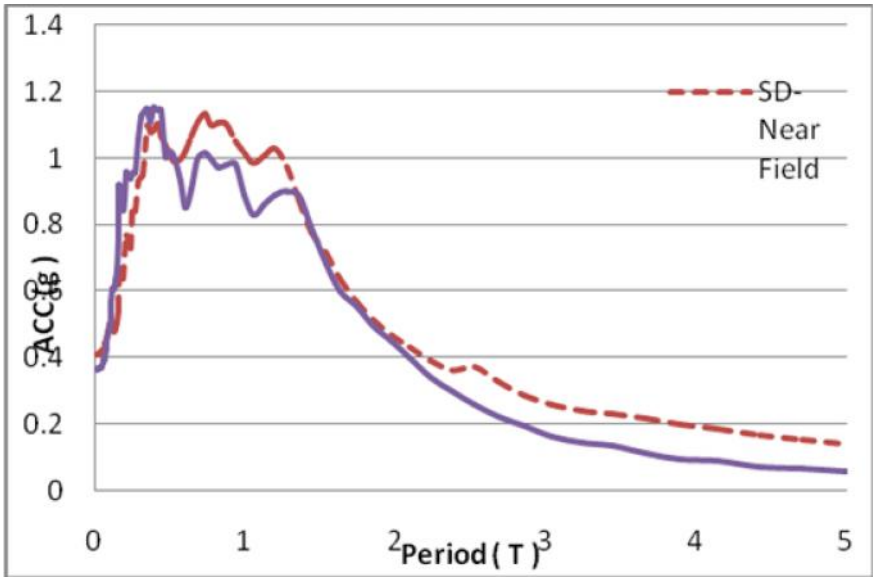
شکل ۲: مقایسه طیف رکورد های دور و نزدیک همپایه شده به 0.15 g



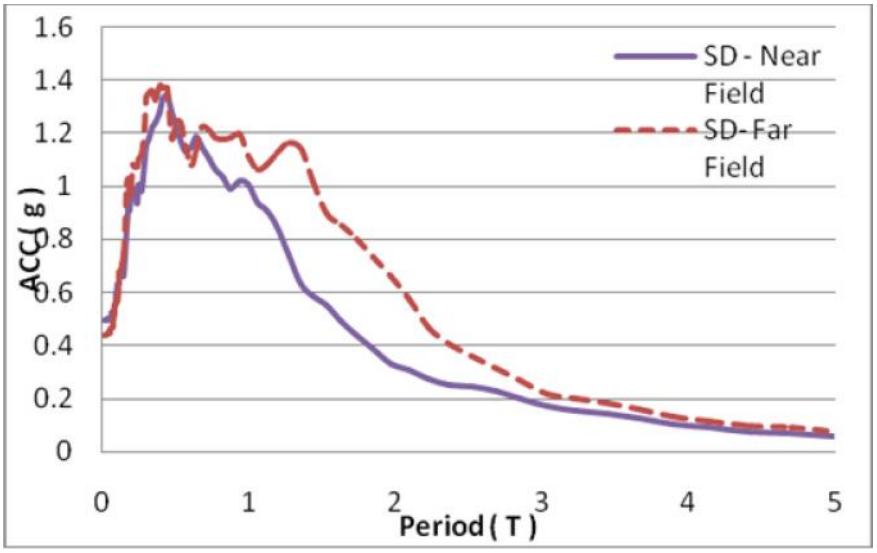
شکل۳: مقایسه طیف رکورد های دور و نزدیک همپایه شده به 0.2 g



شکل ۴: مقایسه طیف رکورد های دور و نزدیک همپایه شده به 0.25 g



شکل ۵: مقایسه طیف رکورد های دور و نزدیک همپایه شده به 0..3 g



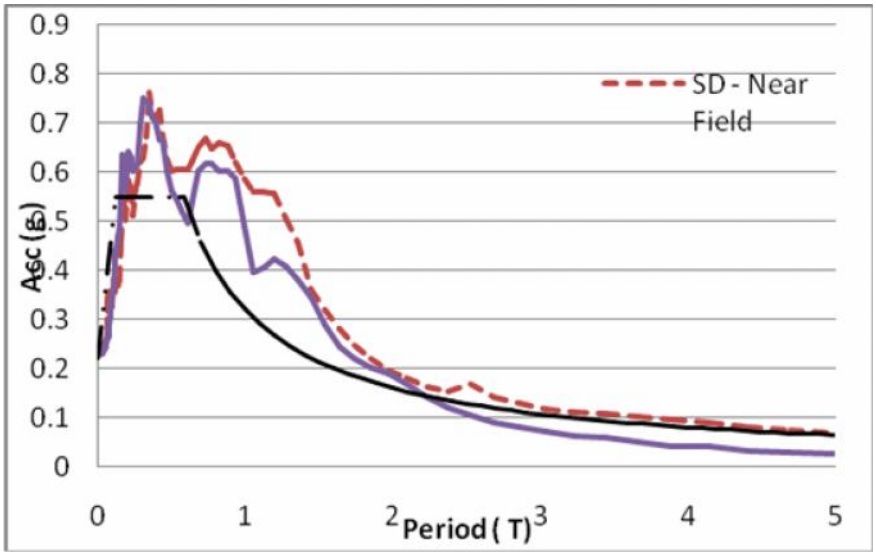
شکل ۶: مقایسه طیف رکورد های دور و نزدیک همپایه شده به 0.4 g

بحث بررسی نتایج

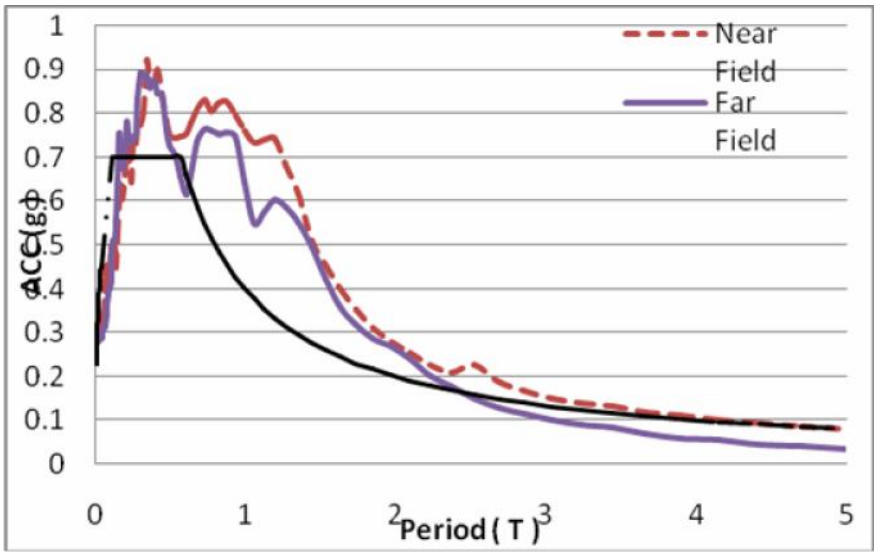
نتایج بدست آمده در این پژوهش با طیف آئین نامه UBC97 مورد مقایسه قرار گرفته است . نتایج مقایسه در شکل ۷ تا ۱۲ مشخص شده است . همان طور که پیش تر ذکر شد آئین نامه UBC97 اثرات حوزه نزدیک گسل را با ضریبی برای سطح خطر 0.4 g مورد توجه قرار داده است . در این پژوهش یک بار نمودار آئین نامه بدون در نظر گرفتن ضریب در شکل شماره ۱۰ و یک بار نیز با در نظر گرفتن ضریب پیشنهادی در شکل شماره ۱۲ رسم گردیده است .

همان طور که در شکل شماره ۷ تا ۱۱مشخص است طیف آئین نامه در زمان های بین ۰.۲ و ۲.۵ ثانیه همواره پائین تر از طیف های بدست آمده از رکورد های حوزه دور می باشد . در شکل های شماره ۷ تا ۱۰ همواره طیف حوزه نزدیک بالاتر از طیف آئین نامه قرار دارد . علت این بزرگ نمایی به دلیل اثرات خاک بر روی سنگ بستر می باشد که باعث افزایش پاسخ شده است .

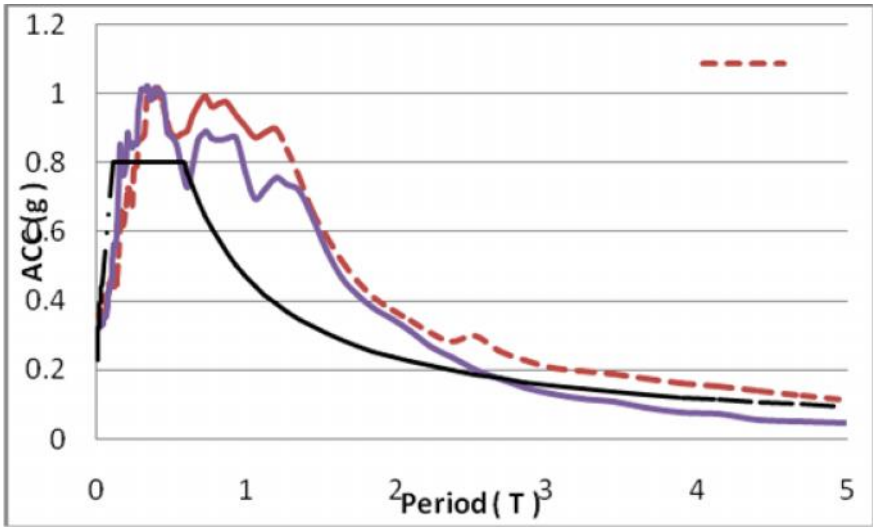
در شکل شماره ۱۱ طیف بدست آمده از حوزه دور و نزدیک با طیف آئین نامه UBC97 بدون در نظر گرفتن ضریب پیشنهادی مورد مقایسه قرار گرفته است . همان طور که مشخص است از زمان ۰.۱ ثانیه تا ۳ ثانیه طیف آئین نامه پاسخگوی زلزله های احتمالی نمی باشد و طیف رکورد های دور و نزدیک همواره بالاتر از آن قرار دارند . در شکل شماره ۱۲ طیف بدست آمده از حوزه دور و نزدیک با طیف آئین نامه UBC97 با ضریب پیشنهادی مورد مقایسه قرار گرفته است . بر اساس این مقایسه طیف پیشنهادی آئین نامه پاسخگویی مناسب به طیف بدست آمده از رکورد های حوزه نزدیک نشان داده است اما در زمان های بین ۱ ثانیه تا ۲.۲ ثانیه طیف رکورد های حوزه نزدیک بالاتر از طیف آئین نامه می باشد .



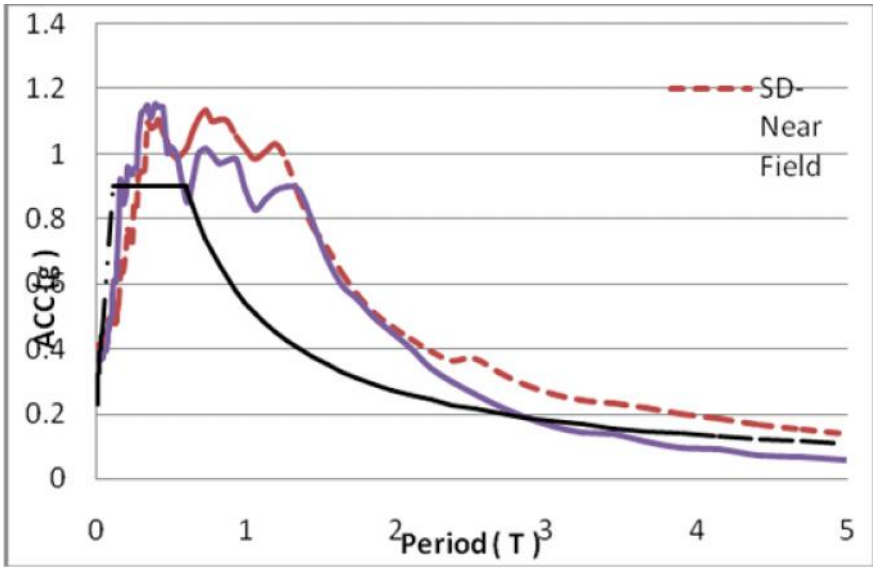
شکل ۷: مقایسه طیف رکورد های دور و نزدیک همپایه شده به 0.15 g با طیف آئین نامه UBC97



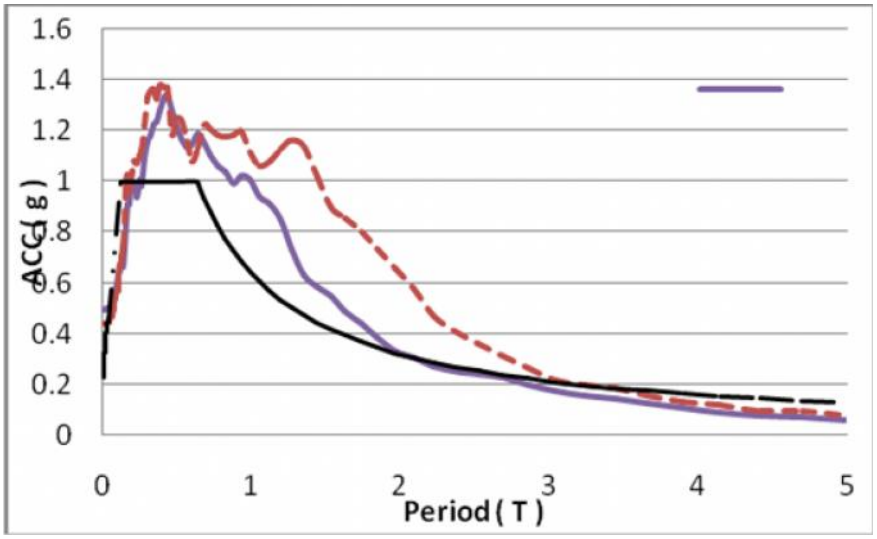
شکل ۸: مقایسه طیف رکورد های دور و نزدیک همپایه شده به 0.2 g با طیف آئین نامه UBC97



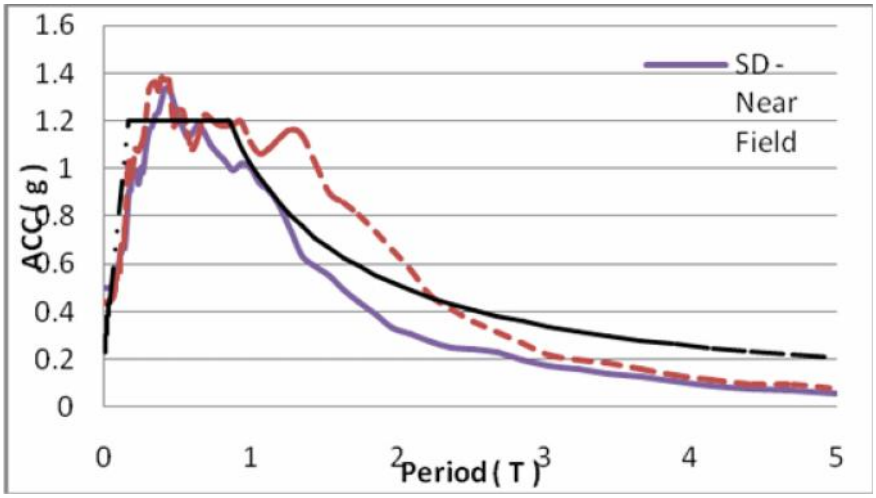
شکل ۹: مقایسه طیف رکورد های دور و نزدیک همپایه شده به۰ g ۰.۳۵ با طیف آئین نامه UBC97



شکل ۱۰: مقایسه طیف رکورد های دور و نزدیک همپایه شده به 0.3 g با طیف آئین نامه UBC97



شکل ۱۱ : مقایسه طیف رکورد های دور و نزدیک همپایه شده به 0.4 g با طیف آئین نامه UBC97
بدون در نظر گرفتن ضریب زلزله حوزه نزدیک



شکل۱۲ : مقایسه طیف رکورد های دور و نزدیک همپایه شده به 0.4 g با طیف آئین نامه UBC97 با در نظر گرفتن ضریب زلزله حوزه نزدیک

نتیجه‌گیری

با بررسی نتایج بدست آمده می توان نتیجه گرفت که اثرات جهت پذیری زلزله حوزه نزدیک برای پریود های کم تر از ۰.۵ ثانیه در طیف پاسخ اثر گذار نمی باشد . بعد از این زمان اثرات حوزه نزدیک باعث بزرگ نمایی در طیف پاسخ می شود. خاک بر روی سنگ بستر نیز باعث بزرگ نمایی طیف پاسخ می گردد . طیف پیشنهادی آئین نامه UBC97 نیز همواره پاسخگوی مناسب جهت زلزله های احتمالی نمی باشد و باید توجه ویژه بر روی خاک بر روی سنگ بستر نمود .

مراجع

استاندارد ۲۸۰۰-۹۳، استاندارد آئین‌نامه طراحی‌ساختمانها در برابر زلزله، ویرایش‌چهارم، مرکزتحقیقات‌ساختمان مسکن

Baker JW (2007) Quantitative Classification of Near-Fault Ground Motions Using Wavelet Analysis, Bulletin of the Seismological Society of America

Bolt BA (2004) Seismic Input Motions for Nonlinear Structural Analysis, ISET Journal of Earthquake Technology 41, 223-232

Hashash YMA, Groholski DR, Phillips CA, Park D and Musgrove M (2011) DEEPSOIL 5.1, User Manual and Tutorial, 107 p.

PEER Strong Motion Database: http://peer.berkeley.edu/peer_ground_motion_database

Somerville P (1997) The Characteristics and Quantification of Near Fault Ground Motion, *Proceedings of the FHWA/NCEER Workshop on the National Representation of Seismic Ground Motion for New and Existing Highway Facilities*, Burlingame, California, May 29-30, 293-318

Uniform Building Code (1997) International Council of Building Officials