بررسی اثرات جهت پذیری بر طیف ویژه ساختگاه: مطالعه موردی ساختگاه های ساحلی استان مازندران

رضا صالحی
دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران
eng.reza_salehi@yahoo.com

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

کلید واژه‌ها: *جهت پذیری، زلزله حوزه نزدیک، طیف ویژه ساختگاه.*

چکیده

رکوردهای ثبت شده از زلزله‌های اخیر نشان می‌دهد جنبش های زمین ناشی از زلزله در حوزه نزدیک گسل دارای خصوصیاتی متفاوت از زلزله‌های حوزه دور می‌باشند. یکی از دلایل این تفاوت وجود یک یا چند پالس ویژه با دامنه زیاد در ابتدای رکورد سرعت زلزله های حوزه نزدیک است که ناشی از پدیده جهت پذیری می باشد. این پدیده باعث می‌شود انرژی زلزله باشدت زیاد و به یکباره به سازه وارد شده وسبب افزایش پتانسیل تخریب سازه‌های واقع در ساختگاه‌های حوزه نزدیک گسل گردد. یکی از راههای در نظر گرفتن اثرات زلزله های حوزه نزدیک در محاسبه و طراحی سازه ها استفاده از طیف ویژه ساختگاه است که آن با استفاده از نتایج آزمایش‌های ژئوفیزیک درون گمانه ای و تحلیل دینامیکی آبرفت قابل دستیابی است. آیین‌نامه لرزه‌ای ایران (استاندارد ۲۸۰۰) نیز بکارگیری طیف ویژه ساختگاه را برای ساختمانهای بلند تر از ۵۰ متر که بر روی زمین نوع IV ساخته می‌شوند و ساختمانهای بلند تر از ۵۰ مترکه بر روی زمین های II- ب و III-ب، با ضخامت لایه خاک بیش از ۶۰ متر ساخته می‌شوند الزامی دانسته است. از آنجایی که عمده ساختمانهای بلند مرتبه در ساختگاههای ساحلی مازندران مشمول این الزام آیین نامه می گردند لذا در این مطالعه با استفاده از نتایج آزمایش‌های ژئوفیزیک درون گمانه ای در ساختگاههای ساحلی مازندران اقدام به استخراج پروفیل نماینده ژئوتکنیکی لرزه ای و تحلیل دینامیکی آبرفت تحت رکورد زلزله های حوزه نزدیک با پالس و بدون پالس شد و نهایتا با مقایسه نتایج اثرات پدیده ناشی از جهت پذیری مشاهده و توصیه های لازم بیان شد.

مقدمه

وقوع زلزله های مخربی نظیر نورثریج ۱۹۹۴،کوبه ۱۹۹۵،چی چی ۱۹۹۹ نشان داد رکورد زلزله های ثبت شده در حوزه نزدیک گسل دارای تفاوتهایی با زلزله های حوزه دور است. با افزایش مطالعات بر روی زلزله های حوزه نزدیک گسل مشخص شد این تفاوت ها اغلب ناشی از دو عامل جهت پذیری و تغییرمکان ماندگار در حوزه نزدیک گسل است که باعث می شود در هنگام وقوع زمین لرزه در حوزه نزدیک گسل انرژی زلزله باشدت زیاد و به یکباره به سازه وارد شده وسبب افزایش پتانسیل تخریب سازه گردد.

کشور ما ایران نیز که از نظر خطر لرزه خیزی بین ۱۰ کشور اول دنیا قرار دارد، بر روی کمربند زلزله آلپ همیالیا واقع شده است. به لحاظ لرزه خیزی فلات ایران، بسیاری از شهرهای ایران بر روی و یا در حوزه نزدیک گسل واقع شده اند. همچنین وقوع زلزله‌های خانمان براندازی چون بم ۲۰۰۳نیز اهمیت مطالعه زلزله های حوزه نزدیک و شناخت تفاوتهای آن با زلزله های حوزه دور و لزوم در نظر گرفتن این تفاوت ها را در طراحی سازه‌ها نشان می دهد.

در سالهای اخیر با توجه به موقعیت توریستی و مهاجرپذیر استانهای شمالی، نیاز و گرایش به ساخت ساختمانهای بلندمرتبه در ساختگاه‌های ساحلی شمال کشور افزایش یافته است. خاک این ساختگاه های ساحلی عمدتا مشتمل بر یک لایه آبرفتی عمیق و نوع زمین ساختگاه های مزبور بر اساس آیین نامه لرزه‌ای ایران (استاندارد ۲۸۰۰)،بر نوع زمین III و IV منطبق است.

از سویی براساس استاندارد ۲۸۰۰ روش تحلیل دینامیکی برای ساختمانهای منظم با ارتفاع بیش از ۵۰ متر و برای ساختمانهای نامنظم بیش از ۵ طبقه ویا ارتفاع بیش از ۱۸ متر الزامی است. طبق استاندارد ۲۸۰۰ برای ساختمانهایی که مشمول مورد بالا هستند و در آنها یکی از شرایط زیر موجود است بکار گیری طیف ویژه ساختگاه الزامی است:

الف : ساختمانهای «با اهمیت خیلی زیاد و زیاد» که بر روی زمین نوعIV ، ساخته می شوند.

ب : ساختمانهای بلند تر از ۵۰ متر که بر روی زمین نوع IV ، ساخته می شوند

پ : ساختمانهای بلند تر از ۵۰ مترکه بر روی زمین های -II ب وIII–ب ، با ضخامت لایه خاک بیش از ۶۰ متر ساخته می شوند.

بنابراین بکارگیری طیف طرح ویژه ساختگاه برای ساختمانهای بلند مرتبه در سواحل شمالی کشور جهت تحلیل دینامیکی الزامیست. به همین دلیل در این مطالعه جهت ارزیابی اثرات جهت پذیری از دو دسته رکورد شامل زلزله های حوزه نزدیک با پالس سرعت ناشی از جهت پذیری و زلزله های حوزه نزدیک که پالس سرعت آنها حذف شده است بعنوان حرکت ورودی به سنگ بستر لرزه ای پروفیل نماینده ساختگاه های ساحلی استان مازندران استفاده شد. سپس با تحلیل دینامیکی زمین طیف ویژه ساختگاه متناظر آنها تهیه و با یکدیگر مقایسه شد.

خصوصیات زلزله های حوزه نزدیک گسل

زلزله ها را معمولا بر حسب فاصله منبع لرزه‌زا از ساختگاه به سه دسته‌ی زلزله حوزه نزدیک ، زلزله حوزه متوسط و زلزله حوزه دور تقسیم بندی می‌کنند. زلزله‌های حوزه نزدیک به زلزله هایی گفته می شود که فاصله ساختگاه از منبع لرزه زا کمتر از ۱۵ تا ۲۰ کیلومتر باشد(Tehranizade and Najafi, 2008). رکوردهای ثبت شده از زلزله های حوزه نزدیک اغلب شامل ویژگی هایی چون شتاب های بالاتر در رکورد شتاب، مدت زمان کم و وجود پالسی با دامنه و پریود بالا در شروع رکوردها (غالبا در رکورد سرعت و در مولفه عمود بر امتداد گسل) می‌باشند که ناشی از دو پدیده مهم جهت پذیری (directivity) و تغییر مکان ماندگار (fling step) است. در هنگام وقوع زلزله هر جز از گسل در یک زمان خاصی گسیخته می‌شود. اگر جهت پیشروی شکستگی گسل به سمت ساختگاه باشد و سرعت موج برشی به سرعت گسلش نزدیک باشد، امواج حاصل از زلزله بصورت یک ضربه به ساختگاه می رسد و باعث آسیب رسیدن به سازه می شود. به این پدیده جهت پذیری گویند. همچنین در حوزه نزدیک گسل تحرکات زمین تحت تاثیر تغییر مکانهای استاتیکی زمین ناشی از زلزله و لغزش گسل است که اصطلاحا به آن fling step گفته می‌شود. تغییرمکانهای ناشی از fling step در جهت لغزش گسل اتفاق می‌افتد و مستقل از تغییرمکانهای دینامیکی ناشی از پدیده جهت پذیری است و بسته به نوع مکانیزم گسل ممکن است این دو پدیده در جهت تخریب بیشتر سازه به یکدگیر کمک کنند(PEER report, 2001).علاوه بر این، بدون در نظر گرفتن اثرات جهت پذیری و تغییرمکان ماندگار،تکان های ناشی از زلزله های حوزه نزدیک گسل به دلیل اینکه فرصت کمتری برای میرا شدن دارند لذا شدیدتر از زلزله های حوزه دور می باشند (عبدالله زاده و همکاران).

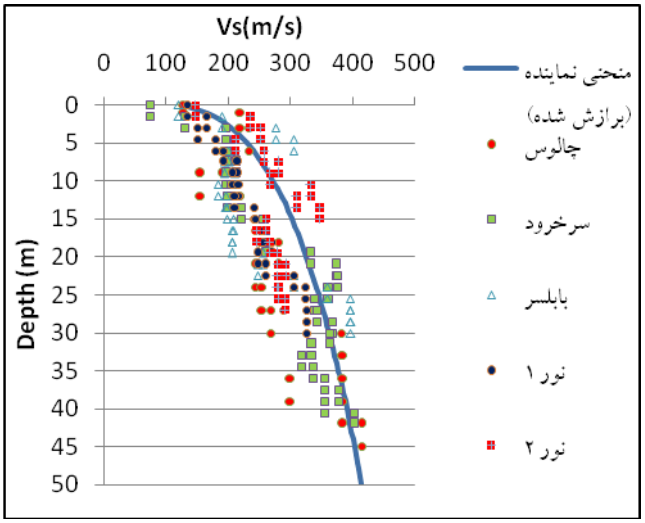
تحلیل دینامیکی آبرفت(صالحی و موسوی، ۱۳۹۳)

امروزه یکی از روشهای محاسبه نیروهای ناشی از زلزله در سازه ها استفاده از طیف پاسخ است؛ بطوریکه می توان با در اختیار داشتن طیف ویژه هر ساختگاه و خصوصیات دینامیکی سازه حداکثر پاسخ سازه را پیش بینی نمود. روش های مختلفی جهت تهیه طیف ویژه ساختگاه وجود دارد. یکی از این روشها تحلیل دینامیکی آبرفت می‌باشد. در این پژوهش جهت تحلیل دینامیکی آبرفت از نرم افزار Deepsoil نسخه ۵.۱ (Hashash et al, 2011) استفاده گردید و از بین سه گزینه تحلیل خطی ، تحلیل خطی معادل و تحلیل غیرخطی، با توجه به داده های در دسترس و دقت کافی تحلیل خطی معادل، این گزینه انتخاب شد. تحلیل دینامیکی آبرفت نیازمند معرفی پارامترهایی چون پروفیل خاک ساختگاه، مشخصات سنگ بستر و رکوردهای زلزله بعنوان حرکت‌های ورودی به نرم افزار است. معرفی مشخصات پروفیل خاک با استفاده از نتایج حاصل از انجام آزمایش ژئوفیزیک درون گمانه‌ای (Downhole) مقدور می‌باشد. در آزمایش Downhole با حفر گمانه تا یک عمق معین از سطح زمین و بر اساس زمان رسیدن امواج لرزه ای، سرعت موج برشی در لایه های مختلف خاک بدست می‌آید. در این مطالعه از نتایج حاصل از آزمایش Downhole در ۵ نقطه از ساختگاه های ساحلی شمال کشور (ساختگاه‌های ساحلی واقع در حدفاصل بابلسر تا رامسر شامل نور, بابلسر, چالوس و سرخرود) استفاده شده و نتایج حاصل از این ۵ آزمایش در شکل ۱ به نمایش در آمده است. یکی از محدودیتها در آزمایش های درون گمانه ای عمق حفر گمانه می باشد. حفر گمانه‌های عمیق به لحاظ اقتصادی به صرفه نیست به همین دلیل دراغلب مطالعات ژئوتکنیکی ویژگی‌های لایه‌های عمیق تر را با برازش یک منحنی از داده های موجود پیش بینی می‌کنند. در این مطالعه نیز باتوجه به داده های در اختیار حاصل از انجام آزمایش Downhole اقدام به تعیین و برازش یک منحنی به فرم رابطه(۱) شد.

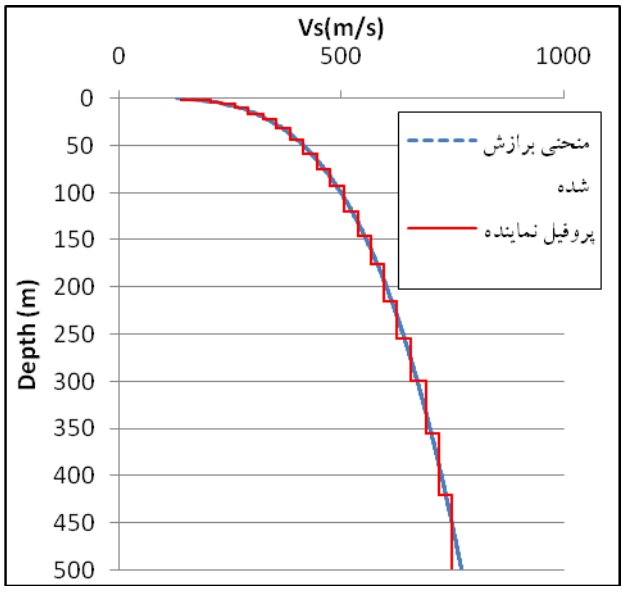
$$V_s = V_0(1 + 1.45 \times Z)^{0.27} \qquad (۱)$$

که V_s سرعت موج برشی را در هر عمقی از خاک برحسب متر بر ثانیه ،V_0 سرعت موج برشی در سطح زمین بر حسب متر بر ثانیه و Z عمق خاک بر حسب متر است.منحنی حاصل از رابطه(۱)در حقیقت منحنی نماینده تغییرات سرعت موج برشی ساختگاه های ساحلی بر حسب عمق است که از داده های ۵ آزمایش Downhole در ساختگاه های ساحلی شمال کشور برازش شده است. این منحنی در شکل ۱ و شکل ۲ به نمایش در آمده است.

طبق آیین نامه لرزه ای ایران عمقی از خاک را می توان بعنوان سنگ بستر لرزه ای در نظر گرفت که سرعت موج برشی در آن ۷۵۰ متر برثانیه و یا بیشتر باشد لذا بر اساس منحنی برازش شده موجود -که در عمق حدود ۵۰۰ متری سرعت موج برشی ۷۵۰ متر بر ثانیه را قطع می‌کند-یک پروفیل خاک با ضخامت۵۰۰ متر بعنوان پروفیل خاک نماینده ساختگاه‌های ساحلی مازندران، جهت استفاده در تحلیل دینامیکی آبرفت تولیدگردید.این پروفیل خاک نماینده شامل ۲۱ لایه است که ضخامت و سرعت موج برشی لایه‌ها در شکل ۲ قابل مشاهده است.همچنین وزن واحد حجم لایه ها با توجه به سایر مطالعات تجربی در شمال کشور بین ۱۵ الی ۲۱ کیلونیوتن بر مترمکعب در نظر گرفته شد که با افزایش عمق از سطح زمین افزایش می یابد. جنس لایه ها نیز جهت تعریف منحنی خاک ماسه فرض گردید.



شکل ۱: نتایج حاصل از آزمایش Downhole به همراه منحنی برازش شده



شکل ۲ : منحنی برازش شده و پروفیل خاک نماینده بدست آمده از منحنی

همچنین سرعت موج برشی متوسط ۳۰ متر نخست این پروفیل نمایندهبرابر $280.6m/s$است که بر خاک نوع III استاندارد ۲۸۰۰ منطبق می باشد.

رکوردهای زلزله

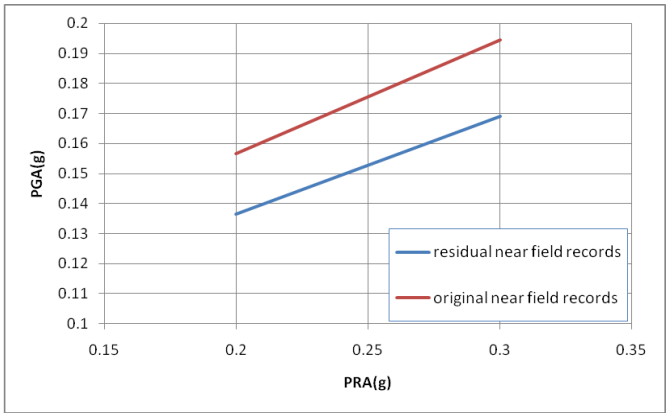
در این مطالعه برای ارزیابی اثرات جهت پذیری بر طیف ویژه ساختگاه از ۱۰ رکورد زلزله حوزه نزدیک با پالس سرعت ناشی از پدیده جهت پذیری و ۱۰ رکورد زلزله حوزه نزدیک مشابه که تنها پالس آنها جدا شده است(Baker, 2007) بعنوان حرکت ورودی به سنگ بستر لرزه ای استفاده شد. در جدول ۱ مشخصات رکوردها آمده است.هر یک از این رکورد ها جهت تحلیل دینامیکی آبرفت به مقادیر مورد نظر هم پایه شدند.

جدول ۱: رکورد شتاب زلزله های حوزه نزدیک(Baker, 2007)

شماره	نام واقعه	سال	ایستگاه
1	Coyote Lake	1979	Gilroy Array #6
2	Morgan Hill	1984	Gilroy Array #6
3	Cape Mendocino	1992	Petrolia
4	Landers	1992	Lucerne
5	Northridge-01	1994	LA Dam
6	Northridge-01	1994	Pacoima Dam(downstr)
7	Northridge-01	1994	Pacoima Dam(upper left)
8	Chi-Chi Taiwan	1999	TCU076
9	Chi-Chi Taiwan	1999	TCU102
10	Chi-Chi Taiwan-06	1999	CHY101

نتایج

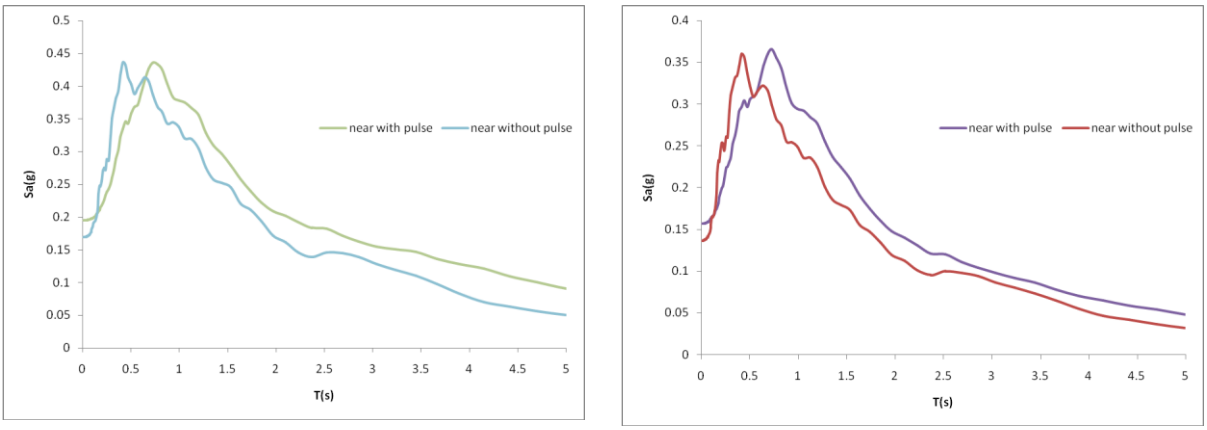
در این مطالعه رکوردهای زلزله به دو سطح شتاب با مقادیر ۰/۲و ۰/۳ شتاب گرانش زمین مقیاس شدند. نمودار میانگین بیشینه شتاب روی سطح زمین(PGA) به شتاب سنگ بستر(PRA) برای زلزله های حوزه نزدیک با پالس و بدون پالس در شکل۳ آمده است. در هر دو مورد پروفیل نماینده خاک ساختگاه‌های ساحلی باعث کوچکنمایی امواج زلزله شده است. این کوچکنمایی برای زلزله های حوزه نزدیک بدون پالس بیشتر است.



شکل ۳ : نمودار میانگین PGA به PRA برای زلزله های حوزه نزدیک با پالس و بدون پالس

منحنی میانگین بعلاوه انحراف معیار طیف ویژه ساختگاه نرمالایز شده ده رکورد زلزله حوزه نزدیک با پالس و بدون پالس همپایه شده به مقادیر ۰/۲ و ۰/۳ شتاب گرانش ضرب در PGA میانگین متناظر آنها در شکل۴ به نمایش در آمده است. همانگونه که ملاحظه می‌شود برای هر دو سطح شتاب سنگ بستر در پریودهای پایین، دامنه طیف ویژه ساختگاه زلزله حوزه نزدیک بدون پالس بیشتر از زلزله حوزه نزدیک با پالس است

ولی برای پریودهای بزرگتر از ۰/۶ ثانیه طیف حاصل از رکورد زلزله های حوزه نزدیک باپالس بالاتر از طیف حاصل از رکورد زلزله های حوزه نزدیک بدون پالس است.

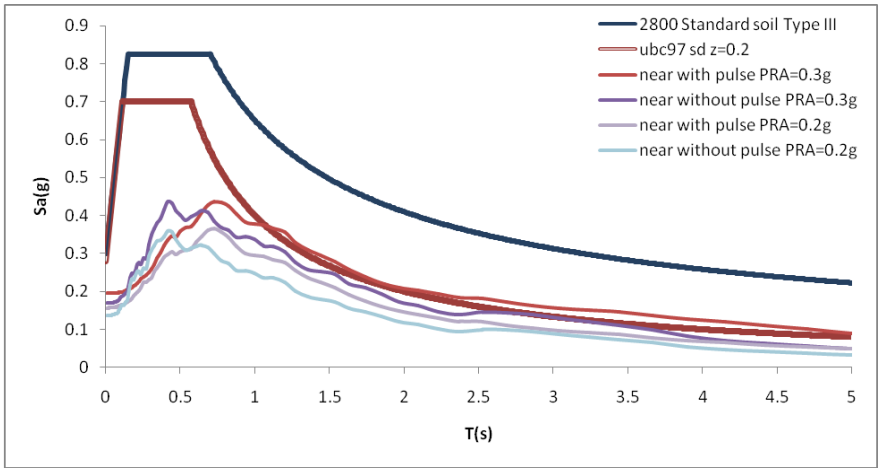


(ب) (الف)

شکل ۴ : منحنی میانگین بعلاوه انحراف معیار طیف ویژه ساختگاه نرمالایز شده ده رکورد زلزله حوزه نزدیک با پالس و بدون پالس ضرب در PGA میانگین متناظر آنها الف) PRA=۰/۲g ب) PRA=۰/۳g

مقایسه نتایج با طیف آیین نامه ها

آیین نامه ۲۸۰۰ اثرات حوزه نزدیک گسل را در نظر نمی گیرد به همین سبب همانطور که در شکل ۵ مشاهده می شود علی رغم اینکه نتایج حاصل با طیف آیین نامه UBC97 تطابق نزدیکی دارد ولی طیف آیین نامه ۲۸۰۰ مقادیر بزرگتر و دست بالایی را نشان می دهد.



شکل ۵ : مقایسه میانگین بعلاوه انحراف معیار طیف ویژه ساختگاه نرمالایزشده در PGA با طیف آیین نامه ۲۸۰۰ و آیین نامه UBC97

نتیجه گیری

بر پایه آیین نامه لرزه ای ایران (استاندارد ۲۸۰۰) بکارگیری طیف ویژه ساختگاه برای ساختمانهای بلند تر از ۵۰ متر که بر روی زمین نوع IV ساخته می شوند و ساختمانهای بلنـــد تر از ۵۰ مترکه بر روی زمین های II- ب و III-ب، با ضخـــامت لایه خـــاک بیش از ۶۰ متر ساخته می شوند، الزامی است و عمده ساختمانهای بلند مرتبه در ساختگاههای ساحلی مازندران مشمول این الزام آیین نامه می گردند. در پژوهش حاضر

با استفاده از نتایج آزمایش های ژئوفیزیک درون گمانه ای در ساختگاههای ساحلی مازندران اقدام به استخراج پروفیل های نماینده ژئوتکنیکی لرزه ای شد. در ادامه اقدام به تحلیل دینامیکی آبرفت تحت دو دسته رکورد شامل زلزله های حوزه نزدیک با پالس و بدون پالس گردید. اگرچه برای پروژه های ساختمانی واقعی نیاز به مطالعات دقیق تر می باشد اما از نتایج حاصل از تحلیل دینامیکی آبرفت مشاهده شد که این احتمال وجود دارد خاک ساختگاه های ساحلی استان مازندران سبب کوچک نمایی امواج زمین لرزه بشود. همچنین با مقایسه طیف ویژه ساختگاه رکوردهای با پالس و بدون پالس مشاهده شد که دامنه طیف طرح ویژه ساختگاه برای زلزله های حوزه نزدیک باپالس برای پریودهای بزرگتر از ۰/۶ ثانیه بیشتر از طیف حاصل از رکورد زلزله های حوزه نزدیک بدون پالس است که نشان می دهد سازه های با پریود طبیعی بالاتر از ۰/۶ ثانیه نیازمند تمهیدات بیشتری هستند و این امر باید در پروژه های واقعی با دقت مورد بررسی قرار بگیرد. در ادامه این نتایج با طیف طرح آیین نامه ۲۸۰۰ و طیف طرح آیین نامه UBC97 مقایسه و مشاهده شد که علی رغم اینکه طیف طرح آیین نامه UBC97 مطابقت نزدیکی با نتایج تحلیل دینامیکی آبرفت ساختگاه‌های ساحلی مازندران دارد ولی طیف طرح آیین نامه ۲۸۰۰ مقادیر دست بالا و محافظه کارانه ای را نشان می دهد. لذا توصیه می گردد برای بهینه کردن هزینه های طراحی و احداث سازه ها و پروژه های عمرانی طیف آیین نامه ۲۸۰۰ ایران اصلاح شده و اثرات زلزله های حوزه نزدیک بر آن اعمال شود. همچنین در ساختگاه ساحلی مازندران با انجام مطالعات ژئوتکنیکی از طیف ویژه ساختگاه برای طراحی و محاسبه سازه های مهم استفاده شود.

فهرست مراجع

استاندارد ۲۸۰۰ ، استاندارد آئین‌نامه طراحی‌ساختمانها در برابر زلزله، ویرایش‌سوم، مرکزتحقیقات‌ساختمان و مسکن، ۱۳۸۴

عبدالله زاده داود، گرامی محسن و مستعلی محمد، بررسی پارامترهای موثر بر طیف پاسخ ویژه ساختگاه به منظور طراحی و بهسازی سازه‌ها درحوزه نزدیک گسل، *اولین کنفرانس ملی سازه و فولاد و دومین کنفرانس کاربردفولادهای پراستحکام درصنعت سازه*، ایران

صالحی ر و موسوی س م (۱۳۹۳) بررسی اثر زلزله های حوزه دور و نزدیک بر طیف ویژه ساختگاه: مطالعه ساختگاه های ساحلی مازندران، *دومین کنفرانس ملی مهندسی ژئوتکنیک ایران، کرمانشاه*

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

Jack W and Baker (2007) Quantitative Classification of Near-Fault Ground Motions Using Wavelet Analysis , Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 97, No. 5, pp. 1486–1501, doi: 10.1785/0120060255

Jonathan P Stewart, Shyh-JengChiou, Jonathan D Bray, Robert W Graves, Paul G Somerville and Norman A Abrahamson (2001) Ground Motion Evaluation Procedures for Performance-Based Design , PEER Report 2001/09, Pacific Earthquake Engineering Research Center College of Engineering University of California, Berkeley

TehraniZade M and HajNajafi L (2008) Assessing Seismic Behavior of Eccentrically Braced Frames (EBFs) Due to Near-Field Ground Motions, *The 14th World Conference on Earthquake Engineering*, Beijing, China

Uniform building code (1997) international council of building officials