

بسم الله الرحمن الرحيم



پردیس خوارزمی بین المللی خوارزمی
گروه مهندسی ژئوتکنیک
پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی ژئوتکنیک

بررسی تاثیر فشرده سازی داده های شتاب
نگاشت زلزله در مسائل ژئوتکنیک لرزه ای

نگارنده : مجید سلیم اسدی

استاد راهنما :

دکتر امیر بذرافشان مقدم

شهریور ۱۳۹۸

اکنون که به یاری پروردگار و راهنمایی اساتید خویش موفق به پایان این رساله شده‌ام وظیفه خود می‌دانم که نهایت سپاسگزاری را از تمامی عزیزانی که در این راه به من کمک کرده‌اند به عمل آورم به ویژه :

از استاد فرهیخته ام جناب آقای دکتر امیر بذرافشان مقدم که با صعه صدر راهنمایی این پایانامه را بر عهده داشته‌اند سپاسگزارم.

از اساتید مجرب و دلسوزم آقایان دکتر رضا نادری و دکتر محسن کرامتی برای تمام آموزش هایشان در طول دوره تحصیل اینجانب در مقطع کارشناسی ارشد بسیار سپاسگزارم.

همچنین از همسر و فرزندان عزیزم که کم و کاستی های زندگی را در مواقع نبود اینجانب پذیرا شدند ممنونم.

تعهدنامه

اینجانب مجید سلیم اسدی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته عمران-ژئوتکنیک دانشکده پردیس خوارزمی دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه بررسی تاثیر فشرده سازی داده های شتاب نگاشت زلزله در مسائل ژئوتکنیک لرزه ای تحت راهنمایی دکتر امیر بذرافشان مقدم متعهد می شوم.

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش های محققان دیگر مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام «دانشگاه صنعتی شاهرود» و یا «Shahrood University of Technology» به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تاثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافت های آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

تاریخ

امضاء دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.

چکیده

انجام تحلیل و محاسبات پروژه های گوناگون مهندسی عمران و به ویژه در رشته ژئوتکنیک لرزه ای همواره کاری پر زحمت ، زمان بر و در نتیجه پرهزینه بوده است و براین اساس مهندسين با کمک روش های گوناگون، در پی کوتاه کردن زمان محاسبات در جهت کاهش این هزینه ها بوده اند. با اینکه در برخورد با مسائل سنگین مهندسی عمران از رایانه و نرم افزارهای پیشرفته استفاده می گردد اما در بحث آنالیز دینامیکی، همچنان نیاز به یافتن روشی برای کم کردن زمان آنالیز احساس می شود. سیگنال های گوناگون مانند امواج زلزله در مدت زمانی که منتشر می شوند اطلاعات زیادی را با خود حمل می کنند. در این تحقیق برای کاهش زمان پردازش این اطلاعات و در نتیجه صرفه جویی در زمان مدل سازی و تحلیل مسائل ژئوتکنیک لرزه ای، شتابنگاشت ها با استفاده از آنالیز تجزیه ساز موجکی، فشرده شده و تعداد داده های آنها کاهش یافته است. سپس شتابنگاشت های اولیه و نیز کاهش یافته در پنج مسئله ژئوتکنیکی مختلف مورد استفاده قرار گرفت. نتایج بدست آمده نشان میدهد که تا دو مرحله فشرده سازی که معادل با کاهش ۷۵ درصدی داده های شتابنگاشت می باشد، ۷۰ درصد زمان محاسبات رایانه ای کاهش می یابد و خطای بوجود آمده در نتایج کمتر از ۵ درصد می باشد.

کلمات کلیدی: ژئوتکنیک لرزه ای، فشرده سازی ، شتابنگاشت، آنالیز تجزیه ساز موجکی

فهرست عناوین

- فصل اول: طرح مسئله ، اهمیت و ضرورت تحقیق ۱
- ۱-۱ مقدمه ۲
- ۲-۱ تعریف مسئله ۲
- ۳-۱ ضرورت انجام تحقیق ۳
- ۴-۱ هدف از انجام تحقیق ۴
- ۵-۱ ساختار پایان نامه ۴
- فصل دوم: مروری بر مفاهیم تبدیل موجکی ۵
- ۱-۲ شتابنگار و شتابنگاشت ۶
- ۲-۲ فشرده سازی موج ۷
- ۱-۲-۲ تجزیه موجکی ۷
- ۲-۲-۲ تعریف ریاضی موجک ۸
- ۳-۲-۲ انواع موجک مادر ۱۰
- ۴-۲-۲ انتخاب موجک مادر مناسب ۱۲
- ۵-۲-۲ مروری بر تحقیقات پیشین ۱۳
- ۶-۲-۲ فشرده سازی با استفاده از آنالیز تجزیه ساز موجکی ۱۶
- ۳-۲ محتوای فرکانسی و پارامترهای لرزه ای ۱۸
- ۱-۳-۲ شتاب حداکثر افقی ۱۸
- ۲-۳-۲ محتوای فرکانسی و فرکانس غالب ۱۹
- فصل سوم: فشرده سازی موج زلزله به روش موجکی ۲۱
- ۱-۳ مقدمه ۲۲
- ۲-۳ فشرده سازی شتابنگاشت ها ۲۲
- ۱-۲-۳ شتابنگاشت زلزله ایتالیا ۲۳
- ۲-۲-۳ شتابنگاشت زلزله Kocaeli ترکیه ۲۵

۲۷	..... شتابنگاشت زلزله یونان ۳-۲-۳
۲۹	..... شتابنگاشت زلزله تایوان (ChiChi Taiwan) ۴-۲-۳
۳۱	..... شتابنگاشت زلزله (Coyote Lake 1979) ۵-۲-۳
۳۳	..... شتابنگاشت زلزله (Imperial Valley 1979) ۶-۲-۳
۳۵	..... شتابنگاشت زلزله (El-Centro 1940 #9) ۷-۲-۳
۳۷	..... شتابنگاشت زلزله (Imperial Valley El-Centro 1940 #11) ۸-۲-۳
۳۹	..... شتابنگاشت زلزله (Loma Prieta 1989) ۹-۲-۳
۴۱	..... شتابنگاشت زلزله (Mammoth Lake 1980) ۱۰-۲-۳
۴۳	..... شتابنگاشت زلزله (Morgan Hill 1984) ۱۱-۲-۳
۴۵	..... شتابنگاشت زلزله (Northridge-01 1994) ۱۲-۲-۳
۴۷	..... شتابنگاشت زلزله (Westmorland 1981) ۱۳-۲-۳
۴۹	..... شتابنگاشت زلزله (Whittier Narrows 1987) ۱۴-۲-۳
۵۱	..... مقایسه نتایج ۳-۳
۵۳	..... فصل چهارم: اعمال شتابنگاشت ها در مسائل ژئوتکنیکی ۵۳
۵۴	..... مقدمه ۱-۴
۵۴	..... مسئله اول : تحلیل دینامیکی دیوار حائل ۲-۴
۵۶	..... اعمال شتابنگاشت Chi Chi تایوان ۱-۲-۴
۵۸	..... اعمال شتابنگاشت Kocaeli ترکیه ۲-۲-۴
۶۰	..... مقایسه نتایج ۳-۲-۴
۶۱	..... مسئله دوم : تحلیل دینامیکی یک قاب خمشی پنج طبقه با استفاده از Plaxis ۳-۴
۶۳	..... اعمال شتابنگاشت Chi Chi تایوان (قاب خمشی پنج طبقه) ۱-۳-۴
۶۵	..... اعمال شتابنگاشت Kocaeli ترکیه (قاب خمشی پنج طبقه) ۲-۳-۴
۶۷	..... مقایسه نتایج ۳-۳-۴
۶۸	..... مسئله سوم : آنالیز پاسخ زمین ۴-۴
۷۰	..... اعمال شتابنگاشت Chi Chi تایوان ۱-۴-۴

۷۳	۲-۴-۴ اعمال شتابنگاشت Kocaeli ترکیه
۷۶	۳-۴-۴ مقایسه نتایج
۷۶	۵-۴ مسئله چهارم : تحلیل دینامیکی قاب خمشی نه طبقه به کمک Plaxis و Opensees
۷۸	۱-۵-۴ اعمال شتابنگاشت Chi Chi تایوان (با استفاده از اپنسیس)
۷۹	۲-۵-۴ اعمال شتابنگاشت Kocaeli ترکیه (با استفاده از اپنسیس)
۸۰	۳-۵-۴ مقایسه نتایج
۸۱	۴-۵-۴ اعمال شتابنگاشت Chi Chi تایوان (با استفاده از پلکسیس)
۸۲	۵-۵-۴ اعمال شتابنگاشت Kocaeli ترکیه (با استفاده از پلکسیس)
۸۴	۶-۵-۴ مقایسه نتایج
۸۵	فصل پنجم: نتیجه گیری
۸۶	۱-۵ مقدمه
۸۶	۲-۵ نتیجه گیری عملیات فشرده سازی
۸۶	۳-۵ نتیجه گیری اعمال شتابنگاشت ها
۸۸	۴-۵ پیشنهاد تحقیقات آینده
۸۹	منابع

فهرست اشکال

- شکل (۱-۲) نمایش ساده ای از یک لرزه نگار ۷
- شکل (۲-۲) تجزیه یک سیگنال با تبدیل موجک ۸
- شکل (۳-۲) تاثیر مقیاس بر شکل تابع موجک ۱۰
- شکل (۴-۲) موجک Haar ۱۰
- شکل (۵-۲) خانواده موجک Daubechies ۱۱
- شکل (۶-۲) خانواده موجک Symlets ۱۱
- شکل (۷-۲) خانواده موجک Coiflets ۱۱
- شکل (۸-۲) موجک Meyer ۱۱
- شکل (۹-۲) موجک Mexican Hat ۱۲
- شکل (۱۰-۲) شباهت شکل موج سینوسی و موجک db2 ۱۳
- شکل (۱۱-۲) شماتیک تجزیه با موجک ۱۷
- شکل (۱۲-۲) آنالیز یک موج (سمت راست حالت کاهش یافته و سمت چپ کاهش نیافته) ۱۸
- شکل (۱-۳) نمودار زلزله ایتالیا الف : شتاب ب : طیف فوریه ۲۴
- شکل (۲-۳) نمودار زلزله Kocaeli ترکیه الف : شتاب ب : طیف فوریه ۲۶
- شکل (۳-۳) نمودار زلزله یونان الف : شتاب ب : طیف فوریه ۲۸
- شکل (۴-۳) نمودار زلزله Chi Chi تایوان الف : شتاب ب : طیف فوریه ۳۰
- شکل (۵-۳) نمودار زلزله Coyote Lake 1979 الف : شتاب ب : طیف فوریه ۳۲
- شکل (۶-۳) نمودار زلزله Imperial Valley 1979 الف : شتاب ب : طیف فوریه ۳۴
- شکل (۷-۳) نمودار زلزله El-Centro 1940 #9 الف : شتاب ب : طیف فوریه ۳۶
- شکل (۸-۳) نمودار زلزله El-Centro 1940 #11 الف : شتاب ب : طیف فوریه ۳۸
- شکل (۹-۳) نمودار زلزله Loma Prieta 1989 الف : شتاب ب : طیف فوریه ۴۰
- شکل (۱۰-۳) نمودار زلزله Mammoth Lake 1980 الف : شتاب ب : طیف فوریه ۴۲
- شکل (۱۱-۳) نمودار زلزله Morgan Hill 1984 الف : شتاب ب : طیف فوریه ۴۴

- شکل (۳-۱۲) نمودار زلزله Northridge-01 1994 الف : شتاب ب : طیف فوریه ۴۶
- شکل (۳-۱۳) نمودار زلزله Westmorland 1981 الف : شتاب ب : طیف فوریه ۴۸
- شکل (۳-۱۴) نمودار زلزله Whittier Narrows 1987 الف : شتاب ب : طیف فوریه ۵۰
- شکل (۴-۱) هندسه مدل دیوار حائل ۵۵
- شکل (۴-۲) مش بندی مدل و موقعیت نقطه مورد مطالعه (دیوار حائل) ۵۵
- شکل (۴-۳) جابجائی های نقطه A در دیوار حائل (تحت اثر زلزله Chi Chi تایوان) ۵۶
- شکل (۴-۴) نمودارافزایش حداکثر جابجایی ها و کاهش زمان تحلیل دیوار حائل (تحت اثر زلزله Chi Chi تایوان) ۵۷
- شکل (۴-۵) جابجائی های نقطه A در دیوار حائل (تحت اثر زلزله ۵۸
- شکل (۴-۶) نمودار افزایش حداکثر جابجایی ها و کاهش زمان تحلیل دیوار حائل (تحت اثر زلزله Kocaeli ترکیه) ۵۹
- شکل (۴-۷) هندسه مدل (قاب خمشی پنج طبقه) ۶۲
- شکل (۴-۸) مش بندی مدل (قاب خمشی پنج طبقه) ۶۲
- شکل (۴-۹) موقعیت نقطه مورد بررسی A (قاب خمشی پنج طبقه) ۶۳
- شکل (۴-۱۰) جابجائی های نقطه A در قاب خمشی پنج طبقه (تحت اثر زلزله Chi Chi تایوان) ۶۳
- شکل (۴-۱۱) نمودارافزایش حداکثر جابجایی ها و کاهش زمان تحلیل قاب خمشی پنج طبقه (تحت اثر زلزله Chi Chi تایوان) ۶۴
- شکل (۴-۱۲) جابجائی های نقطه A در قاب خمشی پنج طبقه (تحت اثر زلزله Kocaeli ترکیه) ۶۵
- شکل (۴-۱۳) نمودارافزایش حداکثر جابجایی ها و کاهش زمان تحلیل در قاب خمشی پنج طبقه (تحت اثر زلزله Kocaeli ترکیه) ۶۶
- شکل (۴-۱۴) هندسه مدل مسئله آنالیز پاسخ زمین ۶۸
- شکل (۴-۱۵) نمودار های (الف) : G/Gmax و (ب) : درصد میرایی (Vucetic & Dobry 1991) ۷۰
- شکل (۴-۱۶) حداکثر جابجائی های نسبی لایه اول آنالیز پاسخ زمین (تحت اثر زلزله Chi Chi تایوان) ۷۱
- شکل (۴-۱۷) نمودارافزایش حداکثر جابجایی ها و کاهش زمان تحلیل آنالیز پاسخ زمین (تحت اثر زلزله Chi Chi تایوان) ۷۲
- شکل (۴-۱۸) حداکثر جابجائی های نسبی لایه اول آنالیز پاسخ زمین (تحت اثر زلزله Kocaeli ترکیه) ۷۴
- شکل (۴-۱۹) نمودارافزایش حداکثر جابجایی ها و کاهش زمان تحلیل در آنالیز پاسخ زمین (تحت اثر زلزله Kocaeli ترکیه) ۷۵
- شکل (۴-۲۰) هندسه مدل قاب خمشی ۹ طبقه ۷۷
- شکل (۴-۲۱) نمودارافزایش حداکثر جابجایی ها و کاهش زمان تحلیل در قاب خمشی ۹ طبقه (تحت اثر زلزله Chi Chi تایوان) ۷۸
- شکل (۴-۲۲) نمودارافزایش حداکثر جابجایی ها و کاهش زمان تحلیل در قاب خمشی ۹ طبقه (تحت اثر زلزله Kocaeli ترکیه) ۸۰

شکل (۴-۲۳) نمودار افزایش حداکثر جابجایی ها و کاهش زمان تحلیل تحت اثر زلزله Chi Chi تایوان ۸۲

شکل (۴-۲۴) نمودار تغییر حداکثر جابجایی ها و کاهش زمان تحلیل تحت اثر زلزله Kocaeli ترکیه... ۸۳

شکل (۵-۱) بررسی تاثیر فشرده سازی بر جابجائی در مسئله ها ۸۷

شکل (۵-۲) بررسی تاثیر فشرده سازی بر زمان تحلیل در مسئله ها ۸۷

فهرست جداول

جدول (۱-۳) مشخصات زلزله ایتالیا	۲۳
جدول (۲-۳) تغییرات موج فشرده شده ایتالیا	۲۳
جدول (۳-۳) مشخصات زلزله Kocaeli Kocaeli ترکیه	۲۵
جدول (۴-۳) تغییرات موج فشرده شده Kocaeli ترکیه	۲۵
جدول (۵-۳) مشخصات زلزله یونان	۲۷
جدول (۶-۳) تغییرات موج فشرده شده یونان	۲۷
جدول (۷-۳) مشخصات زلزله Chi Chi تایوان	۲۹
جدول (۸-۳) تغییرات موج فشرده شده Chi Chi تایوان	۲۹
جدول (۹-۳) مشخصات زلزله Coyote Lake	۳۱
جدول (۱۰-۳) تغییرات موج فشرده شده Coyote Lake	۳۱
جدول (۱۱-۳) مشخصات زلزله Imperial Valley	۳۳
جدول (۱۲-۳) تغییرات موج فشرده شده Imperial Valley 1979	۳۳
جدول (۱۳-۳) مشخصات زلزله Imperial Valley El-Centro 1940 #9	۳۵
جدول (۱۴-۳) تغییرات موج فشرده شده Imperial Valley El-Centro 1940 #9	۳۵
جدول (۱۵-۳) مشخصات زلزله El-Centro 1940 #11	۳۷
جدول (۱۶-۳) تغییرات موج فشرده شده El-Centro 1940 #11	۳۷
جدول (۱۷-۳) مشخصات زلزله Loma Prieta	۳۹
جدول (۱۸-۳) تغییرات موج فشرده شده Loma Prieta 1989	۳۹
جدول (۱۹-۳) مشخصات زلزله Mammoth Lake 1980	۴۱
جدول (۲۰-۳) تغییرات موج فشرده شده Mammoth Lake 1980	۴۱
جدول (۲۱-۳) مشخصات زلزله Morgan Hill 1984	۴۳
جدول (۲۲-۳) تغییرات موج فشرده شده Morgan Hill 1984	۴۳
جدول (۲۳-۳) مشخصات زلزله Northridge-01 1994	۴۵

- جدول (۳-۲۴) تغییرات موج فشرده شده Northridge-01 1994 ۴۵
- جدول (۳-۲۵) مشخصات زلزله Westmorland 1981 ۴۷
- جدول (۳-۲۶) تغییرات موج فشرده شده Westmorland 1981 ۴۷
- جدول (۳-۲۷) مشخصات زلزله Whittier Narrows 1987 ۴۹
- جدول (۳-۲۸) تغییرات موج فشرده شده Whittier Narrows 1987 ۴۹
- جدول (۳-۲۹) مقایسه مشخصات موج اولیه و فشرده شده شتابنگاشت ها ۵۱
- جدول (۴-۱) مشخصات مصالح استفاده شده (دیوار حائل) ۵۴
- جدول (۴-۲) مشخصات موج ها و نتایج بدست آمده دیوار حائل (تحت اثر زلزله Chi Chi تایوان)..... ۵۷
- جدول (۴-۳) مشخصات موج ها و نتایج بدست آمده دیوار حائل (تحت اثر زلزله Kocaeli ترکیه)..... ۵۹
- جدول (۴-۴) خلاصه نتایج مسئله دیوار حائل ۶۰
- جدول (۴-۵) مشخصات لایه های خاکی (قاب خمشی پنج طبقه)..... ۶۱
- جدول (۴-۶) مشخصات مصالح (قاب خمشی پنج طبقه)..... ۶۱
- جدول (۴-۷) مشخصات موج ها و نتایج بدست آمده در قاب خمشی پنج طبقه (تحت اثر زلزله Chi Chi تایوان)..... ۶۴
- جدول (۴-۸) مشخصات موج ها و نتایج بدست آمده در قاب خمشی پنج طبقه (تحت اثر زلزله Kocaeli ترکیه)..... ۶۶
- جدول (۴-۹) خلاصه نتایج مسئله قاب خمشی پنج طبقه ۶۷
- جدول (۴-۱۰) سرعت، مدول و ضریب میرائی موج در هر لایه (آنالیز پاسخ زمین)..... ۶۹
- جدول (۴-۱۱) مشخصات سنگ بستر الاستیک ۷۰
- جدول (۴-۱۲) مشخصات موج ها و خلاصه نتایج بدست آمده (آنالیز پاسخ زمین)..... ۷۲
- جدول (۴-۱۳) مشخصات موج ها و خلاصه نتایج بدست آمده تحت اثر زلزله Kocaeli ترکیه (آنالیز پاسخ زمین)..... ۷۵
- جدول (۴-۱۴) خلاصه نتایج مسئله آنالیز پاسخ زمین ۷۶
- جدول (۴-۱۵) مشخصات خاک زیر فونداسیون ۷۷
- جدول (۴-۱۶) مشخصات موج ها و نتایج بدست آمده در قاب خمشی ۹ طبقه (تحت اثر زلزله Chi Chi تایوان)..... ۷۸
- جدول (۴-۱۷) مشخصات موج ها و نتایج بدست آمده در قاب خمشی ۹ طبقه (تحت اثر زلزله Kocaeli ترکیه)..... ۷۹
- جدول (۴-۱۸) خلاصه نتایج مسئله در قاب خمشی ۹ طبقه (با استفاده از اپنسیس)..... ۸۱
- جدول (۴-۱۹) مشخصات موج ها و نتایج بدست آمده در قاب خمشی ۹ طبقه (تحت اثر زلزله Chi Chi تایوان) ۸۱

جدول (۲۰-۴) مشخصات موج ها و نتایج بدست آمده در قاب خمشی ۹ طبقه (تحت اثر زلزله Kocaeli ترکیه) ۸۳

جدول (۲۱-۴) خلاصه نتایج مسئله قاب خمشی ۹ طبقه (با استفاده از پلکسیس)..... ۸۴

فصل اول

طرح مسئله ، اهمیت و ضرورت تحقیق

۱-۱ مقدمه

تکنیک های بکار رفته در ساخت و ساز در سال های اخیر به شکل قابل ملاحظه ای پیشرفت کرده است. بکارگیری ابزارها و نرم افزارهای کامپیوتری که از نیازهای اصلی در رشته عمران می باشد یکی از عوامل ایجاد این تغییرات بوده است. در روش های نوین تاثیرات نیروهای جانبی زلزله بر سازه به طور جدی در تحلیل و طراحی ساختمان ها در نظر گرفته می شود. موسسات معتبر بین المللی بصورت دائمی امواج زلزله را ثبت و در قالب فایل هائی متنی تحت عنوان شتابنگاشت^۱ برای یک زلزله خاص منتشر می کنند. مهندسين عمران با استفاده از این شتابنگاشت ها که شامل داده های بسیار زیاد و با رشته ای طولانی از اعداد هستند سازه ها را تحت بار های دینامیکی تحلیل می کنند. حجم زیاد اطلاعات موجود در یک موج زلزله در آنالیز یک سازه و بررسی اندرکنش آن با خاک حتی با پیشرفته ترین تجهیزات کامپیوتری زمان بسیاری را طلب می کند. کاهش زمان مصرف شده با استفاده از روش های علمی جدید بطور موثری می تواند منجر به کاهش هزینه ی انجام پروژه ها گردد. استفاده از فشرده سازی امواج در سایر علوم نتایج موفقیت آمیزی داشته است و کاربران در حال استفاده از آن میباشند که رشته های پزشکی و رسانه ای نمونه ای از آنها هستند. کاستن تعداد داده های موجود در شتابنگاشت ها تحت عنوان فشرده سازی شتابنگاشت منجر به کاهش زمان صرف شده برای تحلیل و طراحی دینامیکی سازه ها می گردد. کم کردن حجم حافظه مصرفی و سرعت بخشیدن در انتقال دیتا و پائین آوردن هزینه های سخت افزاری از دیگر نتایج این کار است.

۱-۲ تعریف مسئله

انواع مختلف امواج با خصوصیات و ویژگی های مخصوص به خود مانند امواج رادیویی، زمین لرزه، اشعه های تصویر برداری صنعتی و درمانی، سیگنال های شنیداری و خطوط ارتباطی، رادارها و کنترل از راه

¹ Accelerogram

دور ها اطراف ما را احاطه کرده اند. هر یک از این امواج در طول مدت زمان انتشار خود می توانند حاوی مقادیر قابل توجهی از اطلاعات خام و داده هایی باشند که برای بهره برداری می بایست پردازش و به فرمت های دیگری تبدیل گردند و احتمالاً برای مصارف بعدی بایگانی شده و یا برای سایر کاربران ارسال گردند. کار بر روی زلزله به دلیل ماهیت موجی آن از نظر فنی به معنی جابجایی تعداد بسیار زیادی داده به همراه صرف وقت و هزینه های بسیار می باشد. بنابراین در جهت کاهش توان مورد نیاز و با استفاده از پردازش سیگنال ها می توان نسبت به فشردن سازی آن اقدام نمود.

۳-۱ ضرورت انجام تحقیق

در مهندسی زلزله و به خصوص در ژئوتکنیک لرزه ای با استفاده از روش های خاصی برای به بکار گیری سیگنال ها اقدام به تجزیه و تحلیل داده ها می گردد. عملیات تحلیل و طراحی سازه ها با استفاده از ماهیت سیگنالی این اطلاعات صورت می گیرد. قابل تصور است که پردازش این مقدار اطلاعات مستلزم صرف چه حجم از زمان و هزینه می باشد. در مهندسی ژئوتکنیک لرزه ای به عملیات پردازش سیگنال کمتر پرداخته شده است و جای خالی بررسی تاثیر فشردن سازی و کم کردن داده های غیرموثر و یا کمتر موثر امواج زلزله بر پارامترهای دینامیکی ژئوتکنیکی به خوبی احساس می گردد. پردازش حجم زیاد اطلاعات امواج زلزله موثر بر رفتار خاک که معمولاً بصورت داده هایی مستخرج از شتابنگاشت ها می باشد کاری زمان بر است و بررسی تاثیر کاهش و فشردن سازی اطلاعات امواج که منجر به اقتصادی تر شدن عملیات طراحی مهندسی عمران گردد ضروری می نماید. فشردن سازی به این دلیل مهم است که نه تنها موجب کاهش زمان محاسبات و در نتیجه پائین آمدن هزینه ها می شود بلکه کمک می کند تا مصرف منابع با ارزشی مانند فضای هارد دیسک یا پهنای باند کاهش یابد. با عنایت به توجه کمتری که به این موضوع در حوزه مهندسی ژئوتکنیک لرزه ای شده است تحقیق در این مورد لازم به نظر می رسد.

۱-۴ هدف از انجام تحقیق

با توجه به تاثیر تعداد داده ها در مسائل لرزه ای بر زمان محاسبات و کیفیت نتایج بدست آمده و کنترل های لازم هدف این تحقیق کاهش تعداد داده های شتابنگاشت به حداقل ممکن و بررسی اثرات این فشرده سازی بر نتایج تحلیل های مختلف می باشد. کاهش داده های شتابنگاشت که به طور معمول بین ۲/۰۰۰ تا ۱۰/۰۰۰ داده می باشد علاوه بر کاهش زمان تحلیل نرم افزاری از چندین روز به چند ساعت باعث کاهش نیاز به سخت افزارهای قوی و گران قیمت نیز می شود که این امر صرفه جوئی در زمان و نیز هزینه را در بردارد.

۱-۵ ساختار پایان نامه

این پایان نامه مشتمل بر ۵ فصل به شرح زیر می باشد:

در فصل اول به تعریف مسئله، ضرورت انجام تحقیق و هدف از انجام تحقیق مبنی بر کاهش تعداد داده های شتابنگاشت های زلزله در جهت اقتصادی تر کردن طراحی سازه ها با کاهش زمان تحلیل آنها پرداخته شده است. در فصل دوم به مفاهیم پایه مربوط به شتابنگاشت، فشرده سازی موج با استفاده از موجک و برخی تعاریف مربوطه، محتوای فرکانسی و پارامترهای لرزه ای مورد استفاده و بررسی کارهای انجام شده قبلی اشاره گردیده است. در فصل سوم انجام عملیات فشرده سازی به روش آنالیز تجزیه ساز موجکی و فشرده سازی چهارده شتابنگاشت و مقایسه نتایج بدست آمده مدنظر بوده است. در فصل چهارم اعمال دو شتابنگاشت بر روی پنج مسئله ژئوتکنیکی لرزه ای و بررسی نتایج بدست آمده در هر مسئله مورد بررسی قرار گرفته است. در فصل پنجم نیز مقایسه نتایج حاصله و نتیجه گیری نهائی و ارائه پیشنهاد بر اساس نتایج حاصله و همچنین پیشنهاد تحقیقات آینده آورده شده و در نهایت منابع مورد استفاده معرفی گردیده است.

فصل دوم

مروری بر مفاهیم تبدیل موجکی

۱-۲ شتابنگار و شتابنگاشت

هرچند تاریخ اولین دست نگاشته توصیفی زلزله به ۷۸۰ سال قبل از میلاد باز می گردد اما اندازه گیری دقیق یک زلزله مخرب برای اولین بار در سال ۱۹۳۳ طی زلزله لانگ بیچ در کالیفرنیا صورت پذیرفت. از آن پس اندازه گیری زلزله به ویژه طی بیست سال گذشته به سرعت پیشرفت کرده است. برای اندازه گیری زلزله ابزارهای متنوعی از جمله لرزه نگار^۱ و یا شتابنگارها^۲ وجود دارند که داده های اندازه گیری شده آن ها به شکل شتابنگاشت ارائه می گردند. در شکل (۱-۲) تصویر ساده ای از یک لرزه نگار نمایش داده شده است. تغییرات در لرزه نگار های اولیه که ثبت زلزله ها را با ترسیم بر روی کاغذ و یا فیلم فتوگرافی انجام می دادند تا ثبت اطلاعات به صورت الکترونیکی بر روی صفحه های مغناطیسی به حالت آنالوگ، آنها را به شکل امروزی خودشان که با کوچکترین حرکات زمین در آستانه شروع زلزله بکار افتاده و تا ثانیه هایی پس از آن ادامه یافته و اطلاعات را بصورت پیوسته و دیجیتال ارسال می کنند در آورده است به نحوی که قادرند نرخ برداشتی از ۲۰۰ تا ۱۰۰۰ رکورد در ثانیه با وضوح ۱۲ الی ۱۶ بیت را داشته باشند [۱]. برای بدست آوردن اطلاعات مربوط به یک زلزله میتوان به شتابنگاشت مربوطه که حاوی تعداد زیادی اعداد ثبت شده در یک فایل متنی شامل شتاب های زلزله در فاصله زمانی مشخص که توسط لرزه نگار ثبت شده است مراجعه نمود که گاهی تعداد این داده ها ی شتابنگاشت ها به هزاران عدد می رسد .

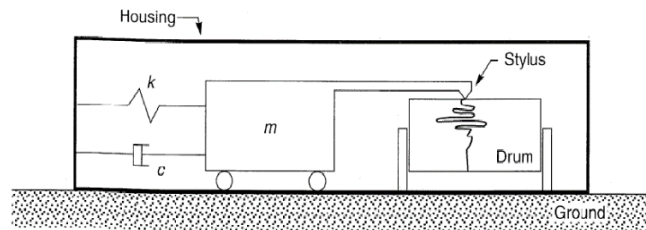
انتخاب محل نصب شتابنگار ها در گرو عوامل مختلفی از جمله موارد زیر است:

- ۱- زمین شناسی منطقه
- ۲- زمین شناسی ساختگاه (محل نصب دستگاه)
- ۳- خطرپذیری منطقه

^۱ sisimograph

^۲ Accelerogram

- ۴- وجود ساختمان های با اهمیت
- ۵- وجود امکانات محلی
- ۶- عوارض منطقه ای مانند معادن و یا تاسیسات انتقال انرژی و غیره
- ۷- نبود شتابنگار به قدر کافی در منطقه [۲].



شکل (۲-۱) نمایش ساده ای از یک لرزه نگار [۱]

شتابنگارها معمولاً زلزله ها را در سه راستای مختلف ثبت میکنند. یک راستای عمودی و دو راستای افقی عمود برهم و شتابنگاشت بدست آمده نیز خود دارای دوبرخشی اصلی است. در بخش اول میتوان اطلاعاتی نظیر نام زلزله^۱، محل، تاریخ، زمان^۲، واحد های اندازه گیری^۳، فاصله زمانی برداشت و در بخش دوم داده های شتاب زلزله مربوطه را مشاهده نمود. برای بدست آوردن شتابنگاشت ها می توان به سایت های معتبری چون شبکه شتابنگاری زلزله ایران، PEER، CESMD، COSMOS و ESMC مراجعه نمود.

۲-۲ فشرده سازی موج

۱-۲-۲ تجزیه موجکی^۴

آنالیز موجکی تکنیکی کارآمد جهت تحلیل و تقریب سازی سیگنال های ناپایدار بوده و قادر است به خوبی محتوای فرکانسی و اطلاعات زمانی مربوطه را تفکیک نموده و نشان دهد. همچنین موجک ها

¹ EVENT_NAME

² DURATION

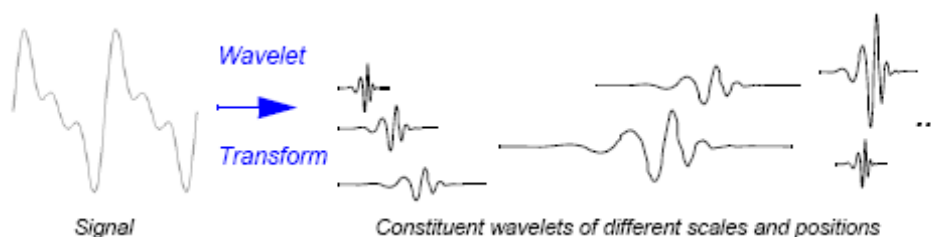
³ UNITS

⁴ WAVVELET DECOMPOSITION

توانایی تحلیل زمان - فرکانس بصورت محلی را نیز دارند. به این معنی که یک ناحیه مشخص از یک موج با بزرگنمایی آنالیز شده تا جزئیات بیشتری از اطلاعات زمان-فرکانس در اختیار قرار دهد. بر خلاف تبدیل فوریه که در موج های دارای ناپیوستگی قادر به تشخیص محل ناپیوستگی نیست، تبدیل موجکی بطور واضح زمان دقیق ناپیوستگی را نشان می دهد. آنالیز موجکی توانایی نشان دادن جزئیاتی را دارد که بقیه روشها آن را در نظر نگرفته و یا حذف میکنند [۳].

۲-۲-۲ تعریف ریاضی موجک

موجک یک موج کوچک با انرژی محدود و متمرکز در زمان یا فاصله است که از آن به عنوان تابع پایه برای تحلیل پدیده های غیرایستا استفاده میشود و تبدیل فوریه آن در اطراف یک فرکانس خاص متمرکز شده است. بنابراین موجک خصوصیات یک موج نوسانی را دارد و همچنین میتوان از آن همزمان برای تحلیل زمانی و فرکانسی استفاده نمود. موجک ها به همان شیوه مشابه که در تحلیل فوریه استفاده می شود (بسط های مختلط با استفاده از توابع سینوسی و کسینوسی) برای تحلیل سیگنال ها بکار می روند. تنها تفاوت در این است که در تحلیل موجک، سیگنال به مجموعه ای از توابع پایه که موجک ها نامیده میشوند تجزیه میشود. هر موجک در یک موقعیت مختلف (بطوری که مقدار آن با دور شدن از نقطه مرکزی بتدریج به صفر کاهش می یابد) بر روی محور زمان قرار گرفته است [۴]. شکل (۲-۲) تجزیه یک سیگنال را با استفاده از تبدیل موجک نشان میدهد.



شکل (۲-۲) تجزیه یک سیگنال با تبدیل موجک [۴]

همانگونه که از اسم موجک (ψ) مشخص است موجک موجی کوتاه بوده که طول موثر محدودی داشته و متوسط مقدارش در آن طول برابر صفر است، به عبارت دیگر:

$$(1-2)$$

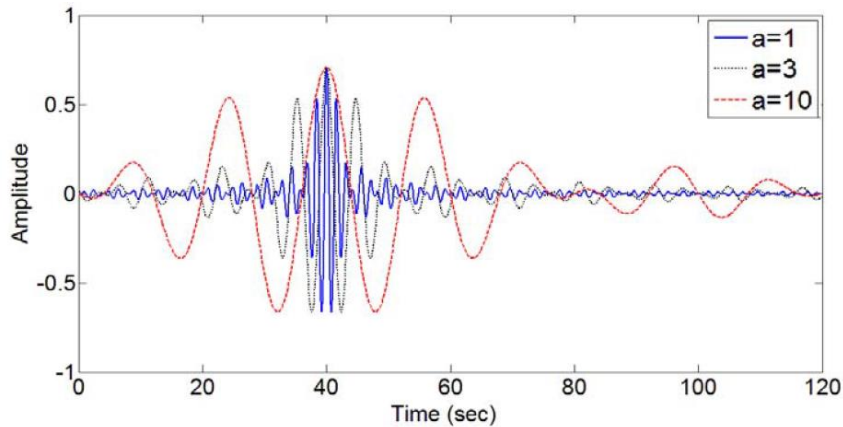
$$\int \psi(t) dt = 0$$

چنانچه تابعی مانند (ψ) موجک مادر نامیده شود خانواده موجکی حاصل از این موجک مادر را با $\psi_{a,b}(t)$ نشان می دهند که این دسته توابع مقیاس یافته و انتقال یافته موجک مادر می باشند و از طریق رابطه (2-2) بدست می آیند:

$$(2-2)$$

$$\psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right)$$

a پارامتر مقیاس بوده که با فرکانس نسبت عکس دارد و b پارامتر تغییر مکان بوده و از جنس زمان می باشد. بنابراین تبدیل موجکی ارائه دهنده زمان مقیاس می باشد. مقیاس به طور ساده به معنای کشیده شدن یا فشرده شدن موجک می باشد. شکل (2-3) نحوه تاثیر پارامتر مقیاس را بر روی شکل موجک نشان می دهد. ملاحظه می شود که با کم شدن مقدار مقیاس شکل تابع موجک فشرده تر می گردد. همانگونه که در نقشه ها مقیاس بزرگ متناظر با نشان ندادن جزئیات است در اینجا نیز مقیاس بزرگ متناظر با نشان ندادن جزئیات موج و مقیاس کوچک متناظر با نشان دادن جزئیات موج است. بطور مشابه در تحلیل فرکانسی فرکانس پائین (مقیاس بزرگ) متناظر با اطلاعات کلی موج می باشد که معمولاً اندازه موج داخلی است. در حالی که فرکانس های بالا متناظر با جزئیات موج می باشد که معمولاً در یک زمان کوتاه به طول می انجامد.



شکل (۳-۲) تاثیر مقیاس بر شکل تابع موجک [۳]

تابع موجک مادر خود توسط تابع دیگری به نام تابع مقیاس بدست می آید. تابع مقیاس را با $\phi(t)$ نشان می دهند و این توابع نیز مشابه موجک ها خانواده توابع مقیاس را با استفاده از پارامترهای مقیاس و جابه جایی با کمک رابطه (۳-۲) بصورت زیر تشکیل می دهند [۳]:

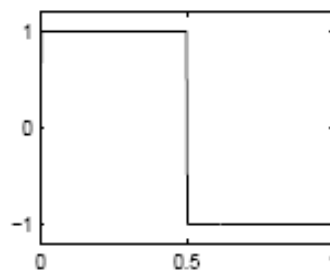
(۳-۲)

$$\phi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \phi\left(\frac{t-b}{a}\right)$$

۲-۲-۳ انواع موجک مادر

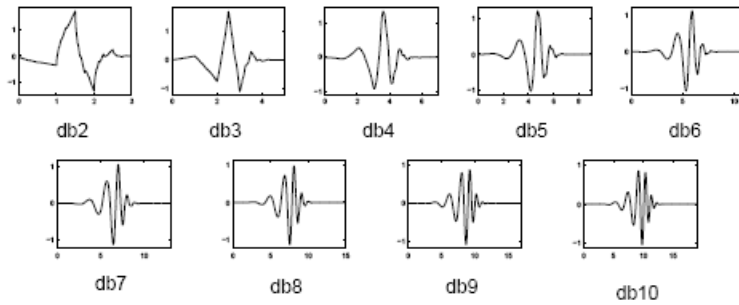
برخی از انواع موجک ها به شرح زیر می باشند:

الف: موجک Haar که در شکل (۴-۲) نمایش داده شده است:



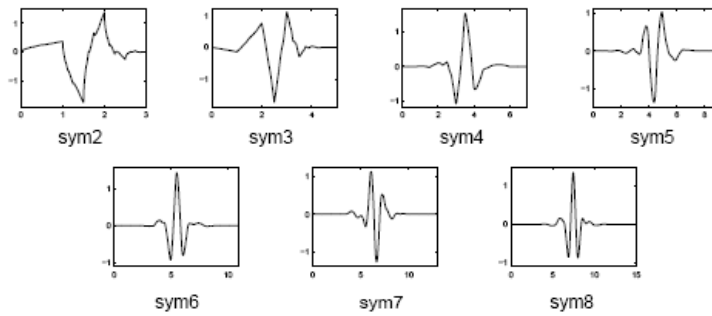
شکل (۴-۲) موجک Haar [۵]

ب: خانواده موجک Daubechies که در شکل (۲-۵) نمایش داده شده است:



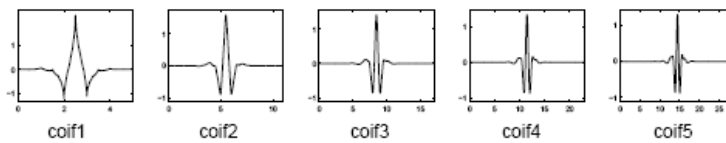
شکل (۲-۵) خانواده موجک Daubechies [۵]

ج: خانواده موجک Symlets که در شکل (۲-۶) نمایش داده شده است:



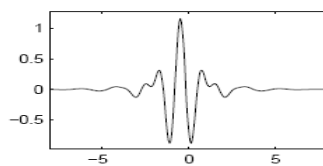
شکل (۲-۶) خانواده موجک Symlets [۵]

د: خانواده موجک Coiflets که در شکل (۲-۷) نمایش داده شده است:



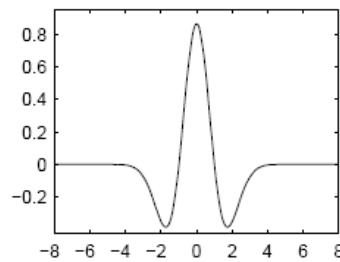
شکل (۲-۷) خانواده موجک Coiflets [۵]

ه: موجک Meyer که در شکل (۲-۸) نمایش داده شده است:



شکل (۲-۸) موجک Meyer [۵]

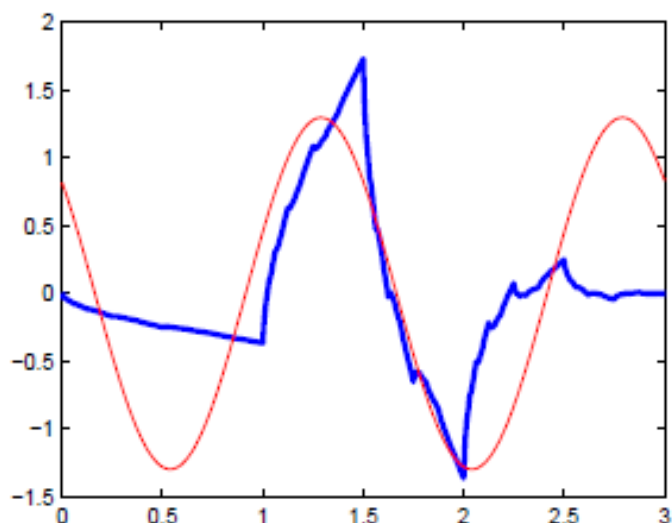
و: موجک Mexican Hat که در شکل (۹-۲) نمایش داده شده است



شکل (۹-۲) موجک Mexican Hat [۵]

۲-۲-۴ انتخاب موجک مادر مناسب

برای یک سیگنال، نمایش موجکی منحصر بفردی وجود ندارد. همچنین موجک های مختلفی وجود دارند که همه آنها ممکن است برای تمام سیگنال ها جواب خوبی ندهند. بعضی از آنها ممکن است برای یک سیگنال خاص جواب خوبی دهند و برای سیگنالی دیگر نامناسب باشند. انتخاب یک موجک مادر مناسب برای یک کاربرد خاص بستگی به عواملی مانند نوع سیگنال مورد بررسی، نیازهای محاسباتی پیاده سازی الگوریتم و اهداف تحلیل مورد نظر دارد. بطور کلی در روند بیشتر تحقیقات با موجک یافتن تابع موجک مادری که توصیفی مفید و موثر از سیگنال مورد بررسی ارائه نماید بسیار مهم است. حفظ ویژگی های موج زلزله پس از تجزیه موجکی بخصوص در مراحل دوم و سوم به بعد که راجاسکاران [۶] در مقاله خود به آن اشاره کرده است و تشابه موج اصلی زلزله با موج تجزیه شده که چان خیانگ [۷] برای آنالیز تاریخچه زمانی توسط موجک db2 از آن استفاده نموده و همچنین شباهت ظاهری بین موجک مادر و سیگنال اصلی از خصوصیات مهمی است که در هنگام انتخاب موجک مادر برای تحلیل سیگنالهای ارتعاشی می توان از آن استفاده کرد. در شکل (۲-۱۰) می توان تشابه موجک db2 که دومین موجک از خانواده موجک های دابچی است (که در بخش ۲-۲-۳ (ب) به آن اشاره گردید) را با یک موج شبیه با موج زلزله ملاحظه نمود. معیارهای فوق در این تحقیق علت انتخاب موجک db2 برای فشرده سازی می باشد.



شکل (۲-۱۰) شباهت شکل موج سینوسی و موج db2 [۵]

۵-۲-۲ مروری بر تحقیقات پیشین

فشرده سازی سیگنال ها به منظور ذخیره سازی، فشرده سازی و انتقال آسانتر آن ها در محیط دنیای واقعی و یا با هدف استخراج اطلاعات از سیگنال صورت میگیرد. در کم کردن حجم فایل های مربوط به رشته های پزشکی و پیراپزشکی، رسانه، هنر، مخابرات و امثال آن فعالیت های زیادی صورت گرفته است. علی توزنده جانی و همکاران در سال ۱۳۹۷ برای فشرده سازی سیگنال های تصویری با بلوک بندی تصویر به صورت 2×2 ، آن را به قطعات کوچک تر تقسیم و سپس با استفاده از انتقال تجزیه مقدار منفرد برای هر بلوک آن را فشرده سازی نمودند. قطعات فشرده سازی شده را در کنار یکدیگر جمع نمودند تا تصویر فشرده اولیه ساخته شود. تصویر حاصل را به عنوان ورودی به تجزیه کاهش تفاوت موجک وارد کرده و تصویر فشرده را به دست آوردند. برای مشاهده تصویر فشرده شده عملیات عکس موجک را بر فرکانس بدست آمده اعمال نمودند. در مقایسه نتایج به دست آمده با الگوریتم های رایج فشرده سازی برتری محسوس روش پیشنهادی خود بر روش های رایج فشرده سازی تصویر را ملاحظه نمودند [۸]. سید محسن صالح و اعظم سادات موسوی در سال ۱۳۹۷ با در نظر گرفتن تصاویر به صورت ماتریسی از اعداد هر ردیف را به عنوان یک سیگنال مجزا تولید و با کمک موجک هارفشرده سازی نمودند [۹]. فاطمه محمد پور در سال ۱۳۹۷ ابتدا به تصاویر ام آر آی موجک صحیح را اعمال نموده پس

از آن به مرتب سازی ضرایب پرداخت و به منظور کاهش میزان تأثیر ضرایب کم اهمیت در تصویر فشرده شده، مقدار آستانه گذاری و بازسازی ضرایب کم اهمیت و کم تکرار را کاهش داد. با استفاده از این روش تصاویر پزشکی را فشرده سازی نمود [۱۰]. توحید یوسفی رضائی و همکاران در سال ۱۳۹۶ روشی را برای فشرده سازی سیگنال های ECG پیشنهاد کردند. در این روش سیگنال اصلی با استفاده از مبدل خطی متعامد تجزیه گردیده و ضرایب استخراج شده برای تبدیل فشرده سازی استفاده می شوند. در روش پیشنهاد شده با استفاده از یک بسته کوچک از سیگنال ECG به کمک ماتریس پایه ای مناسب سیگنال ECG فشرده می گردد. ایشان عملکرد روش پیشنهادی برای دو سیگنال مصنوعی و طبیعی قلب از طریق شبیه سازی را مورد بررسی قرار دادند و نتیجه گرفتند که این روش دارای نسبت فشرده سازی و خطای مناسبی بوده است [۱۱]. رضا کامگار و همکاران در سال ۱۳۹۶ با استفاده از تئوری موجک، در موج زلزله حاصل از شتاب نگاشت با حذف فرکانس های بالا به منظور کاهش حجم محاسبات، در هر مرحله به موج های با تعداد نقاط کمتر رسیدند که این امر سبب کاهش زمان و حجم محاسبات گردید. [۱۲]. مجید تیزفهم و سیامک حقی پور در سال در سال ۱۳۹۶ با استفاده از یک فیلتر بانک ویولت تصویر را به ضرایب ویولت تبدیل کرده و با کوانتیزه کردن ضرایب فشرده سازی، آنتروپی را روی تصویر اعمال نمودند تا تصویر فشرده سازی شود [۱۳]. علیرضا توکلی و محمد رضا امینی در سال ۱۳۹۵ یک الگوریتم فشرده سازی را مبتنی بر تبدیل موجک بسته به همراه الگوریتم تجزیه به نقاط منفرد پیشنهاد کردند. این روش با تفکیک اطلاعات موجود در یک تصویر به بسته های مختلف مکان-فرکانس، اطلاعات اضافی (بی اهمیت در بازسازی تصویر) در مکان های مختلف تصویر را از محتوای فرکانسی تصویر حذف می کند. به این ترتیب حجم اطلاعات لازم برای نمایش یک تصویر فشرده می گردد. در واقع اجزای اصلی و محتوای اصلی مکان-فرکانس یک تصویر توسط بسته های موجک استخراج شده و توسط کدینگ هافمن، کد می شوند. این روش برای کارهای مربوط به تصویرسازی مناسب است [۱۴]. فهیمه انصاری رام در سال ۱۳۹۱ با استفاده از روش نمونه برداری فشرده و بکارگیری موجک سیگنال های الکتروکاردیوگرام را فشرده سازی نمود. او همچنین برای بهبود خطای بازیابی، دو ماتریس

نمونه بردار تصادفی و غیر یکنواخت را پیشنهاد کرد و نتیجه گرفت که با این روش فشرده سازی ویژگی های سیگنال های فشرده شده نوارقلب را با کیفیت بالا می توان بازیابی نمود [۱۵]. امین قنبرزاده در سال ۱۳۹۱ با توسعه ایده فشرده سازی تصاویر به کمک وجلت ها روشی برای فشرده سازی سیگنال های صوتی از نوع فشرده سازهای شکل موج ارائه کرد. توابع پایه ی مربوط به وجلت ها را از توابع چندجمله ای با مراتب مختلف و مقادیر مربوط به سیگنال را از مقادیر حوزه ی زمان_سیگنال انتخاب نمود. نرخ بیت و کیفیت سیگنال در روش پیشنهادی قابل کنترل و تنظیم بوده و موازنه ی بین آنها با استفاده از تابع لاگرانژ برقراری شود. روند اجرائی این روش مبتنی بر تحلیل چند مقیاسی بوده و فریم ها در سطوح تجزیه مختلف با یکدیگر مقایسه می شوند به این معنی که یک فریم با مجموع تقریب های زیرفریم های کوچک تر (فریم های فرزند) مقایسه و بهینه سازی می گردد. در نتیجه این روش فشرده سازی قسمت های صحبت با کیفیت بهتر و قسمت های سکوت با نرخ بیت پایین تر و با سرعت بالا و دقت تقریب مناسب فشرده گردیده است [۱۶]. E. G. Allstot و همکاران در سال ۲۰۱۰ طی مقاله ای نشان دادند که با استفاده از یک واحد آستانه گیر در حوزه زمان میتوان به ضریب فشرده سازی ۲ تا ۱۶ برابر دست یافت. در این روش در حقیقت از پراکندگی سیگنال در حوزه زمان استفاده شده است. برای فشرده سازی سیگنال ابتدا با استفاده از یک واحد آستانه گیر قبل از نمونه برداری فشرده، تمام مقادیر کوچک تر از درصدی از نقطه اوج دامنه صفر شده و سپس نمونه برداری فشرده بر روی سیگنال انجام می شود. در این مقاله نشان داده می شود که با به کارگیری یک ماتریس نمونه بردار گوسی و کوانتیزه با ۶ بیت می توان به ضریب فشرده سازی مورد نظر رسید. اشکال این روش این است که در آستانه گیری در حوزه زمان، بسیاری از ویژگی های اصلی سیگنال حذف می شود و تنها نقطه اوج آن باقی می ماند [۱۷]. در همین سال Z. Hong-Xin با روشی مشابه با Allstot و با بکار گیری تبدیل موجک ابتدا سیگنال را به حوزه پراکندگی لازم رسانده و سپس از روش نمونه برداری فشرده استفاده کردند و نتایج مناسب تری را از روش قبل بدست آوردند [۱۸]. در سال ۲۰۱۱ H. Mamaghani و همکاران الگوریتم فشرده سازی مبتنی بر موجک گسسته (DWT) با آستانه گیر و الگوریتم نمونه

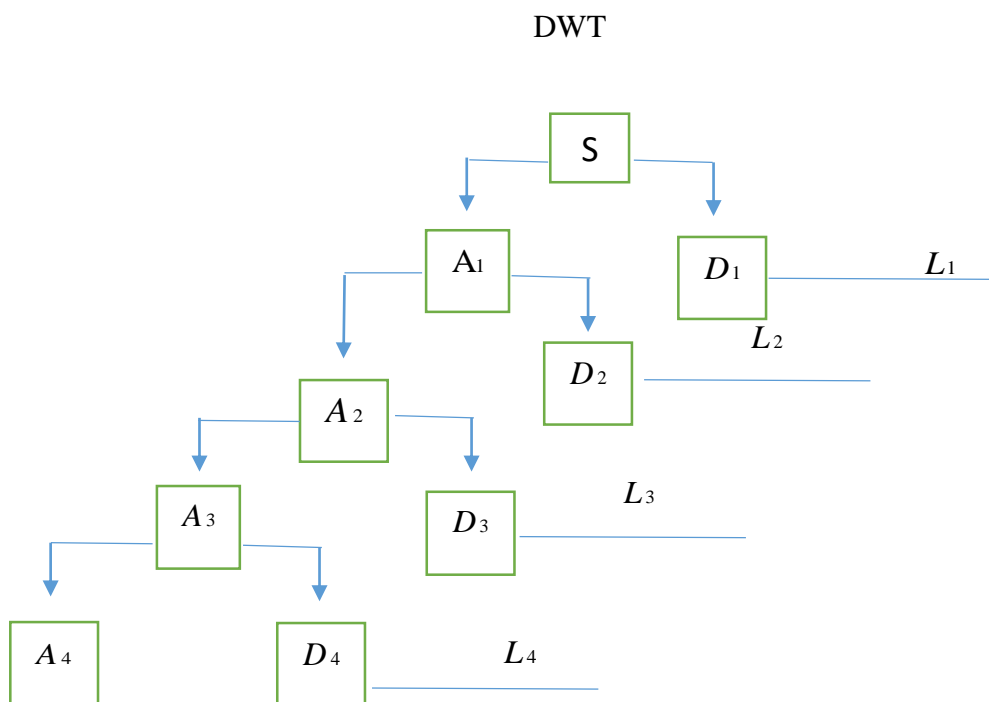
برداری فشرده را برای سیگنال های ECG مورد مقایسه قرارداداده و نشان دادند در برابر یک واحد خطای بازیابی عملکرد نمونه گیری فشرده از موجک بهتر بوده است [۱۹]. بهنام مولائی اردکانی و محمد باقر شمس اللهی در سال ۱۳۸۰ با استفاده از روشی بر پایه محاسبه و ذخیره ضرائب موجک سیگنالهای مورد نظر را فشرده سازی کردند. در این روش برای تعیین ضرائب با اهمیت ویولت، از خواص درختی آن استفاده شده است. فشرده سازی در این روش تا ایجاد توازن بین میزان فشرده سازی و کیفیت موج بازسازی شونده می تواند ادامه داشته باشد اما بدلیل انتقال نویز هائی که در سیگنال وجود دارد فشرده سازی از سطح هفتم به بعد توصیه نشده است [۲۰].

۲-۲-۶ فشرده سازی با استفاده از آنالیز تجزیه ساز موجکی^۱

دو نوع تبدیل موجکی وجود دارد ۱- تبدیل موجکی پیوسته ۲- تبدیل موجکی گسسته در تبدیل موجکی پیوسته پارامترهای انتقال و مقیاس به صورت پیوسته تغییر می کنند و میزان تغییرات آنها در هر مرحله بسیار کوچک است. این موضوع در مسائلی که نیاز به ارائه جزئیات زیادی ندارند باعث افزایش محاسبات کامپیوتری می شود. چنانچه در تبدیل موجکی مقادیر پارامتر تغییر مکان b و پارامتر مقیاس a بصورت گسسته در نظر گرفته شوند نوع دیگری از تبدیل موجکی به نام تبدیل گسسته موجکی بدست می آید [۳]. محاسبه ضرائب موجک در تمام مقیاس ها و جابجایی های ممکن حجم محاسبات زیادی را نیاز داشته و مقدار زیادی داده تولید می کند. چنانچه مقادیر مقیاس و جابجایی را از توانهای ۲ اختیار نمائیم تبدیل موجک گسسته بوجود می آید [۴]. زمانی که یک موج از دو فیلتر بالا گذر و پایین گذر تجزیه سازی عبور داده می شود به دو زیر موج جزئیات و تقریب ها تبدیل می شود که طول هر زیر موج برابر طول موج اولیه می باشد. بعنوان مثال چنانچه موج ورودی S شامل 1000 داده باشد، پس از عبور از فیلترها، هر کدام از زیر موج ها 1000 داده خواهد داشت که مجموعاً 2000 داده یعنی دو برابر موج اصلی داده خواهیم داشت [۳]. همانطور که

¹ Wavelet Decomposition Analysis

در شکل (۱۱-۲) نشان داده شده موج اصلی (S) مورد تجزیه موجکی قرار گرفته است. برای اولین مرحله L_1^1 از تجزیه، دو زیر موج به نام های A_1^2 و D_1^3 تولید شده است. در این شکل، روند تجزیه برای نمونه های زیرموج A تا مرحله چهارم ادامه یافته است.



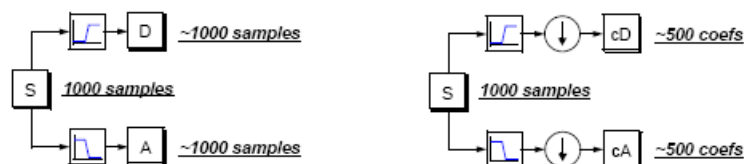
شکل (۱۱-۲) شماتیک تجزیه با موجک

مالیات^۴ نشان داد چنانچه با استفاده از نظریه کاهش نمونه ها تعداد داده های زیر موج ها کاهش یابد در مشخصات و خاصیت آنها تغییری ایجاد نمی شود. لذا در روند تجزیه موجکی داده های زیر موج

¹ Level
² Approximate
³ Detail
⁴ Mallat

ها پس از عبور از فیلترها بصورت یک در میان حذف می شوند [۳]. با تکرار روند تجزیه در هر مرحله (L) می توان تعداد داده ها را به نسبت 2^L کاهش داد.

در شکل (۲-۱۲) روند آنالیز یک موج به شکل شماتیک برای دو حالت تعداد نمونه های کاهش یافته و کاهش نیافته نشان داده شده است.



شکل (۲-۱۲) آنالیز یک موج (سمت راست حالت کاهش یافته و سمت چپ کاهش نیافته) [۳]

۲-۳ محتوای فرکانسی و پارامترهای لرزه ای

شتاب حداکثر افقی PGHA^۱ و طیف فوریه و فرکانس غالب ، معیارهایی است که برای بررسی تغییرات موج اصلی و فشرده شده در این تحقیق از آنها استفاده شده است.

۲-۳-۱ شتاب حداکثر افقی

شتاب افقی حداکثر پرکاربردترین پارامتر طراحی دینامیکی در ژئوتکنیک می باشد. با توجه به اهمیت مؤلفه افقی زلزله در تحلیل دینامیکی در پارامترهای زلزله اغلب به پارامترهای مؤلفه افقی بسنده شده و حداکثر شتاب PGA^۲ نامیده میشود که بیشترین شتاب ثبت شده در شتابنگاشت زلزله رخ داده می باشد.

¹ Peak Ground Horizontal Acceleration

² Peak Ground Acceleration

۲-۳-۲ محتوای فرکانسی^۱ و فرکانس غالب^۲

عموماً محتوای فرکانسی به پریود ارتعاش سازه مربوط می شود. به طور کلی امواج زلزله متشکل از مجموعه ای از موج های ساده تر با فرکانس ها و دامنه های متفاوت می باشند. محتوای فرکانسی یک زلزله نشان دهنده این است که دامنه این امواج چگونه در فرکانس های مختلف گسترش یافته اند. در واقع آنچه سبب می شود تا پاسخ سازه در قبال دو زلزله با انرژی، حداکثر شتاب و دیگر پارامترهای یکسان متفاوت باشد اختلاف در محتوای فرکانسی آن دو زلزله است و مثلاً در صورت نزدیکی فرکانس زلزله با فرکانس طبیعی یک سازه احتمال آسیب دیدگی جدی در ساختمان وجود خواهد داشت [۲۱]. محتوای فرکانسی زلزله معمولاً در طیف فوریه دامنه شتاب آن منعکس می گردد. مقدار فرکانس متناظر با دامنه ماکزیمم طیف فوریه را فرکانس غالب می نامند.

¹ Frequency Content

² Predominant frequency

فصل سوم

فشرده سازی موج زلزله به روش موجکی

۳-۱ مقدمه

شتابنگاشت ها حاوی رکورد های شتاب یک زلزله به صورت سریالی از اعداد می باشند. نرم افزارها با اعمال این اعداد به سازه آن را تحلیل می کنند. فشرده سازی یک موج زلزله به روش موجکی به معنی کاهش تعداد این رکورد ها می باشد. این عملیات میتواند تا مرحله L ادامه یابد تا تعداد داده های شتابنگاشت به نسبت 2^L کاهش داده شود. کاهش بیش از حد تعداد داده ها ممکن است باعث تغییر شکل بیش از حد اولیه موج شده و احتمالاً حالت تناوبی آن را تحت تاثیر قرار دهد. در این صورت در مقایسه بین مشخصات موج اولیه و فشرده شده قضاوت خوبی حاصل نخواهد شد. با توجه به موارد فوق از فشرده سازی در پنج مسئله ژئوتکنیکی تا مرحله ای که جواب تحلیل های دینامیکی انجام شده با موج اولیه حدود ۵٪ خطا داشته باشد بهره گرفته شده است.

۳-۲ فشرده سازی شتابنگاشت ها

برای راحتی کار بهتر است از شتابنگاشت های تصحیح شده استفاده نمود. این کار باعث کاهش درصد خطا و دوری از بدست آوردن نتایج اشتباه می گردد. شتابنگاشت ها ممکن است حاوی تعدادی مقادیر نزدیک به صفر و قابل حذف کردن باشند. مقادیر نزدیک به صفر شتابنگاشت های تصحیح شده که در زیر می آیند حذف شده و سپس به روش موجکی و بر اساس نظریه کاهش نمونه ها فشرده سازی گردیده اند. با استفاده از این روش تعداد داده های شتابنگاشت هنگام فشرده سازی، کاهش یافته و در نتیجه بخشی از فرکانس های موجود در موج زلزله حذف می گردند. این موضوع علت ادامه نیافتن نمودار طیف فوریه فشرده شده در شتابنگاشت های مورد استفاده در این تحقیق می باشد. تعداد مراحل فشرده سازی هریک از شتابنگاشت ها به خطای ایجاد شده در نتایج جابجائی ها پس از فشرده سازی به حدود حداکثر ۵٪ و همچنین ثابت ماندن مشخصات موج پس از فشرده سازی بستگی دارد.

۳-۲-۱ شتابنگاشت زلزله ایتالیا

۳-۲-۱-۱ مشخصات زلزله

مشخصات این زلزله در جدول (۳-۱) نمایش داده شده است:

جدول (۳-۱) مشخصات زلزله ایتالیا [۲۲]

موقعیت	سال وقوع	بزرگی	تعداد داده	تعداد داده پس از حذف مقادیر نزدیک به صفر
کشور ایتالیا	۲۰۱۶	۶/۱	۱۷۵۶۸	۴۴۰۱

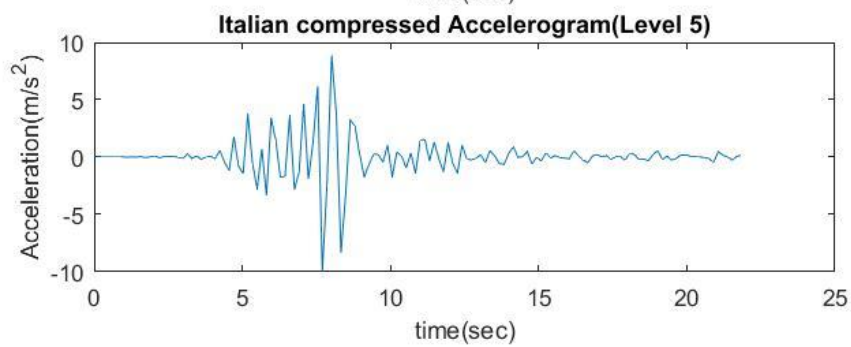
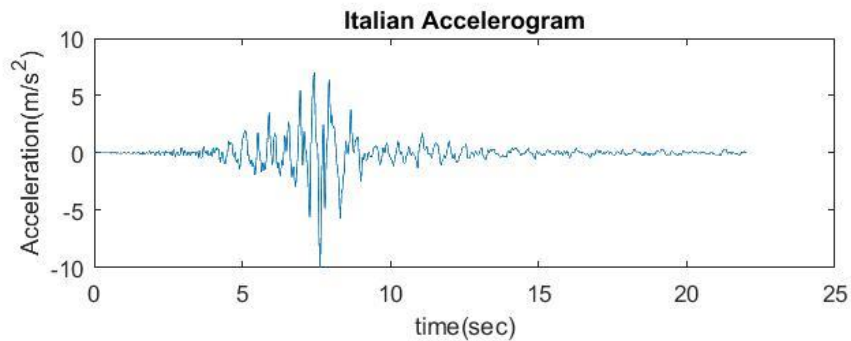
۳-۲-۱-۲ فشرده سازی شتابنگاشت

فشرده سازی این شتابنگاشت در پنج مرحله انجام شده است. همانگونه که در جدول (۳-۲) ملاحظه می‌گردد فرکانس غالب و PGA ثابت مانده ولی تعداد داده ها حدود ۹۷ درصد کاهش یافته است. در مرحله ششم فرکانس غالب ۵۰ درصد کاهش یافته و بر این اساس فشرده سازی متوقف گردیده است.

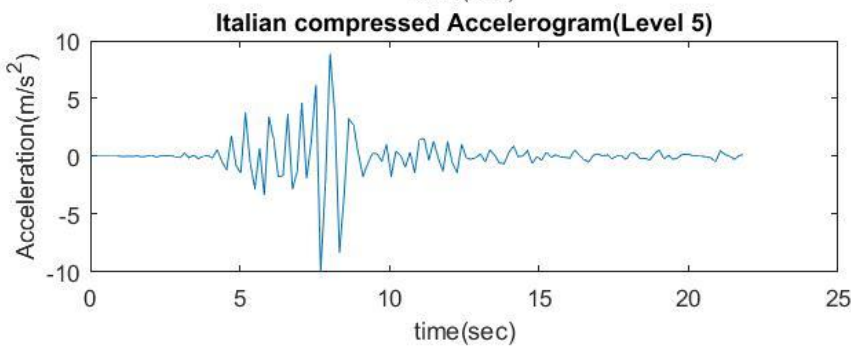
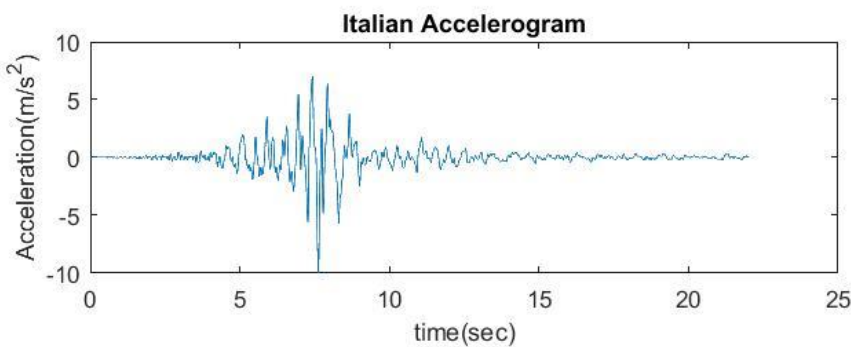
جدول (۳-۲) تغییرات موج فشرده شده ایتالیا

تعداد داده ها	PGA (m/s^2)	فرکانس غالب (Hz)	مرحله فشرده سازی (L)	
۴۴۰۱	۱۰	۲/۱	-----	شتابنگاشت اولیه
۱۴۰	۱۰	۲/۱	۵	شتابنگاشت فشرده
-۹۶/۸	۰	۰	-----	اختلاف (درصد)
۷۱	۱۰	۱/۱	۶	شتابنگاشت فشرده
-۹۸/۴	۰	-۵۲	-----	اختلاف (درصد)

نمودار شتاب و طیف فوریه برای این شتابنگاشت و فشرده شده مرحله پنجم آن در شکل (۱-۳) نمایش داده شده است.



(الف)



(ب)

شکل (۱-۳) نمودار زلزله ایتالیا الف : شتاب ب : طیف فوریه

۲-۲-۳ شتابنگاشت زلزله Kocaeli ترکیه

۱-۲-۲-۳ مشخصات زلزله

در جدول (۳-۳) مشخصات مربوط به این زلزله آورده شده است:

جدول (۳-۳) مشخصات زلزله Kocaeli ترکیه [۲۲]

موقعیت	سال وقوع	بزرگی	تعداد داده	تعداد داده پس از حذف مقادیر نزدیک به صفر
Kocaeli ترکیه	۱۹۹۹	۵/۸	۱۸۱۱۵	۱۷۳۷۶

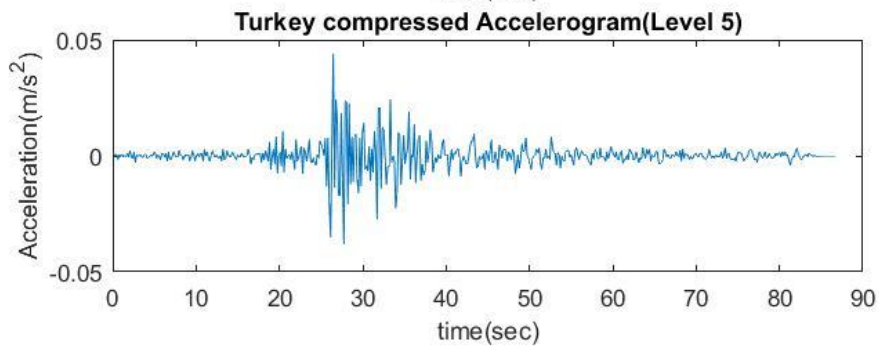
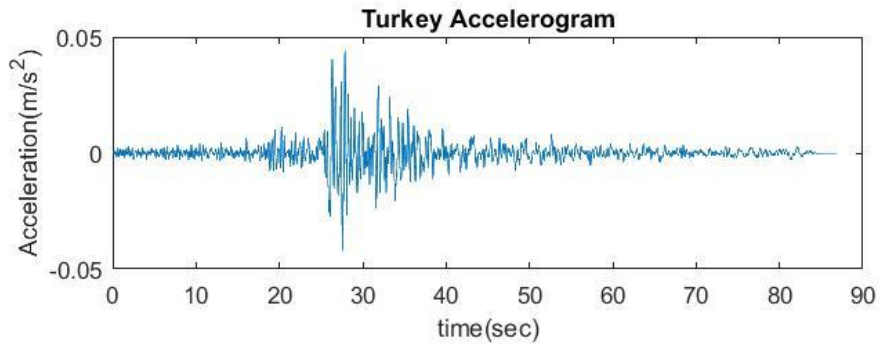
۲-۲-۲-۳ فشرده سازی شتابنگاشت

با توجه به جدول (۴-۳) ملاحظه می‌گردد که در فشرده سازی این شتابنگاشت که در پنج مرحله انجام شده فرکانس غالب و PGA ثابت مانده ولی تعداد داده ها حدود ۹۷ درصد کاهش یافته است. در مرحله بعدی اختلاف فرکانس غالب با حالت اولیه ۵۰ درصد بوده است و فشرده سازی ادامه نیافته است.

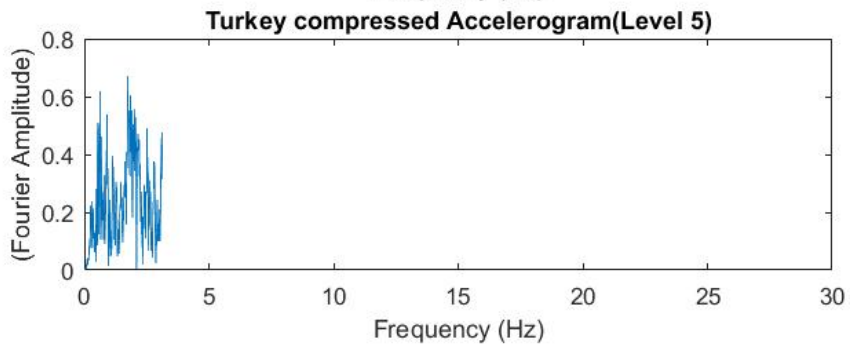
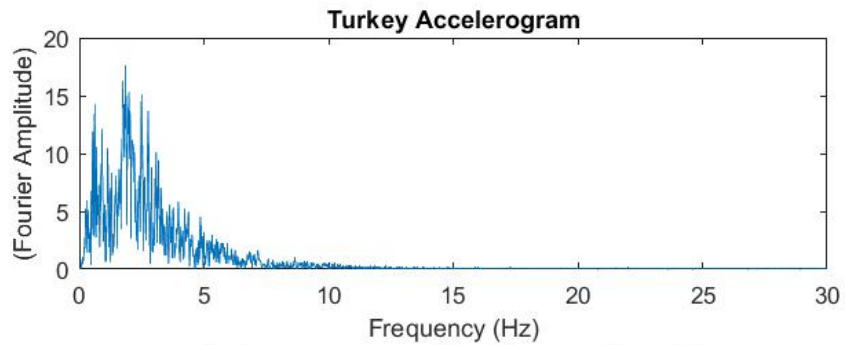
جدول (۴-۳) تغییرات موج فشرده شده Kocaeli ترکیه

تعداد داده ها	PGA (m/s^2)	فرکانس غالب (Hz)	مرحله فشرده سازی (L)	
۱۷۳۷۶	۰/۰۴۴	۱/۸۵	-----	شتابنگاشت اولیه
۵۴۵	۰/۰۴۴	۱/۸	۵	شتابنگاشت فشرده
-۹۶/۸	۰	۰	-----	اختلاف (درصد)
۲۷۴	۰/۰۴۴	۰/۹۱	۶	شتابنگاشت فشرده
-۹۸/۴	۰	-۵۲	-----	اختلاف (درصد)

در شکل (۲-۳) نمودار طیف فوریه و شتاب برای این شتابنگاشت و فشرده شده مرحله پنجم آن ارائه شده است:



(الف)



(ب)

شکل (۲-۳) نمودار زلزله Kocaeli ترکیه الف : شتاب ب : طیف فوریه

۳-۲-۳ شتابنگاشت زلزله یونان

۱-۳-۲-۳ مشخصات زلزله

مشخصات زلزله در جدول (۳-۵) نمایش داده شده است:

جدول (۳-۵) مشخصات زلزله یونان [۲۲]

موقعیت	سال وقوع	بزرگی	تعداد داده	تعداد داده پس از حذف مقادیر نزدیک به صفر
کشور یونان	۱۹۸۱	۶/۳	۱۰۱۳۸	۸۱۳۹

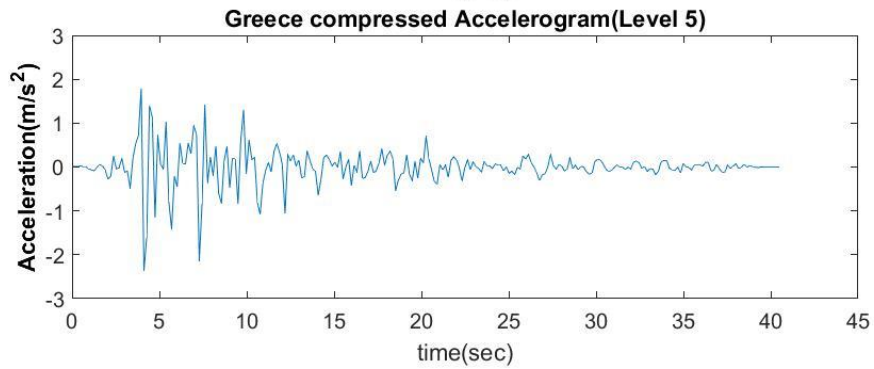
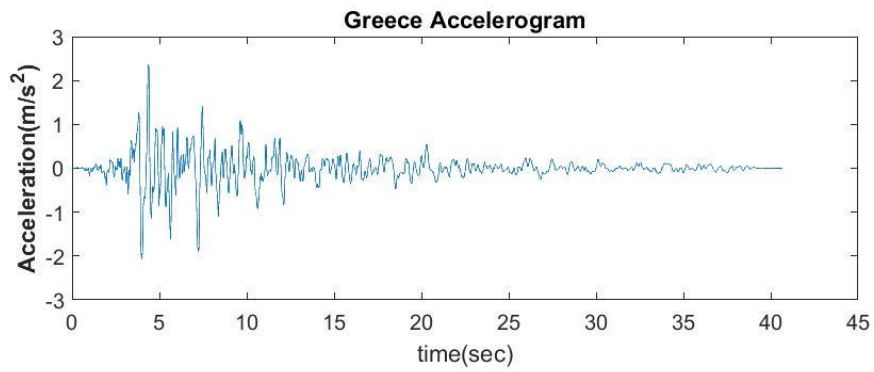
۲-۳-۲-۳ فشرده سازی شتابنگاشت

عملیات فشرده سازی در پنج مرحله انجام شده است. مطابق جدول (۳-۶) ملاحظه می‌گردد که فرکانس غالب و PGA ثابت مانده ولی تعداد داده ها حدود ۹۶/۸ درصد کاهش یافته است. ادامه فشرده سازی بدلیل اختلاف بوجود آمده در فرکانس غالب متوقف گردیده است.

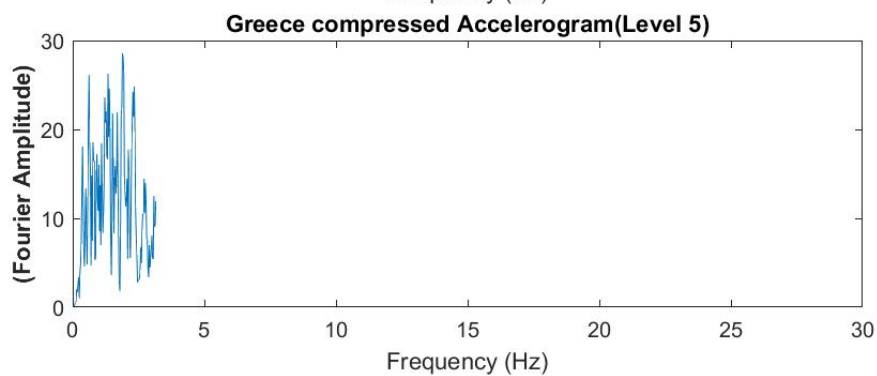
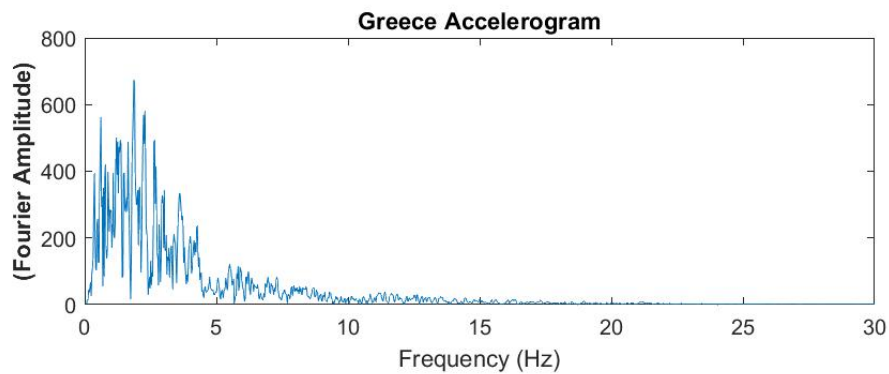
جدول (۳-۶) تغییرات موج فشرده شده یونان

تعداد داده ها	PGA (m/s^2)	فرکانس غالب (Hz)	مرحله فشرده سازی (L)	
۸۱۳۹	۲/۳۵	۱/۸۶	-----	شتابنگاشت اولیه
۲۵۷	۲/۳۵	۱/۸۶	۵	شتابنگاشت فشرده
-۹۶/۸	۰	۰	-----	اختلاف (درصد)
۱۳۰	۲/۳۵	۱/۳	۶	شتابنگاشت فشرده
-۹۸/۴	۰	-۳۰	-----	اختلاف (درصد)

نمودار شتاب و طیف فوریه برای این شتابنگاشت و فشرده شده مرحله پنجم آن در شکل (۳-۳) نمایش داده شده است.



(الف)



(ب)

شکل (۳-۳) نمودار زلزله یونان الف : شتاب ب : طیف فوریه

۳-۲-۴ شتابنگاشت زلزله تایوان (ChiChi Taiwan)

۳-۲-۴-۱ مشخصات زلزله

خصوصیات این زلزله در جدول (۳-۷) نمایش داده شده است:

جدول (۳-۷) مشخصات زلزله Chi Chi تایوان [۲۳]

موقعیت	سال وقوع	بزرگی	تعداد داده	تعداد داده پس از حذف مقادیر نزدیک به صفر
Chi Chi تایوان	۱۹۹۹	۷/۶	۱۷۹۹۵	۱۱۲۰۱

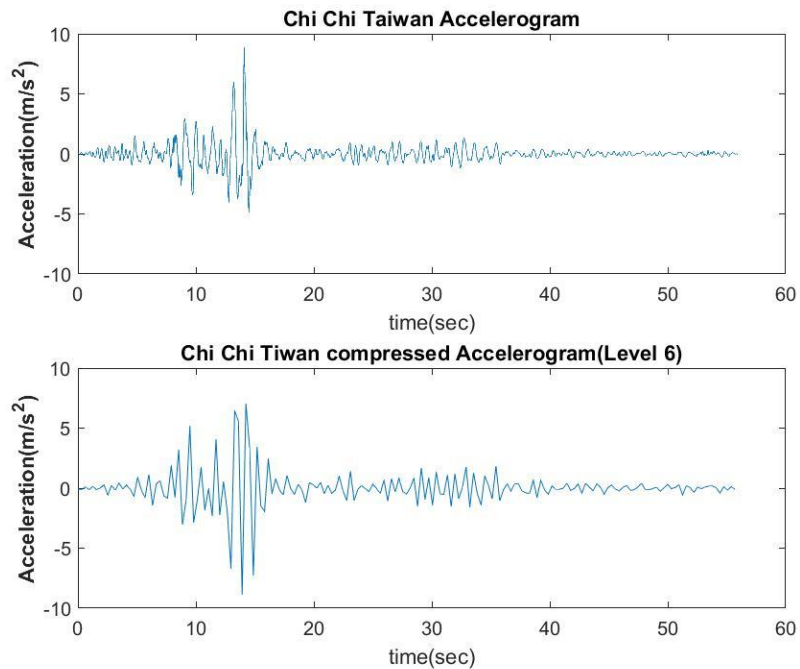
۳-۲-۴-۲ فشرده سازی شتابنگاشت

پس از ۶ مرحله فشرده سازی ، فرکانس غالب و PGA بدون تغییر مانده و تعداد داده ها حدود ۹۸/۵ درصد کاهش داشته است. بدلیل تغییر بوجود آمده در فرکانس غالب از ادامه فشرده سازی خودداری گردیده است. خلاصه نتایج در جدول (۳-۸) نشان داده شده است.

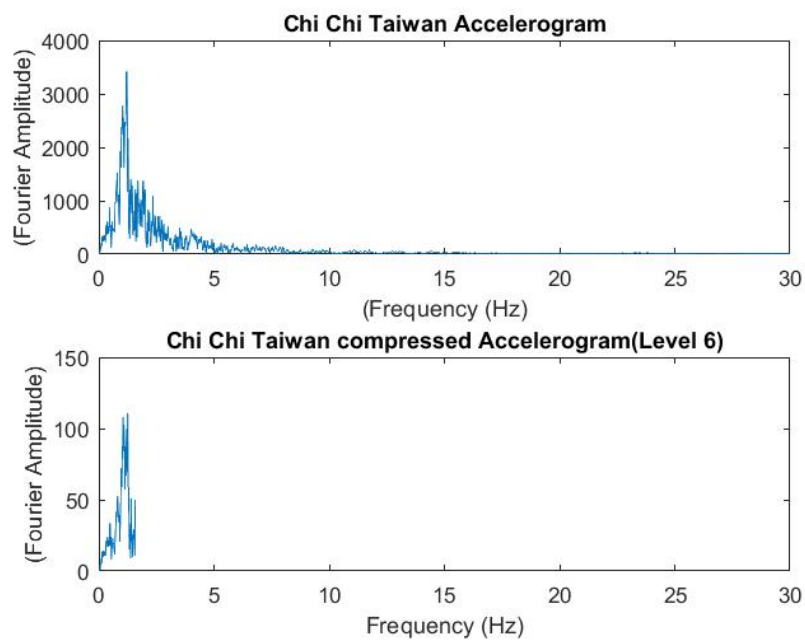
جدول (۳-۸) تغییرات موج فشرده شده Chi Chi تایوان

تعداد داده ها	PGA (m/s^2)	فرکانس غالب (Hz)	مرحله فشرده سازی (L)	
۱۱۲۰۱	۸/۸۵	۱/۲	-----	شتابنگاشت اولیه
۱۷۷	۸/۸۵	۱/۲	۶	شتابنگاشت فشرده
-۹۸/۴	۰	۰	-----	اختلاف (درصد)
۹۵	۸/۸۵	۰/۵۲	۷	شتابنگاشت فشرده
-۹۹	۰	-۶۰	-----	اختلاف (درصد)

نمودار شتاب و طیف فوریه برای این شتابنگاشت و فشرده شده مرحله ششم آن در شکل (۳-۴) ترسیم گردیده است.



(الف)



(ب)

شکل (۳-۴) نمودار زلزله Chi Chi تایوان الف : شتاب ب : طیف فوریه

۳-۲-۵ شتابنگاشت زلزله (Coyote Lake 1979)

۳-۲-۵-۱ مشخصات زلزله

مشخصات این زلزله در جدول (۳-۹) نمایش داده شده است:

جدول (۳-۹) مشخصات زلزله Coyote Lake [۲۳]

موقعیت	سال وقوع	بزرگی	تعداد داده	تعداد داده پس از حذف مقادیر نزدیک به صفر
کشور آمریکا	۱۹۷۹	۵/۷۴	۵۳۶۶	۵۳۶۶

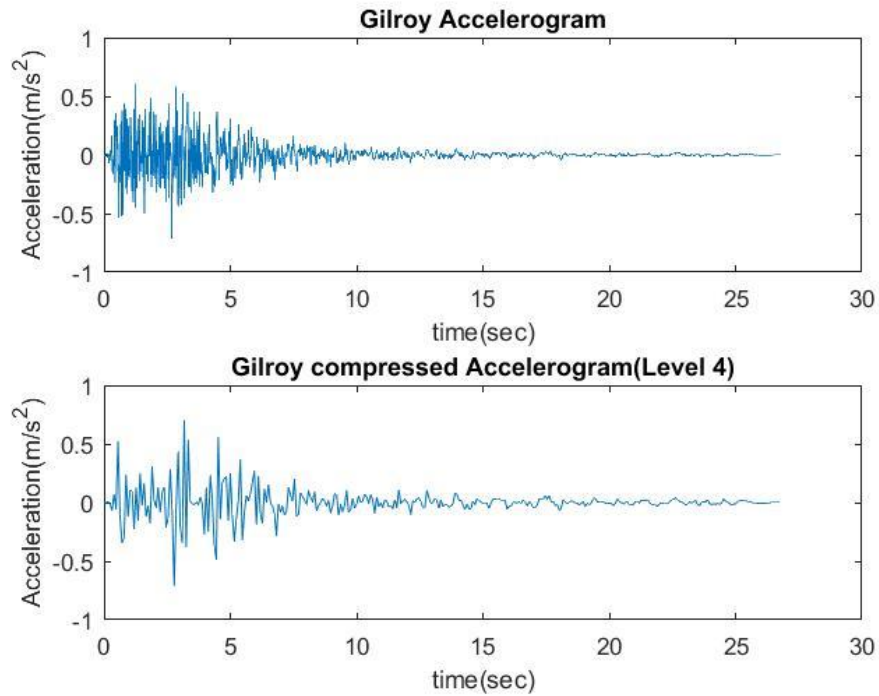
۳-۲-۵-۲ فشرده سازی شتابنگاشت

عملیات فشرده سازی در ۴ مرحله انجام شده است. مطابق مقادیر درج شده در جدول (۳-۱۰) تعداد داده های شتابنگاشت حدود ۹۴ درصد کاهش یافته و PGA و فرکانس غالب ثابت مانده است. با توجه به تفاوت ایجاد شده در فرکانس غالب در مرحله پنجم فشرده سازی چهار مرحله فشرده سازی کافی به نظر می آید.

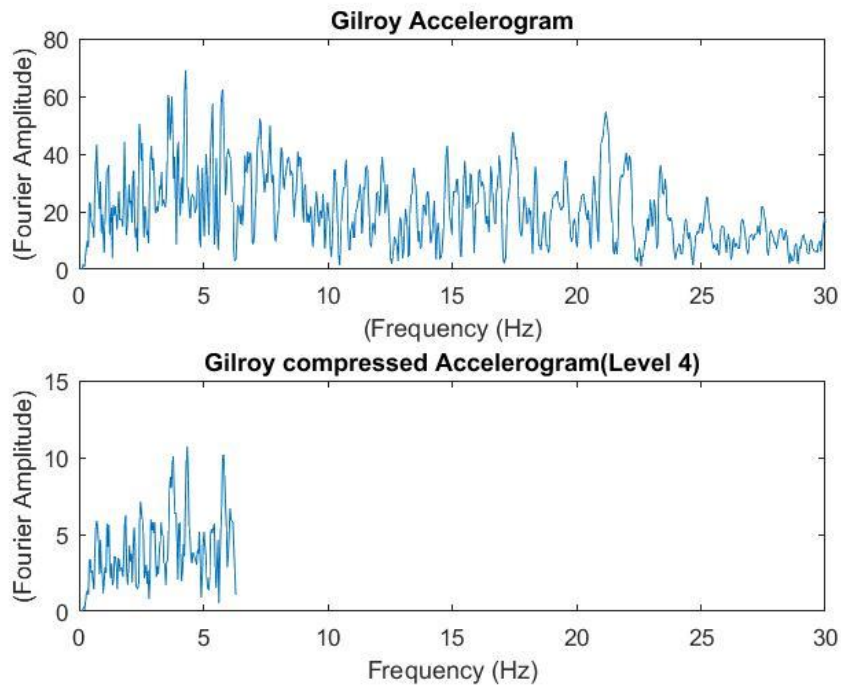
جدول (۳-۱۰) تغییرات موج فشرده شده Coyote Lake

تعداد داده ها	PGA (m/s^2)	فرکانس غالب (Hz)	مرحله فشرده سازی (L)	
۵۳۶۶	۰/۷	۴/۳	-----	شتابنگاشت اولیه
۳۳۸	۰/۷	۴/۳	۴	شتابنگاشت فشرده
-۹۳/۷	۰	۰	-----	اختلاف (درصد)
۱۷۰	۰/۷	۲/۵	۵	شتابنگاشت فشرده
-۹۶/۸	۰	-۵۸	-----	اختلاف (درصد)

نمودار شتاب و طیف فوریه این زلزله و فشرده شده مرحله چهارم آن در شکل (۳-۵) نمایش داده شده است.



(الف)



(ب)

شکل (۳-۵) نمودار زلزله Coyote Lake 1979 الف : شتاب ب : طیف فوریه

۳-۲-۶ شتابنگاشت زلزله (Imperial Valley 1979)

۳-۲-۶-۱ مشخصات زلزله

خصوصیات شتابنگاشت و مشخصات این زلزله در جدول (۳-۱۱) آورده شده است:

جدول (۳-۱۱) مشخصات زلزله Imperial Valley [۲۳]

موقعیت	سال وقوع	بزرگی	تعداد داده	تعداد داده پس از حذف مقادیر نزدیک به صفر
کشور آمریکا	۱۹۷۹	۶/۵	۷۵۲۰	۷۵۲۰

۳-۲-۶-۲ فشرده سازی شتابنگاشت

مطابق جدول (۳-۱۲) فشرده سازی شتابنگاشت این زلزله در چهار مرحله انجام شده است. فرکانس

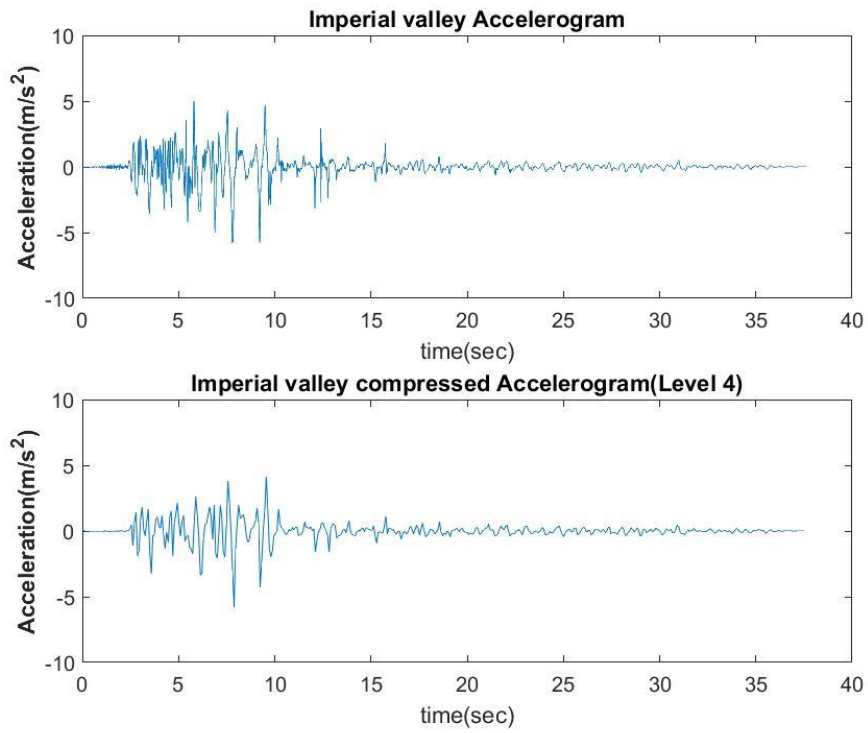
غالب و PGA تغییری نداشته ولی تعداد داده های شتابنگاشت حدود ۹۴ درصد کمتر شده است. مقدار

کاهش فرکانس غالب در مرحله پنجم دلیل عدم ادامه فشرده سازی بوده است.

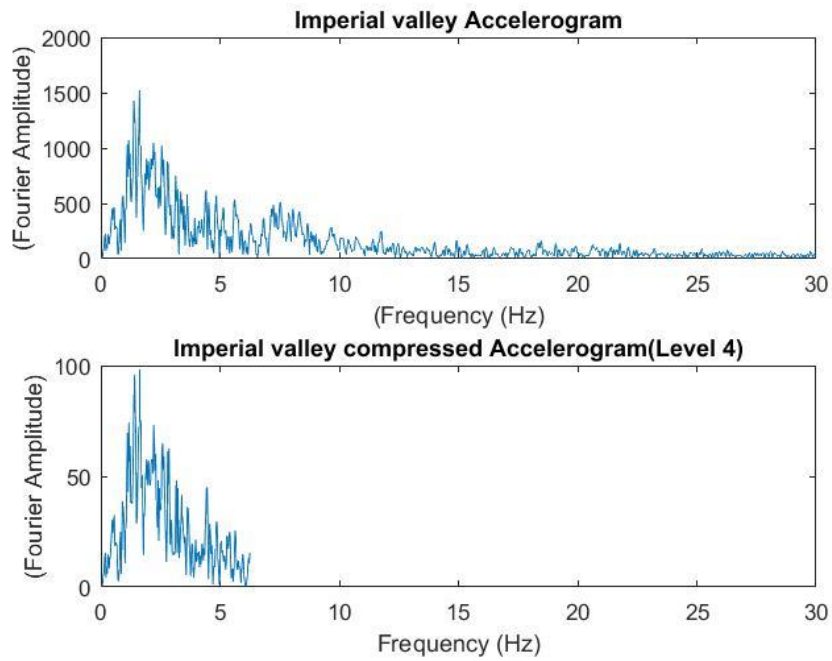
جدول (۳-۱۲) تغییرات موج فشرده شده Imperial Valley 1979

تعداد داده ها	PGA (m/s^2)	فرکانس غالب (Hz)	مرحله فشرده سازی (L)	
۷۵۲۰	۵/۷۷	۱/۶۲	-----	شتابنگاشت اولیه
۴۲۷	۵/۷۷	۱/۶۲	۴	شتابنگاشت فشرده
-۹۳/۷	۰	۰	-----	اختلاف (درصد)
۲۳۷	۵/۷۷	۱/۴	۵	شتابنگاشت فشرده
-۹۶/۸	۰	-۱۳/۶	-----	اختلاف (درصد)

طیف فوریه و نمودار شتاب مربوطه و فشرده شده مرحله چهارم آن در شکل (۳-۶) مشاهده می گردد.



(الف)



(ب)

شکل (۳-۶) نمودار زلزله Imperial Valley 1979 الف : شتاب ب : طیف فوریه

۷-۲-۳ شتابنگاشت زلزله (El-Centro 1940 #9)

۱-۷-۲-۳ مشخصات زلزله

مشخصات این زلزله در جدول (۱۳-۳) نمایش داده شده است:

جدول (۱۳-۳) مشخصات زلزله #9 Imperial Valley El-Centro 1940 [۲۳]

موقعیت	سال وقوع	بزرگی	تعداد داده	تعداد داده پس از حذف مقادیر نزدیک به صفر
کشور آمریکا	۱۹۴۰	۶/۹۵	۴۰۰۰	۴۰۰۰

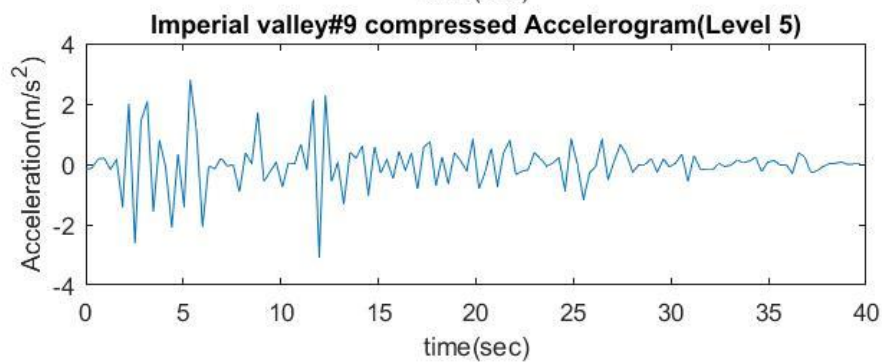
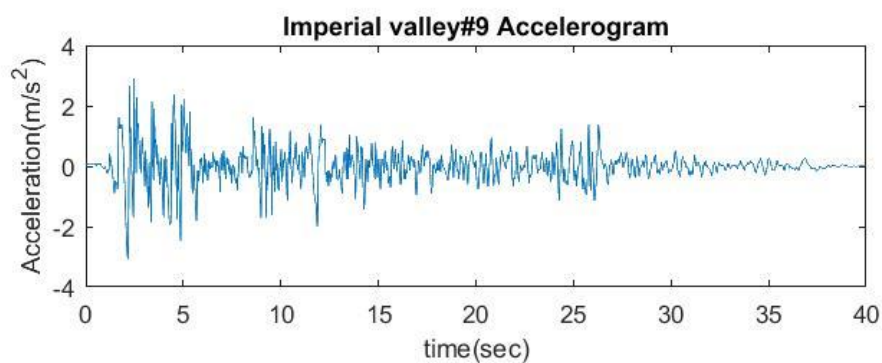
۲-۷-۲-۳ فشرده سازی شتابنگاشت

عملیات فشرده سازی در ۵ مرحله انجام شده است. در جدول (۱۴-۳) ملاحظه می‌گردد فرکانس غالب و PGA ثابت مانده ولی تعداد داده ها حدود ۹۷ درصد کاهش یافته است. به علت میزان تفاوت حاصله در فرکانس غالب، فشرده سازی در مرحله پنجم متوقف شده است.

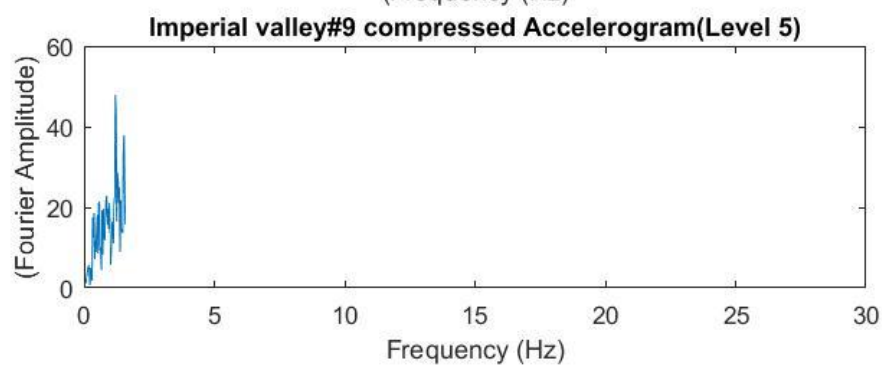
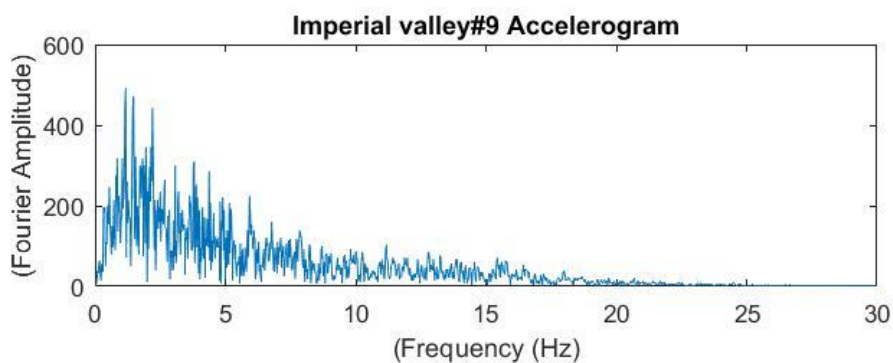
جدول (۱۴-۳) تغییرات موج فشرده شده #9 Imperial Valley El-Centro 1940

تعداد داده ها	PGA (m/s^2)	فرکانس غالب (Hz)	مرحله فشرده سازی (L)	
۴۰۰۰	۳/۰۶	۱/۱۷	-----	شتابنگاشت اولیه
۱۲۷	۳/۰۶	۱/۱۷	۵	شتابنگاشت فشرده
-۹۶/۸	۰	۰	-----	اختلاف (درصد)
۶۵	۳/۰۶	۰/۷۴	۶	شتابنگاشت فشرده
-۹۸/۴	۰	-۰/۶۳	-----	اختلاف (درصد)

نمودار شتاب و طیف فوریه برای این شتابنگاشت و فشرده شده مرحله پنجم آن در شکل (۷-۳) نمایش داده شده است.



(الف)



(ب)

شکل (۳-۷) نمودار زلزله #9 El-Centro 1940 الف : شتاب ب : طیف فوریه

۳-۲-۸ شتابنگاشت زلزله (Imperial Valley El-Centro 1940 #11)

۳-۲-۸-۱ مشخصات زلزله

موقعیت و سال وقوع و سایر مشخصات این زلزله در جدول (۳-۱۵) ارائه شده است:

جدول (۳-۱۵) مشخصات زلزله El-Centro 1940 #11 [۲۳]

موقعیت	سال وقوع	بزرگی	تعداد داده	تعداد داده پس از حذف مقادیر نزدیک به صفر
کشور آمریکا	۱۹۴۰	۶/۵	۷۸۱۰	۷۰۰۱

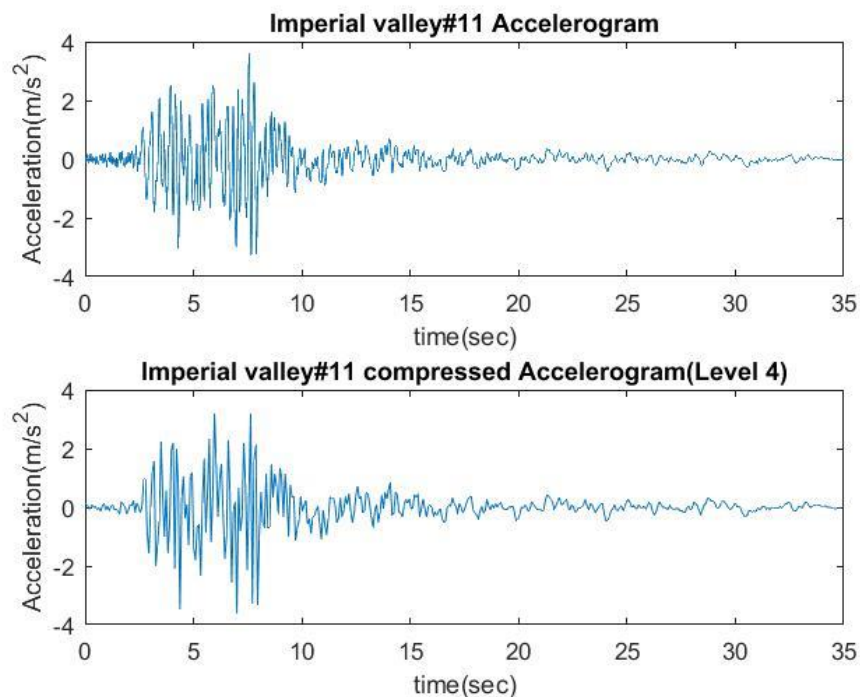
۳-۲-۸-۲ فشرده سازی شتابنگاشت

فشرده سازی شتابنگاشت طی چهار مرحله انجام شده است. طبق جدول (۳-۱۶) ملاحظه می‌گردد که فرکانس غالب و PGA ثابت باقی مانده اما تعداد داده های آن حدود ۹۴ درصد کاهش یافته است. در مرحله پنجم فشرده سازی مقدار تغییر فرکانس غالب نشان می دهد که ۴ مرحله فشرده سازی مناسب بوده است.

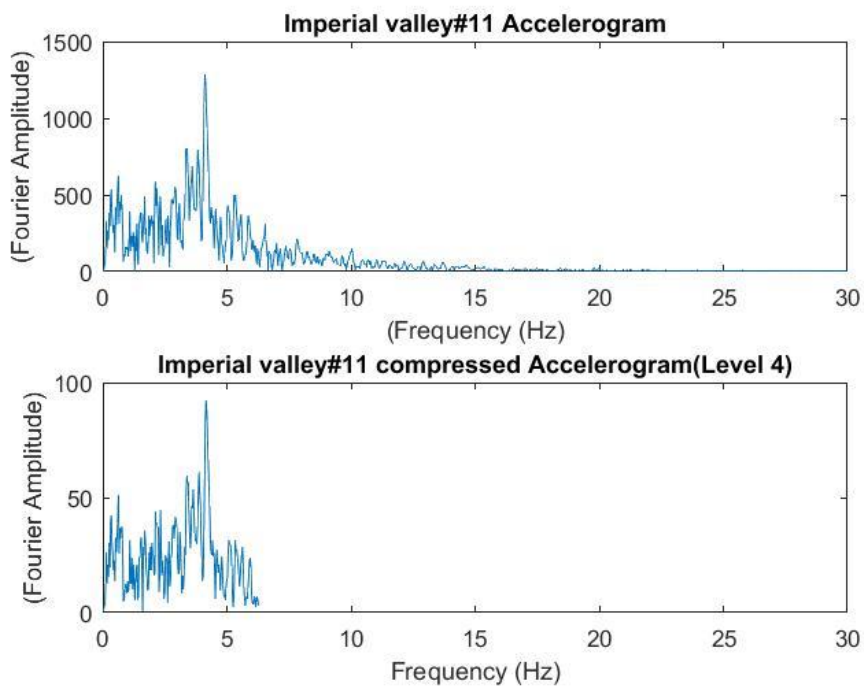
جدول (۳-۱۶) تغییرات موج فشرده شده El-Centro 1940 #11

تعداد داده ها	PGA (m/s^2)	فرکانس غالب (Hz)	مرحله فشرده سازی (L)	
۷۰۰۱	۳/۵۹	۴/۱۱	-----	شتابنگاشت اولیه
۴۴۰	۳/۵۹	۴/۱۱	۴	شتابنگاشت فشرده
-۹۳/۷	۰	۰	-----	اختلاف (درصد)
۲۲۱	۳/۵۹	۲/۱۷	۵	شتابنگاشت فشرده
-۹۶/۸	۰	-۵۰	-----	اختلاف (درصد)

نمودار شتاب و طیف فوریه برای این شتابنگاشت و فشرده شده مرحله چهارم آن در شکل (۳-۸) نمایش داده شده است.



(الف)



(ب)

شکل (۳-۸) نمودار زلزله El-Centro 1940 #11 الف : شتاب ب : طیف فوریه

۳-۲-۹ شتابنگاشت زلزله (Loma Prieta 1989)

۳-۲-۹-۱ مشخصات زلزله

اطلاعات مربوط به این زلزله در جدول (۳-۱۷) نمایش داده شده است:

جدول (۳-۱۷) مشخصات زلزله Loma Prieta [۲۳]

موقعیت	سال وقوع	بزرگی	تعداد داده	تعداد داده پس از حذف مقادیر نزدیک به صفر
کشور آمریکا	۱۹۸۹	۶/۹۳	۷۹۹۰	۴۰۰۱

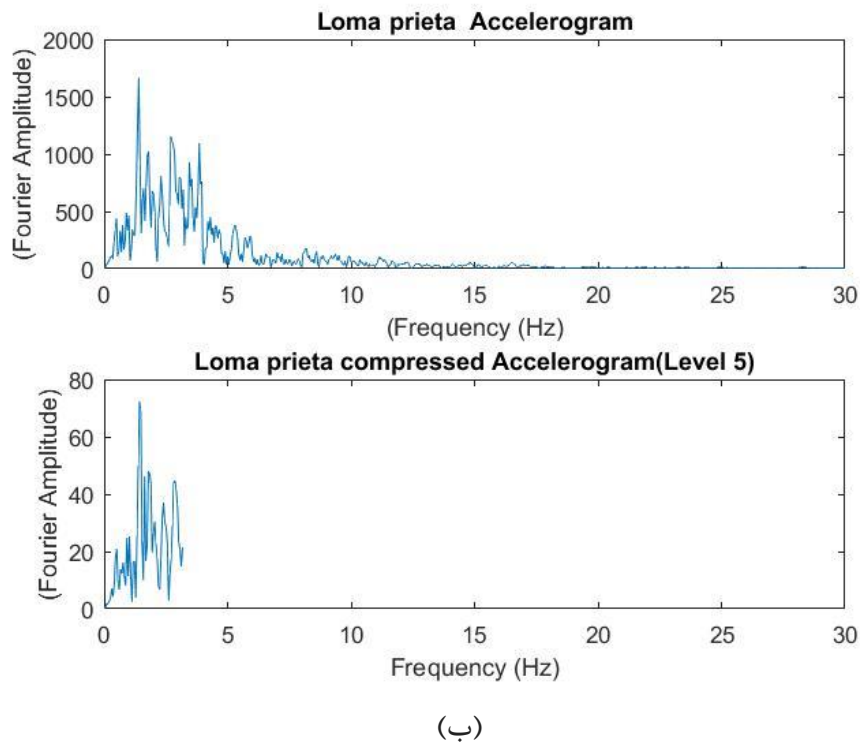
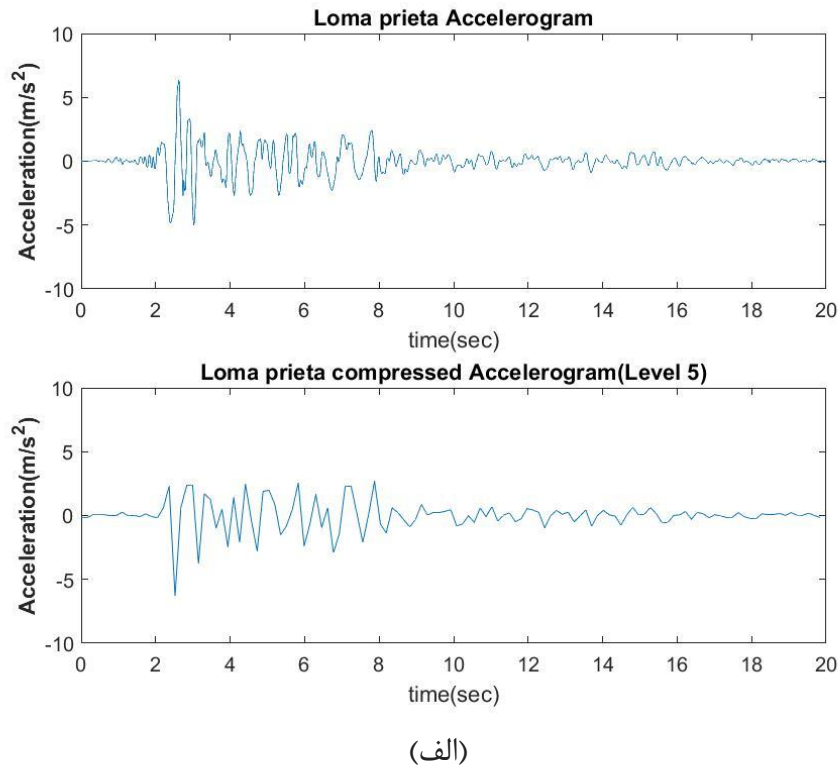
۳-۲-۹-۲ فشرده سازی شتابنگاشت

براساس جدول (۳-۱۸) مشاهده می گردد که فشرده سازی در ۵ مرحله انجام شده است. فرکانس غالب و PGA بدون تغییر بوده ولی در تعداد داده ها حدود ۹۷ درصد کاهش دیده می شود. در مرحله ششم فشرده سازی ۸ درصد به مقدار فرکانس غالب افزوده می گردد لذا فشرده سازی تا ۵ مرحله کافی بوده است.

جدول (۳-۱۸) تغییرات موج فشرده شده Loma Prieta 1989

تعداد داده ها	PGA (m/s^2)	فرکانس غالب (Hz)	مرحله فشرده سازی (L)	
۴۰۰۱	۶/۳۱	۱/۴	-----	شتابنگاشت اولیه
۱۲۷	۶/۳۱	۱/۴	۵	شتابنگاشت فشرده
-۹۶/۸	۰	۰	-----	اختلاف (درصد)
۶۵	۶/۳۱	۱/۵۲	۶	شتابنگاشت فشرده
-۹۸/۴	۰	+۸	-----	اختلاف (درصد)

در شکل (۳-۹) نمودار شتاب و طیف فوریه مربوط به شتابنگاشت زلزله فوق و فشرده شده مرحله پنجم آن ارائه گردیده است.



شکل (۳-۹) نمودار زلزله Loma Prieta 1989 الف : شتاب ب : طیف فوریه

۳-۲-۱۰ شتابنگاشت زلزله (Mammoth Lake 1980)

۳-۲-۱۰-۱ مشخصات زلزله

مشخصات این زلزله در جدول (۳-۱۹) نمایش داده شده است:

جدول (۳-۱۹) مشخصات زلزله Mammoth Lake 1980 [۲۳]

موقعیت	سال وقوع	بزرگی	تعداد داده	تعداد داده پس از حذف مقادیر نزدیک به صفر
کشور آمریکا	۱۹۸۰	۶/۰۶	۵۹۹۰	۵۰۰۱

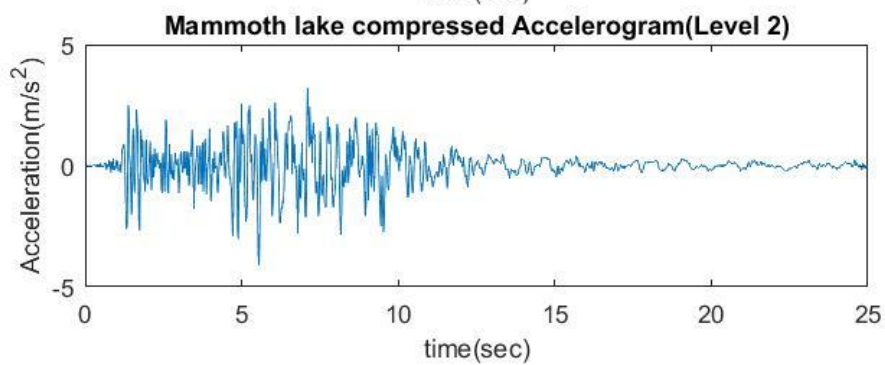
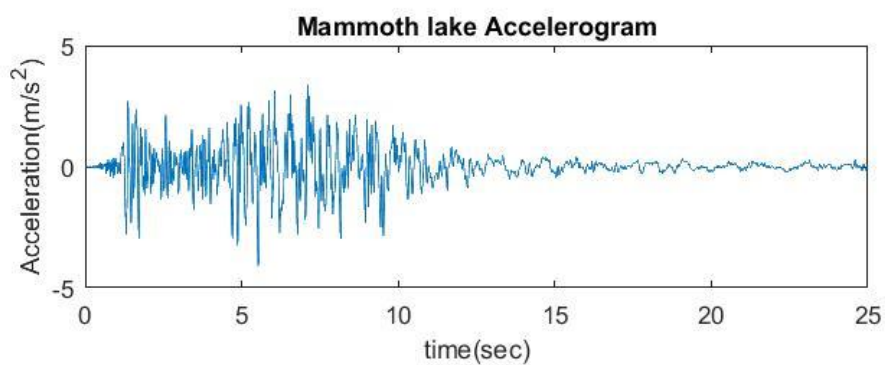
۳-۲-۱۰-۲ فشرده سازی شتابنگاشت

عملیات فشرده سازی در دو مرحله انجام شده است. در جدول (۳-۲۰) ملاحظه می‌گردد فرکانس غالب و PGA ثابت مانده ولی تعداد داده ها حدود ۷۵ درصد کاهش یافته است. فرکانس غالب در مرحله سوم ۶۹ درصد اختلاف داشته و به همین علت فشرده سازی بیش از دو مرحله ادامه نیافته است.

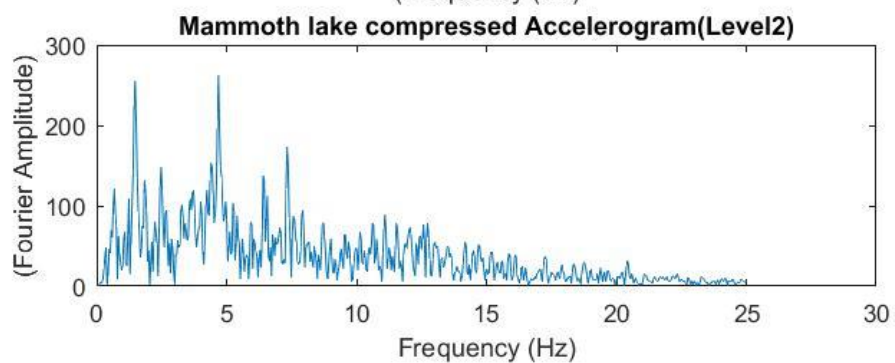
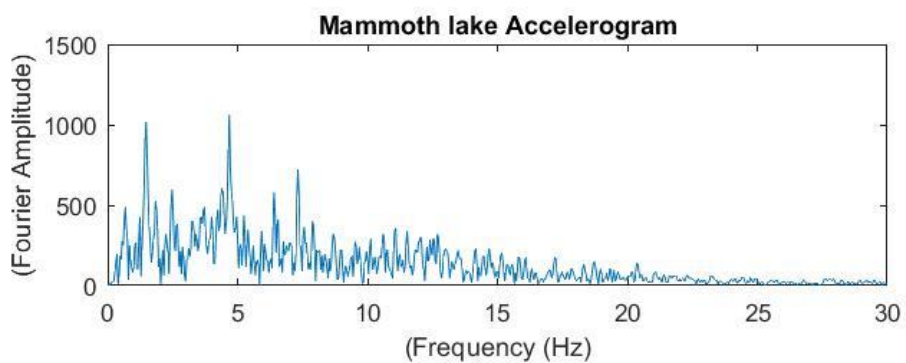
جدول (۳-۲۰) تغییرات موج فشرده شده Mammoth Lake 1980

تعداد داده ها	PGA (m/s^2)	فرکانس غالب (Hz)	مرحله فشرده سازی (L)	
۵۰۰۱	۴/۰۸	۴/۶۸	-----	شتابنگاشت اولیه
۱۲۵۲	۴/۰۸	۴/۶۸	۲	شتابنگاشت فشرده
-۷۵	۰	۰	-----	اختلاف (درصد)
۶۲۷	۴/۰۸	۱/۴۸	۳	شتابنگاشت فشرده
-۸۷/۵	۰	-۶۹	-----	اختلاف (درصد)

نمودار شتاب و طیف فوریه برای این شتابنگاشت و فشرده شده مرحله دوم آن در شکل (۳-۱۰) نمایش داده شده است.



(الف)



(ب)

شکل (۳-۱۰) نمودار زلزله Mammoth Lake 1980 الف : شتاب ب : طیف فوریه

۳-۲-۱۱ شتابنگاشت زلزله (Morgan Hill 1984)

۳-۲-۱۱-۱ مشخصات زلزله

در جدول (۳-۲۱) مشخصات این زلزله ارائه گردیده است :

جدول (۳-۲۱) مشخصات زلزله Morgan Hill 1984 [۲۳]

موقعیت	سال وقوع	بزرگی	تعداد داده	تعداد داده پس از حذف مقادیر نزدیک به صفر
کشور آمریکا	۱۹۸۴	۶/۱۹	۵۹۹۶	۴۰۰۱

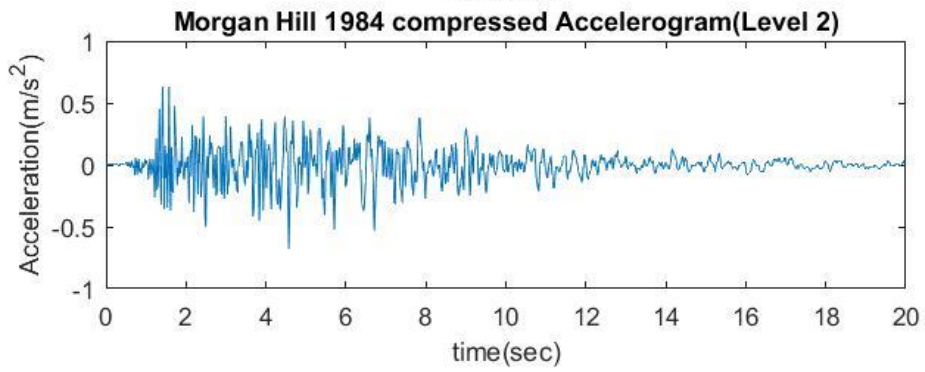
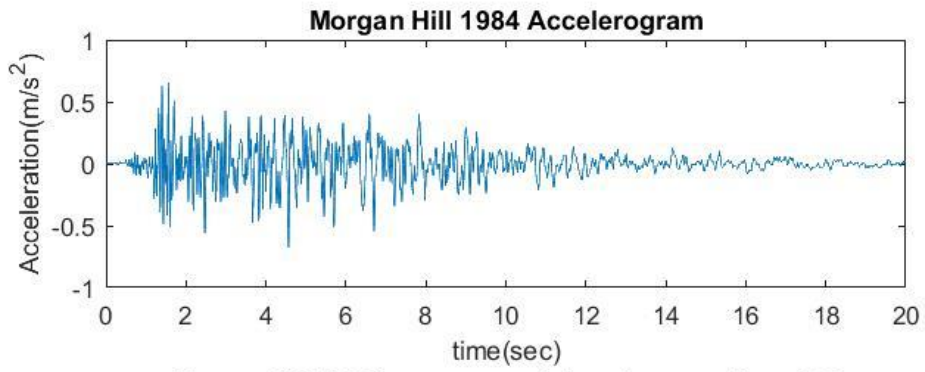
۳-۲-۱۱-۲ فشرده سازی شتابنگاشت

پس از دو مرحله تعداد داده ها حدود ۷۵ درصد کاهش یافته است ولی در فرکانس غالب و PGA تفاوتی ملاحظه نمی گردد . با یک مرحله فشرده سازی اضافی فرکانس غالب ۴۰ درصد کمتر شده و نشان دهنده کفایت فشرده سازی در مرحله دوم بوده است. در جدول (۳-۲۲) خلاصه نتایج ارائه گردیده است.

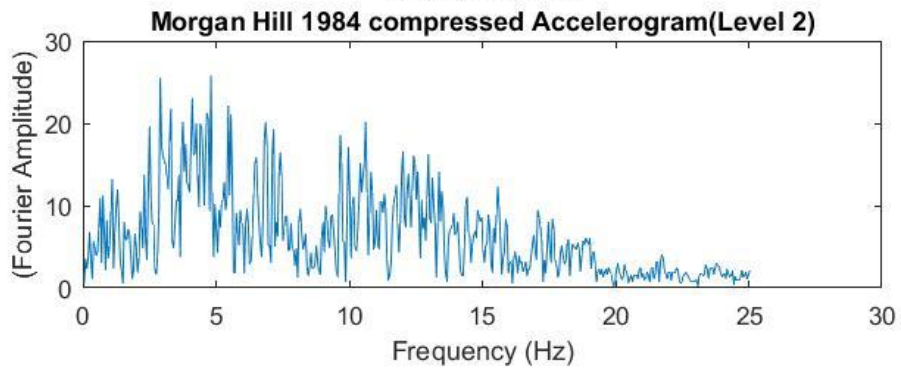
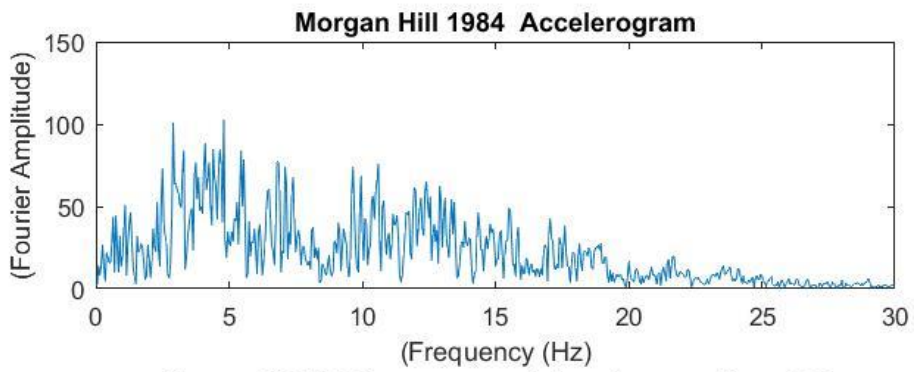
جدول (۳-۲۲) تغییرات موج فشرده شده Morgan Hill 1984

تعداد داده ها	PGA (m/s^2)	فرکانس غالب (Hz)	مرحله فشرده سازی (L)	
۴۰۰۱	۰/۶۷	۴/۸	-----	شتابنگاشت اولیه
۱۰۰۲	۰/۶۷	۴/۸	۲	شتابنگاشت فشرده
-۷۵	۰	۰	-----	اختلاف (درصد)
۵۰۲	۰/۶۷	۲/۹	۳	شتابنگاشت فشرده
-۸۷/۵	۰	-۴۰	-----	اختلاف (درصد)

در شکل (۳-۱۱) نمودار شتاب و طیف فوریه و فشرده شده مرحله دوم آن نمایش داده شده است.



(الف)



(ب)

شکل (۳-۱۱) نمودار زلزله Morgan Hill 1984 الف : شتاب ب : طیف فوریه

۱۲-۲-۳ شتابنگاشت زلزله (Northridge-01 1994)

۱-۱۲-۲-۳ مشخصات زلزله

مشخصات این زلزله در جدول (۲۳-۳) نمایش داده شده است:

جدول (۲۳-۳) مشخصات زلزله Northridge-01 1994 [۲۳]

موقعیت	سال وقوع	بزرگی	تعداد داده	تعداد داده پس از حذف مقادیر نزدیک به صفر
کشور آمریکا	۱۹۹۴	۶/۶۹	۹۳۸۷	۹۳۸۷

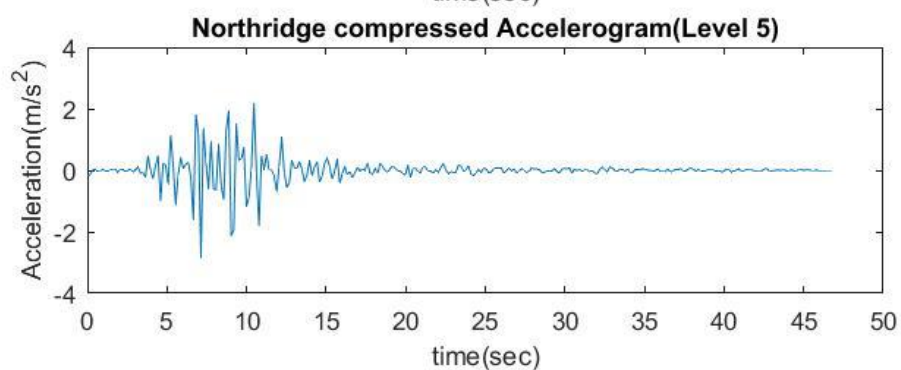
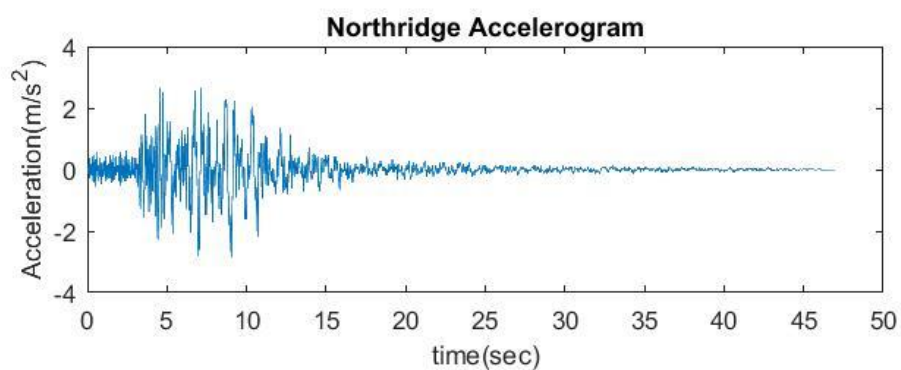
۲-۱۲-۲-۳ فشرده سازی شتابنگاشت

عملیات فشرده سازی در ۵ مرحله انجام شده است. در جدول (۲۴-۳) ملاحظه می‌گردد فرکانس غالب و PGA ثابت مانده ولی تعداد داده ها حدود ۹۷ درصد کاهش یافته است. مرحله بعدی فشرده سازی به علت تغییرات فرکانس غالب انجام نگردیده و به ۵ مرحله فشرده سازی اکتفا شده است.

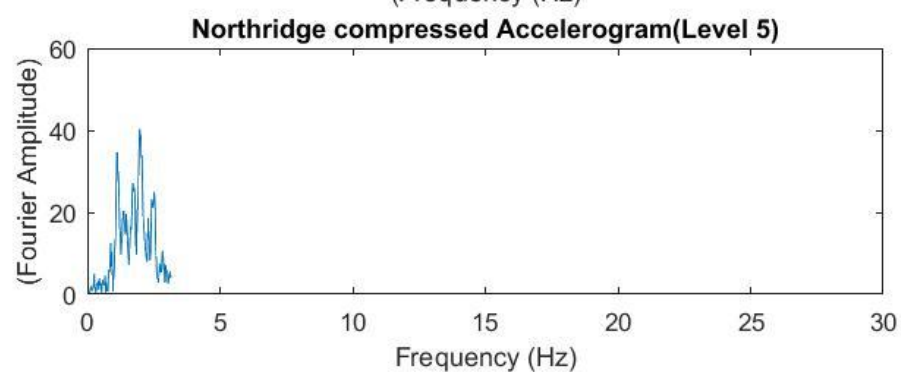
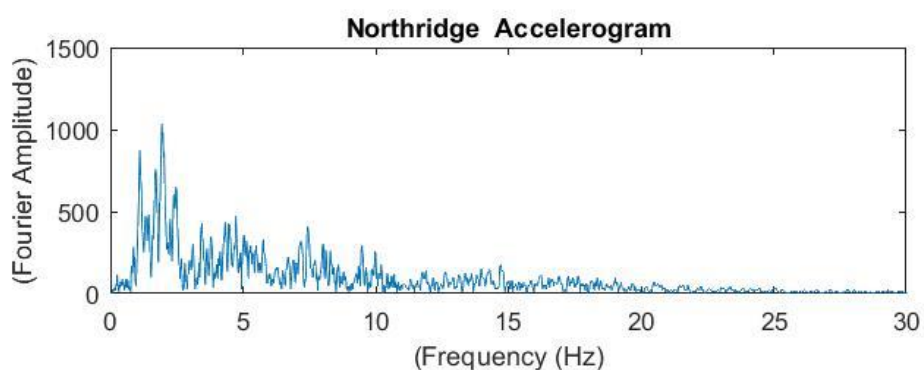
جدول (۲۴-۳) تغییرات موج فشرده شده Northridge-01 1994

تعداد داده ها	PGA (m/s^2)	فرکانس غالب (Hz)	مرحله فشرده سازی (L)	
۹۳۸۷	۲/۸۳	۱/۹۳	-----	شتابنگاشت اولیه
۲۹۶	۲/۸۳	۱/۹۳	۵	شتابنگاشت فشرده
-۹۶/۸	۰	۰	-----	اختلاف (درصد)
۱۴۹	۲/۸۳	۱/۱۵	۶	شتابنگاشت فشرده
-۹۸/۴	۰	-۴۰	-----	اختلاف (درصد)

نمودار شتاب و طیف فوریه برای این شتابنگاشت و فشرده شده مرحله پنجم آن در شکل (۱۲-۳) نمایش داده شده است.



(الف)



(ب)

شکل (۳-۱۲) نمودار زلزله Northridge-01 1994 الف : شتاب ب : طیف فوریه

۳-۲-۱۳ شتابنگاشت زلزله (Westmorland 1981)

۳-۲-۱۳-۱ مشخصات زلزله

سال وقوع زلزله ، بزرگی و دیگر مشخصات این زلزله در جدول (۳-۲۵) نمایش داده شده است:

جدول (۳-۲۵) مشخصات زلزله Westmorland 1981 [۲۳]

موقعیت	سال وقوع	بزرگی	تعداد داده	تعداد داده پس از حذف مقادیر نزدیک به صفر
کشور آمریکا	۱۹۸۱	۵/۹	۸۰۰۰	۴۰۰۱

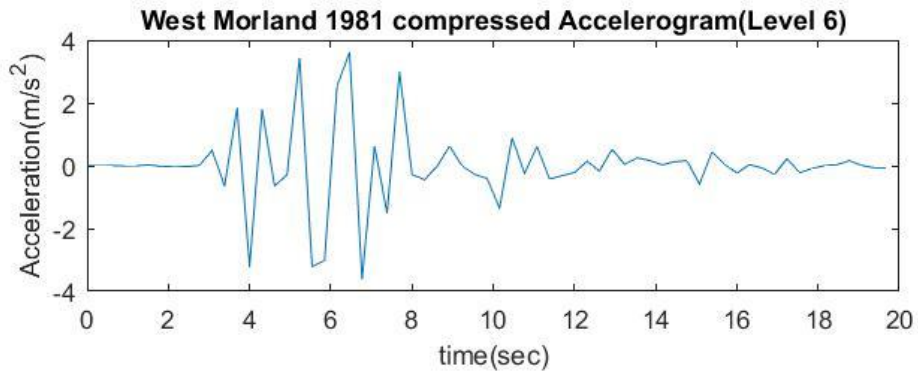
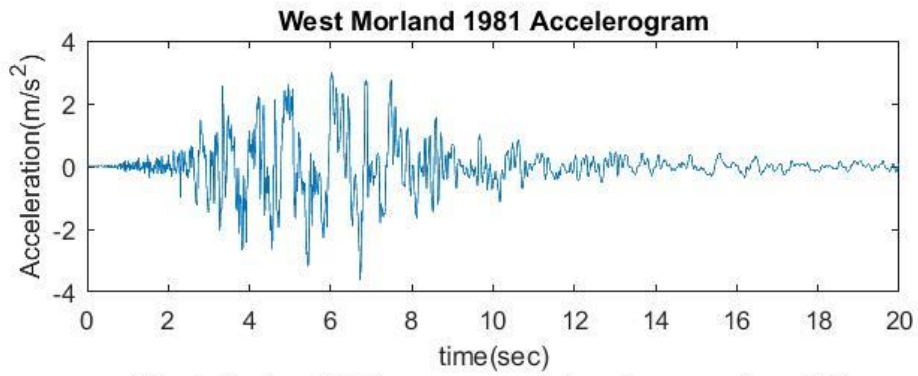
۳-۲-۱۳-۲ فشرده سازی شتابنگاشت

در جدول (۳-۲۶) ملاحظه می‌گردد که فرکانس غالب و PGA در مرحله ششم ثابت مانده لیکن تعداد داده ها حدود ۹۸/۴ درصد کاهش یافته است. همچنین عملیات فشرده سازی برای این شتابنگاشت در مرحله هفتم منتج به تغییر ۵۰ درصدی فرکانس غالب شده است و بر این اساس فشرده سازی در مرحله ۶ کافی بوده است.

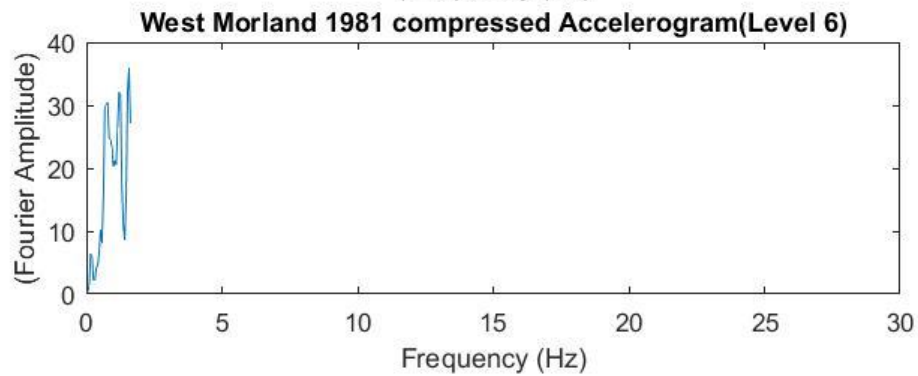
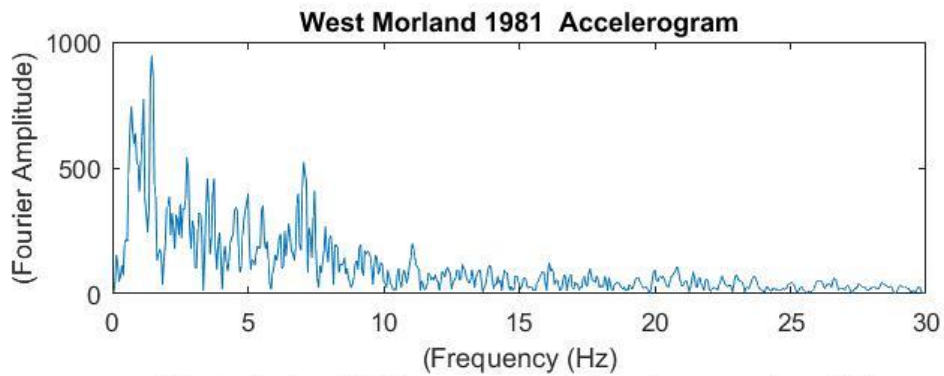
جدول (۳-۲۶) تغییرات موج فشرده شده Westmorland 1981

تعداد داده ها	PGA (m/s^2)	فرکانس غالب (Hz)	مرحله فشرده سازی (L)	
۴۰۰۱	۳/۶	۱/۴	-----	شتابنگاشت اولیه
۶۵	۳/۶	۱/۴	۶	شتابنگاشت فشرده
-۹۸/۴	۰	۰	-----	اختلاف (درصد)
۳۴	۳/۶	۰/۷	۷	شتابنگاشت فشرده
-۹۹	۰	-۵۰	-----	اختلاف (درصد)

در نمودارهای شکل (۳-۱۳) شتاب و طیف فوریه این شتابنگاشت و فشرده شده مرحله ششم آن ارائه گردیده است.



(الف)



(ب)

شکل (۳-۱۳) نمودار زلزله Westmorland 1981 الف : شتاب ب : طیف فوریه

۳-۲-۱۴ شتابنگاشت زلزله (Whittier Narrows 1987)

۳-۲-۱۴-۱ مشخصات زلزله

مشخصات این زلزله در جدول (۳-۲۷) نمایش داده شده است:

جدول (۳-۲۷) مشخصات زلزله Whittier Narrows 1987 [۲۳]

موقعیت	سال وقوع	بزرگی	تعداد داده	تعداد داده پس از حذف مقادیر نزدیک به صفر
کشور آمریکا	۱۹۸۷	۵/۹۹	۸۰۰۳	۳۸۰۱

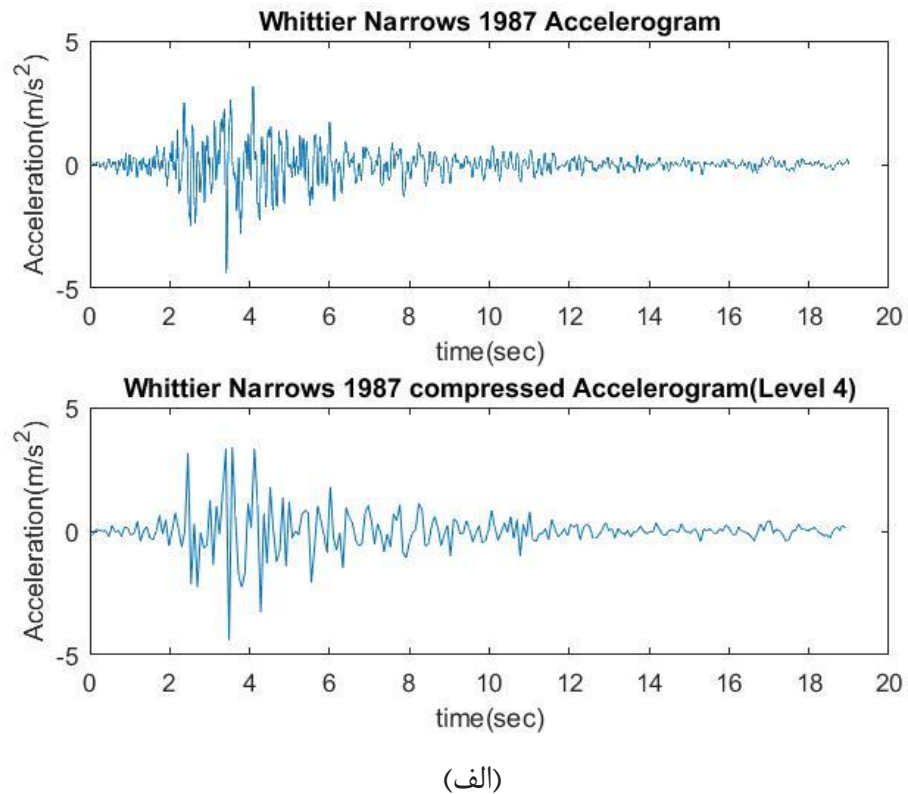
۳-۲-۱۴-۲ فشرده سازی شتابنگاشت

فشرده سازی طی چهار مرحله انجام شده است. در این مرحله فرکانس غالب و PGA ثابت مانده است و کاهش ۹۴ درصدی تعداد داده ها ملاحظه می شود. فرکانس غالب در مرحله پنجم ۶۵ درصد کمتر شده است و گویای کفایت فشرده سازی تا مرحله چهارم بوده است. در جدول (۳-۲۸) خلاصه محاسبات ملاحظه می گردد.

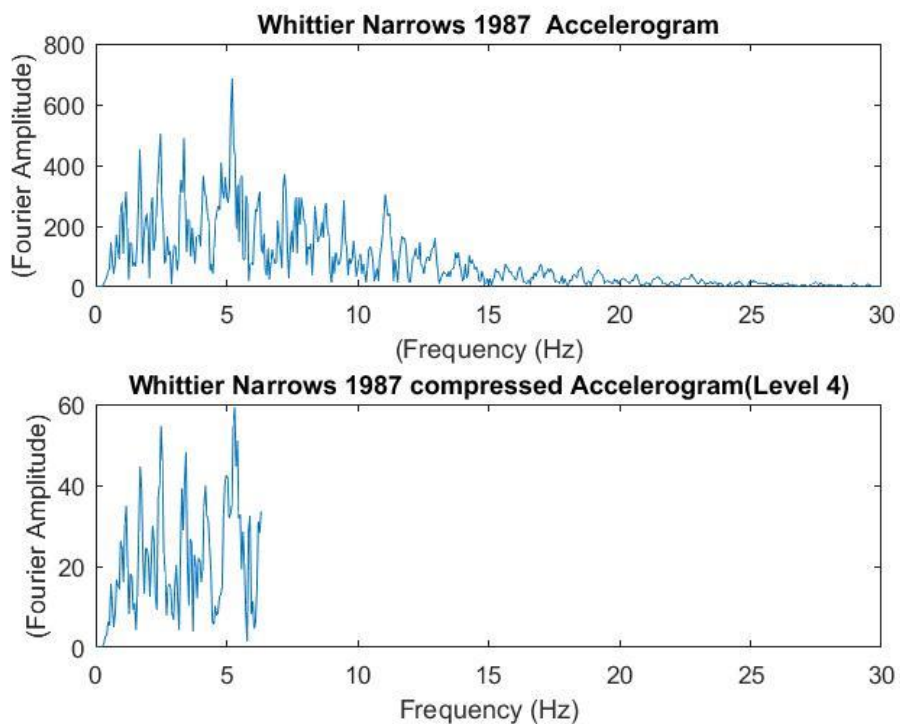
جدول (۳-۲۸) تغییرات موج فشرده شده Whittier Narrows 1987

تعداد داده ها	PGA (m/s^2)	فرکانس غالب (Hz)	مرحله فشرده سازی (L)	
۳۸۰۱	۴/۴	۵/۲	-----	شتابنگاشت اولیه
۲۴۰	۴/۴	۵/۲	۴	شتابنگاشت فشرده
-۹۳/۷	۰	۰	-----	اختلاف (درصد)
۱۲۱	۴/۴	۱/۸	۵	شتابنگاشت فشرده
-۹۶/۸	۰	-۶۵	-----	اختلاف (درصد)

نمودار شتاب و طیف فوری برای این شتابنگاشت و فشرده شده مرحله چهارم آن در شکل (۳-۱۴) نمایش داده شده است.



(الف)



(ب)

شکل (۳-۱۴) نمودار زلزله Whittier Narrows 1987 الف : شتاب ب : طیف فوری

۳-۳ مقایسه نتایج

همانطور که در جداول قسمت های قبل ملاحظه می گردد فشردگی سازی ها تا مرحله ای که فرکانس غالب و PGA ثابت است مناسب تشخیص داده شده و برای مرحله های بعدی به علت تغییرات فرکانس غالب ادامه پیدا نموده است . همچنین مشاهده می شود که تعداد داده ها تا ۹۸/۴٪ کاهش یافته است . خلاصه نتایج بدست آمده فشردگی سازی شتابنگاشت ها در جدول (۳-۲۹) نشان داده شده است:

جدول (۳-۲۹) مقایسه مشخصات موج اولیه و فشردگی شده شتابنگاشت ها

تعداد مراحل فشردگی سازی	اختلاف در تعداد داده (درصد)	اختلاف در PGA (درصد)	اختلاف در فرکانس غالب (درصد)	شتابنگاشت
۵	-۹۶/۸	۰	۰	Italy
۵	-۹۶/۸	۰	۰	Turkey
۵	-۹۶/۸	۰	۰	Greece
۶	-۹۸/۴	۰	۰	ChiChi Taiwan
۴	-۹۳/۷	۰	۰	Coyote Lake 1979
۴	-۹۳/۷	۰	۰	Imperial Valley 1979
۵	-۹۶/۸	۰	۰	Imperial Valley #9
۴	-۹۳/۷	۰	۰	Imperial Valley #11
۵	-۹۶/۸	۰	۰	Loma Prieta
۲	-۷۵	۰	۰	Mammoth Lake
۲	-۷۵	۰	۰	Morgan Hill 1984
۵	-۹۶/۸	۰	۰	Northridge-01 1994
۶	-۹۸/۴	۰	۰	Westmorland 1981
۴	-۹۳/۷	۰	۰	Whittier Narrows

فصل چهارم

اعمال شتابنگاشت ها در مسائل ژئوتکنیکی

۴-۱ مقدمه

با اعمال شتابنگاشت اولیه و فشرده شده در شرایط یکسان ، بر روی پنج مسئله مختلف ژئوتکنیکی به بررسی و مقایسه تفاوت های ایجاد شده در مقدار جابجایی (به عنوان یک معیار بسیار مهم در طراحی سازه های مختلف) برای نقطه ای خاص پرداخته خواهد شد. همچنین اختلاف در مدت زمان تحلیل دینامیکی مورد بررسی قرار گرفته و نتایج مقایسه خواهد گردید تا بر اساس آن بتوان معیاری جهت تعداد مراحل لازم برای فشرده سازی ارائه داد.

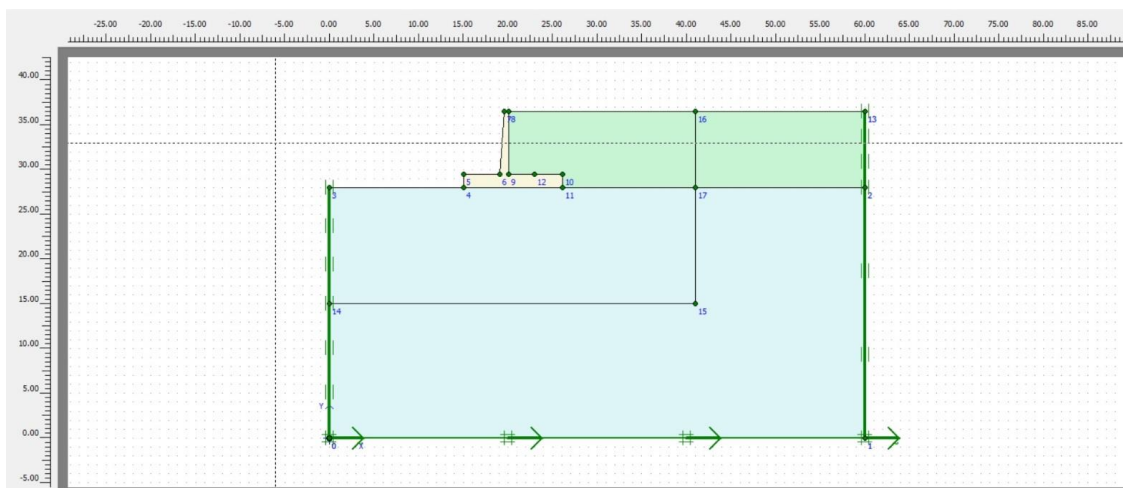
۴-۲ مسئله اول : تحلیل دینامیکی دیوار حائل

مدل در فضایی به ابعاد ۶۰ متر در ۳۷ متر توسط نرم افزار Plaxis [۲۴] مدل سازی شده است به صورتیکه ابتدا در حالت استاتیکی ایجاد و سپس خاکریزی پشت آن انجام گردیده است. دو شتابنگاشت Chi Chi تایوان و Kocaeli ترکیه و فشرده شده آنها به سازه اعمال و نتایج آن مورد بررسی و مقایسه قرار گرفته است. مدل از نوع کرنش مسطح انتخاب شده و مشخصات لایه های خاکی در جدول (۴-۱) ارائه گردیده است :

جدول (۴-۱) مشخصات مصالح استفاده شده (دیوار حائل)

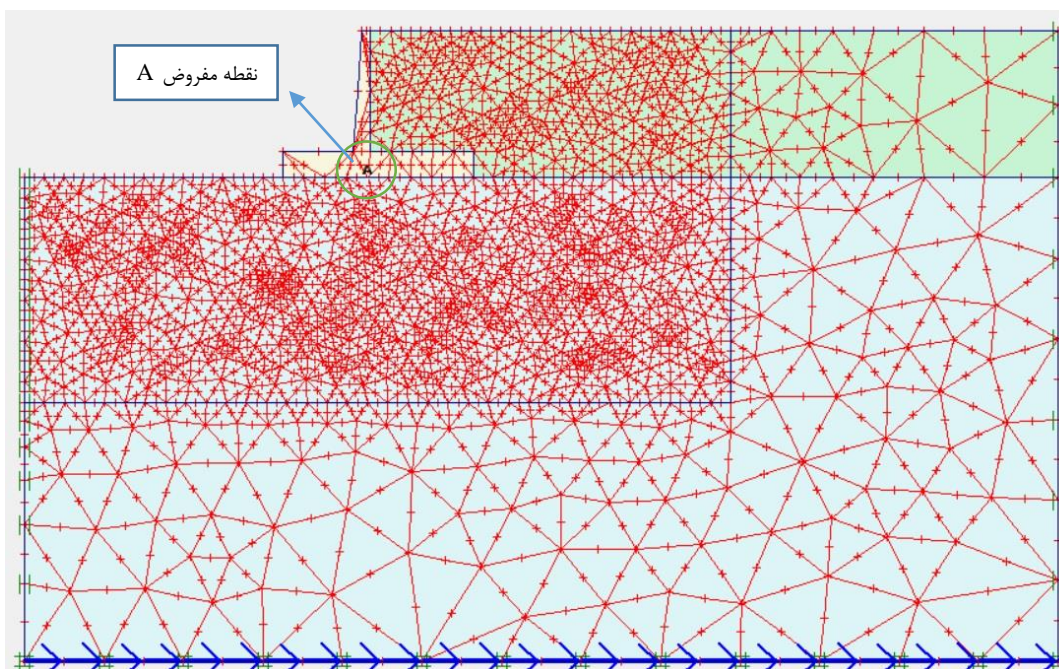
Material Name	Unit weight (KN / m^3)	Elastic module (Mpa)	ν	Cohesion (KN / m^2)	ϕ (Degree)	ψ (Degree)
خاک بستر	۱۸	۲۰	۰/۲۵	۰	۳۶	۶
خاکریز پشت دیوار	۱۹	۲۰	۰/۲	۰	۳۵	۵
بتن	۲۴	۲۰/۰۰۰	۰/۲۵	---	---	---

هندسه مدل در شکل (۴-۱) نشان داده شده است :



شکل (۱-۴) هندسه مدل دیوار حائل

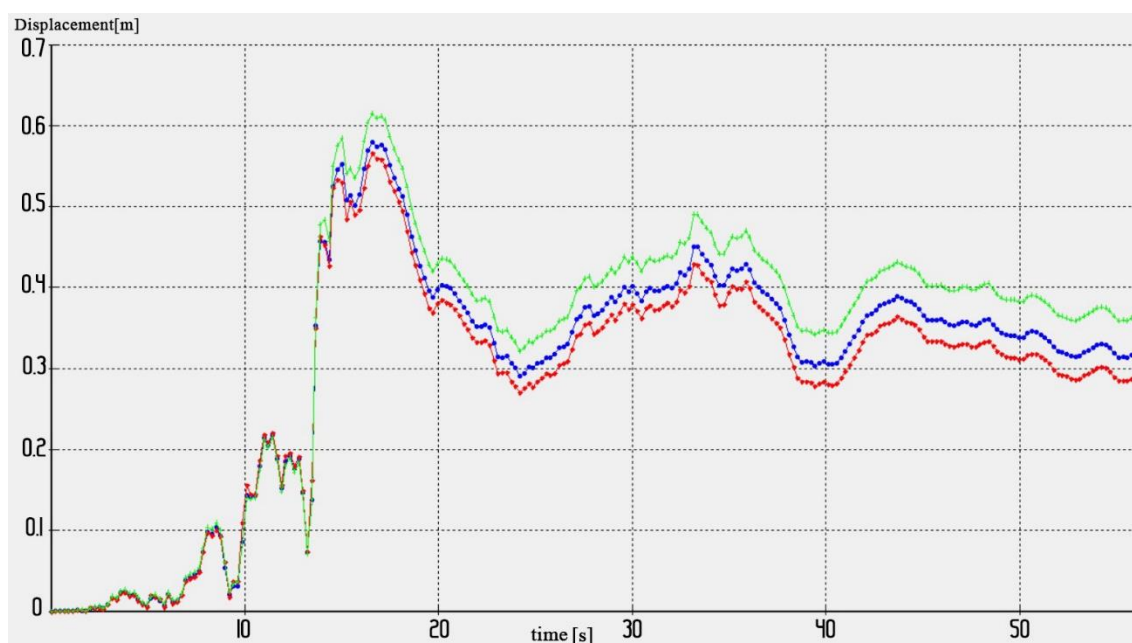
همچنین مش بندی و موقعیت نقطه مفروض (A) جهت بررسی جابجایی های ایجاد شده در اثر اعمال شتابنگاشت ها و فشرده شده آنها به سازه در شکل (۲-۴) نمایش داده شده است:



شکل (۲-۴) مش بندی مدل و موقعیت نقطه مورد مطالعه (دیوار حائل)

۴-۲-۱ اعمال شتابنگاشت Chi Chi تایوان

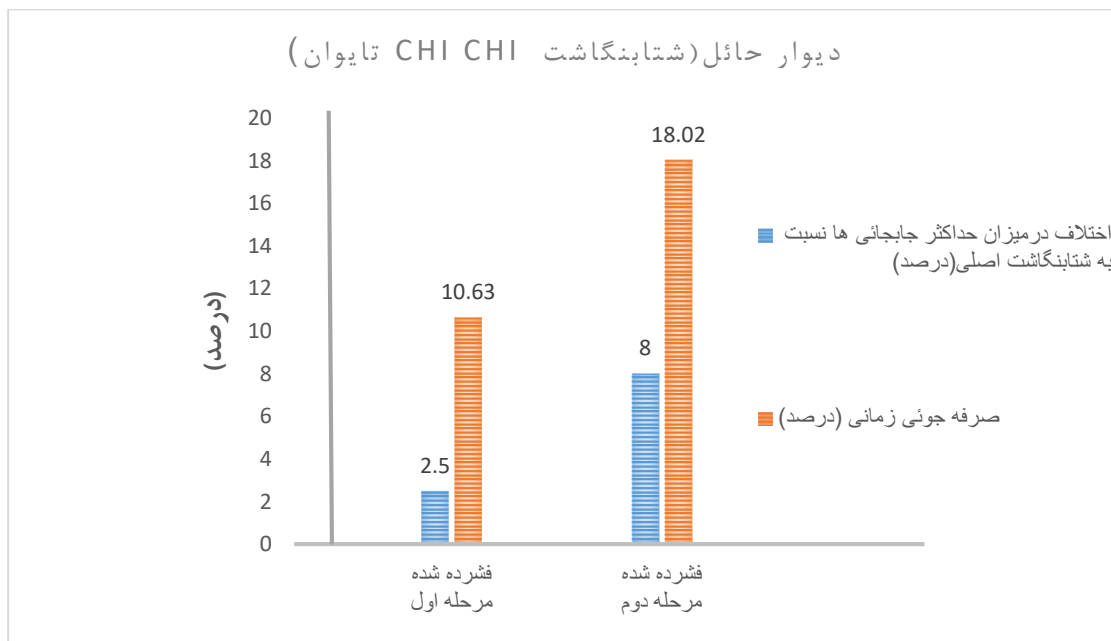
پس از ایجاد هندسه مدل و سایر شرایط مدل سازی، باردینامیکی ناشی از شتابنگاشت اصلی Chi Chi تایوان و فشرده شده مراحل مختلف آن، به سازه اعمال گردیده و نمودار جابجائی های بدست آمده در نقطه A در شکل (۴-۳) و مشخصات موج های اعمال شده، در جدول (۴-۲) و خلاصه نتایج بدست آمده در شکل (۴-۴) نمایش داده شده است.



شکل (۴-۳) جابجائی های نقطه A در دیوار حائل (تحت اثر زلزله Chi Chi تایوان)
۱- (قرمز): اولیه ۲- (آبی): فشرده شده مرحله یک ۳- (سبز): فشرده شده مرحله دو

جدول (۲-۴) مشخصات موج ها و نتایج بدست آمده دیوار حائل (تحت اثر زلزله Chi Chi تایوان)

فشرده شده مرحله دوم		فشرده شده مرحله اول		شتابنگاشت اصلی Chi Chi تایوان	
اختلاف با شتابنگاشت اصلی (درصد)	مشخصات و نتایج	اختلاف با شتابنگاشت اصلی (درصد)	مشخصات و نتایج	مشخصات و نتایج	
-۷۵	۲۸۰۲	-۵۰	۵۶۰۲	۱۱۲۰۱	تعداد داده
۰	۸/۸۵	۰	۸/۸۵	۸/۸۵	$PGA(m/s^2)$
-۲/۵	۱/۱۸	۰	۱/۲۱	۱/۲۱	فرکانس غالب (Hz)
+۸	۶۱/۵	+۲/۵	۵۸	۵۶/۶	بیشترین جابجایی (cm)
-۱۸/۰۲	۷۹/۱۵	-۱۰/۶۳	۸۶/۲۸	۹۶/۵۵	زمان تحلیل (دقیقه)



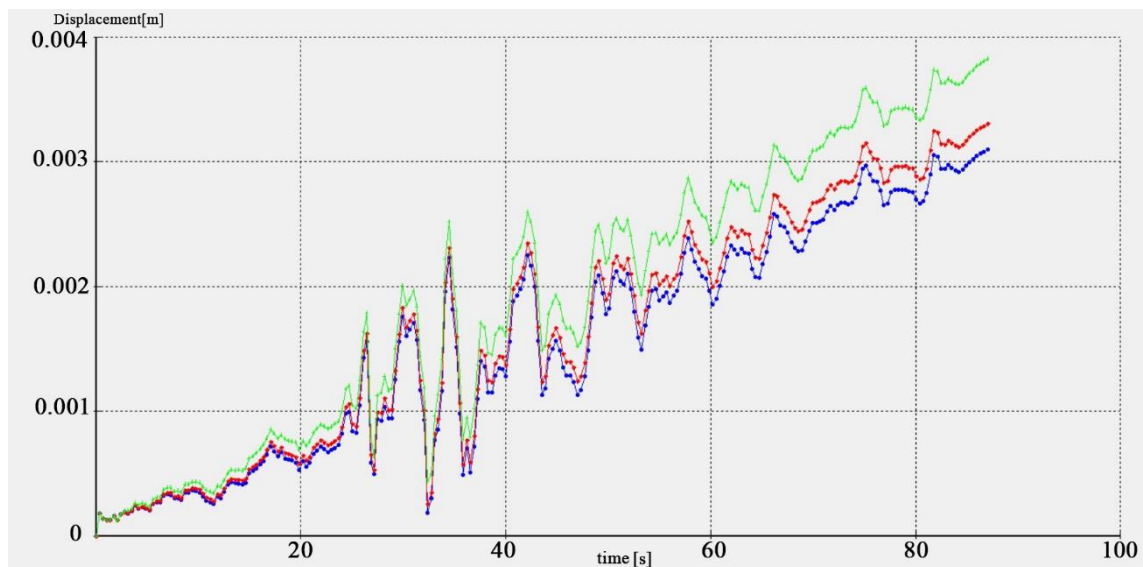
شکل (۴-۴) نمودار افزایش حداکثر جابجایی ها و کاهش زمان تحلیل دیوار حائل (تحت اثر زلزله Chi Chi تایوان)

همانگونه که در جدول (۲-۴) و شکل (۴-۴) ملاحظه می گردد، در مرحله اول فشرده سازی، در حالی که PGA و فرکانس غالب ثابت مانده تعداد داده ها حدود ۵۰ درصد کاهش یافته است. بیشترین میزان

جابجائی‌ها حدود ۲/۵ درصد افزایش داشته و حدود ۱۱ درصد در زمان تحلیل صرفه جوئی بدست آمده است. چنانچه فشرده سازی یک مرحله دیگر ادامه یابد حدود ۱۸ درصد در زمان تحلیل صرفه جوئی بدست خواهد آمد اما بیشترین مقدار جابجائی‌ها حدود ۸ درصد نسبت به حالت اولیه افزایش خواهد یافت که با توجه به افزایش درصد خطا یک مرحله فشرده سازی کافی می باشد.

۲-۲-۴ اعمال شتابنگاشت Kocaeli ترکیه

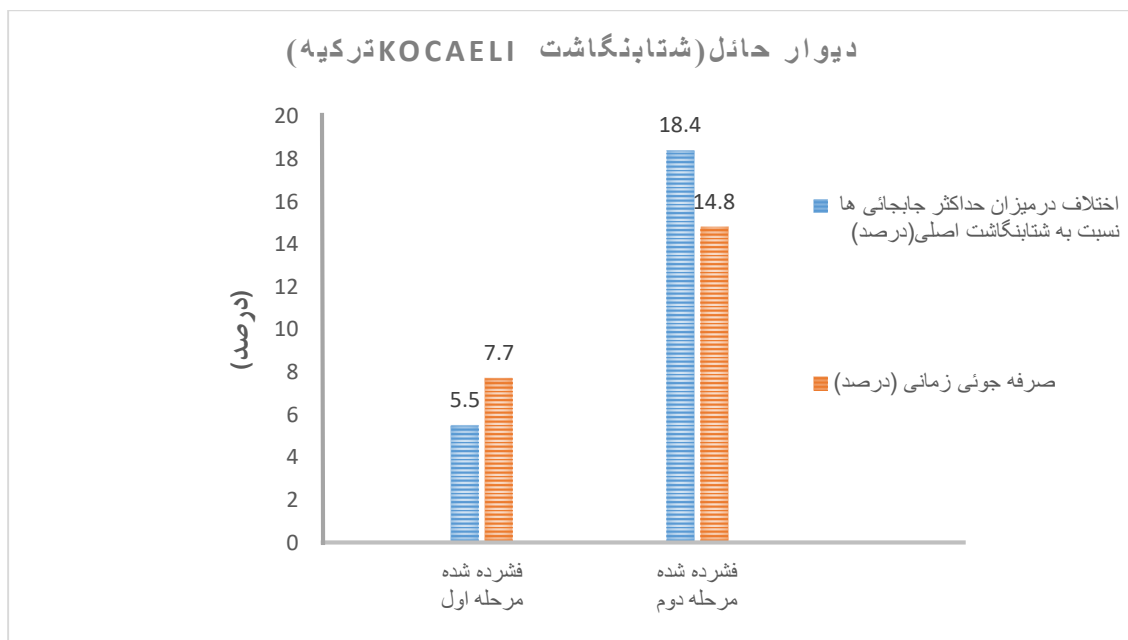
باردینامیکی ناشی از شتابنگاشت اصلی Kocaeli ترکیه و فشرده شده مراحل مختلف آن به سازه اعمال گردیده و نمودار جابجائی‌های بدست آمده در نقطه A در شکل (۴-۵) و مشخصات موج های اعمال شده در جدول (۴-۳) و نتایج بدست آمده در شکل (۴-۶) نمایش داده شده است :



شکل (۴-۵) جابجائی‌های نقطه A در دیوار حائل (تحت اثر زلزله Kocaeli ترکیه)
 ۱- (آبی): اولیه ۲- (قرمز): فشرده شده مرحله یک ۳- (سبز): فشرده شده مرحله دو

جدول (۳-۴) مشخصات موج ها و نتایج بدست آمده دیوار حائل (تحت اثر زلزله Kocaeli ترکیه)

فشرده شده مرحله دوم		فشرده شده مرحله اول		شتابنگاشت اصلی Kocaeli ترکیه	
اختلاف با شتابنگاشت اصلی (درصد)	مشخصات و نتایج	اختلاف با شتابنگاشت اصلی (درصد)	مشخصات و نتایج	مشخصات و نتایج	
-۷۵	۴۳۴۶	-۵۰	۸۶۸۹	۱۷۳۷۶	تعداد داده
۰	۰/۰۴۴	۰	۰/۰۴۴	۰/۰۴۴	PGA(m/s^2)
۰	۱/۸۴	۰	۱/۸۴	۱/۸۴	فرکانس غالب (Hz)
+۱۸/۴	۳/۸	+۵/۵	۳/۲۷	۳/۱	بیشترین جابجائی (mm)
-۱۴/۸	۱۳۸/۵	-۷/۷	۱۵۰	۱۶۲/۵	زمان تحلیل (دقیقه)



شکل (۴-۶) نمودار افزایش حداکثر جابجایی ها و کاهش زمان تحلیل دیوار حائل (تحت اثر زلزله Kocaeli ترکیه)

مطابق جدول (۳-۴) و شکل (۴-۶) ملاحظه می گردد که PGA و فرکانس غالب تا دو مرحله فشرده سازی دارای تغییری نبوده است. تعداد داده های شتابنگاشت در مرحله اول فشرده سازی حدود ۵۰ درصد و در مرحله دوم حدود ۷۵ درصد کاهش یافته است. در مرحله اول بیشترین تغییر مکان ها افزایشی ۵/۵ درصدی داشته ولی زمان تحلیل حدود ۷/۷ درصد کاهش یافته است. با ادامه فشرده سازی برای یک مرحله دیگر زمان تحلیل حدود ۱۴/۸ درصد کمتر شده اما بیشترین مقدار جابجائی ها حدود ۱۸/۴ درصد نسبت به حالت اولیه افزایش خواهد یافت. بنابراین روند فشرده سازی برای مرحله اول مناسب بوده است.

۴-۲-۳ مقایسه نتایج

مطابق مقادیر مندرج در جدول (۴-۴) تعداد داده های زلزله Chi Chi تایوان پس از یک مرحله فشرده سازی ۵۰ درصد کاهش یافته است. در این روند در زمان تحلیل ۱۰/۶۳ درصد کاهش و در بیشترین مقدار جابجائی ها ۲/۵ درصد افزایش بوجود آمده است. با کاهش ۵۰ درصدی تعداد داده های زلزله Kocaeli ترکیه با یک مرحله فشرده سازی زمان تحلیل ۷/۷ درصد کاهش و نتایج تغییر مکان ها به میزان ۵/۵ درصد افزایش پیدا کرده است.

جدول (۴-۴) خلاصه نتایج مسئله دیوار حائل

دیوار حائل				
شتابنگاشت	کاهش تعداد داده ها (درصد)	تعداد مرحله فشرده سازی	تاثیر در بیشترین مقدار جابجائی (درصد)	تاثیر در زمان تحلیل (درصد)
Chi Chi تایوان	۵۰	۱	+۲/۵	-۱۰/۶۳
Kocaeli ترکیه	۵۰	۱	+۵/۵	-۷/۷

۳-۴ مسئله دوم : تحلیل دینامیکی یک قاب خمشی پنج طبقه

با استفاده از Plaxis

در این مسئله یک قاب خمشی پنج طبقه که روی دو لایه خاکی قرار گرفته است تحت بار دینامیکی و به صورت کرنش مسطح توسط نرم افزار پلکسیس [۲۴] تحلیل شده و جابجایی زیر پی های آن مورد بررسی قرار گرفته است. مشخصات لایه های خاکی در جدول (۴-۵) و مصالح سازه در جدول (۴-۶) ارائه گردیده است. در جدول زیر $\gamma^{0.7}$ عبارتست از تنش برشی متناظر با مدول برشی کاهش یافته به میزان ۷۰٪ مقدار اولیه خود [۲۵].

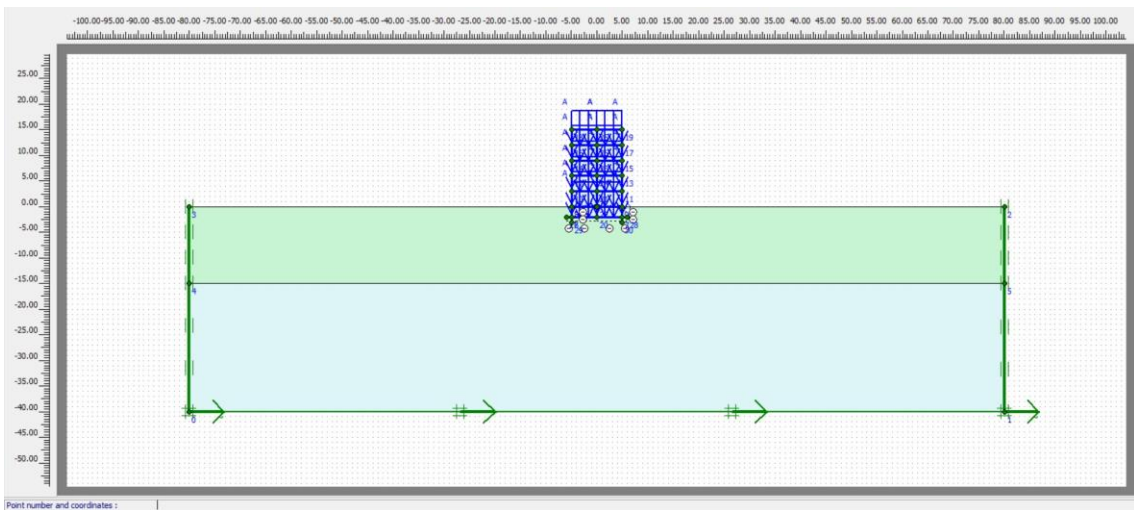
جدول (۴-۵) مشخصات لایه های خاکی (قاب خمشی پنج طبقه)

Name	γ_{unsat} (KN/m ³)	γ_{sat} (KN/m ³)	E_{50}^{ref} (Mpa)	E_{oed}^{ref} (Mpa)	E_{ur}^{ref} (Mpa)	ν	G_0^{ref} (Mpa)	$\gamma^{0.7}$	C (KPa)	ϕ (Degree)
لایه اول	۲۰	۲۰	۳۰	۳۶	۱۱۰	۰/۲	۱۰۰	$۱/۵ \times ۱۰^{-۴}$	۵	۲۸
لایه دوم	۱۶	۲۰	۲۰	۲۵/۶	۹۴/۸	۰/۲۵	۲۷۰	$۳/۱۲۵ \times ۱۰^{-۵}$	۱۰	۱۸

جدول (۴-۶) مشخصات مصالح (قاب خمشی پنج طبقه)

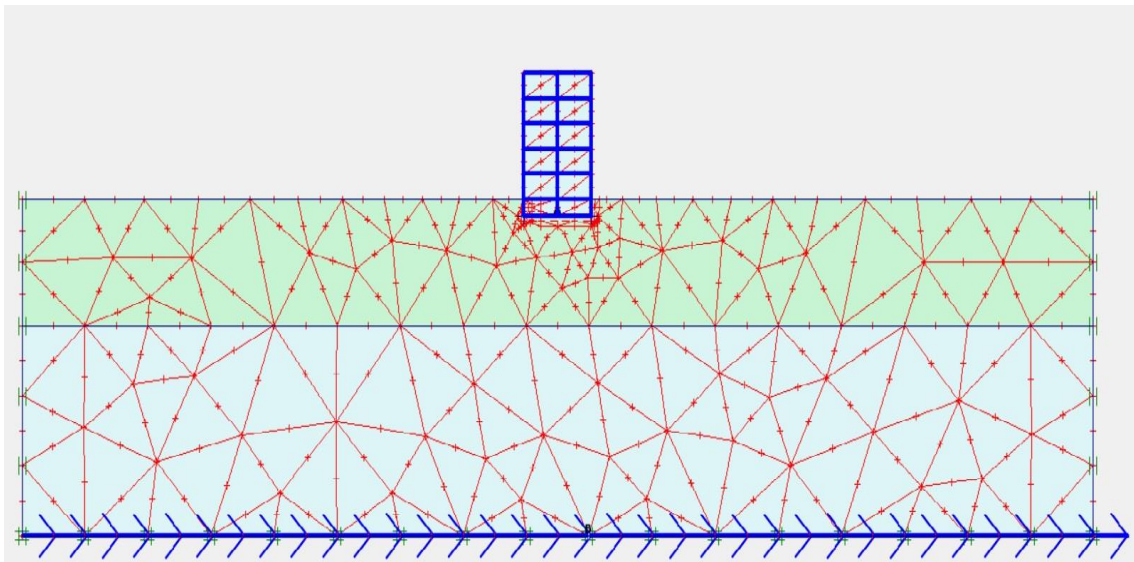
Name	طبقه	جنس	E (KN/m ³)	EA (KN/m)	EI (KN/m ² /m)
تیر	۱-۳	بتن	۳×۱۰^۷	$۱/۵ \times ۱۰^۷$	$۳/۱ \times ۱۰^۵$
تیر	۴-۵	بتن	۳×۱۰^۷	$۱/۲ \times ۱۰^۷$	$۱/۶ \times ۱۰^۵$
ستون	۱-۳	بتن	۳×۱۰^۷	$۱/۸ \times ۱۰^۶$	$۳/۹ \times ۱۰^۴$
ستون	۴-۵	بتن	۳×۱۰^۷	$۱/۲ \times ۱۰^۶$	$۱/۶ \times ۱۰^۴$

در شکل (۷-۴) هندسه مدل نمایش داده شده است :

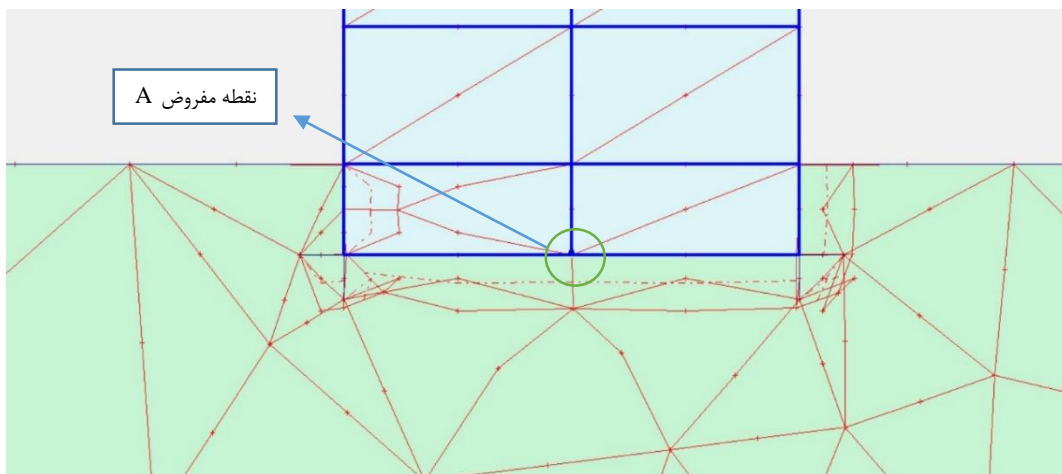


شکل (۷-۴) هندسه مدل (قاب خمشی پنج طبقه)

مش بندی مدل در شکل (۸-۴) و موقعیت نقطه مفروض (A) جهت بررسی جابجایی ها در شکل (۹-۴) دیده می شوند :



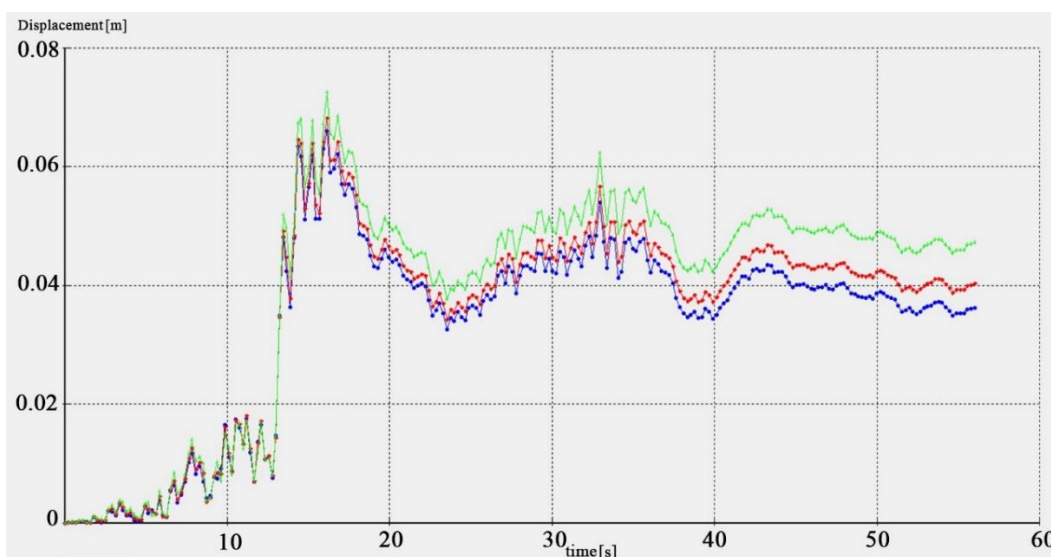
شکل (۸-۴) مش بندی مدل (قاب خمشی پنج طبقه)



شکل (۹-۴) موقعیت نقطه مورد بررسی A (قاب خمشی پنج طبقه)

۱-۳-۴ اعمال شتابنگاشت Chi Chi تایوان (قاب خمشی پنج طبقه)

برای اعمال شتابنگاشت به سازه هندسه مدل و سایر شرایط مدل سازی ایجاد گردیده و شتابنگاشت اصلی Chi Chi تایوان و فشرده شده مراحل مختلف آن به عنوان بار دینامیکی به سازه اعمال گردیده است. جابجائی های بدست آمده در نقطه A در نمودار شکل (۱۰-۴)، مشخصات موج های اعمال شده در جدول (۷-۴) و نتایج بدست آمده در شکل (۱۱-۴) نمایش داده شده است :

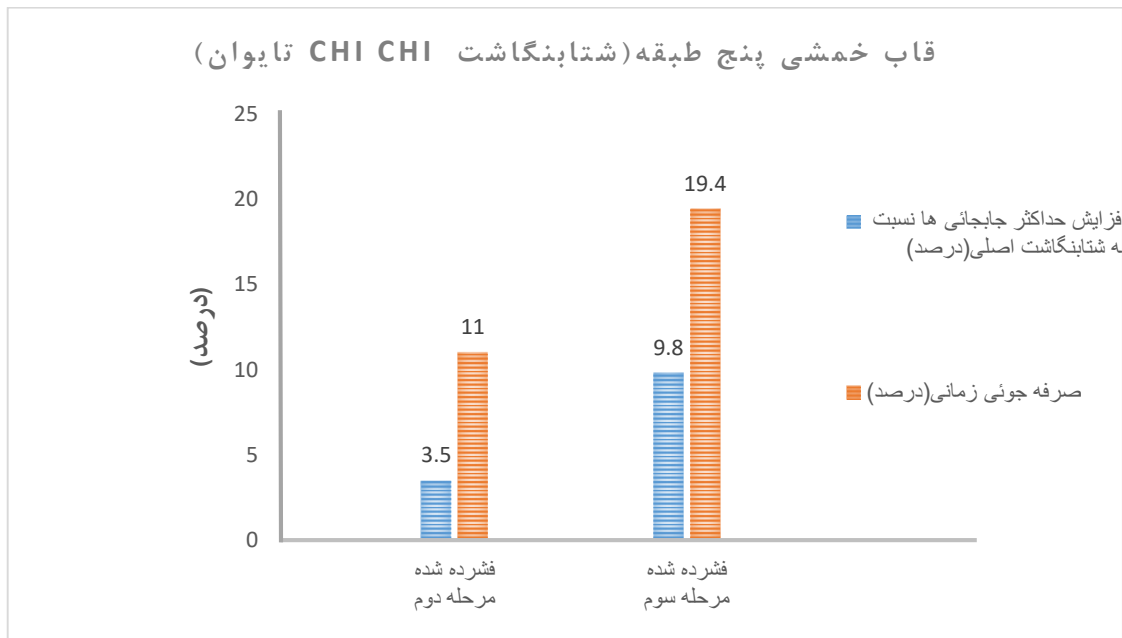


شکل (۱۰-۴) جابجائی های نقطه A در قاب خمشی پنج طبقه (تحت اثر زلزله Chi Chi تایوان)
 ۱- (آبی): اولیه ۲- (قرمز): فشرده شده مرحله دو ۳- (سبز): فشرده شده مرحله سه

جدول (۴-۷) مشخصات موج ها و نتایج بدست آمده در قاب خمشی پنج طبقه (تحت اثر زلزله Chi Chi تایوان)

تایوان)

فشرده شده مرحله سوم		فشرده شده مرحله دوم		شتابنگاشت اصلی Chi Chi تایوان	
مشخصات و نتایج اصلی (درصد)	مشخصات و نتایج	مشخصات و نتایج اصلی (درصد)	مشخصات و نتایج	مشخصات و نتایج	
-۸۷/۵	۱۴۰/۲	-۷۵	۲۸۰/۲	۱۱۲۰/۱	تعداد داده
۰	۸/۸۵	۰	۸/۸۵	۸/۸۵	PGA(m/s^2)
-۲/۵	۱/۱۸	-۲/۵	۱/۱۸	۱/۲۱	فرکانس غالب (Hz)
+۹/۸	۷۲/۴	+۳/۵	۶۸/۲	۶۵/۹	بیشترین جابجایی (mm)
-۱۹/۴	۱۶/۹	-۱۱	۱۸/۱۸	۲۰/۱۸	زمان تحلیل (دقیقه)

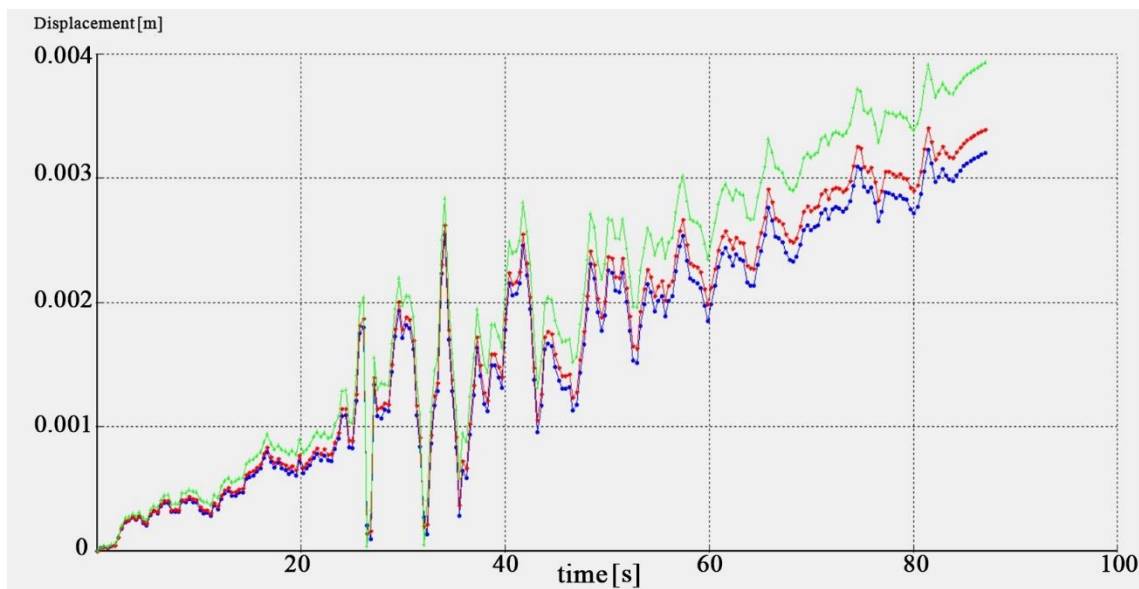


شکل (۴-۱۱) نمودار افزایش حداکثر جابجایی ها و کاهش زمان تحلیل قاب خمشی پنج طبقه (تحت اثر زلزله Chi Chi تایوان)

براساس شکل (۴-۱۱) و با مراجعه به جدول (۴-۷) مشخص می‌گردد که PGA و فرکانس غالب در مرحله دوم فشرده سازی ثابت مانده و کاهشی معادل ۷۵ درصد در تعداد داده ها بوجود آمده است. در این مرحله حدود ۳/۵ درصد در بیشترین میزان جابجائی ها افزایش دیده می شود لیکن حدود ۱۱ درصد در زمان تحلیل صرفه جوئی به دست آمده است. در صورتیکه فشرده سازی برای مرحله سوم انجام پذیرد، حدود ۱۹/۴ درصد در زمان تحلیل صرفه جوئی حاصل می شود اما بیشترین مقدار جابجائی ها حدود ۹/۸ درصد نسبت به حالت اولیه افزایش خواهد داشت. بر این اساس تا دو مرحله فشرده سازی قابل قبول خواهد بود.

۴-۳-۲ اعمال شتابنگاشت Kocaeli ترکیه (قاب خمشی پنج طبقه)

سازه مدل تحت بار دینامیکی متاثر از شتابنگاشت Kocaeli ترکیه و فشرده شده های آن قرار گرفته و تغییر مکان های نقطه A در شکل (۴-۱۲) و خلاصه مشخصات موج ها در جدول (۴-۸) و جابجائی ها و صرفه جوئی در زمان های تحلیل در نمودار (۴-۱۳) نمایش داده شده است:

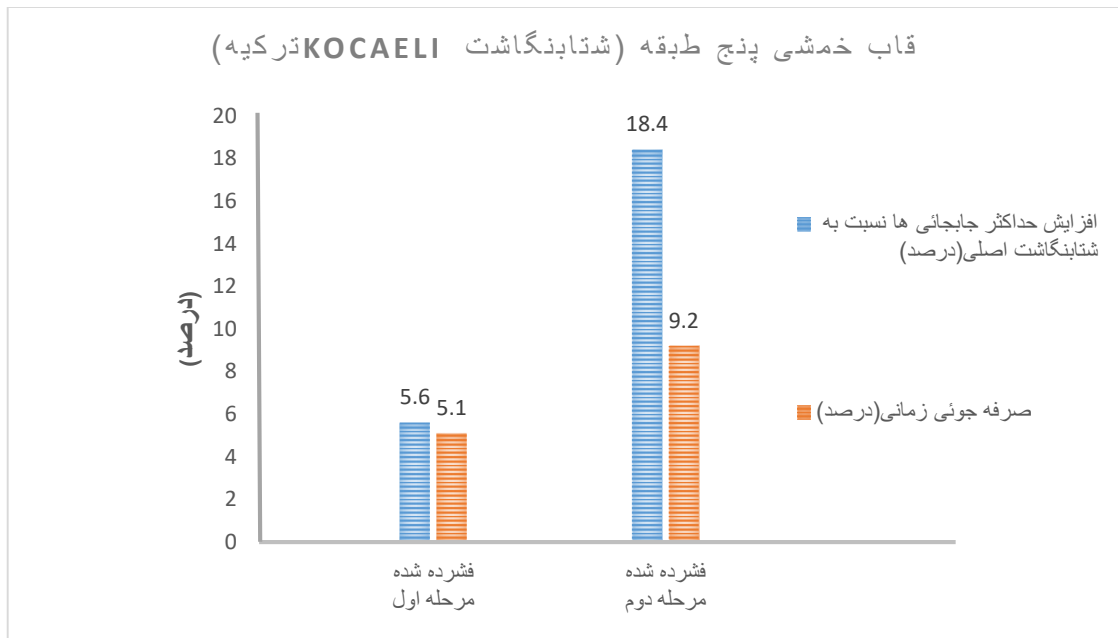


شکل (۴-۱۲) جابجائی های نقطه A در قاب خمشی پنج طبقه (تحت اثر زلزله Kocaeli ترکیه)
 ۱- (آبی): اولیه ۲- (قرمز): فشرده شده مرحله اول ۳- (سبز): فشرده شده مرحله دوم

جدول (۴-۸) مشخصات موج ها و نتایج بدست آمده در قاب خمشی پنج طبقه (تحت اثر زلزله Kocaeli

ترکیه)

مشخصات و نتایج	فشرده شده مرحله اول		فشرده شده مرحله دوم		شتابنگاشت اصلی Kocaeli ترکیه
	مشخصات و نتایج	اختلاف با شتابنگاشت اصلی (درصد)	مشخصات و نتایج	اختلاف با شتابنگاشت اصلی (درصد)	
تعداد داده	۱۷۳۷۶	۸۶۸۹	۴۳۴۶	-۷۵	
$PGA(m/s^2)$	۰/۰۴۴	۰/۰۴۴	۰/۰۴۴	۰	
فرکانس غالب (Hz)	۱/۸۴	۱/۸۴	۱/۸۴	۰	
بیشترین جابجائی (mm)	۳/۲	۳/۳۹	۳/۹۲	+۱۸/۴	
زمان تحلیل (دقیقه)	۲۷/۰۸	۲۵/۷۵	۲۴/۸	-۹/۲	



شکل (۴-۱۳) نمودار افزایش حداکثر جابجایی ها و کاهش زمان تحلیل در قاب خمشی پنج طبقه (تحت اثر زلزله Kocaeli ترکیه)

با توجه به شکل (۴-۱۳) و نتایج مندرج در جدول (۴-۸) در مرحله اول فشرده سازی ، PGA و فرکانس غالب تفاوتی نکرده است و از تعداد داده های شتابنگاشت حدود ۵۰ درصد کاسته شده است. در زمان تحلیل حدود ۵/۱ درصد صرفه جوئی حاصل گردیده و مقدار بیشترین جابجائی ها حدود ۵/۶ درصد افزایش پیدا کرده است. ادامه فشرده سازی در مرحله دوم باعث صرفه جوئی در زمان تحلیل به میزان ۹/۲ درصد می گردد ولی در بیشترین مقدار جابجائی ها حدود ۱۸/۴ درصد نسبت به حالت اولیه افزایش بوجود خواهد آمد که با توجه به خطای زیاد بوجود آمده فشرده سازی برای مرحله دوم قابل قبول نمی باشد.

۴-۳-۳ مقایسه نتایج

با توجه به جدول (۴-۹) پس از دو مرحله فشرده سازی در تعداد داده های زلزله Chi Chi تایوان ۷۵ درصد کاهش مشاهده می گردد. فشرده سازی باعث صرفه جوئی در زمان تحلیل به مقدار ۱۱ درصد و افزایش بیشترین مقدار جابجائی ها به میزان ۳/۵ درصد گردیده است. در زلزله Kocaeli ترکیه تعداد داده های زلزله با یک مرحله فشرده سازی ۵۰ درصد کاهش یافته است. در این روند زمان تحلیل ۵/۱ درصد کاهش یافته ولی تغییر مکان ها به میزان ۵/۶ درصد افزایش داشته است.

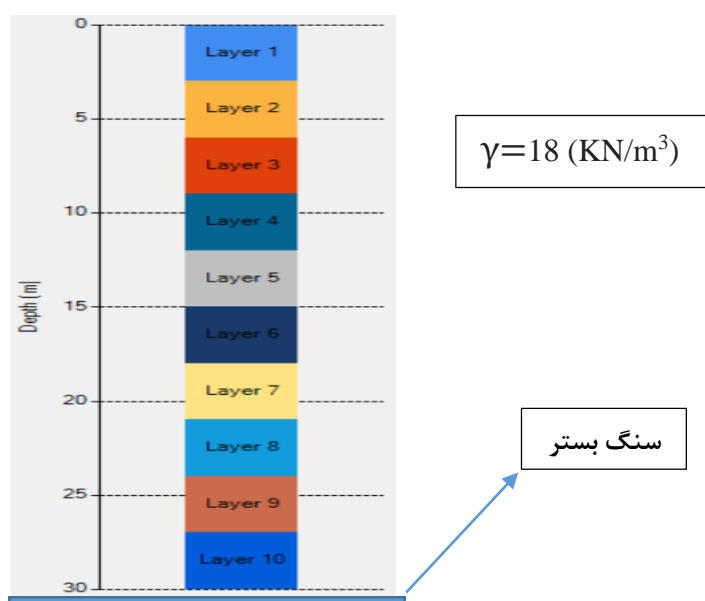
جدول (۴-۹) خلاصه نتایج مسئله قاب خمشی پنج طبقه

قاب خمشی پنج طبقه				
شتابنگاشت	کاهش تعداد داده ها (درصد)	تعداد مرحله فشرده سازی	تاثیر در بیشترین مقدار جابجائی (درصد)	تاثیر در زمان تحلیل (درصد)
Chi Chi تایوان	۷۵	۲	+۳/۵	-۱۱
Kocaeli ترکیه	۵۰	۱	+۵/۶	-۵/۱

۴-۴ مسئله سوم : آنالیز پاسخ زمین

در مسئله آنالیز پاسخ زمین با استفاده از نرم افزار Deepsoil [۲۶] و به صورت خطی معادل به بررسی تاثیر شتابنگاشت ها بر جابجایی بالاترین لایه یک پروفیل خاکی به عمق ۳۰ متر که به ده قسمت تقسیم شده و بر روی یک سنگ بستر الاستیک قرارداد پرداخته می شود.

هندسه مدل در شکل (۴-۱۴) ارائه گردیده است :



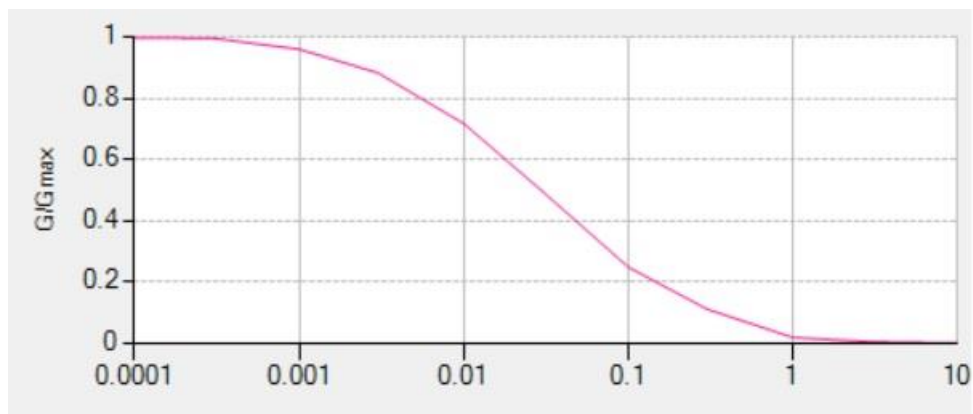
شکل (۴-۱۴) هندسه مدل مسئله آنالیز پاسخ زمین

چگالی خاک در تمامی لایه ها یکسان بوده و برابر $18 \text{ (KN / m}^3\text{)}$ می باشد. همچنین سرعت موج برشی، مدول برشی و ضریب میرایی در هر لایه مطابق جدول (۴-۱۰) ارائه گردیده است :

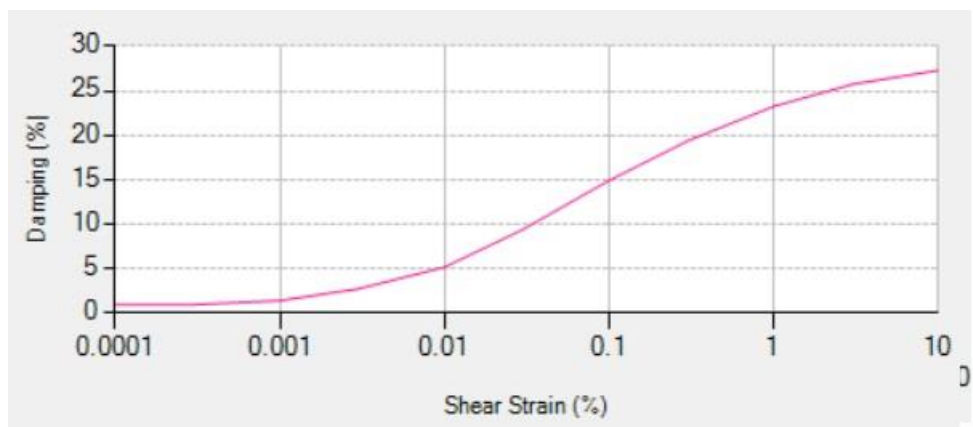
جدول (۴-۱۰) سرعت، مدول و ضریب میرایی موج در هر لایه (آنالیز پاسخ زمین)

لایه مورد نظر (m)	Vs (m/s)	مدول برشی (G) (Mpa)	ضریب میرایی (درصد)	چگالی
۰-۳	۳۳۶/۷	۲۰۸	۱	۱۸
۳-۶	۴۶۰/۵	۳۸۹	۱	۱۸
۶-۹	۵۳۲/۷	۵۲۰	۲	۱۸
۹-۱۲	۵۸۶/۳	۶۳۰	۳	۱۸
۱۲-۱۵	۶۲۹/۸	۷۲۸	۵	۱۸
۱۵-۱۸	۶۶۶/۹	۸۱۶	۸	۱۸
۱۸-۲۱	۶۹۹/۴	۸۹۷	۱۱	۱۸
۲۱-۲۴	۷۲۸/۶	۹۷۴	۱۶	۱۸
۲۴-۲۷	۷۵۵/۰	۱۰۴۶	۱۹	۱۸
۲۷-۳۰	۷۷۹/۳	۱۱۱۴	۲۲	۱۸

در تعریف نمودارهای درصد میرایی و G/G_{max} در برابر کرنش برشی در هر لایه خاک از نمودارهای مرجع نرم افزار که در شکل (۴-۱۵) نمایش داده شده استفاده گردیده است. با توجه به اینکه خاک مورد نظر رسی است و با فرض $PI=20$ از نمودار مرجع (Vucetic & Dobry (1991) برای تمام لایه های خاک استفاده گردیده است. مشخصات سنگ بستر الاستیک در جدول (۴-۱۱) نشان داده شده است :



(الف)



(ب)

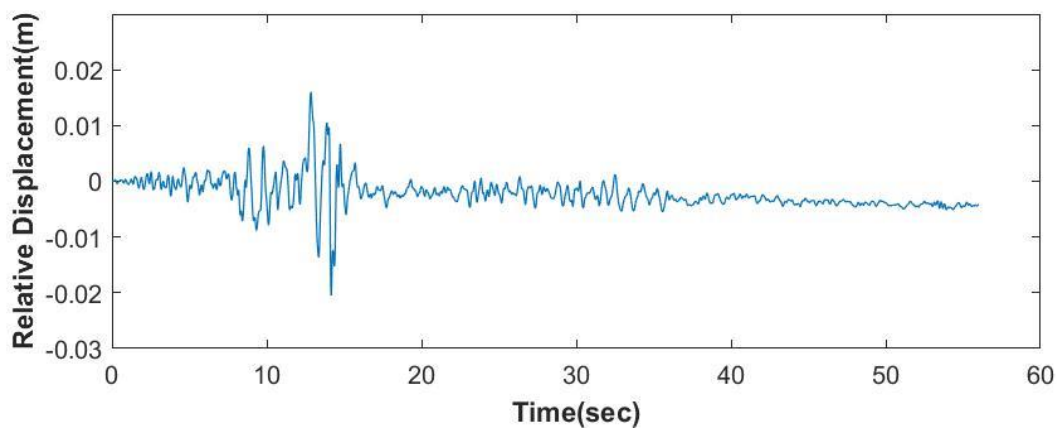
شکل (۴-۱۵) نمودار های (الف) : G/G_{max} و (ب) : درصد میرایی (Vucetic & Dobry (1991)

جدول (۴-۱۱) مشخصات سنگ بستر الاستیک

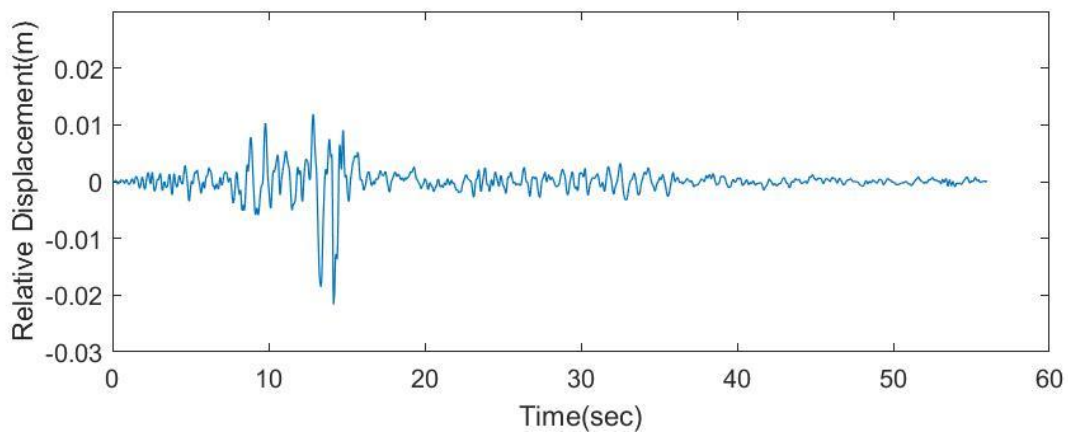
درصد میرایی	وزن مخصوص (KN / m^3)	سرعت موج برشی (m/s)
۲٪	۲۲	۲۰۰۰

۴-۴-۱ اعمال شتابنگاشت Chi Chi تایوان

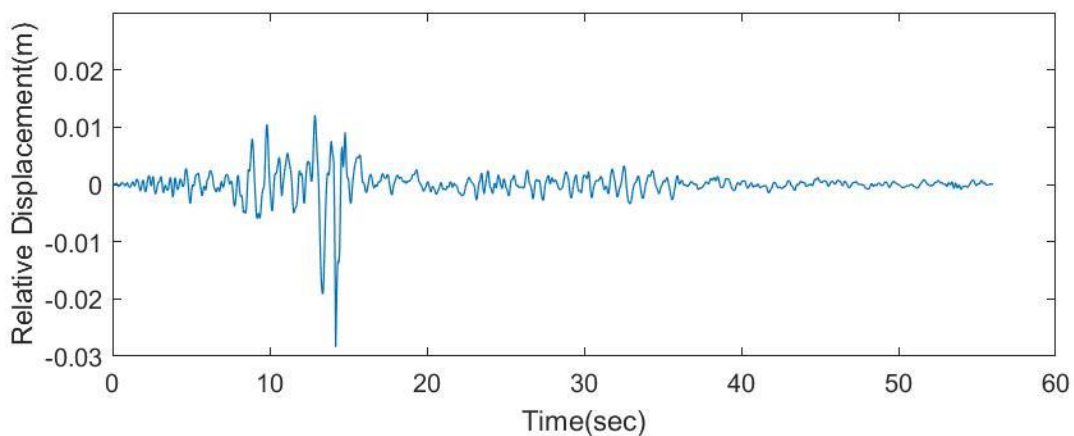
آنالیز پاسخ زمین در این مسئله مدل سازی شده و اطلاعات لازم در نرم افزار بارگذاری گردیده است. با اعمال شتابنگاشت تایوان و فشرده شده های آن به مدل تفاوت در زمان تحلیل های مراحل دوم و سوم فشرده سازی شتابنگاشت با حالت اصلی در جدول (۴-۱۲) و مقادیر به دست آمده مربوط به حداکثر جابجائی های نسبی لایه اول (بر حسب متر) در شکل (۴-۱۶) و مقایسه نتایج در شکل (۴-۱۷) نمایش داده شده است.



(الف)



(ب)

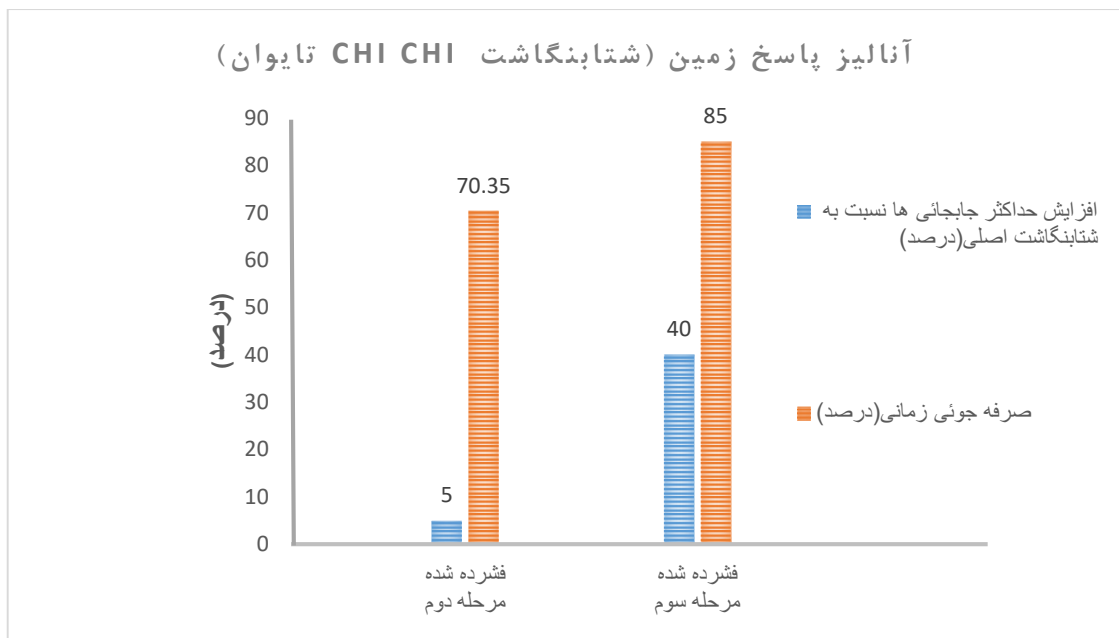


(ج)

شکل (۴-۱۶) حداکثر جابجائی های نسبی لایه اول آنالیز پاسخ زمین (تحت اثر زلزله Chi Chi تایوان)
 الف: شتابنگاشت اصلی ب: فشرده شده مرحله دوم ج: فشرده شده مرحله سوم

جدول (۴-۱۲) مشخصات موج ها و خلاصه نتایج بدست آمده (آنالیز پاسخ زمین)

فشرده شده مرحله سوم		فشرده شده مرحله دوم		شتابنگاشت اصلی Chi Chi تایوان	
اختلاف با شتابنگاشت اصلی (درصد)	مشخصات و نتایج	اختلاف با شتابنگاشت اصلی (درصد)	مشخصات و نتایج	مشخصات و نتایج	
-۸۷/۵	۱۴۰۲	-۷۵	۲۸۰۲	۱۱۲۰۱	تعداد داده
۰	۸/۸۵	۰	۸/۸۵	۸/۸۵	$PGA(m/s^2)$
-۲/۵	۱/۱۸	-۲/۵	۱/۱۸	۱/۲۱	فرکانس غالب (Hz)
+۴۰	۲۸	+۵	۲۱	۲۰	بیشترین جابجایی نسبی (mm)
-۸۵/۰۱	۰/۹۳	-۷۰/۳۵	۱/۸۴	۶/۲۴	زمان تحلیل (ثانیه)

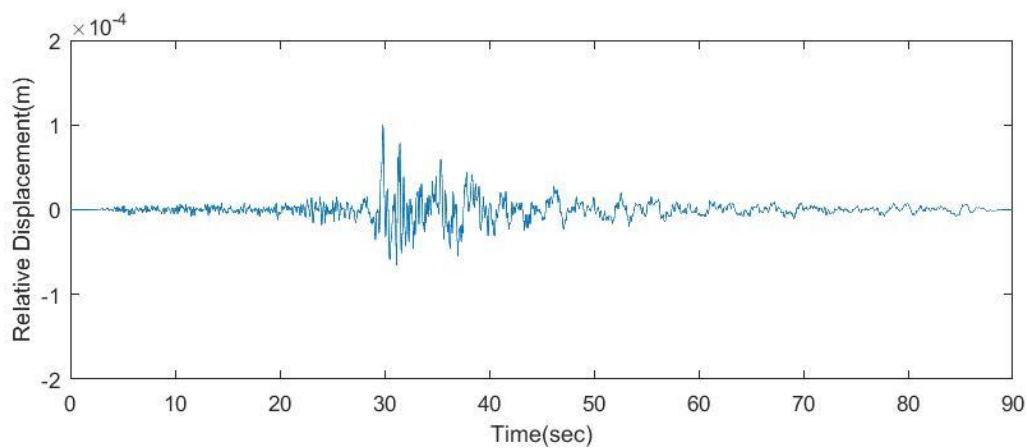


شکل (۴-۱۷) نمودار افزایش حداکثر جابجایی ها و کاهش زمان تحلیل آنالیز پاسخ زمین (تحت اثر زلزله Chi Chi تایوان)

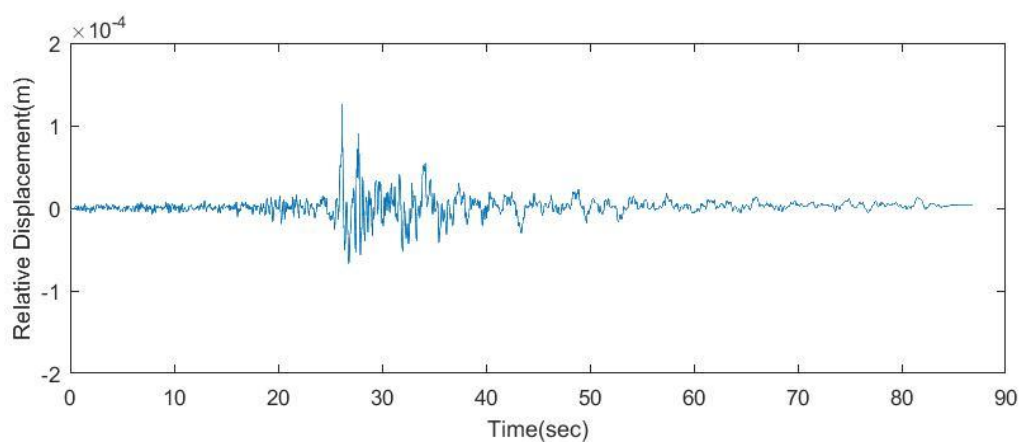
در مرحله دوم فشرده سازی تعداد داده های شتابنگاشت فشرده شده با توجه به مقادیر مندرج در جدول (۱۲-۴) و شکل (۱۶-۴) حدود ۷۵٪ کاهش یافته است. از فرکانس غالب نیز ۲/۵٪ کاسته شده اما PGA ثابت باقی مانده است. در این مرحله بیشترین میزان جابجائی ها حدود ۵٪ افزایش داشته ولی حدود ۷۰ درصد در زمان تحلیل صرفه جوئی بدست آمده است. برای مرحله سوم فشرده سازی به میزان ۸۵٪ در زمان تحلیل صرفه جوئی بدست خواهد آمد اما بیشترین مقدار جابجائی ها حدود ۴۰٪ نسبت به شتابنگاشت اولیه خطا وجود خواهد شد که با توجه به مقدار خطای ایجاد شده به دو مرحله فشرده سازی اکتفا می گردد.

۲-۴-۴ اعمال شتابنگاشت Kocaeli ترکیه

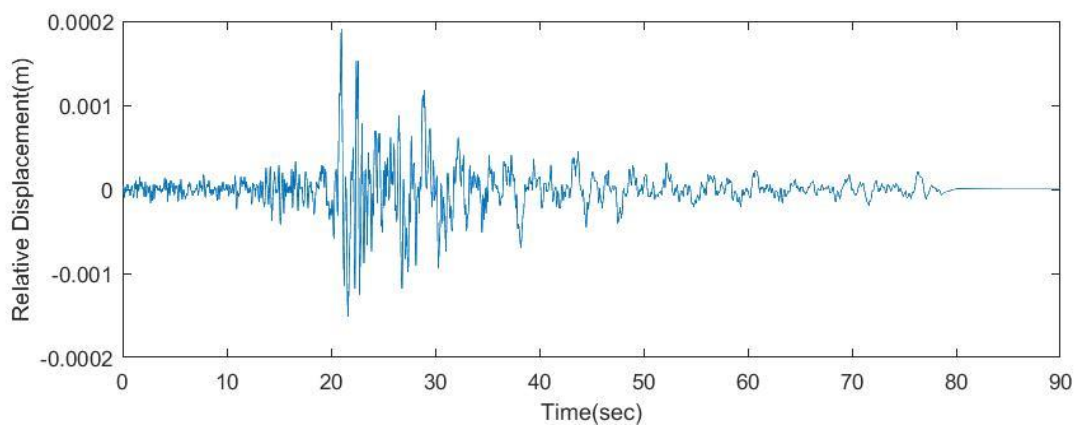
شتابنگاشت Kocaeli ترکیه و فشرده شده مرحله اول و دوم آن به ترتیب در نرم افزار بارگذاری گردیده و حداکثر جابجائی های نسبی و تفاوت در زمان تحلیل های هر مرحله بدست آمده است. نتایج حاصله برای هر مرحله از تحلیل بر حسب متر در شکل (۱۸-۴) و خلاصه نتایج بدست آمده در جدول (۱۳-۴) و مقایسه نتایج در شکل (۱۹-۴) نمایش داده شده است :



(الف)



(ب)

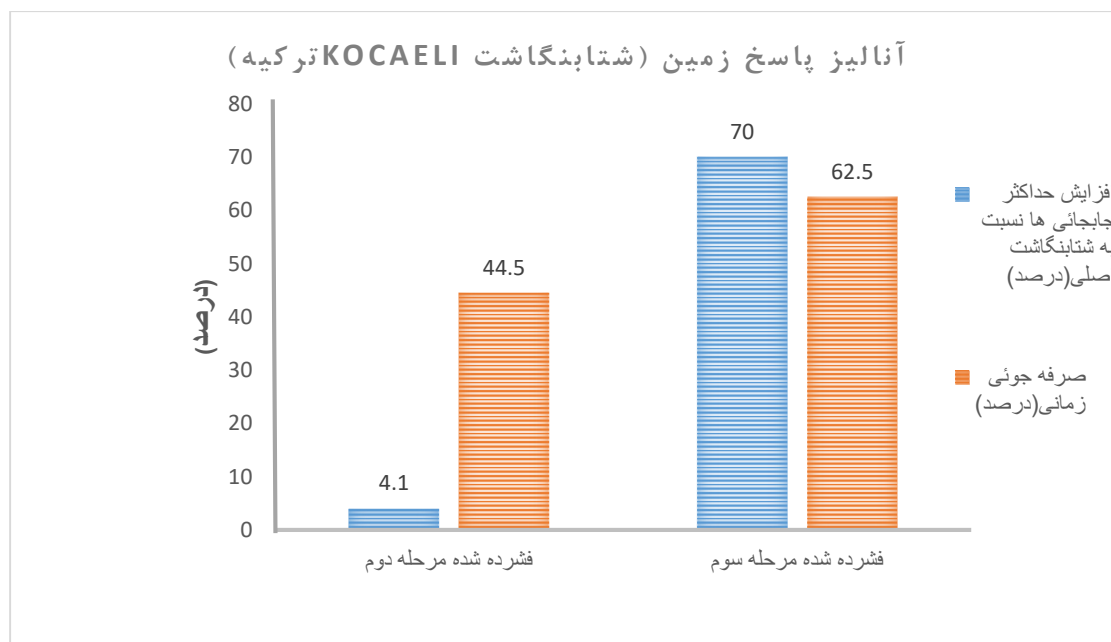


(ج)

شکل (۴-۱۸) حداکثر جابجائی های نسبی لایه اول آنالیز پاسخ زمین (تحت اثر زلزله **Kocaeli** ترکیه)
 الف: شتابنگاشت اصلی ب: فشرده شده مرحله اول ج: فشرده شده مرحله دوم

جدول (۴-۱۳) مشخصات موج ها و خلاصه نتایج بدست آمده تحت اثر زلزله Kocaeli ترکیه (آنالیز پاسخ زمین)

فشرده شده مرحله دوم		فشرده شده مرحله اول		شتابنگاشت اصلی Kocaeli ترکیه	
اختلاف با شتابنگاشت اصلی (درصد)	مشخصات و نتایج	اختلاف با شتابنگاشت اصلی (درصد)	مشخصات و نتایج	مشخصات و نتایج	
-۷۵	۴۳۴۶	-۵۰	۸۶۸۹	۱۷۳۷۶	تعداد داده
۰	۰/۰۴۴	۰	۰/۰۴۴	۰/۰۴۴	$PGA(m/s^2)$
۰	۱/۸۴	۰	۱/۸۴	۱/۸۴	فرکانس غالب (Hz)
+۶۲/۵	۰/۱۹۵	+۴/۱	۰/۱۲۵	۰/۱۲	بیشترین جابجائی (mm)
-۷۰	۲/۰۹	-۴۴/۵	۳/۸۶	۶/۹۶	زمان تحلیل (ثانیه)



شکل (۴-۱۹) نمودار افزایش حداکثر جابجایی ها و کاهش زمان تحلیل در آنالیز پاسخ زمین (تحت اثر زلزله Kocaeli ترکیه)

مطابق مقادیر درج شده در جدول (۴-۱۳) و شکل (۴-۱۸) در هر دو مرحله فشرده سازی اختلافی در مقادیر فرکانس غالب و شتاب حداکثر موج با شتابنگاشت فشرده نشده بوجود نیامده است. در اولین مرحله فشرده سازی در بیشترین مقدار جابجائی ها افزایشی به میزان ۴ درصد دیده می شود و مقدار

زمان صرفه جوئی شده در تحلیل حدود ۴۴/۵ درصد بوده است. در مرحله دوم فشرده سازی در جابجائی ها افزایشی معادل ۶۲/۵ درصد ملاحظه می گردد که البته کاهش معادل ۷۰ درصد در زمان تحلیل نیز ایجاد شده است لذا فشرده سازی برای مرحله دوم مناسب نبوده است.

۴-۴-۳ مقایسه نتایج

تعداد داده های زلزله Chi Chi تایوان طی فشرده سازی برای دو مرحله کاهش معادل ۷۵ درصد را نشان داده است. در زمان تحلیل ها حدود ۷۰ درصد کاهش و در بیشترین مقدار جابجائی ها ۵ درصد افزایش ملاحظه می گردد. با کاهش ۵۰ درصدی تعداد داده های زلزله Kocaeli ترکیه با یک مرحله فشرده سازی زمان تحلیل ۴۴/۵ درصد کاهش و نتایج تغییر مکان ها به میزان ۴ درصد افزایش پیدا کرده است. جدول (۴-۱۴) خلاصه نتایج فوق را نشان می دهد.

جدول (۴-۱۴) خلاصه نتایج مسئله آنالیز پاسخ زمین

آنالیز پاسخ زمین				
شتابنگاشت	کاهش تعداد داده ها (درصد)	تعداد مرحله فشرده سازی	تأثیر در بیشترین مقدار جابجائی (درصد)	تأثیر در زمان تحلیل (درصد)
Chi Chi تایوان	۷۵	۲	+۵	-۷۰/۳۵
Kocaeli ترکیه	۵۰	۱	+۴	-۴۴/۵

۴-۵ مسئله چهارم : تحلیل دینامیکی قاب خمشی نه طبقه به

کمک Plaxis و Opensees

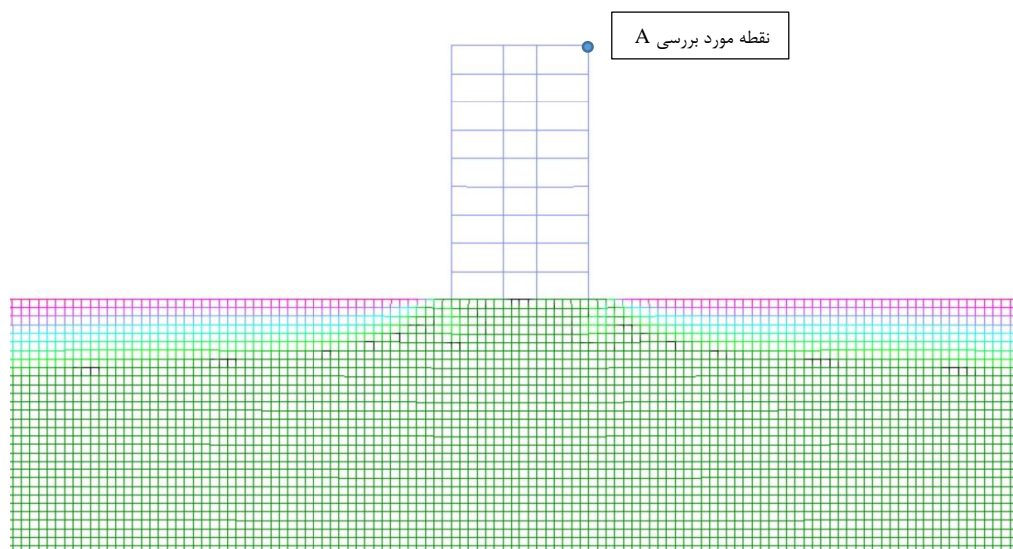
سازه مورد بررسی در این مسئله عبارت از یک قاب خمشی بتنی ۹ طبقه حامل بارهای زنده و مرده که بخشی از یک سازه با پلان مربعی به ابعاد کلی ۲۹/۷ متر در ۱۶ متر می باشد که تحت بار دینامیکی

ناشی از زلزله قرار گرفته و به روش کرنش مسطح و توسط نرم افزار اپنسیس [۲۷] و پلکسیس مورد تحلیل قرار گرفته است. ساختمان بر روی یک لایه خاکی به طول ۲۲۰ متر و به عمق ۳۰ متر قرار گرفته است که بر روی یک سنگ بستر صلب واقع شده است و در دوجبهت اصلی ساختمان متقارن می باشد. ارتفاع طبقات ۳/۳ متر در نظر گرفته شده است. مشخصات خاک در جدول (۴-۱۵) آورده شده است:

جدول (۴-۱۵) مشخصات خاک زیر فونداسیون

Vs (m/s)	سرعت موج برشی	۳۰۰
γ (KN/m ³)	جرم حجمی	۱۷/۶
γ	نسبت پواسون	۰/۳
E (MPa)	مدول الاستیسیته	۴۲/۱
ϕ	زاویه اصطکاک	۰
Cu (kPa)	مقاومت برشی زهکشی نشده	۱۱۰
G/Gmax (Modulus reduction curve) Darendeli (2001) for clay soil with PI=30 and P'r 1 atm		

هندسه مدل در شکل (۴-۲۰) نمایش داده شده است :



شکل (۴-۲۰) هندسه مدل قاب خمشی ۹ طبقه

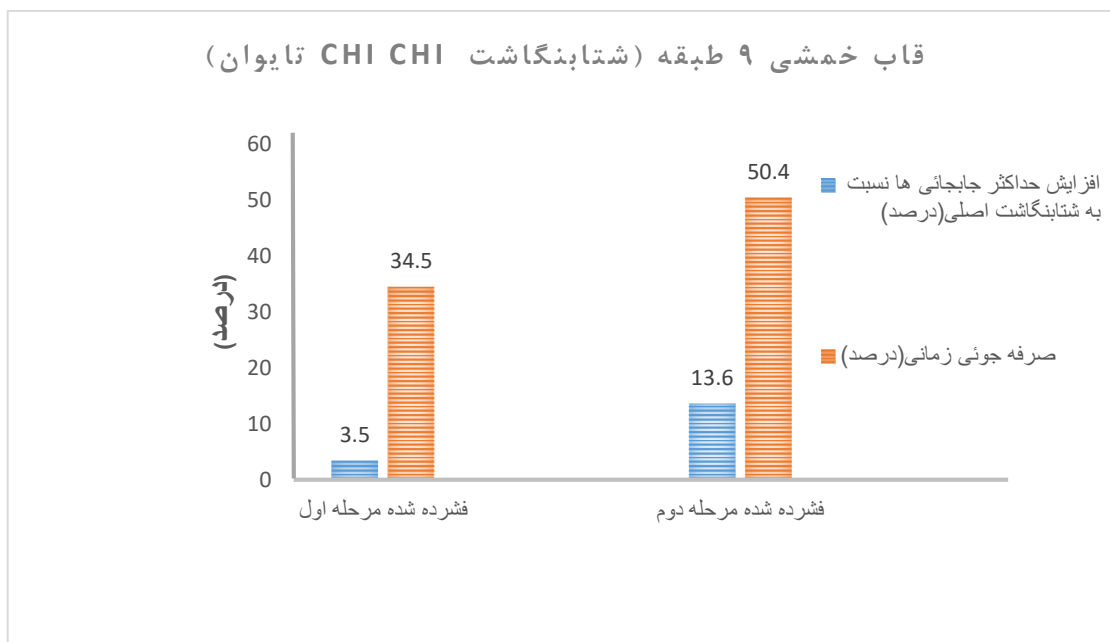
۴-۵-۱ اعمال شتابنگاشت Chi Chi تایوان (با استفاده از اپنسیس)

پس از اعمال شتابنگاشت تایوان و فشرده شده مرحله اول و دوم به سازه مشخصات شتابنگاشت ها و

خلاصه نتایج بدست آمده در جدول (۴-۱۶) و در شکل (۴-۲۱) نمایش داده شده است :

جدول (۴-۱۶) مشخصات موج ها و نتایج بدست آمده در قاب خمشی ۹ طبقه (تحت اثر زلزله Chi Chi تایوان)

فشرده شده مرحله دوم		فشرده شده مرحله اول		شتابنگاشت اصلی تایوان	
اختلاف با شتابنگاشت اصلی (درصد)	مشخصات و نتایج	اختلاف با شتابنگاشت اصلی (درصد)	مشخصات و نتایج	مشخصات و نتایج	تعداد داده
-۷۵	۲۸۰۲	-۵۰	۵۶۰۲	۱۱۲۰۱	
۰	۸/۸۵	۰	۸/۸۵	۸/۸۵	PGA (m/s^2)
-۲/۵	۱/۱۸	-۲/۵	۱/۱۸	۱/۲۱	فرکانس غالب (Hz)
+۱۳/۶	۱۲/۵	+۳/۵	۱۱/۲	۱۰/۸	بیشترین جابجایی (cm)
-۵۰/۴	۴۹/۲۳	-۳۴/۵	۶۵/۰۸	۹۹/۲۸	زمان تحلیل (دقیقه)



شکل (۴-۲۱) نمودار افزایش حداکثر جابجایی ها و کاهش زمان تحلیل در قاب خمشی ۹ طبقه (تحت اثر زلزله Chi Chi تایوان)

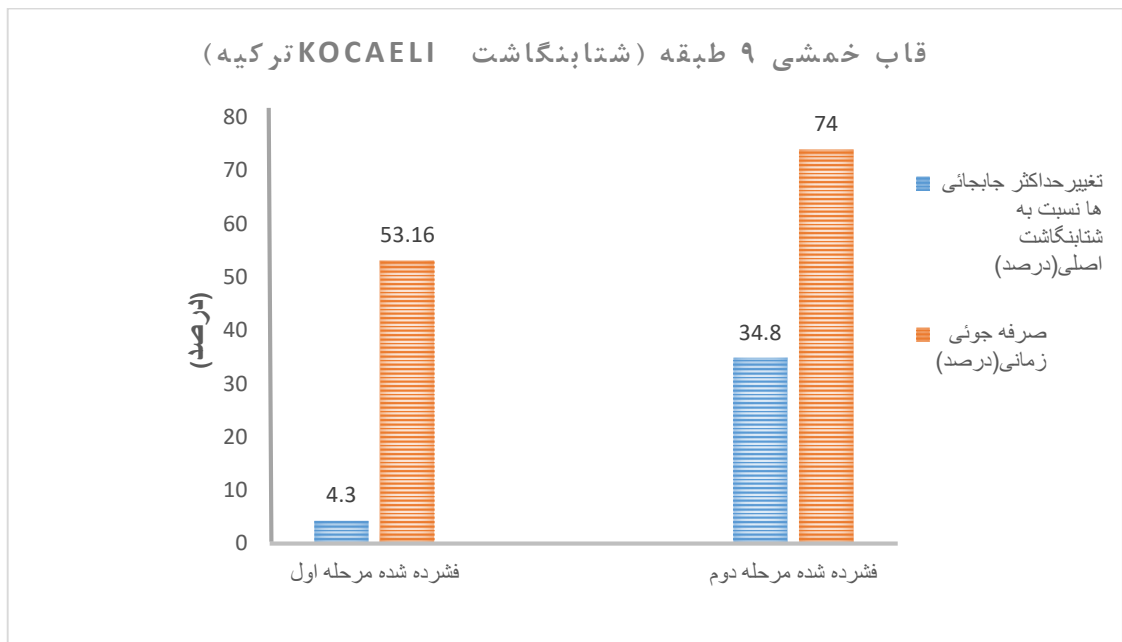
براساس شکل (۴-۲۱) و اطلاعات مندرج در جدول (۴-۱۶) ملاحظه می گردد که فرکانس غالب و PGA در اولین مرحله فشرده سازی بدون تفاوت باقی مانده و در تعداد داده ها کاهشی معادل ۷۵ درصد بوجود آمده است. در این مرحله در بیشترین میزان جابجائی ها حدود ۳/۵ درصد افزایش دیده می شود و حدود ۳۴/۵ درصد نیز در زمان تحلیل صرفه جوئی به دست آمده است. در صورتیکه فشرده سازی برای مرحله دوم انجام پذیرد حدود ۵۰ درصد در زمان تحلیل صرفه جوئی حاصل می شود ولی بیشترین مقدار جابجائی ها حدود ۱۳/۶ درصد نسبت به حالت اولیه افزایش می یابد. نظر به اختلاف بوجود آمده در مرحله دوم در جابجائی ها یک مرحله فشرده سازی برای این شتابنگاشت در این مسئله قابل قبول خواهد بود.

۴-۵-۲ اعمال شتابنگاشت Kocaeli ترکیه (با استفاده از اپنسیس)

پس از اعمال شتابنگاشت Kocaeli ترکیه و فشرده شده های تا مرحله دوم به مدل به عنوان بار زلزله نتایج حداکثر تغییر مکان ها و صرفه جوئی زمانی بدست آمده در شکل (۴-۲۲) و خصوصیات موج ها و نتایج حاصله در جدول (۴-۱۷) نمایش داده شده است :

جدول (۴-۱۷) مشخصات موج ها و نتایج بدست آمده در قاب خمشی ۹ طبقه (تحت اثر زلزله Kocaeli ترکیه)

فشرده شده مرحله دوم		فشرده شده مرحله اول		شتابنگاشت اصلی ترکیه Kocaeli	
اختلاف با شتابنگاشت اصلی (درصد)	مشخصات و نتایج	اختلاف با شتابنگاشت اصلی (درصد)	مشخصات و نتایج	مشخصات و نتایج	
-۷۵	۴۳۴۶	-۵۰	۸۶۸۹	۱۷۳۷۶	تعداد داده
۰	۰/۰۴۴	۰	۰/۰۴۴	۰/۰۴۴	$PGA(m/s^2)$
۰	۱/۸۴	۰	۱/۸۴	۱/۸۴	فرکانس غالب (Hz)
-۳۴/۸	۳۰	-۴/۳	۴۴	۴۶	بیشترین جابجائی (mm)
-۷۴	۲۹/۱۵	-۵۳/۱۶	۵۲/۴۵	۱۱۲	زمان تحلیل (دقیقه)



شکل (۴-۲۲) نمودار افزایش حداکثر جابجایی ها و کاهش زمان تحلیل در قاب خمشی ۹ طبقه (تحت اثر زلزله Kocaeli ترکیه) از بررسی شکل (۴-۲۲) و نتایج مندرج در جدول (۴-۱۷) مشخص می گردد که در مرحله اول فشرده سازی PGA و فرکانس غالب تغییری نکرده است ولی تعداد داده های شتابنگاشت حدود ۵۰ درصد کمتر شده است. حدود ۵۳ درصد در زمان تحلیل صرفه جوئی بدست آمده و مقدار بیشترین جابجایی ها ۴/۳ درصد تغییر کرده است. فشرده سازی برای دومین مرحله به صرفه جوئی در زمان تحلیل به میزان ۷۴ درصد منجر می گردد اما در بیشترین مقدار جابجایی ها حدود ۳۵ درصد نسبت به حالت اولیه تغییر بوجود خواهد آمد که با توجه به میزان تغییرات بوجود آمده فشرده سازی در دومین مرحله متوقف می گردد.

۴-۵-۳ مقایسه نتایج

با بررسی جدول (۴-۱۸) کاهش تعداد داده ها به میزان ۵۰ درصد برای هر شتابنگاشت در اولین مرحله فشرده سازی ملاحظه می گردد. در زلزله Chi Chi تایوان در ازاء صرفه جوئی زمانی به مقدار ۳۴/۵

درصد در مقدار جابجائی ۳/۵ درصد تغییر بدست آمده است و در زلزله Kocaeli ترکیه در برابر حدود ۵۳ درصد کاهش در زمان تحلیل ۴/۳ درصد تفاوت در مقدار جابجائی ایجاد شده است.

جدول (۴-۱۸) خلاصه نتایج مسئله در قاب خمشی ۹ طبقه (با استفاده از اپنسیس)

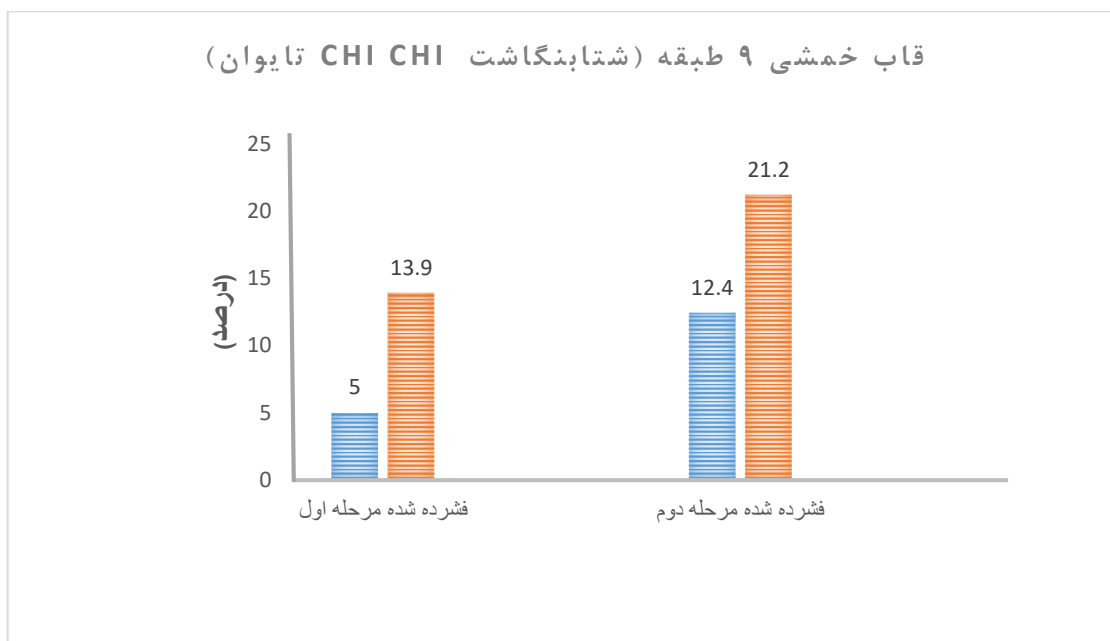
قاب خمشی ۹ طبقه				
شتابنگاشت	کاهش تعداد داده ها (درصد)	تعداد مرحله فشرده سازی	تأثیر در بیشترین مقدار جابجائی (درصد)	تأثیر در زمان تحلیل (درصد)
Ch Chi تایوان	۵۰	۱	+۳/۵	-۳۴/۵
Kocaeli ترکیه	۵۰	۱	-۴/۳	-۵۳/۱۶

۴-۵-۴ اعمال شتابنگاشت Chi Chi تایوان (با استفاده از پلکسیس)

دراثر بارگذاری شتابنگاشت تایوان و فشرده شده مراحل اول و دوم به مدل، در شکل (۴-۲۳) و جدول (۴-۱۹) خلاصه مقادیر جابجائی های بدست آمده و مقدار کاهش زمان تحلیل در نقطه A و مشخصات شتابنگاشت ها ارائه گردیده است :

جدول (۴-۱۹) مشخصات موج ها و نتایج بدست آمده در قاب خمشی ۹ طبقه (تحت اثر زلزله Chi Chi تایوان)

شتابنگاشت اصلی تایوان	فشرده شده مرحله اول		فشرده شده مرحله دوم	
	مشخصات و نتایج	اختلاف با شتابنگاشت اصلی (درصد)	مشخصات و نتایج	اختلاف با شتابنگاشت اصلی (درصد)
تعداد داده	۱۱۲۰۱	۵۶۰۲	۲۸۰۲	-۷۵
PGA (m/s^2)	۸/۸۵	۸/۸۵	۸/۸۵	۰
فرکانس غالب (Hz)	۱/۲۱	۱/۱۸	۱/۱۸	-۲/۵
بیشترین جابجائی (cm)	۱۱/۳	۱۱/۹	۱۲/۹	+۱۲/۴
زمان تحلیل (دقیقه)	۳۷/۷	۳۳/۰۸	۳۱/۱	-۲۱/۲



شکل (۴-۲۳) نمودار افزایش حداکثر جابجایی هاوکاهش زمان تحلیل تحت اثر زلزله Chi Chi تایوان

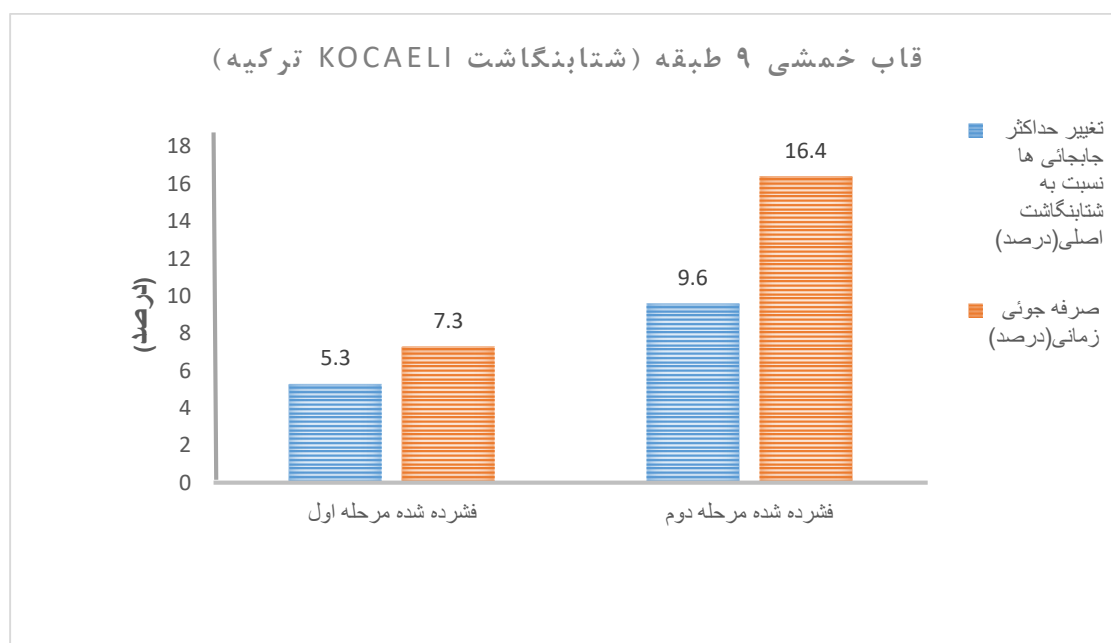
با توجه به شکل (۴-۲۳) و جدول (۴-۱۹) فرکانس غالب و PGA در فشرده سازی مرحله اول بدون تغییر باقی مانده و تعداد داده ها برابر با ۵۰ درصد کاهش یافته است. در مرحله اول در بیشترین میزان جابجایی ها حدود ۵ درصد افزایش ملاحظه می گردد و حدود ۱۳/۹ درصد نیز کاهش در زمان تحلیل به دست آمده است. چنانچه فشرده سازی برای یک مرحله دیگر انجام شود حدود ۲۱/۲ درصد در زمان تحلیل صرفه جوئی بدست می آید اما بیشترین مقدار جابجایی ها حدود ۱۲/۴ درصد نسبت به حالت قبل افزایش می یابد. نظر به خطای بوجود آمده در دومین مرحله در مقدار جابجایی ها فشرده سازی برای یک مرحله در این شتابنگاشت قابل قبول خواهد بود.

۴-۵-۵ اعمال شتابنگاشت Kocaeli ترکیه (با استفاده از پلکسیس)

در جدول (۴-۲۰) خصوصیات موج ها و نتایج حاصله و در شکل (۴-۲۴) کاهش زمان محاسبات و مقادیر تغییر مکان ها نمایش داده شده است :

جدول (۴-۲۰) مشخصات موج ها و نتایج بدست آمده در قاب خمشی ۹ طبقه (تحت اثر زلزله Kocaeli ترکیه)

فشرده شده مرحله دوم		فشرده شده مرحله اول		شتابنگاشت اصلی Kocaeli ترکیه	مشخصات و نتایج
اختلاف با شتابنگاشت اصلی (درصد)	مشخصات و نتایج	اختلاف با شتابنگاشت اصلی (درصد)	مشخصات و نتایج	مشخصات و نتایج	
-۷۵	۴۳۴۶	-۵۰	۸۶۸۹	۱۷۳۷۶	تعداد داده
۰	۰/۰۴۴	۰	۰/۰۴۴	۰/۰۴۴	$PGA(m/s^2)$
۰	۱/۸۴	۰	۱/۸۴	۱/۸۴	فرکانس غالب (Hz)
-۹/۶	۳/۳۹	-۵/۳	۳/۵۵	۳/۷۵	بیشترین جابجائی (mm)
-۱۶/۴	۳۸/۲	-۷/۳	۴۱/۴۵	۴۴/۵۵	زمان تحلیل (دقیقه)



شکل (۴-۲۴) نمودار تغییر حداکثر جابجایی ها و کاهش زمان تحلیل تحت اثر زلزله Kocaeli ترکیه

براساس شکل (۴-۲۴) و نظر به جدول (۴-۲۰) مشخص می‌گردد که PGA و فرکانس غالب در اولین مرحله فشرده سازی ثابت مانده و معادل ۵۰ درصد در تعداد داده ها کاهش بوجود آمده است. در این مرحله حدود ۵/۳ درصد در بیشترین میزان جابجائی ها افزایش دیده می شود لیکن حدود ۷/۳ درصد

در زمان تحلیل صرفه جوئی به دست آمده است. در صورتیکه فشرده سازی برای مرحله دوم انجام پذیرد، حدود ۱۶/۴ درصد در زمان تحلیل صرفه جوئی حاصل می شود اما بیشترین مقدار جابجائی ها حدود ۹/۶ درصد نسبت به حالت اولیه افزایش خواهد داشت. بر این اساس تا یک مرحله فشرده سازی قابل قبول خواهد بود.

۴-۵-۶ مقایسه نتایج

با بررسی جدول (۴-۲۱) مقدار ۵۰ درصد کاهش در تعداد داده ها برای هر دو شتابنگاشت در فشرده سازی مرحله اول دیده می شود. در زلزله Chi Chi تایوان در ازاء صرفه جوئی زمانی به مقدار ۲۱/۳ درصد در مقدار جابجائی ۵ درصد خطا بدست آمده است همچنین و در زلزله Kocaeli ترکیه در برابر حدود ۹/۲۱ درصد کاهش در زمان تحلیل ۵/۳ درصد خطا در مقدار جابجائی ایجاد شده است. صرفه جوئی زمانی در تحلیل با Plaxis در مقایسه با نرم افزار Opensees در اعمال شتابنگاشت chi chi تایوان مقدار ۲۰/۶ درصد کمتر گردیده است و این مقدار در اعمال شتابنگاشت Kocaeli ترکیه ۲۵/۱ بوده است.

جدول (۴-۲۱) خلاصه نتایج مسئله قاب خمشی ۹ طبقه (با استفاده از پلکسیس)

قاب خمشی ۹ طبقه				
شتابنگاشت	کاهش تعداد داده ها (درصد)	تعداد مرحله فشرده سازی	تأثیر در بیشترین مقدار جابجائی (درصد)	تأثیر در زمان تحلیل (درصد)
Ch Chi تایوان	۵۰	۱	-۵	-۱۳/۹
Kocaeli ترکیه	۵۰	۱	-۵/۳	-۷/۳

فصل پنجم

نتیجه گیری

۵-۱ مقدمه

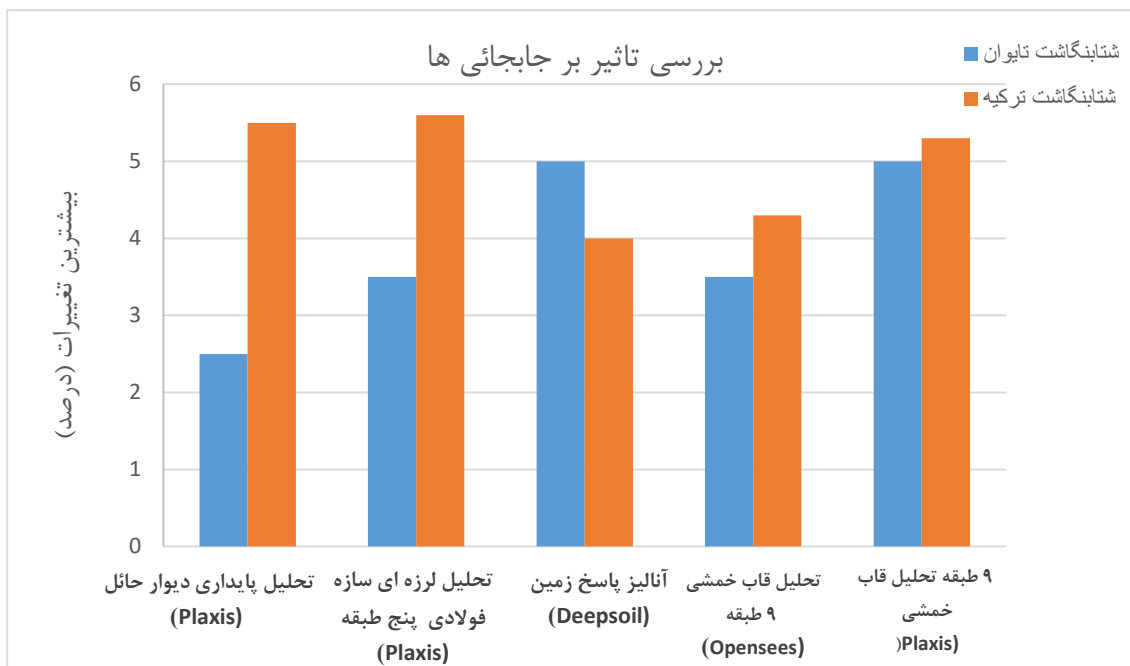
بررسی نتایج فشرده سازی شتابنگاشت های مختلف با استفاده از آنالیز موجکی که برای چهارده شتابنگاشت انجام گردید در این فصل مورد توجه خواهد بود. همچنین نتایج تاثیر بارگذاری دو شتابنگاشت Chi Chi تایوان و Kocaeli ترکیه و فشرده شده آنها بر روی پنج مسئله مختلف ژئوتکنیکی نیز مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

۵-۲ نتیجه گیری عملیات فشرده سازی

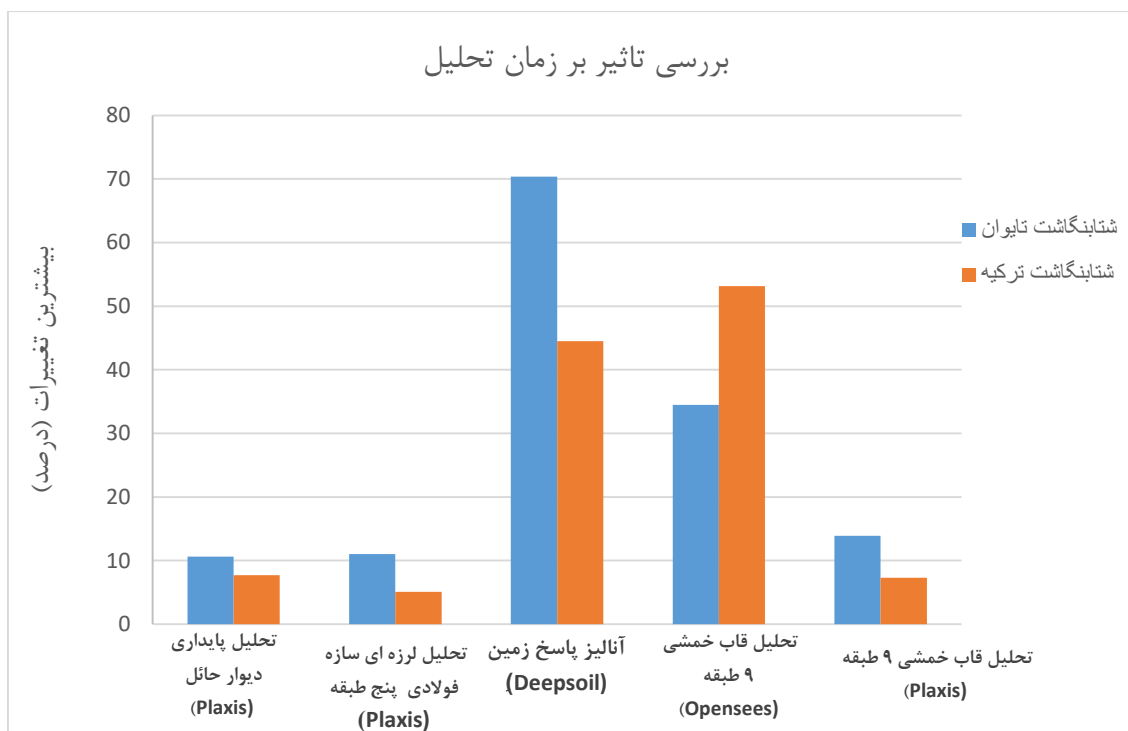
براساس نتایج بدست آمده در فصل سوم ملاحظه می گردد که در فشرده سازی با استفاده از آنالیز تجزیه ساز موجکی در همه شتابنگاشت های مورد بررسی مقادیر فرکانس های غالب و PGA بدون تغییر باقی مانده و تعداد داده ها تا ۹۸ درصد کاهش یافته است .

۵-۳ نتیجه گیری اعمال شتابنگاشت ها

مطابق شکل (۵-۱) و (۵-۲) ملاحظه می گردد که اعمال شتابنگاشت فشرده شده در مسائل ژئوتکنیکی منتج به تغییر مقدار بیشترین جابجائی ها تا حدود ۵ درصد و کاهش زمان تحلیل ها تا ۷۰/۳۵ درصد گردیده است. فشرده سازی موج بر زمان تحلیل با Plaxis تاثیر چندانی نداشته است ولی در صورت استفاده از نرم افزارهای Opensees و Deepsoil میزان کاهش زمان تحلیل بسیار قابل توجه می باشد. بر این اساس با در نظر گرفتن حدود ۵ درصد اختلاف ایجاد شده مجاز در جابجائی ها پس از فشرده سازی برای رسیدن به صرفه جوئی در زمان تحلیل ها به میزان حدود ۷۰ درصد می توان حداکثر تا دو مرحله فشرده سازی شتابنگاشت ها را مناسب دانسته و پیشنهاد نمود.



شکل (۵-۱) بررسی تاثیر فشرده سازی بر جابجائی در مسئله ها



شکل (۵-۲) بررسی تاثیر فشرده سازی بر زمان تحلیل در مسئله ها

۴-۵ پیشنهاد تحقیقات آینده

می توان پیشنهادات زیر را برای تحقیق و بررسی بیشتر در این زمینه ارائه نمود:

۱- بررسی تاثیر فشرده سازی داده های شتاب نگاشت زلزله با استفاده از موجک b-spline در

مسائل ژئوتکنیک لرزه ای

۲- بررسی تاثیر سطح ماکزیمم شتاب و فرکانس غالب در فشرده سازی داده های شتاب نگاشت

زلزله در مسائل ژئوتکنیک لرزه ای

منابع

- 1- Kramer, S.L. (1996), "*Geotechnical Earthquake Engineering*". Prentice-Hall, New Jersey.
- ۲- شمشیری ج، (۱۳۸۰)، پایان نامه ارشد: "اصلاح شتابنگاشت های استان خراسان با اتکا به مطالعات ژئوتکنیکی"، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس.
- ۳- بذرافشان مقدم ا، (۱۳۹۱)، رساله دکتری: "بهینه سازی تحلیل لرزه ای پاسخ زمین با استفاده از توابع موجکی انطباق پذیر جدید و روش HFTD ماتریسی"، دانشگاه شهید باهنر کرمان، دانشکده فنی
- ۴- اسدیگی ح، (۱۳۸۹)، پایان نامه ارشد: "شبیه سازی شتابنگاشت ها با استفاده از موجک"، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی.
- 5- Misiti M. ,Misiti Y.,Oppenheim G., poggi M. G.,(2004), "*Wavelet Toolbox For Use with MATLAB*". Online only,USA,pp.6-82to8-56.
- 6- Rajasekaran S., " Generation of Artificial Earquake Motion Records Using Wavelets andPrincipal Component Analysis," *Journal of Earthquake Engineering*", Vol. 10, No. 5 (2006) 665–691, Imperial College Press.
- 7- Chun Xiang S., "Hilbert Huang transform and wavelet analysis of time history signal", *Research Institue of Structural Engineering Disaster Reduction*", Tongji University, Shanghai, China, 2003
- ۸- توزنده جانی ع، لنگری ش، جعفری ا. (۱۳۹۷)، " فشرده سازی تصاویر با استفاده از ترکیب روش های بلوک بندی ، SVD و WD"، دومین همایش ملی دانش و فناوری مهندسی برق، کامپیوتر و مکانیک ایران، تهران.
- ۹- صالح س، سادات موسوی ا. (۱۳۹۷)، "استفاده از موجک ها در فشرده سازی تصاویر"، دومین کنفرانس سیستمهای دینامیکی و نظریه های هندسی " دانشگاه سیستان و بلوچستان

۱۰- محمدپور ف ، (۱۳۹۷)، " فشرده سازی تصاویر آم آرای پزشکی با استفاده از تبدیل موجک

صحیح "، اولین همایش ملی دستاوردهای نوین در مهندسی برق، ساوه

11- Yousefi Rezaiia T., Beheshtib S., Shamsia M., Eftekharifar S.(2018) " *ECG signal compression and denoising via optimum sparsity orderselection in compressed sensing framework*" B. S.Processing and Control., 41, pp 161-171

۱۲- کامگار ع، حیدری ع، پهلوان صادق ش، (۲۰۱۷)، " بررسی طیف پاسخ شتاب خطی و غیر خطی

با استفاده از تئوری موجک"، پنجمین کنگره ملی مهندسی عمران و معماری، دانشگاه شهید بهشتی، تهران

۱۳- تیز فهم م، حقی پور س، (۱۳۹۶)، " فشرده سازی تصاویر پزشکی بر اساس ناحیه مورد علاقه با

استفاده از تبدیل Wavelet " اولین کنفرانس بین المللی روش های نوین تحقیق در مهندسی برق و کامپیوتر، تبریز

۱۴- توکلی ع، امینی م، (۱۳۹۵)، " فشرده سازی تصویر به کمک موجک و تجزیه به نقاط منفرد "،

چهارمین کنفرانس بین المللی پژوهش های کاربردی در مهندسی کامپیوتر و پردازش سیگنال، تهران.

۱۵- انصاری رام ف، (۱۳۹۱)، " فشرده سازی سیگنال های ECG به روش نمونه برداری (CS)"

، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد

۱۶- قنبرزاده ا، (۱۳۹۱)، پایان نامه ارشد: " فشرده سازی سیگنال صوت مبتنی بر فن انطباق الگو"،

دانشکده مهندسی برق و رباتیک، دانشگاه صنعتی شاهرود

17- E. G. Allstot, A. Y. Chen, A. M.R. Dixon, D. Gangopadhyay, and D. J. Allstot,(2010), "Compressive Sampling of ECG Bio-Signals: Quantization Noise and Sparsity Considerations," *IEEE Biomedical Circuits and Systems Conference (BioCAS)*, pp. 41-44.

18- Z. Hong-xin, W. Hai-qing, L. Xiao-ming, L. Ying-hua Z. Li-kun, "implementation of compressive sensing in ECG and EEG signal processing," *The Journal of China Universities of Posts and Telecommunications*, vol. 17,no. 6,pp. 93-100 , 2010.

19- H. Mamaghanian, N. Khaled, D. Atienza, and P. Vandergheynst, " Compressed Sensing for Real-Time Energy-Efficient ECG Compression on Wireless Body Sensor Nodes," *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, vol. 58, no. 9, pp.2456-2466, 2011.

۲۰- مولائی ب، شمس اللهی م، (۱۳۸۰)، "فشرده سازی سیگنال ECG با استفاده از ساختاردرختی تبدیل ویولت"، دهمین کنفرانس مهندسی پزشکی ایران، تهران.

۲۱- طاهرپور خلیل آباد و، حافظی مقدس ح، لشکری پور غ. (۱۳۹۲)، "بررسی فرکانس غالب خاک در شهر خلیل آباد با استفاده از مایکروترموورها"، اولین کنفرانس ملی معماری و فضاهای شهری پایدار، مشهد.

22- <https://esm.mi.ingv.it> (ESM : Engineering Strong Motion Database Site)

23- <https://ngawest2.berkeley.edu> (PEER Strong Motion Database)

۲۴- بیرنگ برازین، ۱۳۹۶، "راهنمای جامع نرم افزار PLAXIS"، چاپ اول، انتشارات نشرعلم عمران، تهران.

25- https://www.rocscience.com/help/rs3/pdf_files/theory/Constitutive_models_Manual/14-Hardening_Soil_Model_with_Small_Strain_Stiffness_-_PLAXIS.pdf

26- Youssef M. A. Hashsh , (2016), "*Deepsoil User Manual*" ,version6.1, University of Illinois

27- <http://opensees.berkeley.edu> (The Open System for Earthquake Engineering Simulation)

Abstract

Processing and designing in various civil engineering particularly in seismic geotechnical projects always has been hard task, Time-consuming and costly endeavor. Development of new methods have always been sought by engineers to reduce calculation time and project cost despite applying advanced and powerful computers and software to deal with complex and huge project however in dynamic analysis still requires to find ways to decrease the calculating time. Various signals, such as earthquake waves, transfer array of information as they propagate. In this study to reduce data processing period and saving time in modeling and analyzing the seismic geotechnical problems, the accelerograms were compressed using Wavelet Decomposition Analysis method and reduced the number of data. Then the initial and compressed accelerograms were implemented on 5 different geotechnical cases. The results revealed that up to 2 level compression of accelerogram data resulted in equals to 75% reduction of data quantities while it caused to 70% of analysing time consuming in computational process along with less than 5% error in achieved results.

Keywords: Seismic Geotechnics, Compression, Accelerogram, Wavelet Decomposition Analysis



Kharazmi Campus
Department of Geotechnical Engineering
Master thesis

Title

Investigation of the effect of seismic accelerogram data
Compression on geotechnical earthquake engineering problems

Student: Majid Salim Asadi

Supervisor :

Dr. Amir Bazrafshan Moghaddam

September 2019