

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده مهندسی عمران و معماری

گروه عمران

آنالیز دینامیکی سریع سازه ها به کمک

تبدیلات موجک وفیلتر بانکها

دانشجو: مسعود خالقی

اساتید راهنما:

دکتر علی کیهانی

دکتر فرشید علایی

اساتید مشاور:

دکتر علیرضا احمدی فرد

مهندس میثم جلالی

پایان نامه ارشد جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

تیرماه ۱۳۸۸

دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده: عمران و معماری

گروه: عمران

پایان نامه کارشناسی ارشد (رساله دکتری) آقای / خانم

تحت عنوان:

آنالیز دینامیکی سریع سازه ها به کمک تبدیلات موجک وفیلتربانکها

در تاریخ توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد

(رساله دکتری) مورد ارزیابی و با درجه مورد پذیرش قرار گرفت.

امضاء	اساتید مشاور	امضاء	اساتید راهنما
	نام و نام خانوادگی :		نام و نام خانوادگی :
	نام و نام خانوادگی :		نام و نام خانوادگی :

امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء	اساتید داور
	نام و نام خانوادگی :		نام و نام خانوادگی :
			نام و نام خانوادگی :
			نام و نام خانوادگی :
			نام و نام خانوادگی :

تعهد نامه

اینجانب **مسعود خالقی** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته عمران دانشکده مهندسی عمران و معماری دانشگاه صنعتی

شاهرود نویسنده پایان نامه **آنالیز دینامیکی سریع سازه ها به کمک تبدیلات موجک و فیلتر بانکها** تحت راهنمایی

دکتر علی کیهانی به عنوان استاد راهنمای اول و **دکتر فرشید علایی** به عنوان استاد راهنمای دوم متعهد می شوم:

- تحقیقات در این پایان نامه / رساله توسط اینجانب انجام شده و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه / رساله تا کنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرکی 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 افراد که در به دست آوردن نتایج اصلی پایان نامه / رساله تاثیر گذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه / رساله رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه / رساله ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه / رساله ، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاقی انسانی رعایت شده است.

تاریخ:

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق و 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 نحوی مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.

- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه / رساله بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

* متن این صفحه نیز باید در ابتدای نسخه های تکثیر شده پایان نامه / رساله وجود داشته باشد.

چکیده

آنالیز دینامیکی سازه ها به منظور بررسی رفتار و پاسخ سازه ها در برابر بار هایی که ماهیت دینامیکی دارند انجام می شود که از جمله مهمترین این بارها، بار وارد بر سازه هنگام زلزله می باشد. این تحلیل به دو روش طیفی و تاریخچه زمانی قابل انجام می باشد. در روش طیفی پاسخ حداکثر سازه محاسبه می شود، اما در روش تاریخچه زمانی پاسخ کامل سازه در زمانهای مختلف تعیین می گردد. هرچند روش دوم دقیق تر می باشد ولی زمان بر بودن این تحلیل دینامیکی عملاً استفاده از آن را به سازه های خاص محدود کرده است. در این پایان نامه با فیلتر کردن موج زلزله و تفکیک مولفه های حاوی فرکانس بالا و پایین و انتخاب مولفه های حاوی فرکانس پایین که انرژی بیشتری دارند، تحلیل سازه برای این مولفه از موج زلزله انجام می شود و زمان آنالیز دینامیکی کاهش داده می شود. فیلتر کردن به کمک توابع پایه موجک انجام می شود و در هر مرحله تعداد داده هانصف می شود. پس از آنکه آنالیز دینامیکی برای مولفه حاوی کمترین فرکانسها انجام شد و پاسخ سازه بدست آمد، بر روی این پاسخ به تعداد مراحل فیلترینگ، تبدیل معکوس موجکی اعمال می شود تا بتوان این پاسخ را با پاسخ سازه در برابر زلزله اصلی مقایسه کرد. مشاهده شد که با دو بار فیلتر کردن موج اصلی زلزله و انجام آنالیز برای آخرین مولفه پایین گذر، با دقت کافی زمان آنالیز دینامیکی به یک چهارم حالت اولیه کاهش می یابد.

در تجزیه موج اصلی از موجک دابچیز استفاده شد و به منظور مقایسه، این عمل با موجک هار نیز انجام شد و نشان داده شد که تجزیه به کمک موجک دابچیز معمولاً منجر به خطایی کمتر در نتایج آنالیز می شود. همچنین آنالیز برای مولفه های فرکانس بالا نیز انجام شد و با بررسی نتایج مشاهده شد که انجام آنالیز برای این قسمت از مولفه های موج اصلی منجر به خطایی غیر قابل قبول می شود.

کلمات کلیدی: آنالیز دینامیکی، موجک، تاریخچه زمانی، فیلتر کردن، فرکانس، زلزله، مولفه بالا گذر، مولفه

پایین گذر

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل ۱: مقدمه	۱
فصل ۲: آنالیز دینامیکی سازه ها	۵
۱-۲ معادله حرکت سیستم یک درجه آزادی	۶
۲-۲ حل معادله حرکت سیستم یک درجه آزادی	۸
۱-۲-۲ ارتعاش آزاد سیستم یک درجه آزادی	۸
۲-۲-۲ حل خصوصی معادله دیفرانسیل حرکت	۹
۳-۲ حل عددی انتگرال دوهامل	۱۱
۱-۳-۲ سیستم نامیرا	۱۱
۲-۳-۲ سیستم میرا	۱۳
۴-۲ معادلات غیر خطی حرکت	۱۴
۴-۲-۱ معادلات جزئی تعادل	۱۴
۲-۴-۲ روش انتگرالگیری گام به گام با فرض شتاب خطی	۱۵
۵-۲ سیستم های چند درجه آزادی	۱۸
۱-۵-۲ معادله حرکت سیستم های چند درجه آزادی	۱۸
۲-۵-۲ ترکیب مودها در سازه های چند درجه ای آزادی بدون میرایی	۲۳
۳-۵-۲ ترکیب مودها در سازه های چند درجه آزادی با میرایی	۲۴
فصل ۳: تبدیل موجکی وفیلتر بانک ها	۲۵
۱-۳ مقدمه	۲۶

۲-۳ تبدیل فوریه.....	۲۷
۳-۳ تبدیل فوریه زمان کوتاه (STFT).....	۳۱
۴-۳ تئوری موجکها.....	۳۳
۱-۴-۳ تبدیل موجک (WT).....	۳۳
۲-۴-۳ تبدیل پیوسته موجک (CWT).....	۳۴
۵-۳ بسط توابع و توابع مقیاس و موجکی.....	۴۰
۶-۳ تبدیل موجک یک بعدی.....	۴۵
۱-۶-۳ سری موجکی.....	۴۵
۲-۶-۳ تبدیل گسسته و پیوسته موجکی.....	۴۶
۳-۶-۳ تبدیل سریع موجکی.....	۴۷
۷-۳ موجکهای مادر.....	۵۱
۸-۳ فیلتر بانک ها.....	۵۵
۹-۳ کاربرد نرم افزار MATLAB در پردازش سیگنال.....	۵۵
۱-۹-۳ تجزیه تک مرحله ای.....	۵۹
۲-۹-۳ تجزیه چند مرحله ای.....	۵۹
۳-۹-۳ باز سازی تک مرحله ای.....	۶۰
۴-۹-۳ باز سازی چند مرحله ای.....	۶۰
۵-۹-۳ ضرایب جزییات (CD) و تقریب (CA).....	۶۱
فصل ۴: مطالعات عددی.....	۶۲
۱-۴ مقدمه.....	۶۳
۲-۴ آنالیز دینامیکی قاب خمشی ۷ طبقه در برابر زلزله السنترو.....	۶۵
۳-۴ آنالیز دینامیکی قاب خمشی ۱۰ طبقه در برابر زلزله السنترو.....	۷۸
۴-۴ آنالیز دینامیکی قاب ۸ طبقه بادیندی در برابر زلزله طیس.....	۸۶
۵-۴ آنالیز دینامیکی قاب ۹ طبقه بادیندی در برابر زلزله بم.....	۹۶
فصل ۵: بحث در نتایج و پیشنهادات.....	۱۰۹

۱۱۰	 ۵-۱ نتایج و بحث در نتایج
۱۱۱	 ۵-۲ پیشنهادات
۱۱۳	 مراجع و منابع

فهرست اشکال

عنوان	صفحه
شکل ۱-۲ سیستم یک درجه آزادی.....	۶
شکل ۲-۲ قاب یک درجه آزادی.....	۷
شکل ۳-۲ تحریک پایه های قاب.....	۷
شکل ۴-۲ تغییرات خطی بار دینامیکی در فاصله های زمانی کوچک.....	۱۲
شکل ۱-۳ سه سیگنال با فرکانسهای متفاوت.....	۲۷
شکل ۲-۳ دو سیگنال پایا و ناپایا و تبدیل فوریه آنها.....	۲۹
شکل ۳-۳ دوسیگنال متفاوت با تبدیل فوریه یکسان.....	۳۰
شکل ۴-۳ موج سینوسی همراه موجک دابچیز.....	۳۴
شکل ۵-۳ پارامتر انتقال در موجک.....	۳۵
شکل ۶-۳ مقیاس بالا و پایین در یک سیگنال.....	۳۵
شکل ۷-۳ مقایسه تبدیل موجک و فوریه.....	۳۶
شکل ۸-۳ انتقال و تغییر مقیاس در تبدیل پیوسته موجک.....	۳۷
شکل ۹-۳ یک سیگنال به همراه تبدیل موجکی آن.....	۳۸
شکل ۱۰-۳ نمایش زمان-فرکانس در تبدیل موجک.....	۳۹
شکل ۱۱-۳ مقایسه تبدیلات فوریه ، فوریه زمان کوتاه و تبدیل موجک.....	۴۰
شکل ۱۲-۳ تابع مقیاس هار در عرض های مختلف.....	۴۲
شکل ۱۳-۳ فضای تولید شده به کمک موجک.....	۴۴
شکل ۱۴-۳ عبور تابع موجک در مقیاس ۱+ از فیلتر دو کاناله.....	۴۹
شکل ۱۵-۳ عبور متوالی سیگنال از فیلتر دو کاناله.....	۴۹
شکل ۱۶-۳ بازسازی تک مرحله ای سیگنال.....	۵۰
شکل ۱۷-۳ بازسازی چند مرحله ای سیگنال.....	۵۰
شکل ۱۸-۳ تجزیه و بازسازی سیگنال.....	۵۰

۵۱	شکل ۳-۱۹ موجک هار.....
۵۲	شکل ۳-۲۰ موجک دابچیز.....
۵۲	شکل ۳-۲۱ موجک کوپفلت.....
۵۳	شکل ۳-۲۲ موجک سیملت.....
۵۳	شکل ۳-۲۳ موجک مورلت.....
۵۴	شکل ۳-۲۴ موجک مکزیکن هت.....
۵۴	شکل ۳-۲۵ موجک میر.....
۵۵	شکل ۳-۲۶ فیلتربانک M کاناله.....
۵۶	شکل ۳-۲۷ تجزیه سیگنال در یک فیلتر دو کاناله.....
۵۷	شکل ۳-۲۸ تجزیه چند مرحله‌ای به کمک wavelet.....
۵۷	شکل ۳-۲۹ تجزیه یک سیگنال به کمک wavelet packet.....
۵۷	شکل ۳-۳۰ مولفه های تقریبی و جزئیات در سیگنال.....
۵۸	شکل ۳-۳۱ مراحل تجزیه و کاهش نرخ نمونه برداری در یک سیگنال.....
۵۸	شکل ۳-۳۲ افزایش نرخ نمونه برداری در یک سیگنال.....
۵۸	شکل ۳-۳۳ بازسازی سیگنال از روی مولفه های تجزیه آن.....
۵۹	شکل ۳-۳۴ مراحل تجزیه و بازسازی سیگنال.....
۶۰	شکل ۳-۳۵ تجزیه چند مرحله ای سیگنال.....
۶۶	شکل ۴-۱ قاب ۷ طبقه خمشی فولادی.....
۶۷	شکل ۴-۲ مولفه افقی زلزله السنترو.....
۶۸	شکل ۴-۳ اولین مولفه پایین گذر زلزله السنترو.....
۶۸	شکل ۴-۴ دومین مولفه پایین گذر زلزله السنترو.....
۶۹	شکل ۴-۵ سومین مولفه پایین گذر زلزله السنترو.....
۶۹	شکل ۴-۶ چهارمین مولفه پایین گذر زلزله السنترو.....
۷۰	شکل ۴-۷ اولین مولفه بالا گذر زلزله السنترو.....
۷۰	شکل ۴-۸ دومین مولفه بالا گذر زلزله السنترو.....

- شکل ۹-۴ سومین مولفه بالا گذر زلزله السنترو..... ۷۱
- شکل ۱۰-۴ چهارمین مولفه بالا گذر زلزله السنترو..... ۷۱
- شکل ۱۱-۴ تاریخچه تغییر مکان گره ۵۲ تحت زلزله السنترو..... ۷۲
- شکل ۱۲-۴ تاریخچه تغییر مکان گره ۵۲ تحت مولفه A۱ زلزله السنترو..... ۷۲
- شکل ۱۳-۴ تاریخچه تغییر مکان گره ۵۲ تحت مولفه A۲ زلزله السنترو..... ۷۲
- شکل ۱۴-۴ تاریخچه تغییر مکان گره ۵۲ تحت مولفه A۳ زلزله السنترو..... ۷۳
- شکل ۱۵-۴ تاریخچه تغییر مکان گره ۵۲ تحت مولفه A۴ زلزله السنترو..... ۷۳
- شکل ۱۶-۴ تاریخچه تغییر مکان گره ۲۷ تحت مولفه افقی زلزله السنترو..... ۷۴
- شکل ۱۷-۴ تاریخچه تغییر مکان گره ۲۷ تحت مولفه A۱ زلزله السنترو..... ۷۴
- شکل ۱۸-۴ تاریخچه تغییر مکان گره ۲۷ تحت مولفه A۲ زلزله السنترو..... ۷۵
- شکل ۱۹-۴ تاریخچه تغییر مکان گره ۲۷ تحت مولفه A۳ زلزله السنترو..... ۷۵
- شکل ۲۰-۴ تاریخچه تغییر مکان گره ۲۷ تحت مولفه A۴ زلزله السنترو..... ۷۵
- شکل ۲۱-۴ تاریخچه تغییر مکان گره ۴۷ تحت مولفه افقی زلزله السنترو در قاب ۷ طبقه..... ۷۶
- شکل ۲۲-۴ تاریخچه تغییر مکان گره ۴۷ تحت مولفه A۱ زلزله السنترو در قاب ۷ طبقه..... ۷۶
- شکل ۲۳-۴ تاریخچه تغییر مکان گره ۴۷ تحت مولفه A۲ زلزله السنترو در قاب ۷ طبقه..... ۷۷
- شکل ۲۴-۴ تاریخچه تغییر مکان گره ۴۷ تحت مولفه A۳ زلزله السنترو در قاب ۷ طبقه..... ۷۷
- شکل ۲۵-۴ تاریخچه تغییر مکان گره ۴۷ تحت مولفه A۴ زلزله السنترو در قاب ۷ طبقه..... ۷۷
- شکل ۲۶-۴ قاب ۱۰ طبقه خمشی فولادی..... ۷۹
- شکل ۲۷-۴ تاریخچه تغییر مکان گره ۵۵ تحت مولفه افقی زلزله السنترو..... ۷۹
- شکل ۲۸-۴ تاریخچه تغییر مکان گره ۵۵ تحت مولفه A۱ زلزله السنترو..... ۸۰
- شکل ۲۹-۴ تاریخچه تغییر مکان گره ۵۵ تحت مولفه A۲ زلزله السنترو..... ۸۰
- شکل ۳۰-۴ تاریخچه تغییر مکان گره ۵۵ تحت مولفه A۳ زلزله السنترو..... ۸۰
- شکل ۳۱-۴ تاریخچه تغییر مکان گره ۵۵ تحت مولفه A۴ زلزله السنترو..... ۸۰
- شکل ۳۲-۴ تاریخچه تغییر مکان گره ۲۹ تحت مولفه افقی زلزله السنترو..... ۸۲
- شکل ۳۳-۴ تاریخچه تغییر مکان گره ۲۹ تحت مولفه A۱ زلزله السنترو..... ۸۲

- شکل ۴-۳۴ تاریخچه تغییر مکان گره ۲۹ تحت مولفه A۲ زلزله السنترو..... ۸۲
- شکل ۴-۳۵ تاریخچه تغییر مکان گره ۲۹ تحت مولفه A۳ زلزله السنترو..... ۸۳
- شکل ۴-۳۶ تاریخچه تغییر مکان گره ۲۹ تحت مولفه A۴ زلزله السنترو..... ۸۳
- شکل ۴-۳۷ تاریخچه تغییر مکان گره ۴۷ تحت مولفه افقی زلزله السنترو. در قاب ۱۰ طبقه..... ۸۴
- شکل ۴-۳۸ تاریخچه تغییر مکان گره ۴۷ تحت مولفه A۱ زلزله السنترو در قاب ۱۰ طبقه..... ۸۴
- شکل ۴-۳۹ تاریخچه تغییر مکان گره ۴۷ تحت مولفه A۲ زلزله السنترو در قاب ۱۰ طبقه..... ۸۴
- شکل ۴-۴۰ تاریخچه تغییر مکان گره ۴۷ تحت مولفه A۳ زلزله السنترو در قاب ۱۰ طبقه..... ۸۵
- شکل ۴-۴۱ تاریخچه تغییر مکان گره ۴۷ تحت مولفه A۴ زلزله السنترو در قاب ۱۰ طبقه..... ۸۵
- شکل ۴-۴۲ طیف زلزله السنترو ومولفه های آن..... ۸۶
- شکل ۴-۴۳ قاب ۸ طبقه بادبندی..... ۸۷
- شکل ۴-۴۴ مولفه افقی زلزله طبس..... ۸۸
- شکل ۴-۴۵ اولین مولفه پایین گذر زلزله طبس..... ۸۸
- شکل ۴-۴۶ دومین مولفه پایین گذر زلزله طبس..... ۸۹
- شکل ۴-۴۷ سومین مولفه پایین گذر زلزله طبس..... ۸۹
- شکل ۴-۴۸ چهارمین مولفه پایین گذر زلزله طبس..... ۹۰
- شکل ۴-۴۹ اولین مولفه بالا گذر زلزله طبس..... ۹۰
- شکل ۴-۵۰ دومین مولفه بالا گذر زلزله طبس..... ۹۱
- شکل ۴-۵۱ سومین مولفه بالا گذر زلزله طبس..... ۹۱
- شکل ۴-۵۲ چهارمین مولفه بالا گذر زلزله طبس..... ۹۲
- شکل ۴-۵۳ تاریخچه تغییر مکان گره ۵۳ تحت مولفه افقی زلزله طبس..... ۹۲
- شکل ۴-۵۴ تاریخچه تغییر مکان گره ۵۳ تحت مولفه A۱ زلزله طبس..... ۹۳
- شکل ۴-۵۵ تاریخچه تغییر مکان گره ۵۳ تحت مولفه A۲ زلزله طبس..... ۹۳
- شکل ۴-۵۶ تاریخچه تغییر مکان گره ۵۳ تحت مولفه A۳ زلزله طبس..... ۹۳
- شکل ۴-۵۷ تاریخچه تغییر مکان گره ۵۳ تحت مولفه A۴ زلزله طبس..... ۹۳
- شکل ۴-۵۸ تاریخچه تغییر مکان گره ۵۳ تحت مولفه D۱ زلزله طبس..... ۹۴

- شکل ۵۹-۴ تاریخچه تغییر مکان گره ۵۳ تحت مولفه D۲ زلزله طبس..... ۹۴
- شکل ۶۰-۴ تاریخچه تغییر مکان گره ۵۳ تحت مولفه D۳ زلزله طبس..... ۹۴
- شکل ۶۱-۴ تاریخچه تغییر مکان گره ۵۳ تحت مولفه D۴ زلزله طبس..... ۹۴
- شکل ۶۲-۴ طیف زلزله طبس ومولفه های آن..... ۹۶
- شکل ۶۳-۴ قاب ۹ طبقه بادیبندی..... ۹۷
- شکل ۶۴-۴ مولفه افقی زلزله بم..... ۹۸
- شکل ۶۵-۴ اولین مولفه پایین گذر زلزله بم..... ۹۸
- شکل ۶۶-۴ دومین مولفه پایین گذر زلزله بم..... ۹۹
- شکل ۶۷-۴ سومین مولفه پایین گذر زلزله بم..... ۹۹
- شکل ۶۸-۴ چهارمین مولفه پایین گذر زلزله بم..... ۱۰۰
- شکل ۶۹-۴ اولین مولفه بالاگذر زلزله بم..... ۱۰۰
- شکل ۷۰-۴ دومین مولفه بالا زلزله بم..... ۱۰۱
- شکل ۷۱-۴ سومین مولفه بالا زلزله بم..... ۱۰۱
- شکل ۷۲-۴ چهارمین مولفه بالا زلزله بم..... ۱۰۲
- شکل ۷۳-۴ تاریخچه تغییر مکان گره ۶۰ تحت مولفه افقی زلزله بم..... ۱۰۲
- شکل ۷۴-۴ تاریخچه تغییر مکان گره ۶۰ تحت مولفه A۱ زلزله بم..... ۱۰۳
- شکل ۷۵-۴ تاریخچه تغییر مکان گره ۶۰ تحت مولفه A۲ زلزله بم..... ۱۰۳
- شکل ۷۶-۴ تاریخچه تغییر مکان گره ۶۰ تحت مولفه A۳ زلزله بم..... ۱۰۳
- شکل ۷۷-۴ تاریخچه تغییر مکان گره ۶۰ تحت مولفه A۴ زلزله بم..... ۱۰۳
- شکل ۷۸-۴ تاریخچه تغییر مکان گره ۵ تحت مولفه افقی زلزله بم..... ۱۰۴
- شکل ۷۹-۴ تاریخچه تغییر مکان گره ۵ تحت مولفه A ۱ زلزله بم..... ۱۰۴
- شکل ۸۰-۴ تاریخچه تغییر مکان گره ۵ تحت مولفه A۲ زلزله بم..... ۱۰۵
- شکل ۸۱-۴ تاریخچه تغییر مکان گره ۵ تحت مولفه A۳ زلزله بم..... ۱۰
- شکل ۸۲-۴ تاریخچه تغییر مکان گره ۵ تحت مولفه A۴ زلزله بم..... ۱۰۵
- شکل ۸۳-۴ تاریخچه تغییر مکان گره ۵۳ تحت مولفه افقی زلزله بم..... ۱۰۶

- شکل ۴-۸۴ تاریخچه تغییر مکان گره ۵۳ تحت مولفه A۱ زلزله بم..... ۱۰۶
- شکل ۴-۸۵ تاریخچه تغییر مکان گره ۵۳ تحت مولفه A۲ زلزله بم..... ۱۰۷
- شکل ۴-۸۶ تاریخچه تغییر مکان گره ۵۳ تحت مولفه A۳ زلزله بم..... ۱۰۷
- شکل ۴-۸۷ تاریخچه تغییر مکان گره ۵۳ تحت مولفه A۴ زلزله بم..... ۱۰۷
- شکل ۴-۸۸ طیف زلزله بم ومولفه های آن..... ۱۰۸

فهرست جداول

عنوان	صفحه
جدول ۴-۱ نتایج آنالیز دینامیکی قاب ۷ طبقه در گره ۵۲.....	۷۴
جدول ۴-۲ نتایج آنالیز دینامیکی قاب ۷ طبقه در گره ۲۷.....	۷۶
جدول ۴-۳ نتایج آنالیز دینامیکی قاب ۷ طبقه در گره ۴۷.....	۷۸
جدول ۴-۴ نتایج آنالیز دینامیکی قاب ۱۰ طبقه در گره ۵۵.....	۸۱
جدول ۴-۵ نتایج آنالیز دینامیکی قاب ۱۰ طبقه در گره ۵۵ به کمک موجک haar و db۴.....	۸۱
جدول ۴-۶ نتایج آنالیز دینامیکی قاب ۱۰ طبقه در گره ۲۹.....	۸۳
جدول ۴-۷ نتایج آنالیز دینامیکی قاب ۱۰ طبقه در گره ۴۷.....	۸۵
جدول ۴-۸ نتایج آنالیز دینامیکی قاب ۸ طبقه در گره ۵۵.....	۹۵
جدول ۴-۹ نتایج آنالیز دینامیکی قاب ۹ طبقه در گره ۶۰.....	۱۰۴
جدول ۴-۱۰ نتایج آنالیز دینامیکی قاب ۹ طبقه در گره ۵.....	۱۰۶
جدول ۴-۱۱ نتایج آنالیز دینامیکی قاب ۹ طبقه در گره ۵۳.....	۱۰۸

فصل اول

مقدمه

مقدمه

در تحلیل استاتیکی سازه ها فرض بر آن است که بار وارده بر سازه با گذر زمان تغییر نمی کند ؛ اما اگر این بار از نظر مقدار ، جهت یا موقعیت نسبت به زمان تغییر کند ، بار مورد نظر بار دینامیکی نامیده شده و به طبع آن سازه باید به صورت دینامیکی آنالیز شود ، در این حالت پاسخ سازه به بار وارده نیز در طی زمان تغییر نموده و تنشها و تغییر مکانها در این سازه تابعی از زمان خواهد بود .

با اعمال بارهای دینامیکی نقاط مختلف سازه همراه با تغییر مکان، دارای سرعت و شتاب خواهند شد که به منظور مقابله با شتاب و سرعت به ترتیب نیروهای اینرسی و میرایی در سازه ایجاد خواهند شد ، در این حالت با ارتباط دادن نیروهای داخلی و نیروهای خارجی دینامیکی می توان معادله دیفرانسیل حرکت سازه را بیان نمود که این معادله دیفرانسیل در سازه یک درجه آزادی یک معادله و در سازه n درجه آزادی، n معادله دیفرانسیل خواهد بود که حل این معادلات در سازه های با درجه آزادی زیاد بسیار وقت گیر خواهد بود .

در زلزله نیز از آنجا که نیروهای وارد بر سازه با گذشت زمان تغییر می کنند ، با پدیده ای دینامیکی مواجه هستیم که بررسی رفتار سازه در برابر این پدیده مستلزم آنالیز دینامیکی سازه مورد نظر خواهد بود. انجام تحلیل دینامیکی در سازه های مهمی نظیر سدها ، نیروگاهها ، پلها و ساختمانهای مرتفع اجتناب ناپذیر می باشد .

آیین نامه ساختمانی نظیر آیین نامه ۲۸۰۰ ایران در مواردی که سازه مورد نظر محدودیت های خاصی از لحاظ ارتفاع یا پلان طبقات را داشته باشد روش تحلیل استاتیکی معادل را پیشنهاد می کند که در این حالت با فرض خطی بودن مود ارتعاش اول سازه ، برش پایه که مقدار کل نیروی جانبی وارد بر سازه می باشد به صورت خطی در ارتفاع سازه و در تراز طبقات توزیع می شود ، از آنجا که این روش یک روش تقریبی بوده و محدودیت های خاص را برای سازه در نظر می گیرد، در سازه های مرتفع یا سازه های غیرساختمانی انجام آنالیز دینامیکی ضروری می باشد .

آنالیز دینامیکی سازه به دو روش تحلیل طیفی و تحلیل تاریخچه زمانی انجام می شود. در تحلیل طیفی پاسخ حداکثر سازه در نظر گرفته شده و طراحی بر مبنای این مقادیر حداکثر انجام می شود . اما در روش تحلیل تاریخچه زمانی پاسخ سازه در تمامی زمانهای اعمال بار دینامیکی محاسبه می شود که البته این روش ، روش دقیق تر و واقع بینانه تری خواهد بود .

در بسیاری از حالات نظیر زلزله، بارهای دینامیکی به صورت داده های عددی در نقاط زمانی مختلف وجود دارند . به عنوان مثال هنگام زلزله به کمک دستگاههای شتابنگار ، شتاب زمین در گام های زمانی مشخصی ثبت می شود که این داده ها به صورت عددی در دسترس می باشند ، در این حالت باید سازه مورد نظر را به صورت گام به گام تحلیل نمود تا بتوان پاسخ کلی را بدست آورد .

با کاهش بازه زمانی، شتاب در نقاط بیشتری ثبت می شود و دقت کار افزوده می شود ، اما به طبع آن زمان آنالیز دینامیکی سازه بیشتر می شود که این پدیده در سازه های با درجه آزادی زیاد کاملاً مشهود خواهد بود و اصلی ترین دلیل عدم انجام تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی سازه ها نیز همین مطلب می باشد .

با رسم طیف فوریه شتابنگاشت زلزله می توان از محتوای فرکانسی آن مطلع شد و از آنجا که انرژی زیادی از سیگنال زلزله در قسمت با محتوای فرکانسی کم آن قرار دارد، می توان با فیلتر کردن این سیگنال و انتخاب نقاط متناظر با فرکانس پایین زمان تحلیل دینامیکی را کاهش داد .

در این پایان نامه با عبور دادن موج زلزله از یک فیلتر دوکاناله که توابع پایه آن توابع موجی می باشند ، عمل فیلترینگ انجام می شود ، بدین منظور ابتدا با عبور سیگنال از این فیلتر دوکاناله محتوای فرکانسی بالا و پایین سیگنال از هم تفکیک می شوند و در این مرحله قسمت پایین گذر فیلتر در نظر گرفته می شود ، در این حالت تعداد نقاط نصف و بازه زمانی بین نقاط دوبرابر می شود .

مجدداً این عمل برای محتوای فرکانسی پایین گذر تکرار شده و نقاط شتابنگاشت به یک چهارم نقاط اولیه کاهش یافته و گام زمانی ۴ برابر می شود. بنابراین با انجام متوالی این عمل در هر مرحله تعداد

نقاط نصف مرحله قبلی و گام زمانی دوبرابر می شود. البته واضح است که با تکرار این عمل در محاسبات مربوط به آنالیز دینامیکی و در پاسخ سازه نسبت به حالت اولیه ایجاد خطا می شود که در این پایان نامه و با مثالهای عددی مربوطه این موضوع بررسی شده است و نشان داده شده است که با دوبار فیلتر کردن، خطا در حدی قابل قبول خواهد بود، بنابراین در هر مرحله با کاهش نقاط به میزان نصف مرحله قبلی به همین میزان زمان آنالیز دینامیکی سازه مورد نظر کاهش می یابد که این مطلب خصوصاً در سازه های بزرگ یا در بهینه سازی سازه ها در برابر زلزله می تواند مؤثر واقع شود.

در فصل دوم این پایان نامه مبانی تئوری آنالیز دینامیکی سازه ها مرور شده است و در فصل سوم تبدیل موجکی بیان شده است که به منظور مقایسه و بیان مزایای این تبدیل، ابتدا تبدیل های فوریه (FT) و فوریه زمان کوتاه (STFT) بررسی شده اند، همچنین در این فصل تبدیل گسسته موجکی بعد از تعریف توابع موجک و مقیاس بیان شده و اشاره های نیز به فیلتر بانک ها شده است. در انتهای این فصل TOOLBOX WAVELET و دستورات مربوط به تجزیه و بازسازی سیگنال در نرم افزار MATLAB بررسی شده اند. در فصل چهارم مطالعات عددی انجام شده و در آن رکوردهای مختلف زلزله مانند السنترو، طیس و بم به سازه های متفاوت اعمال شده است و زمان و نتایج آنالیز سازه ها در برابر زلزله اصلی و مولفه های آن با یکدیگر مقایسه شده اند. همچنین طیف شتاب زلزله در حالات مختلف به کمک نرم افزار SEISMOSIGNAL رسم شده است. در فصل پنجم نیز نتایج بررسی شده و پیشنهاداتی برای کارهای آتی ارائه شده است.

در این پایان نامه برای آنالیز دینامیکی سازه از نسخه 11.0.8 نرم افزار SAP و برای فیلتر کردن سیگنالهای مورد نظر از نسخه 7 نرم افزار MATLAB استفاده شده است. کامپیوتر مورد استفاده دارای ۲ GB RAM و ۷۳۰۰ intel E duo core ۲ cpu می باشد.

فصل دوم

آنالیز دینامیکی سازه ها

۱-۲ معادله حرکت سیستم یک درجه آزادی

یک سیستم یک درجه آزادی که شامل یک فنر و یک میراگر می باشد را مطابق شکل ۱-۲ در نظر می گیریم ، این سیستم شامل جسم صلبی به جرم m می باشد که تحت نیروی تابع زمان $p(t)$ قرار گرفته است .

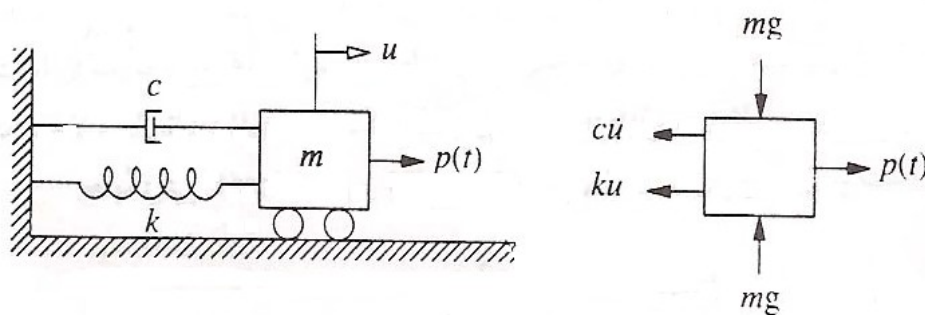
با این فرض که سیستم الاستیک خطی بوده و میراگر خطی لزج باشد ، نیروی میرایی و ارتجاعی فنر را همانطور که در شکل ۱-۲ نشان داده شده است می توان از رابطه زیر محاسبه نمود :

$$f_s = Ku \quad (1-2)$$

$$f_D = c\dot{u} \quad (2-2)$$

که K و C به ترتیب صلبیت سیستم و ضریب میرایی لزجی می باشد .

در این شکلها و روابط $\ddot{u}$ و $\dot{u}$ و u به ترتیب مصرف تغییر مکان ، سرعت و شتاب جرم می باشند .



شکل ۱-۲ سیستم یک درجه آزادی

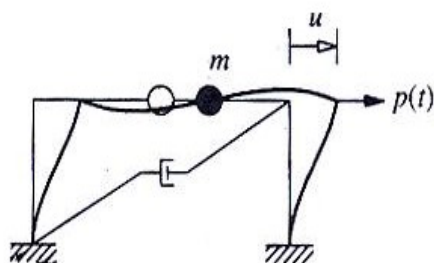
همانطور که در شکل ۱-۲ نشان داده شده است با نوشتن قانون دوم نیوتن داریم :

$$m\ddot{u} + c\dot{u} + Ku = p(t) \quad (3-2)$$

که این معادله در واقع معادله حرکت سیستم یک درجه آزادی تحت نیروی دینامیکی $p(t)$ می باشد، از آنجا که در سیستم غیر الاستیک نیروی f_s به تاریخچه تغییر شکل و صعودی یا نزولی (سرعت مثبت یا منفی) تغییر شکل بستگی دارد. رابطه ۲-۳ را می توان به صورت زیر بیان کرد:

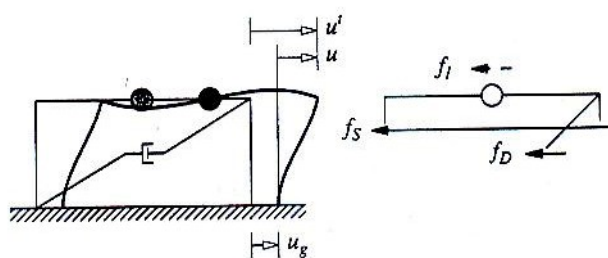
$$mu'' + cu' + f_s(u, u') = p(t) \quad (2-4)$$

یک قاب یک طبقه که فقط دارای جابه جایی جانبی است، مطابق شکل ۲-۲ نمونه ای از سیستم یک درجه آزادی می باشد که معادله حرکت آن مشابه رابطه (۲-۳) می باشد.



شکل ۲-۲ قاب یک درجه آزادی

اگر این قاب یک طبقه تحت حرکت پایه ها، مثلاً ناشی از زلزله قرار گیرد مطابق شکل ۲-۳ تغییر مکان زمین را با u_g ، تغییر مکان کل جرم را با u و تغییر مکان نسبی جرم نسبت به زمین را با u' نشان می دهیم



شکل ۲-۳ تحریک پایه های قاب

در این حالت داریم:

$$mu'' + cu' + ku = -mu_g''(t) \quad (2-5)$$

پس در واقع می توان گفت این سیستم تحت نیروی خارجی مؤثر زلزله به اندازه $p(t) = -m u_g^{\circ\circ}(t)$ قرار گرفته است .

۲-۲ حل معادله حرکت سیستم یک درجه آزادی

۲-۲-۱ ارتعاش آزاد سیستم یک درجه آزادی

حل معادله دیفرانسیل حرکتی سیستم یک درجه آزادی شامل دو قسمت حل خصوصی $u_p(t)$ و حل عمومی $u_c(t)$ می باشد . در بررسی حل عمومی معادله ، طرف ثانی معادله یعنی $p(t)$ برابر صفر فرض می شود و در نهایت با توجه به $p(t)$ حل خصوصی تعیین و با حل عمومی جمع می گردد تا حل معادله حرکت حاصل شود .

اگر سازه فاقد میرایی فرض شود حل عمومی معادله به صورت زیر خواهد بود [۱۰]

$$u_c(t) = u(\circ) \cos \omega_n t + \frac{u^{\circ}(\circ)}{\omega_n} \sin \omega_n t \quad (۶-۲)$$

که در آن $u(\circ)$ ، $u^{\circ}(\circ)$ مقدار تغییر شکل و سرعت در لحظه $t = \circ$ می باشند . ω_n نیز فرکانس زاویه ای می باشد که برابر است با :

$$\omega_n = \sqrt{\frac{K}{m}} \quad (۷-۲)$$

نسبت میرایی و ضریب میرایی بحرانی سازه ها به ترتیب با روابط ۲-۹ و ۲-۱۰ تعریف می شوند

$$\xi = \frac{c}{c_{cr}} \quad (۸-۲)$$

$$c_{cr} = 2m\omega_n \quad (۹-۲)$$

در سازه واقعی دارای میرایی در حالتیکه $C \geq C_{cr}$ باشد یعنی میرایی سازه مساوی یا بزرگتر از میرایی بحرانی باشد ، سیستم بدون ارتعاش به وضعیت تعادل استاتیکی خود بر می گردد و در حالتیکه $C < C_{cr}$ باشد ، حل عمومی معادله دیفرانسیل حرکت به صورت زیر خواهد بود [۱۰]

$$u(t) = e^{-\xi \omega t} [u(0) \cos \omega_D t + (\frac{u'(0) + \xi \omega_n u(0)}{\omega_D}) \sin \omega_D t] \quad (10-2)$$

که در آن :

$$\omega_D = \omega_n \sqrt{1 - \xi^2} \quad (11-2)$$

۲-۲-۲ حل خصوصی معادله دیفرانسیل حرکت

در بررسی حل خصوصی معادله حرکت حالات مختلف نیروی $p(t)$ بررسی می شود ، اگر این نیرو به

صورت هارمونیک $p(t) = p_0 \sin \omega t$ باشد ، پاسخ خصوصی سازه یک درجه آزادی در دو حالت نامیرا

و میرا مطابق معادلات (۱۲-۲) و (۱۳-۲) خواهد بود [۱۰]

$$u(t) = \frac{p_0}{k} \frac{1}{1 - (\omega/\omega_n)^2} \sin \omega t \quad (12-2)$$

$$u_p(t) = A \sin \omega t + B \cos \omega t \quad (13-2)$$

$$A = \frac{p_0}{k} \frac{1 - (\omega/\omega_n)^2}{[1 - (\omega/\omega_n)^2]^2 + [2\xi\omega/\omega_n]^2} \quad (14-2)$$

$$B = \frac{p_0}{k} \frac{-2\xi\omega/\omega_n}{[1 - (\omega/\omega_n)^2]^2 + [2\xi\omega/\omega_n]^2} \quad (15-2)$$

چنانچه بار دینامیکی $p(t)$ تابعی متناوب با زمان متناوب T_0 باشد به کمک بسط فوری می توان آنرا

به مؤلفه های هارمونیک تجزیه کرد :

$$p(t) = a_0 + \sum_{i=1}^{\infty} a_i \cos(i\omega_0 t) + \sum_{i=1}^{\infty} b_i \sin(i\omega_0 t) \quad (16-2)$$

که در آن ω_0 فرکانس پایه بوده و برابر است با $\frac{2\pi}{T_0}$

پاسخ حالت ماندگار سیستم میرابه این نیروی متناوب، ترکیب پاسخ های مربوط به جملات جداگانه سری فوریه می باشد، بنابراین با توجه به اینکه پاسخ سازه را در برابر نیروهای هارمونیک می دانیم، پاسخ سازه در این حالت برابر است با [۱۰]

$$p(t) = \frac{a_0}{k} + \sum_{i=1}^n \frac{1}{k} \frac{1}{(1-\beta_i)^2 + (2\xi\beta_i)^2} \{ [a_i(2\xi\beta_i) + b_i(1-\beta_i)^2] \sin(i\omega_0 t) + [a_i(1-\beta_i)^2 - b_i(2\xi\beta_i)] \cos(i\omega_0 t) \} \quad (17-2)$$

از آنجا که هر نیروی دلخواه $p(t)$ را می توان به صورت مجموعه ای از ضربه های بی نهایت کوتاه متوالی در نظر گرفت . ابتدا پاسخ سازه در برابر نیروی ضربه ای بررسی می شود .

نیروی ضربه ای واحد نیرویی است که در زمان بسیار کوتاه محدود اثر می کند و سطح زیر نمودار بار- زمان ، یعنی انتگرال $p(t)$ نسبت به زمان مساوی واحد است .

طبق قانون دوم نیوتن داریم :

$$p = m \ddot{u} \quad (18-2)$$

با انتگرال گیری از هر دو طرف نسبت به زمان داریم :

$$\int_{t_1}^t p dt = m(\dot{u}_2 - \dot{u}_1) = m \Delta \dot{u} \quad (19-2)$$

اگر ضربه واحد در لحظه $t = \tau$ به سازه یک درجه آزادی اثر کند فنر فرصتی برای پاسخ ندارد و سرعت و تغییر مکان برابر است با :

$$\dot{u}(\tau) = \frac{1}{m} \mathcal{A}(\tau) = 0 \quad (20-2)$$

بنابراین پاسخ سازه در دو حالت میرا و نامیرا به ترتیب مطابق روابط ۲۱-۲ و ۲۲-۲ خواهد بود

$$u(t) = h(t - \tau) = \frac{1}{m \omega_n} \sin[\omega_n(t - \tau)] \quad t \geq \tau \quad (21-2)$$

$$u(t) = h(t - \tau) = \frac{1}{m \omega_D} e^{-\xi \omega_n(t-\tau)} \sin[\omega_D(t - \tau)] \quad t \geq \tau \quad (22-2)$$

حال یک نیروی دلخواه $p(t)$ را می توان به صورت مجموعه ای از ضربه های بی نهایت کوتاه متوالی در نظر گرفت . در این حالت پاسخ سازه در حالت میرا و نامیرا به ترتیب از روابط زیر حاصل می شوند

[۱۰]

$$u(t) = \frac{1}{m \omega_D} \int_0^t p(\tau) e^{-\xi \omega_n (t-\tau)} \sin[\omega_D (t-\tau)] d\tau \quad (23-2)$$

$$u(t) = \frac{1}{m \omega_n} \int_0^t p(\tau) \sin[\omega_n (t-\tau)] d\tau \quad (24-2)$$

این روابط مربوط به شرایط $u(0) = \dot{u}(0) = 0$ می باشند در غیر این صورت باید پاسخ ارتعاش آزاد مربوطه باید به این روابط اضافه شوند .

این روابط به انتگرال های دوهامل معروفند و در حالت نیروی کلی $p(\tau)$ نیز قابل استفاده هستند، اما چنانچه این نیرو تابعی پیچیده باشد باید مقدار انتگرال را به کمک روشهای عددی محاسبه کرد

۳-۲ حل عددی انتگرال دوهامل

۳-۲-۱ سیستم نامیرا

وقتی نیروی وارد بر سازه به صورت عددی در دسترس باشد باید انتگرال دوهامل را به روش عددی محاسبه نمود ، برای این کار با بسط مثلثاتی عبارات $\sin \omega(t-\tau)$ و شرایط اولیه سکون داریم [۱۱]

$$u(t) = \frac{\sin \omega t}{m \omega_n} \int_0^t p(\tau) \cos \omega \tau d\tau - \frac{\cos \omega t}{m \omega} \int_0^t p(\tau) \sin \omega \tau d\tau \quad (25-2)$$

یا

$$u(t) = \{ A(t) \sin \omega t - B(t) \cos \omega t \} \quad (26-2)$$

که در آن :

$$A(t) = \frac{1}{m \omega} \int_0^t p(\tau) \cos \omega \tau d\tau = \frac{1}{m \omega} \int_0^t I(t) dt \quad (27-2)$$

$$B(t) = \frac{1}{m \omega} \int_0^t p(\tau) \sin \omega \tau d\tau \quad (28-2)$$

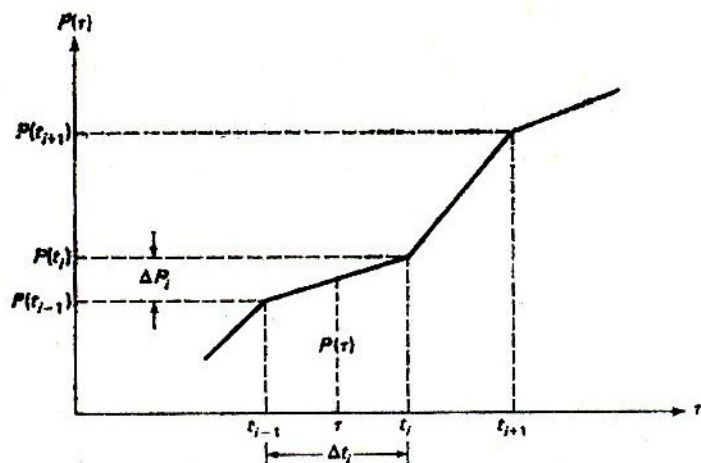
بنابراین حل انتگرال دوهامل به محاسبه عددی $A(t)$ و $B(t)$ نیاز دارد .

با فرض $\Delta \tau$ های برابر، مقدار $A(t)$ در روشهای ذوزنقه ای و سمیپون مطابق روابط ۲-۲۹ و ۲-۳۰ خواهد بود [۱۱]

$$A(t) = \frac{\Delta \tau}{m \omega} \frac{1}{2} (I_0 + 2I_1 + 2I_2 + \dots + 2I_{n-1} + I_n) \quad (2-29)$$

$$A(t) = \frac{\Delta \tau}{m \omega} \frac{1}{3} (I_0 + 4I_1 + 2I_2 + \dots + 4I_{n-1} + I_n) \quad (2-30)$$

مقدار $B(t)$ نیز به طریق مشابه با در نظر گرفتن $I(t) = p(t) \sin \omega t$ قابل محاسبه خواهد بود .
به جای استفاده از روابط فوق می توان نیروی دینامیکی $p(t)$ را به اجزاء کوچکی در فواصل زمانی Δt تقسیم کرد و در این فواصل تغییرات $p(t)$ را خطی در نظر گرفت ، در این روش هر چقدر اندازه Δt ها کوچکتر باشد ، دقت روش بیشتر خواهد بود .



شکل ۲-۴ تغییرات خطی بار دینامیکی در فاصله های زمانی کوچک

اگر مجدداً رابطه مربوط به انتگرال دوهامل را به صورت زیر بنویسیم، داریم [۱۱]

$$u(t) = \{c(t) \sin \omega t - d(t) \cos \omega t\} / m \omega \quad (2-31)$$

که در آن

$$C(t) = \int_0^t p(\tau) \cos \omega \tau d\tau \quad (32-2)$$

$$D(t) = \int_0^t p(\tau) \sin \omega \tau d\tau \quad (33-2)$$

آنگاه می توان عبارت فوق را در لحظه t_i به صورت زیر بنویسیم :

$$C(t_i) = C(t_{i-1}) + \int_{t_{i-1}}^{t_i} p(\tau) \cos \omega \tau d\tau \quad (34-2)$$

$$D(t_i) = D(t_{i-1}) + \int_{t_{i-1}}^{t_i} p(\tau) \sin \omega \tau d\tau \quad (35-2)$$

با توجه به شکل ۲-۴ نیروی $p(\tau)$ را می توان به صورت زیر نوشت

$$p(t) = p(t_{i-1}) + \frac{\Delta p_i}{\Delta t_i}(\tau - t_{i-1}) \quad t_{i-1} \leq \tau \leq t \quad (36-2)$$

با جایگزین کردن معادله ۲-۳۶ و با محاسبه $C(t_i)$ و $D(t_i)$ مطابق روابط ۲-۳۵ می توان مقدار

رابطه ۲-۳۱ را در لحظه (t_i) محاسبه نمود [۱۱]

$$C(t_i) = C(t_{i-1}) + [p(t_{i-1}) - t_{i-1} \frac{\Delta p_i}{\Delta t_i}](\sin \omega t_i - \sin \omega t_{i-1}) / \omega + \quad (37-2)$$

$$\frac{\Delta p_i}{\omega^2 \Delta t_i} [\cos \omega t_i - \cos \omega t_{i-1} + \omega (t_i \sin \omega t_i - t_{i-1} \sin \omega t_{i-1})]$$

$$D(t_i) = D(t_{i-1}) + [p(t_{i-1}) - t_{i-1} \frac{\Delta p_i}{\Delta t_i}](\cos \omega t_i - \cos \omega t_{i-1}) / \omega + \quad (38-2)$$

$$\frac{\Delta p_i}{\omega^2 \Delta t_i} [\sin \omega t_i - \sin \omega t_{i-1} + \omega (t_i \cos \omega t_i - t_{i-1} \cos \omega t_{i-1})]$$

۲-۳-۲ سیستم میرا

پاسخ سازه میرایی یک درجه آزادی در برابر نیروی $p(t)$ به کمک انتگرال دوهامل مطابق رابطه ۲-۲۳

محاسبه می شود ، این رابطه را می توان به صورت زیر نوشت [۱۱]

$$u(t) = \{A_D(t) \sin \omega_D t - B_D(t) \cos \omega_D t\} \frac{e^{-\xi \omega t}}{m \omega_D} \quad (39-2)$$

و مانند حالت میرایی می توانیم بنویسیم :

$$A_D(t_i) = A_D(t_{i-1}) + \int_{t_{i-1}}^{t_i} p(\tau) e^{\xi \omega \tau} \cos \omega_D \tau d\tau \quad (40-2)$$

$$B_D(t_i) = B_D(t_{i-1}) + \int_{t_{i-1}}^{t_i} p(\tau) e^{\xi \omega \tau} \sin \omega_D \tau d\tau \quad (41-2)$$

۴-۲ معادلات غیر خطی حرکت

روشهای عددی آنالیز سازه های خطی چون مبتنی بر اصل جمع آثار قوا می باشند ، در سازه های غیر خطی قابل استفاده نیستند .

در چنین سازه هایی نیروی دینامیکی وارد بر سازه به فواصل کوچکی تقسیم می شود و در این فواصل خواص سازه ثابت فرض می شود و پاسخ سازه در این فواصل با حل معادلات تعادل دینامیکی، در این بازه های زمانی محاسبه می شود و غیر خطی بودن سازه در ابتدای هر گام در محاسبات وارد می شود ، به این صورت که سرعت و تغییر مکان در انتهای هر گام محاسبه می شود و به عنوان شرایط اولیه در گام بعدی در نظر گرفته می شوند .

در واقع تحلیل دینامیکی غیر خطی با انتگرالگیری قدم به قدم معادله حرکت انجام می شود که مستقل از اصل جمع آثار قوا می باشد .

در محاسبه این پاسخ گام به گام روشهایی مانند روش شتاب ثابت و شتاب خطی وجود دارند که روش اول دقت کمتری دارد .

به منظور بررسی این دو روش ابتدا معادلات جزئی تعادل را بررسی می کنیم .

۴-۲-۱ معادلات جزئی تعادل

در دستگاه یک درجه آزادی معادله حرکت در لحظه t_i به صورت زیر است

$$f_I(t_i) + f_D(t_i) + f_s(t_i) = p(t_i) \quad (42-2)$$

بعد از گذشت زمان Δt_i داریم :

$$f_I(t_i + \Delta t) + f_D(t_i + \Delta t) + f_S(t_i + \Delta t) = p(t_i + \Delta t) \quad (43-2)$$

با تفاضل رابطه ۴۲-۲ از ۴۳-۲ معادله حرکت در بازه Δt به شرح ذیل خواهد بود :

$$\Delta f_I + \Delta f_D + \Delta f_S = \Delta p_i \quad (44-2)$$

نیروی میرایی و نیروی فنر را به ترتیب تابعی از سرعت و تغییر مکان در نظر می گیریم ، بنابراین:

$$\begin{cases} \Delta f_I = m \Delta u^{\infty}_i \\ \Delta f_D = C_i \Delta u^{\circ}_i \\ \Delta f_S = K_i \Delta u_i \end{cases} \quad (45-2)$$

K_i و C_i به ترتیب شیب منحنی نیروی فنر - تغییر شکل و منحنی میرایی- سرعت در لحظه

t_i می باشد و فرض می شود که در فاصله تا Δt ثابت باشد ، بنابراین :

$$K_i = \left(\frac{df_S}{du} \right)_{u=u_i} \quad (46-2)$$

$$C_i = \left(\frac{df_D}{du} \right)_{u=u_i} \quad (47-2)$$

با جایگزینی روابط ۴۵-۲ در روابط ۴۴-۲ معادله جزئی تعادل در فاصله زمانی Δt حاصل می شود

$$m u^{\infty}_i + c_i \Delta u^{\circ}_i + k_i \Delta u_i = \Delta p_i \quad (48-2)$$

در این رابطه جرم ثابت فرض شده و دقت این روش بستگی به کوچکی Δt دارد . در روش گام به

گام با شتاب ثابت در فاصله زمانی t_i تا t_{i+1} شتاب دستگاه ثابت در نظر گرفته می شود و در روش

شتاب خطی، تغییرات شتاب در فاصله زمانی Δt به صورت خطی در نظر گرفته می شود که اکنون به

بررسی این روش می پردازیم .

۲-۴-۲ روش انتگرالگیری گام به گام با فرض شتاب خطی

در این روش در بازه زمانهای t_i و $t_{i+1} = t_i + \Delta t$ تغییرات شتاب به صورت خطی فرض

می شود ، بنابراین معادله شتاب را می توان به صورت زیر نوشت :

$$u^{\circ\circ}(t) = u_i^{\circ\circ} + \frac{\Delta u_i^{\circ\circ}}{\Delta t}(t - t_i) \quad (49-2)$$

که در آن :

$$\Delta u_i^{\circ\circ} = u^{\circ\circ}(t_i + \Delta t) - u^{\circ\circ}(t_i) \quad (50-2)$$

با دو بار انتگرالگیری از رابطه ۴۹-۲ و اعمال شرایط اولیه یعنی سرعت و تغییر مکان در لحظه $t = t_i$

خواهیم داشت [۱۱]:

$$u^{\circ}(t) = u_i^{\circ} + u_i^{\circ\circ}(t - t_i) + \frac{1}{2} \frac{\Delta u_i^{\circ\circ}}{\Delta t}(t - t_i)^2 \quad (51-2)$$

$$u(t) = u_i + u_i^{\circ}(t - t_i) + \frac{1}{2} u_i^{\circ\circ}(t - t_i)^2 + \frac{1}{6} \frac{\Delta u_i^{\circ\circ}}{\Delta t}(t - t_i)^3 \quad (52-2)$$

با استفاده از روابط ۵۱-۲ و ۵۲-۲ و با محاسبه مقادیر سرعت و تغییر مکان در زمان $t = t_i + \Delta t$

اختلاف در سرعت و تغییر مکان مطابق روابط زیر خواهد بود [۱۱]

$$\Delta u_i^{\circ} = u_i^{\circ\circ} \Delta t + \frac{1}{2} \Delta u_i^{\circ\circ} \Delta t \quad (53-2)$$

$$\Delta u_i = u_i^{\circ} \Delta t + \frac{1}{2} u_i^{\circ\circ} \Delta t^2 + \frac{1}{6} \Delta u_i^{\circ\circ} \Delta t^2 \quad (54-2)$$

با به دست آوردن $\Delta u_i^{\circ\circ}$ از رابطه ۵۴-۲ و قراردادن آن در معادله ۵۳-۲ خواهیم داشت [۱۱]

$$\Delta u_i^{\circ\circ} = \frac{6}{\Delta t^2} \Delta u_i - \frac{6}{\Delta t} u_i^{\circ} - 3u_i^{\circ\circ} \quad (55-2)$$

$$\Delta u_i^{\circ} = \frac{3}{\Delta t} \Delta u_i - 3u_i^{\circ} - \frac{\Delta t}{2} u_i^{\circ\circ} \quad (56-2)$$

با قرار دادن این روابط در معادله جزئی حرکت خواهیم داشت :

$$m \left\{ \frac{6}{\Delta t^2} - \frac{6}{\Delta t} u_i^{\circ} - 3u_i^{\circ\circ} \right\} + C_i \left\{ \frac{3}{\Delta t} \Delta u_i - 3u_i^{\circ} - \frac{\Delta t}{2} u_i^{\circ\circ} \right\} + K_i \Delta u_i = \Delta p_i \quad (57-2)$$

اگر این رابطه را بر حسب Δu_i مرتب کنیم داریم [۱۱]

$$\overline{K}_i \Delta u_i = \overline{\Delta P}_i \quad (58-2)$$

$$\overline{K}_i = K_i + \frac{6m}{\Delta t^2} + \frac{3C_i}{\Delta t} \quad (59-2)$$

$$\overline{\Delta P}_i = \Delta p_i + m \left(\frac{6}{\Delta t} u_i^{\circ} + 3u_i^{\circ\circ} \right) + C_i \left(3u_i^{\circ} + \frac{\Delta t}{2} u_i^{\circ\circ} \right) \quad (60-2)$$

بنابراین مقدار جزئی جابجایی Δu_i را می توان از تقسیم نیروی جزئی $\overline{\Delta P_i}$ بر سختی معادل $\overline{K_i}$ بدست آورد یعنی :

$$\Delta u_i^\circ = \frac{\overline{\Delta P_i}}{\overline{K_i}} \quad (۶۱-۲)$$

مقدار تغییر مکان در لحظه t_{i+1} از رابطه زیر تعیین می شود :

$$u_{i+1} = u_i + \Delta u_i \quad (۶۲-۲)$$

با محاسبه Δu_i° از رابطه ۵۶-۲ می توان سرعت را در لحظه t_{i+1} بدست آورد :

$$u_{i+1}^\circ + 1 = u_i^\circ + \Delta u_i^\circ \quad (۶۳-۲)$$

و نهایتاً شتاب $u_{i+1}^{\circ\circ}$ با نوشتن معادله حرکت حاصل می شود :

$$u_{i+1}^{\circ\circ} + 1 = \frac{1}{m} \{ p(t_{i+1}) - C_{i+1} u_{i+1} - K_{i+1} u_{i+1} \} \quad (۶۴-۲)$$

پس از محاسبه سرعت ، شتاب و جابجایی در لحظه $t_{i+1} = t_i + \Delta t$ این عملیات به طور متوالی ادامه می یابند .

در این روش دو تقریب ناشی از خطی فرض کردن شتاب در فاصله Δt و ثابت فرض کردن ضرایب سختی و میرایی در این بازه زمانی ، وارد می شود که با کوچک نمودن Δt این خطاها کاهش می یابند .

در انتخاب بازه زمانی Δt به مواردی همچون زمان تناوب سازه ، شدت تغییرات بار و پیچیدگی تغییرات تابع سختی و میرایی باید دقت نمود .

در حالت کلی دیده شده است که اگر این زمان بیش از یک دهم پریود طبیعی سازه نباشد، جوابها دقت مناسبی دارند ، همچنین این زمان باید به اندازه کافی کوچک باشد تا بتواند تغییرات بار را به

خوبی نشان دهد ، ضمناً هنگامیکه سختی از حالات خطی به خمیری تغییر می یابد فواصل زمانی را کوتاه تر انتخاب نمود تا محاسبات دارای دقت لازم باشد .

۲-۵ سیستم های چند درجه آزادی

۲-۵-۱ معادله حرکت سیستم های چند درجه آزادی

در سیستم N درجه آزادی برای هر یک از درجات آزادی می توان معادله تعادل دینامیکی را نوشت ، یعنی :

$$\begin{array}{ll} i = 1 & f_{I1} + f_{D1} + f_{S1} = p_1(t) \\ i = 2 & f_{I2} + f_{D2} + f_{S2} = p_2(t) \\ \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot \\ i = n & f_{IN} + f_{DN} + f_{SN} = p_N(t) \end{array} \quad (2-65)$$

که این روابط را می توان به شکل ماتریسی زیر نشان داد :

$$\{f_I\} + \{f_D\} + \{f_S\} = \{p(t)\} \quad (2-66)$$

در رابطه ۲-۶۵ مؤلفه نیروی ارتجاعی در گره i یعنی f_{Si} از رابطه زیر محاسبه می شود :

$$f_{Si} = k_{i1}u_1 + k_{i2}u_2 + \dots + k_{ij}u_j + \dots + k_{iN}u_N \quad (2-67)$$

که در این رابطه k_{ij} ضریب سختی نامیده می شود و نیروی متناظر با درجه آزادی i می باشد، وقتی در درجه آزادی j تغییر مکان واحد ایجاد شده و سایر درجات آزادی تغییر مکان صفر دارند ، رابطه فوق را می توان برای همه گره ها نوشته و آنرا به شکل ماتریسی نشان داد :

$$\left\{ \begin{matrix} f_{s1} \\ f_{s2} \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ f_{sN} \end{matrix} \right\} = \left[\begin{matrix} k_{11} & k_{12} & \dots & k_{1N} \\ k_{21} & k_{22} & \dots & k_{2N} \\ & & & \\ & & & \\ & & & \\ k_{N1} & k_{N2} & \dots & k_{NN} \end{matrix} \right] \left\{ \begin{matrix} u_1 \\ u_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ u_n \end{matrix} \right\} \quad (۶۸-۲)$$

و یا :

$$\{f_s\} = [k]\{u\} \quad (۶۹-۲)$$

ماتریس $[k]$ ماتریس سختی سازه نامیده می شود .

به همین نحو بردار نیروی میرایی را می توان به صورت زیر نشان داد :

$$\left\{ \begin{matrix} f_{D1} \\ f_{D2} \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ f_{DN} \end{matrix} \right\} = \left[\begin{matrix} c_{11} & c_{12} & \dots & c_{1N} \\ c_{21} & c_{22} & \dots & c_{2N} \\ & & & \\ & & & \\ & & & \\ c_{N1} & c_{N2} & \dots & c_{NN} \end{matrix} \right] \left\{ \begin{matrix} u_1^\circ \\ u_2^\circ \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ u_N^\circ \end{matrix} \right\} \quad (۷۰-۲)$$

ضریب میرایی c_{ij} نیروی متناظر با درجه آزادی i به ازاء سرعت واحد در درجه آزادی j

می باشد، زمانی که سرعت در سایر درجات آزادی صفر باشد .

به طور. مشابه بردار نیروی اینرسی را می توان به صورت زیر بیان نمود :

$$\left\{ \begin{matrix} f_{I1} \\ f_{I2} \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ f_{IN} \end{matrix} \right\} = \left[\begin{matrix} m_{11} & m_{12} & \dots & m_{1N} \\ m_{21} & m_{22} & \dots & m_{2N} \\ & & & \\ & & & \\ & & & \\ m_{N1} & m_{N2} & \dots & m_{NN} \end{matrix} \right] \left\{ \begin{matrix} u_1^{\circ\circ} \\ u_2^{\circ\circ} \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ u_N^{\circ\circ} \end{matrix} \right\} \quad (۷۱-۲)$$

که در آن ضریب جرم m_{ij} نیروی ایجاد شده در درجه آزادی i به ازای شتاب واحد در درجه آزادی j می باشد ، زمانیکه شتاب در سایر درجات آزادی صفر باشد .

با ترکیب معادلات فوق می توان معادله حرکت یک سیستم N درجه آزادی را به صورت زیر نشان داد

$$[m]\{\ddot{u}\} + [c]\{\dot{u}\} + k\{u\} = \{p(t)\} \quad (72-2)$$

به منظور بررسی حل معادله فوق ابتدا معادله ارتعاش آزاد سیستم چند درجه آزادی بدون میرایی بررسی می شود که مطابق معادله ۷۳-۲ می باشد

$$[m]\{\ddot{u}\} + [k]\{u\} = \{0\} \quad (73-2)$$

جواب این معادله به صورت هارمونیک زیر فرض می شود :

$$\{u\} = \{a\} \cos(\omega t - \alpha) \quad (74-2)$$

با قرار دادن معادله ۷۴-۲ در ۷۳-۲ خواهیم داشت [۱۱]

$$[[k] - \omega^2 [m]]\{a\} = \{0\} \quad (75-2)$$

جواب غیر بدیهی وقتی حاصل می شود که دترمینان ماتریس سمت چپ صفر باشد یعنی :

$$|[k] - \omega^2 [m]| = 0 \quad (76-2)$$

از حل این معادله N مقدار برای ω حاصل می شود که مقادیر مشخصه معادله می باشند ، با قرار

دادن هر یک از ω_i ها در معادله ۷۵-۲ بردار مشخصه مربوط حاصل می شود که برابر است با :

$$\{a\}_i = \left\{ \begin{matrix} a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_N \end{matrix} \right\}_i \quad i=1,2,\dots,N \quad (77-2)$$

بردار مشخصه $\{a\}_i$ را مود طبیعی می نامیم . رابطه بردار مشخصه و مقیاس شده (Φ) به صورت زیر می باشد

اگر یکی از اعضاء بردار مشخصه ، تعیین گردد ، سایر اعضاء با توجه به نسبت بین اعضاء تعیین می گردد و بدین ترتیب می توان شکل نسبی مدها را تعیین کرد ، بردار حاصله را بردار مقیاس شده می نامیم . رابطه بردار مشخصه و مقیاس شده (Φ) به صورت زیر می باشد

$$\{a\}_i = c_i \{\phi\}_i \quad (78-2)$$

در مقیاس کردن بردار $\{a\}_i$ می توان به گونه ای عمل کرد که حداکثر عضو آن یک باشد یا عضوی خاص از آن یک باشد یا جرم مقیاس شده $M_i = \{\phi\}_i^T [m] \{\phi\}_i$ برابر واحد شود که در حالت اخیر سختی مقیاس شده k_i به طریق زیر حساب می شود :

$$K_i = \{\phi_i\}^T [k] \{\phi_i\} \quad (79-2)$$

حال اگر معادله ۷۵-۲ در مورد i در نظر گرفته شده و در $\{\phi_i\}^T$ پیش ضرب شود داریم :

$$(\{\phi_i\}^T [k] \{\phi_i\}) = \omega_i^2 ((\{\phi_i\}^T [k] \{\phi_i\})) \quad (80-2)$$

بنابراین :

$$\omega_i^2 = \frac{k_i}{m_i} \quad (81-2)$$

مودهای طبیعی سازه نسبت به ماتریس جرم و سختی متعامدند. یعنی [۱۱]

$$\{\phi_i\}_i^T [m] \{\phi\}_i = 0 \quad \omega_i \neq \omega_j \quad (82-2)$$

$$\{\phi_i\}_i^T [k] \{\phi\} = 0 \quad \omega_i \neq \omega_j \quad (83-2)$$

ماتریس مودال از کنار هم قرار دادن موده‌های مختلف یک سیستم به صورت ستونی در یک ماتریس حاصل می‌شود یعنی :

$$[\Phi] = \{\{\phi\}_1, \{\phi\}_2, \dots, \{\phi\}_N\} = 0 \quad (84-2)$$

ماتریس مودال جرم و سختی از روابط زیر تعریف می‌شوند :

$$[M] = [\Phi]^T [m] [\Phi] \quad (85-2)$$

$$[K] = [\Phi]^T [k] [\Phi] \quad (86-2)$$

به منظور حل معادله حرکت کلی سیستم N درجه آزادی ابتدا از رابطه زیر توابع‌های طبیعی و مورهای مربوطه حساب می‌شوند :

$$([k] - \omega_i^2 [m]) \{\phi\}_i = 0 \quad (87-2)$$

سپس موده‌های حاصل را در یک مجموعه صورت ماتریس مودال $[\Phi]$ نشان می‌دهیم .

حال بردار تغییر مکان را به صورت حاصلضرب ماتریس مودال و بردار دیگری به نام بردار مشخصات نرمال $\{y\}$ می‌نویسیم [۱۱]

$$\{u(t)\} = [\phi] \{y(t)\} = \sum_{i=1}^N \{\phi\}_i y_i(t) \quad (88-2)$$

اگر رابطه ۸۸-۲ را در معادله ۷۲-۲ قرار داده و آنرا در ماتریس $[\phi]^T$ ضرب کنیم معادله ۷۲-۲ در مختصات نرمال مطابق رابطه ۸۹-۲ حاصل می‌شود :

$$[m] \ddot{y} + [c] \dot{y} + [k] y = \{p(t)\} \quad (89-2)$$

که در این رابطه ماتریس مودال جرم و میرایی با روابط ۸۵-۲ و ۸۶-۲ و سختی و بردار نیرو مطابق روابط زیر حاصل می‌شوند

$$[C] = [\Phi]^T [c] [\Phi] \quad (90-2)$$

$$[P(t)] = [\Phi]^T [p(t)] \quad (91-2)$$

با توجه به خاصیت تعامد مودها نسبت به ماتریس جرم و سختی ، ماتریسهای $[M]$ و $[k]$ به صورت قطری می باشد .

به منظور تعیین $\{y(t)\}$ شرایط اولیه طبق رابطه ۸۸-۲ در نظر می شوند :

$$\begin{cases} \{u(\circ)\} = [\Phi] \{y(\circ)\} \\ \{u^\circ(\circ)\} = [\Phi] \{y^\circ(\circ)\} \end{cases} \quad (92-2)$$

اگر روابط فوق در عبارت $[\Phi]^T [m]$ ضرب شوند داریم :

$$\begin{cases} [\Phi]^T [m] \{u(\circ)\} = [M] \{y(\circ)\} \\ [\Phi]^T [m] \{u^\circ(\circ)\} = [M] \{y^\circ(\circ)\} \end{cases} \quad (93-2)$$

بنابر مختصات نرمال در لحظه صفراز روابط زیر حاصل می شوند [۱۱]

$$\begin{cases} y_i(\circ) = \left(\frac{1}{M_i}\right) \{\phi\}_i^T [m] \{u(\circ)\} \\ y_i^\circ(\circ) = \left(\frac{1}{M_i}\right) \{\phi\}_i^T [m] \{u^\circ(\circ)\} \end{cases} \quad i=1,2,\dots,N \quad (94-2)$$

۲-۵-۲ ترکیب مودها در سازه های چند درجه ای آزادی بدون میرایی

در صورتی که از میرایی سازه صرف نظر شود با توجه به خاصیت تعامد مود هانسبت به ماتریس جرم

و سختی معادله حرکت به N معادله مستقل غیروابسته تبدیل می شود

$$M_i \ddot{y}_i + K_i y_i = p_i(t) \quad (95-2)$$

جواب کامل معادله فوق شامل جواب ناشی از شرایط اولیه ۹۲-۲ و جواب دینامیکی ناشی از نیروی

خارجی مودال $p_i(t)$ است که می توان آنرا به روشهای مختلفی مانند انتگرال دوهمال محاسبه نمود

$$y_i(t) = y_i(\circ) \cos \omega_i t + \frac{1}{\omega_i} y_i^\circ(\circ) \sin \omega_i t + \frac{1}{M_i \omega_i} \int_0^t p_i(\tau) \sin \omega_i(t-\tau) d\tau \quad (96-2)$$

بعد از تعیین $y_i(t)$ به تعداد N بار ، پاسخ سازه از رابطه ۲-۸۸ محاسبه می شود .

۲-۵-۳ ترکیب مودها در سازه های چند درجه آزادی با میرایی

در صورتیکه ماتریس میرایی به گونه ای باشد که خاصیت تعامد مودها نسبت به ماتریس میرایی برقرار باشد مانند حالت قبل معادله حرکت به N معادله دیفرانسیل مستقل تبدیل می شود، در غیر این صورت اثر میرایی باعث پیچیدگی و اختلاط معادلات دیفرانسیل می شود و این معادلات عملاً به یکدیگر وابسته می شود ، در صورتیکه فرض کنیم این خاصیت تعامد برقرار است و با فرض

$$\{u\} = [\phi]\{y\} \quad \text{معادله کلی حرکت بعد از پیش ضرب در } \{\phi_i\}^T \text{ به صورت زیر خواهد بود [۱۱]}$$

$$[\phi]^T [m][\Phi]\{y^{\circ}\} + [\phi_i]^T [c][\Phi]\{y^{\circ}\} + \{\phi_i\}^T [k][\Phi]\{y\} = \{\phi_i\}^T \{p(t)\} \quad (۲-۹۷)$$

بنابراین :

$$M_i y_i^{\circ\circ} + C_i y_i^{\circ} + K_i y_i = p(t) \quad (۲-۹۸)$$

که اگر مودهای ارتعاشی طوری مقیاس شده باشد که $\{\phi_i\}^T [m]\{\phi_i\} = 1$ آنگاه داریم :

$$y_i^{\circ\circ} + 2\xi_i \omega_i y_i^{\circ} + \omega_i^2 y_i = p_i(t) \quad (۲-۹۹)$$

که حل معادله فوق به صورت زیر خواهد بود [۱۱]

$$y_i(t) = \frac{1}{\omega_{Di}} \int_0^t p_i(\tau) e^{-\xi_i \omega_i (t-\tau)} \sin \omega_{Di} (t-\tau) d\tau + y_i(0) e^{-\xi_i \omega_i t} \cos \omega_{Di} t + \quad (۲-۱۰۰)$$

$$\frac{1}{\omega_{Di}} \left[y_i^{\circ}(0) + \xi_i \omega_i y_i(0) \right] e^{-\xi_i \omega_i t} \sin \omega_{Di} t$$

که در آن :

$$\omega_{Di} = \omega_i \sqrt{1 - \xi_i^2} \quad (۲-۱۰۱)$$

با حل معادله ۲-۹۸ به ازاء $i=1,2,\dots,N$ ، مقادیر $y_i(t)$ حاصل می شوند که از روی آنها بردار $\{y\}$

و به کمک رابطه $\{u\} = [\phi]\{y\}$ تغییر مکان نقاط سازه یعنی $\{u(t)\}$ محاسبه می شود .

فصل سوم

تبدیل موجکی وفیلتر بانک ها

۳-۱ مقدمه

از آنجائیکه در این پایان نامه از واژه سیگنال بسیار استفاده می‌شود، ابتدا این واژه تعریف می‌شود. مفهوم سیگنال در حوزه‌های وسیعی از علوم نظیر مخابرات، لرزه نگاری، هوانوردی و ... کاربرد دارد. سیگنال‌ها توابعی از یک یا چند متغیر مستقل هستند و اطلاعاتی در مورد رفتار، یا طبیعت یک پدیده در بردارند، البته در بحث کنونی، سیگنال‌ها را تابعی از یک متغیر مستقل زمان در نظر گرفته می‌شود، پاسخ یک سیستم به یک سیگنال را نیز می‌توان یک سیگنال در نظر گرفت که سیگنال خروجی نامیده می‌شود. بعضی سیگنال‌ها به طور پیوسته با زمان تغییر می‌کنند که سیگنال‌های آنالوگ نامیده می‌شوند و در برخی دیگر که سیگنال زمان گسسته نامیده می‌شوند، مقدار سیگنال در زمانهای گسسته که لحظه‌های نمونه برداری خوانده می‌شوند، تعریف می‌شود.

به دلایل مختلف که برخی از آنها در ادامه ذکر خواهد شد، روی سیگنال اصلی اولیه یک سری تبدیلات انجام می‌شود تا اطلاعات مفیدی از سیگنال حاصل شود و حاصل کار سیگنال پردازش شده نامیده می‌شود، تبدیلات ریاضی بسیاری وجود دارند که روی یک سیگنال یا یک معادله انجام می‌شوند که برخی از دلایل استفاده از آنها به شرح زیر است:

تبدیل ممکن است اطلاعات نهفته که در سیگنال اولیه به طور واضح مشخص نیست را نمایان سازد، مانند تبدیل فوری که محتوای فرکانسی یک سیگنال را بیان می‌کند.

تبدیلات روی یک معادله دیفرانسیل ممکن است باعث شود یک معادله دیفرانسیل مشکل، به راحتی حل می‌شود (مانند تبدیل لاپلاس)

تبدیل شده یک تابع ممکن است به فضای ذخیره سازی کمتری احتیاج داشته باشد. (مانند عملیاتی که در پردازش تصویر انجام می‌شود و منجر به فشرده سازی اطلاعات می‌شود)

۳-۲ تبدیل فوریه

قبل از تعریف تبدیل فوریه ابتدا مفهوم فرکانس را بیان می کنیم .

فرکانس یک پدیده بیانگر نرخ تغییرات آن پدیده می باشد یعنی :

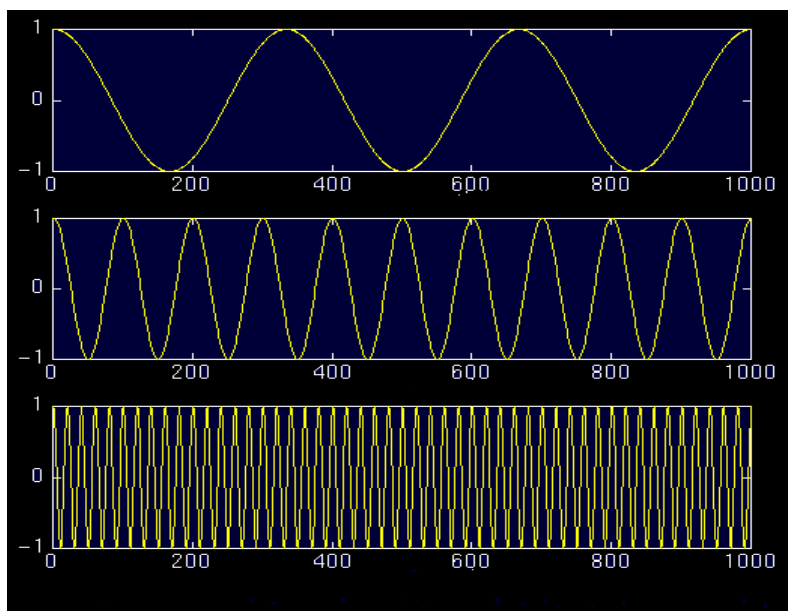
تغییرات سریع ← فرکانس زیاد

تغییرات کم ← فرکانس کم

متغیر در طول زمان ثابت است ← فرکانس صفر

فرکانس به صورت عکس پرپوند ($f = \frac{1}{T}$) تعریف می شود و واحد آن هرتز می باشد. در شکل

زیر سیگنال با فرکانسهای متفاوت دیده می شود [۲]



شکل (۳-۱) سه سیگنال با فرکانسهای متفاوت

هنگامیکه یک سیگنال را در حوزه زمان رسم می کنیم یک نمایش دامنه - زمان از سیگنال داده می شود، اما این طرز نمایش در کارهای پردازش سیگنال چندان مناسب به نظر نمی رسد زیرا در اکثر موارد اطلاعات مهم یک سیگنال در محتوای فرکانسی آن قرار دارد، به عنوان مثال منحنی

شتاب نگاشت زلزله برحسب زمان بوده و محتوای فرکانسی آن اطلاعات بهتری از موج زلزله در اختیار ما قرار می دهد .

تبدیل فوریه که اساس ریاضی آن به قرن ۱۹ و به کارهای جوزف فوریه بر می گردد یک ابزار ریاضی برای انتقال موج از حوزه زمان به حوزه فرکانس می باشد.

در واقع نمودار دامنه- فرکانس نشان می دهد که هر فرکانس به چه میزان در سیگنال وجود دارد. تبدیل فوریه یک موج را به امواج سینوسی تشکیل دهنده آن با فرکانسهای متفاوت تجزیه می کند.

از لحاظ ریاضی تبدیل فوریه (FT) مطابق معادله ۱-۳ و عکس تبدیل فوریه (IFT) مطابق معادله ۲-۳ تعریف می شوند:

$$X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) e^{-2\pi i f t} dt \quad (1-3)$$

$$x(t) = \int_{-\infty}^{\infty} X(f) e^{2\pi i f t} df \quad (2-3)$$

در معادلات بالا t زمان، f فرکانس، $x(t)$ سیگنال اصلی و $x(f)$ سیگنال در حوزه فرکانس میباشند و عبارت $e^{2\pi i f t}$ برابر است با :

$$e^{2\pi i f t} = \cos(2\pi f t) + i \sin(2\pi f t) \quad (3-3)$$

اگر حاصل این انتگرال مقداری بزرگ باشد، آنگاه فرکانس f یکی از فرکانسهای اصلی سیگنال $x(t)$ می باشد و اگر حاصل انتگرال کوچک شود، آنگاه فرکانس f جزء فرکانسهای اصلی سیگنال نبوده و مقدار سیگنال در این فرکانس کوچک می باشد و نهایتاً اگر حاصل انتگرال صفر شود یعنی سیگنال فاقد فرکانس f می باشد.

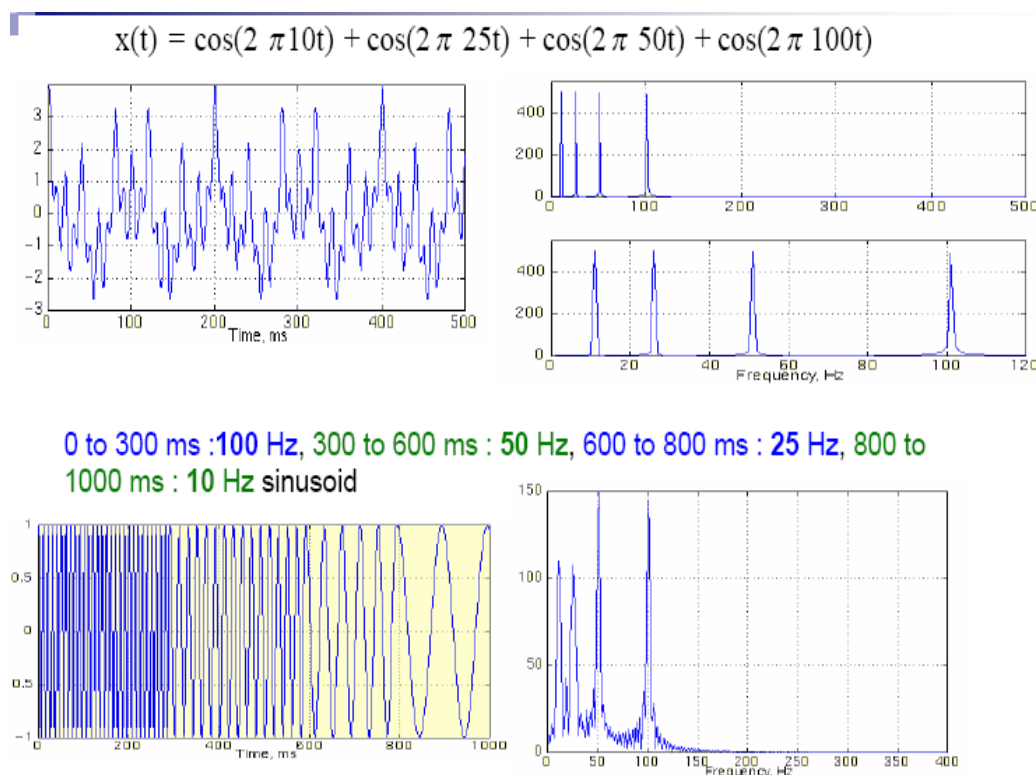
تبدیل فوریه یک تبدیل معکوس پذیر است و مطابق معادلات ۱-۳ و ۲-۳ می توان بین سیگنال ورودی و تبدیل فوریه آن رابطه برقرار نموده و با داشتن یکی، دیگری را بدست آورد.

تبدیل فوریه با تمام مزایایی که دارد یک نقطه ضعف اساسی دارد و این نقطه ضعف آن است که در تبدیل FT اطلاعات زمانی از بین می‌رود یعنی با این تبدیل فقط محتوای فرکانسی حاصل می‌شود، اما اینکه این فرکانسها در چه زمانی حادث شده اند مشخص نمی‌شود، به همین نحو در IFT اطلاعات فرکانسی وجود ندارد و تنها اطلاعات زمانی موجود می‌باشد، به عبارت دیگر رزولوشن زمانی در FT و رزولوشن فرکانسی در IFT صفر است.

در این خصوص می‌توان بین سیگنالهای ایستا (stationary) و غیر ایستا (nonstationary) تمایز قائل شد.

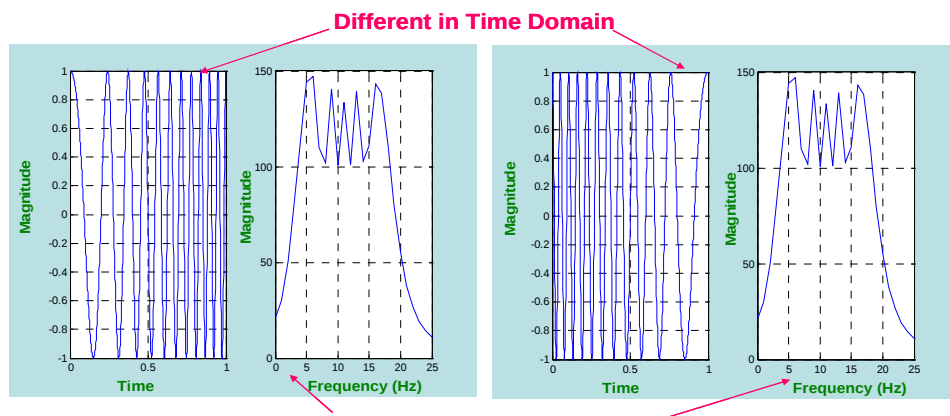
سیگنال ایستا (پایا) به سیگنالی اطلاق می‌شود که ویژگیهای آن در طول زمان تغییر نمی‌کند به عبارت دیگر حاوی فرکانسهایی است که در طول زمان تکرار می‌شوند، اما سیگنال غیر ایستا (ناپایا) در زمانهای مختلف فرکانسهای متفاوتی دارد.

در شکل‌های زیر دو سیگنال ایستا و غیر ایستا و تبدیل فوریه آنها دیده می‌شود.



شکل (۳-۲) دو سیگنال پایا و ناپایا و تبدیل فوریه آنها

همانطور که در شکل ۲-۳ مشاهده می شود هر چند نمایش زمان - دامنه این دو سیگنال کاملاً متفاوت است اما فرکانسهای غالب در هر دو یکی است و این دقیقاً نقطه ضعف FT است .
 به عنوان مثالی دیگر دو سیگنال زیر حاوی فرکانسهای یکسان اما در زمانهای متفاوت می باشند ولی تبدیل فوریه هر دو یکی است. [۲]



شکل (۳-۳) دوسیگنال متفاوت با تبدیل فوریه یکسان

علت این موضوع با توجه به رابطه ۱-۳ مشخص است ، این رابطه برای یک فرکانس مشخص f محاسبه شده و تفاوتی ندارد که این فرکانس در زمان t_1 یا t_2 یا هر زمان دیگری رخ دهد و در هر دو حالت FT یک مقدار معین می شود .

پس تبدیل فوریه هر چند بیانگر محتوای فرکانسی موج است اما اطلاعات زمانی را از بین می برد که البته این موضوع در سیگنالهای ایستا مشکلی ایجاد نمی کند ، اما در سیگنالهای غیر ایستا که فرکانسهای مختلف در زمانهای متفاوت رخ می دهند چندان مناسب نیست.

به طور خلاصه اگر هدف فقط بررسی محتوای فرکانسی یک سیگنال باشد یا سیگنال مورد بررسی سیگنال پایا باشد، تبدیل فوریه ابزار مفیدی خواهد بود.

۳-۳ تبدیل فوریه زمان کوتاه (STFT)

مشکل تبدیل فوریه این است که برای سیگنالهای غیر ایستا اطلاعات زمانی از بین می رود، برای جبران این نقیصه در روش STFT سیگنال به قطعات کوچکی تقسیم می شود که در هر قسمت سیگنال مورد نظر تقریباً ایستا می باشد، در واقع سیگنال از درون پنجره های زمانی که تابع پنجره نامیده می شوند، دیده می شود که در عرض هر پنجره سیگنال ایستا می باشد،

اکنون به شرح روش تبدیل STFT می پردازیم :

ابتدا تابع پنجره در شروع سیگنال یعنی در زمان $t=0$ قرار می گیرد ، اگر عرض پنجره T باشد در لحظه $t=0$ تابع پنجره $T/2$ ثانیه اول سیگنال را می پوشاند، سپس تابع پنجره و سیگنال در هم ضرب می شوند (اگر پنجره مستطیلی و ارتفاع آن واحد باشد حاصلضرب تابع پنجره در سیگنال، همان سیگنال اولیه می شوند)، حال این حاصلضرب به صورت یک سیگنال جدید در نظر گرفته می شود که باید از آن FT گرفته می شود.

مرحله بعد شیفت دادن این پنجره به محل جدید t_1 ، ضرب سیگنال در این پنجره و نهایتاً گرفتن FT از حاصلضرب می باشد. این روند ادامه می یابد تا این پنجره به انتهای سیگنال برسد.

از لحاظ ریاضی تعاریف فوق به صورت زیر نمایش داده می شود:

$$STFT_x^w(t', f) = \int_t [x(t)w^*(t-t')]e^{-2\pi ft} dt \quad (4-3)$$

در این رابطه فوق $x(t)$ سیگنال اصلی و $w(t)$ تابع پنجره می باشد.

همانطور که مشاهده می شود STFT در واقع همان تبدیل فوریه حاصلضرب سیگنال در تابع پنجره می باشد.

مشخص شد که STFT بر خلاف FT تابع زمان و فرکانس است و یک تبدیل دو بعدی می باشد .

تبدیل STFT با وجود محاسنی که دارد، دارای نقایصی هم می باشد که به شرح آنها می پردازیم.

طبق اصل عدم قطعیت هایزنبرگ نمی‌توان همزمان درباره زمان و فرکانس حداکثر دقت و تفکیک پذیری را انتظار داشت، بلکه حاصلضرب عدم قطعیت‌های بازه زمانی و فرکانسی مقداری ثابت است که اگر عدم قطعیت‌ها را با واریانس آنها تعریف کنیم، آنگاه $\sigma_T^2 \sigma_W^2 = C$ و چون در تبدیل STFT عرض پنجره در فرکانسهای مختلف ثابت است یعنی σ_T ثابت است، σ_W هم مقداری ثابت است.

به عبارت دیگر این اصل بیان می‌کند که به طور دقیق نمی‌توان تعیین کرد که چه فرکانسی در چه زمانی وجود دارد. بلکه فقط می‌توان گفت یک باره فرکانسی مشخص در چه بازه زمانی قرار دارد.

مشکل دوم عرض تابع پنجره است، بدین ترتیب که وقتی یک پنجره با عرض مشخص انتخاب شد، این پنجره برای تمامی فرکانسهای به طور یکسان به کار می‌رود یعنی اطلاعات با یک دقت خاص و محدود قابل دسترسی هستند که این محدودیت توسط عرض تابع پنجره تعیین می‌شود اما بسیاری از امواج به روش انعطاف‌پذیری احتیاج دارند به گونه‌ای که برای رسیدن به دقت بیشتر در اطلاعات مربوط به زمان و فرکانس بتوان عرض پنجره را تغییر داد.

در روش FT در واقع پنجره‌ای به عرض بی‌نهایت انتخاب می‌شود که منجر به تفکیک‌پذیری کامل فرکانسی می‌شود ولی در تبدیل STFT پنجره‌ای به طول محدود انتخاب می‌شود که منجر به تفکیک‌پذیری فرکانسی ضعیف‌تری نسبت به FT می‌شود، یعنی ما مولفه‌های دقیق فرکانسی سیگنال را نمی‌دانیم بلکه فقط می‌دانیم یک محدوده فرکانسی خاص در چه محدوده زمانی قرار دارد.

پس هر چقدر عرض تابع پنجره در تبدیل STFT بیشتر شود تفکیک‌پذیری فرکانسی بیشتر می‌شود، اما اولاً برای بدست آوردن خاصیت ایستایی در سیگنال غیر ایستا، عرض تابع پنجره باید محدود باشد و ثانیاً طبق اصل عدم قطعیت هایزنبرگ با زیاد شدن عرض تابع پنجره، تفکیک‌پذیری زمانی کم می‌شود یعنی پنجره باریک باعث تفکیک‌پذیری بهتر زمانی شده و خاصیت ایستایی بهتری را تامین می‌کند اما از نظر تفکیک‌پذیری فرکانسی ضعیف می‌باشد.

به طور خلاصه:

پنجره باریک ← تفکیک‌پذیری زمانی خوب + تفکیک‌پذیری فرکانسی ضعیف

پنجره پهن ← تفکیک‌پذیری زمانی ضعیف + تفکیک‌پذیری فرکانسی خوب

پس انتخاب عرض تابع پنجره در تبدیل STFT تأثیر بسزایی دارد و در انتخاب آن باید دقت کافی با توجه به نوع سیگنال به عمل آید، مثلاً اگر مولفه‌های فرکانسی در سیگنال اصلی به خوبی از یکدیگر جدا شده باشند ممکن است ترجیح داده شود از یک پنجره باریک استفاده شود تا به تفکیک‌پذیری زمانی خوبی برسیم، چرا که مولفه‌های فرکانسی قبلاً در سیگنال اصلی به خوبی از هم متمایز گشته‌اند.

۳-۴ تئوری موجکها

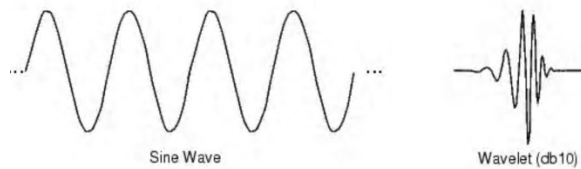
اصولاً بیان تئوری موجک ها مستلزم تعریف توابع بسط، توابع مقیاس و سپس توابع موجک می باشد، اما از آنجا که در قسمت قبل تبدیلات فوریه و فوریه زمان کوتاه بیان شد، به منظور مقایسه تبدیل موجک با این تبدیلهای و بیان مزایای آن، ابتدا تبدیل پیوسته موجکی و سپس توابع پایه، مقیاس و موجکی و نهایتاً تبدیل گسسته و سریع موجکی را بررسی خواهیم کرد.

۳-۴-۱ تبدیل موجک (WT)

همانطور که ذکر شد در روش STFT به دلیل ثابت بودن عرض تابع پنجره، تفکیک پذیری محدود و ثابت بود، در روش تبدیل موجکی عرض تابع پنجره متغیر است به گونه‌ای که در فرکانسهای بالا با کم شدن عرض تابع پنجره تفکیک پذیری زمانی خوب و فرکانسی ضعیف حاصل می‌شود اما در فرکانسهای پایین با زیاد شدن عرض تابع پنجره عکس حالت فوق رخ می دهد، یعنی به یک تفکیک پذیری خوب فرکانسی و ضعیف زمانی می‌رسیم.

نامگذاری موجک از آنجا ناشی می‌شود که تابع پنجره دارای طول محدود می‌باشد و موجک، یعنی موج کوچک نامیده می‌شود، در ضمن این تابع یک تابع نوسانی با مقدار متوسط صفر است.

در شکل ۳-۴ یک موج سینوسی به همراه یک موجک (۱۰ db) رسم شده است



شکل (۳-۴) موج سینوسی همراه موجک دابچیز

۳-۴-۲ تبدیل پیوسته موجک (CWT)

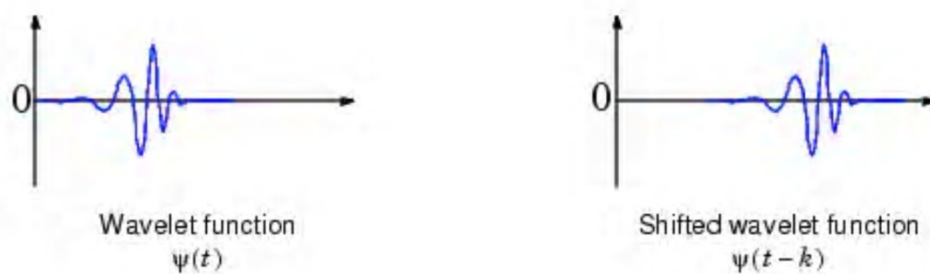
تبدیل پیوسته موجکی از لحاظ ریاضی به صورت زیر تعریف می شود .

$$CWT_x^{\psi}(\tau, s) = \psi_x^{\psi}(\tau, s) = \frac{1}{\sqrt{|s|}} \int x(t) \psi\left(\frac{t-\tau}{s}\right) dt \quad (3-5)$$

در رابطه فوق $x(t)$ سیگنال اصلی، s و τ به ترتیب پارامترهای مقیاس و انتقال بوده و $\psi(t)$ تابع موجک می باشد .

پارامتر انتقال (τ)

پارامتر τ پارامتر انتقال می باشد و از نظر مفهومی به همان مفهوم انتقال تابع پنجره در STFT می باشد، در واقع انتقال به معنی به تاخیر انداختن یا تسریع موجک می باشد و از لحاظ ریاضی به تاخیر انداختن موجکی مثل $\psi(t)$ به اندازه k با $\psi(t-k)$ نشان داده می شود .



شکل (۳-۵) پارامتر انتقال در موجک

پارامتر مقیاس (s)

پارامتر مقیاس در اینجا متناظر با عرض تابع پنجره در تبدیل STFT می باشد، یعنی مقیاس بالا معادل نگاه کلی و غیر دقیق و مقیاس پایین معادل نگاه دقیق و جزئی می باشد، به طور مشابه بر حسب فرکانس، فرکانس پایین (مقیاس بالا) معادل اطلاعات کلی سیگنال و فرکانس بالا (مقیاس پایین) معادل اطلاعات جزئی سیگنال می باشد.

مقیاس کردن به زبان ساده به معنای کشیدن یا فشردن موجک می باشد .

در حالت کلی در تابعی مانند $f(st)$ برای مقادیر $s > 1$ تابع $f(t)$ فشرده و برای $0 < s < 1$ منبسط می شود، ولی با توجه به تعریف CWT چون s در مخرج کسر قرار دارد عکس حالت فوق صادق است یعنی $s > 1$ موجک را بسط داده و $0 < s < 1$ منجر به فشرده سازی موجک می شود .

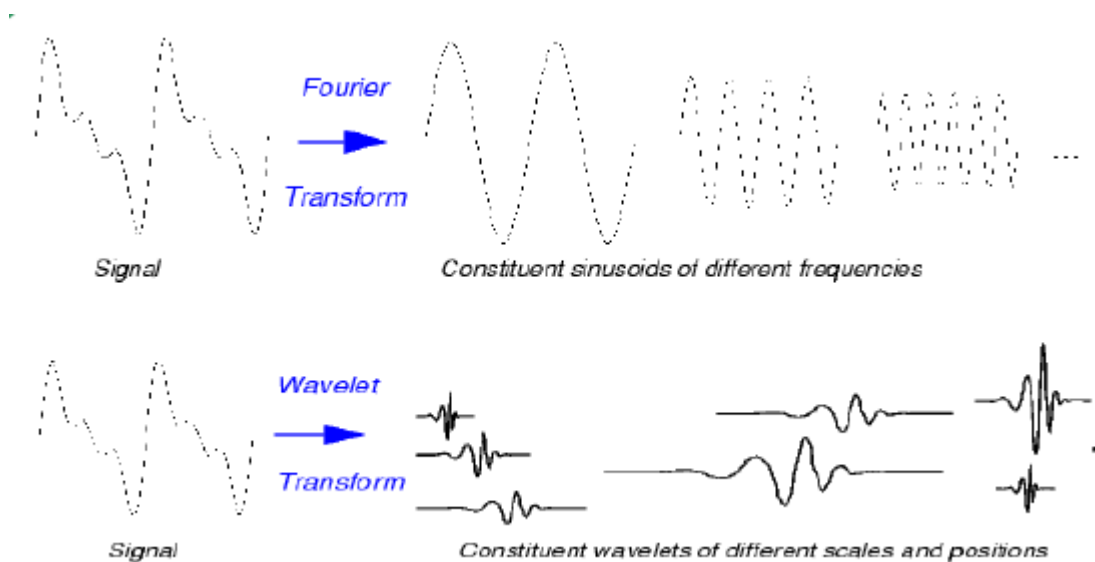
به طور خلاصه :

فرکانس بالاتر ← موجک فشرده تر ← تغییر سریعتر جزئیات ← مقیاس کوچکتر
فرکانس پایین تر ← موجک کشیده تر ← تغییر آهسته تر جزئیات ← مقیاس بزرگتر
در شکل ۳-۶ موجک در مقیاسهای بالا و پایین نشان داده شده است.



شکل (۳-۶) مقیاس بالا و پایین در یک سیگنال

تبدیل فوریه یک موج را به موجهای سینوسی با فرکانسهای متفاوت تجزیه می کرد، اما تبدیل موجک یک موج را به موجکهای انتقال یافته و مقیاس شده که از موجک اصلی حاصل شده اند، تجزیه می کند.



شکل (۳ - ۷) مقایسه تبدیل موجک و فوریه

مراحل کار در روش CWT به شرح زیر است :

فرض می کنیم $x(t)$ سیگنالی باشد که قرار است آنالیز شود، یک موجک به عنوان موجک پایه یا موجک مادرا انتخاب می شود.

فرآیند را با $s=1$ آغاز می کنیم که در این حالت موجک فشرده ترین حالت را دارد و در مراحل بعد s را به تدریج زیاد می کنیم .

موجک ابتدا در شروع سیگنال یعنی در $t=0$ قرار می گیرد، سپس سیگنال اصلی در تابع موجک در مقیاس $s=1$ ضرب می شود و سپس انتگرالگیری در کل زمان انجام می شود (در واقع حاصلضرب سیگنال در موجک در جاهاییکه موجک وجود ندارد صفر می باشد)، سپس حاصل در مقدار ثابت

$\frac{1}{\sqrt{s}}$ ضرب می شود که این عمل به منظور نرمال سازی انرژی صورت می گیرد تا تبدیل سیگنال در

تمام مقیاسها انرژی یکسانی داشته باشد.

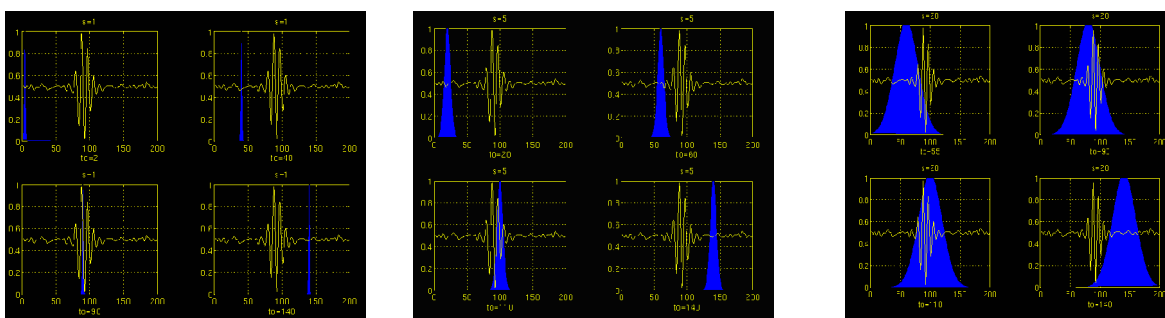
نتیجه نهایی مقدار CWT در $s=1, t=0$ می باشد یعنی این مقدار معادل نقطه $(s=1, t=0)$ در صفحه زمان - مقیاس می باشد .

سپس این فرآیند ادامه می یابد تا موجک به انتهای سیگنال برسد .

اکنون یک ردیف از نقاط صفحه زمان - مقیاس متناظر با $s=1$ بدست آمده است .

در مرحله بعد S به مقدار کمی زیاد شده و عملیات فوق تکرار می شوند و به ازاء هر مقدار از S یک ردیف در صفحه زمان - مقیاس حاصل می شود ، در هر مرحله اگر در سیگنال اصلی مولفه فرکانسی متناظر با مقدار S وجود داشته باشد، حاصل CWT عدد بزرگی خواهد بود و اگر وجود نداشته باشد CWT عددی کوچک یا صفر خواهد بود، همچنین اگر تبدیل پیوسته CWT برای مقیاس مشخصی در همه زمانها مقادیر نسبتاً بزرگی باشد این موضوع نشان دهنده آن است که فرکانس مورد نظر در کل زمان ، در موج مورد نظر وجود دارد.

با انجام فرآیند فوق برای تمامی مقیاسها، CWT سیگنال اصلی محاسبه شده است، در شکل ۳-۸ مراحل فوق برای یک سیگنال نشان داده شده است

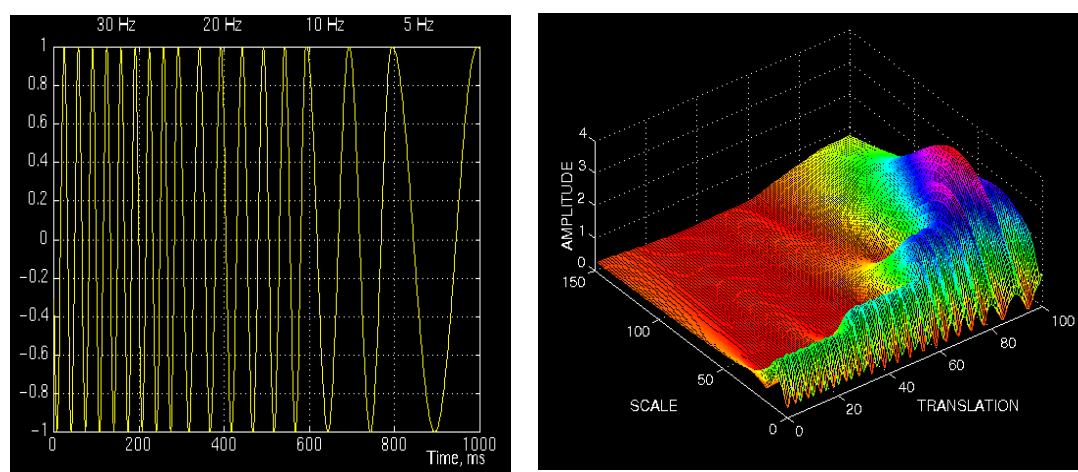


شکل (۳-۸) انتقال و تغییر مقیاس در تبدیل پیوسته موجک

در تبدیل موجک با شیف‌ت موجک در زمان، سیگنال در حوزه زمان و با تغییر مقیاس در حوزه فرکانس متمرکز می‌شود.

در انتخاب موجک دقت لازم باید انجام شود مثلاً موجهای دارای اکستریم‌های نوک تیز و با تغییرات ناگهانی با یک موجک با شکل مشابه بهتر تقریب زده می‌شوند تا با یک موج سینوسی هموار.

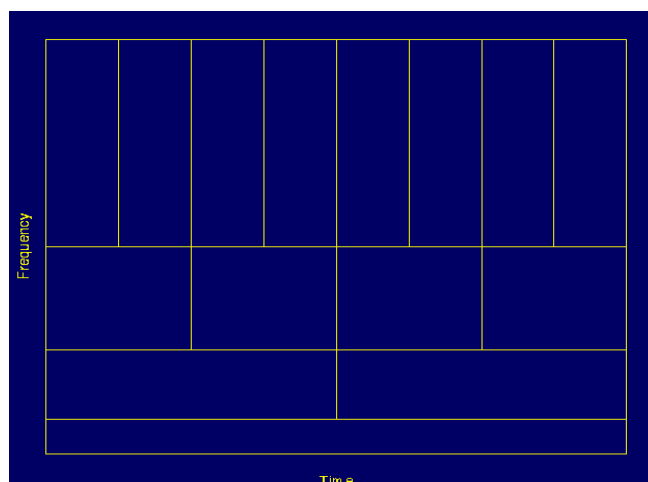
در شکل ۳-۹ یک سیگنال که حاوی فرکانسهای ۵Hz, ۱۰Hz, ۲۰Hz, ۳۰Hz می‌باشد و تبدیل موجکی آن را نشان می‌دهد. [۲]



شکل (۳-۹) یک سیگنال به همراه تبدیل موجکی آن

در تبدیل CWT (شکل سمت راست) مقیاسهای کوچکتر معادل فرکانسهای بالاتر هستند، و با افزایش مقیاس، فرکانس کاهش می‌یابد یعنی آن قسمت از CWT که در آن مقیاس نزدیک صفر است معادل بالاترین فرکانس و مقیاسهای بالا، معادل فرکانسهای پایین سیگنال هستند.

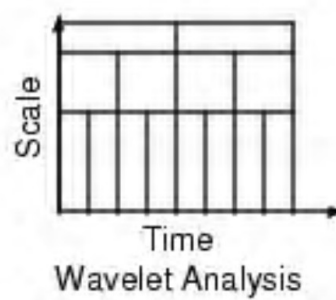
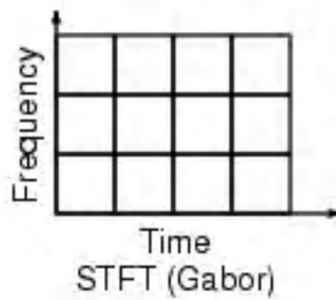
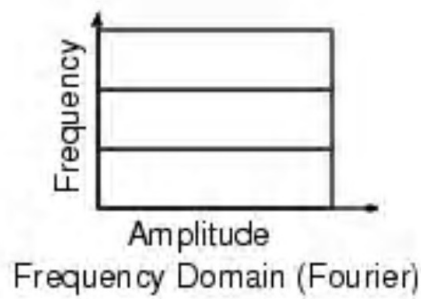
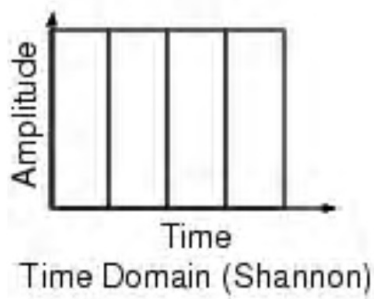
در شکل ۳-۱۰ یک نمایش زمان-فرکانس در تبدیل CWT نشان داده شده است، هر خانه در این شکل معادل یک مقدار تبدیل موجک در صفحه زمان-فرکانس می‌باشد.



شکل (۳-۱۰) نمایش زمان-فرکانس در تبدیل موجک

مشاهده می شود که هر خانه یک مساحت معین غیر صفر دارد و تمامی نقاطی که در یک خانه قرار دارند، تبدیل موجک یکسان دارند. در شکل فوق عرض و ارتفاع خانه ها تغییر می کند اما مساحت ثابت است، در فرکانسهای پایین ارتفاع خانه ها کوتاه تر است (که به معنای تفکیک پذیری فرکانسی بهتر است) اما عرض خانه ها بزرگ می باشد (که به معنای تفکیک پذیری ضعیف زمانی می باشد) اما در فرکانسهای بالا عکس این حالت برقرار است یعنی عرض پنجره ها ، کاهش یافته (تفکیک پذیری زمانی بالا می رود) و ارتفاع خانه ها افزایش می یابد (تفکیک پذیری فرکانسی ضعیف می شود).

در روش STFT عرض پنجره در سرتاسر پردازش سیگنال ثابت است و تفکیک پذیری زمانی و فرکانسی ثابتی حاصل می شود بنابراین، صفحه زمان- فرکانس شامل مربع هایی با شکل یکسان است. در شکل زیر مقایسه ای بین تبدیل های WT, STFT, FT انجام شده است.



شکل (۳-۱۱) مقایسه تبدیلات فوریه ، فوریه زمان کوتاه و تبدیل موجک

۳-۵ بسط توابع و توابع مقیاس و موجکی

اگر یک تابع یا سیگنال مانند $f(x)$ مطابق رابطه زیر بر حسب ترکیب خطی یک سری از توابع بسط داده شود ، بهتر قابل آنالیز خواهد بود :

$$f(x) = \sum_k \alpha_k \phi_k(x) \quad (۳-۶)$$

در رابطه فوق k یک اندیس صحیح محدود یا نامحدود ، α_k ضرایب بسط و $\phi_k(x)$ توابع بسط می باشند . اگر بسط فوق منحصر به فرد باشد یعنی برای هر تابع $f(x)$ فقط یک مجموعه از α_k وجود داشته باشد آنگاه $\phi_k(x)$ توابع بسط پایه نامیده می شوند .

فضای تولید شده به وسیله ی این توابع پایه را با V نشان می دهیم [۱]

$$V = \text{Span} \{ \phi_k(x) \} \quad (۳-۷)$$

در این حالت اگر تابعی مانند g در V باشد آنگاه این تابع به صورت یک سری مانند سری (۳-۷) می تواند نوشته شود .

در رابطه (۷-۳) اگر تابع $f(x)$ حقیقی و توابع $\phi_k(x)$ توابع یک متعامد باشند یعنی :

$$\langle \phi_j(x), \phi_k(x) \rangle = \delta_{kj} = \begin{cases} 1 & j = k \\ 0 & j \neq k \end{cases} \quad (۸-۳)$$

آنگاه ضرایب α_k از رابطه زیر قابل محاسبه هستند

$$\alpha_k = \langle \phi_k(x), f(x) \rangle = \int \phi_k(x) f(x) dx \quad (۹-۳)$$

در رابطه فوق $\langle$ به معنای ضرب داخلی میباشد.

توابع بسطی که با انتقال صحیح و مقیاس کردن $\phi(x)$ تولید می شوند را با $\phi_{j,k}(x)$ نمایش داده و به

صورت زیر نمایش می دهیم [۱]

$$\phi_{j,k}(x) = 2^{j/2} \phi(2^j x - k) \quad j, k \in Z \quad (۱۰-۳)$$

در رابطه فوق k محل $\phi_{j,k}(x)$ را روی محور x و j عرض این تابع را تعیین می کند و ترم $2^{j/2}$ بیانگر

ارتفاع (دامنه) می باشد .

از آنجائیکه در رابطه فوق شکل $\phi_{j,k}(x)$ با تغییر j تغییر می کند این توابع را توابع مقیاس

می نامیم. به ازاء هر مقدار j فضایی را که با تغییر k در $\phi_{j,k}(x)$ ایجاد می شود را با V_j نشان

می دهیم و به صورت زیر نمایش می دهیم .

$$V_j = \text{Span} \{ \phi_{j,k}(x) \} \quad (۱۱-۳)$$

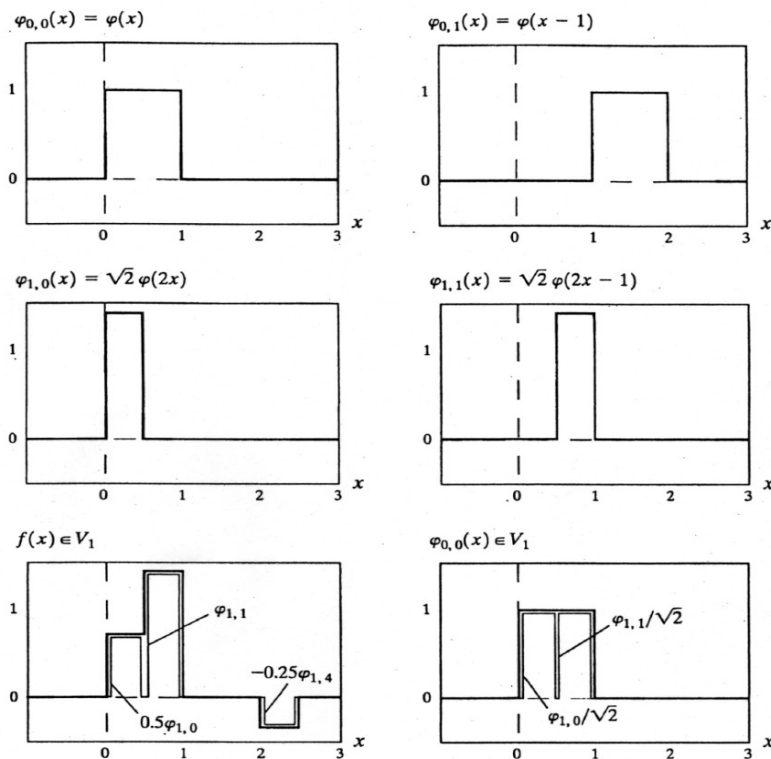
با ازدیاد j ، زیر فضای V_j بزرگتر شده و $\phi_{j,k}(x)$ باریکتر می شود و قادر به نمایش جزئیات بیشتری از

تابع اصلی خواهد بود .

به عنوان مثال تابع مقیاس هار را در نظر می گیریم :

$$\phi(x) = \begin{cases} 1 & 0 \leq x < 1 \\ 0 & \text{elsewhere} \end{cases} \quad (۱۲-۳)$$

این تابع به ازاء $j = \{0,1\}$ در شکل ۳-۱۲ رسم شده است. همانطور که دیده می شود عرض این تابع با زیاد شدن j کم می شود [۱]



شکل (۳-۱۲) تابع مقیاس هار در عرض های مختلف

همچنین در شکل فوق تابعی از زیر فضای V_1 مشاهده می شود که به فضای V تعلق ندارد چرا که توابع مقیاس در مقیاس $j=0$ عریض تر از آن هستند که بتوان این تابع را بر حسب ترکیب خطی این توابع مقیاس نشان داد، اما به راحتی می توان این تابع را بر حسب توابع مقیاس در مقیاس $j=1$ نشان داد.

$$f(n) = 0/5 \phi_{0,0}(x) + \phi_{1,1}(x) - 0/25 \phi_{1,4}(x) \quad (3-13)$$

در همان شکل تابع $\phi_{0,0}(x)$ به وسیله توابع $\phi_{1,0}(x)$ و $\phi_{1,1}(x)$ که به زیر فضای V_1 تعلق دارند، نشان داده شده است.

در حالت کلی هر عضو زیر فضای V را می توان با رابطه زیر به صورت عضوی از زیر فضای V_1 در نظر گرفت

$$\phi_{0,k}(x) = \frac{1}{\sqrt{2}} \phi_{1,2}(x) + \frac{1}{\sqrt{2}} \phi_{1,2k+1}(x) \quad (14-3)$$

رابطه بالا بیانگر این مطلب می باشد که :

$$V_0 \subset V_1 \quad (15-3)$$

برخی از خواص تابع مقیاس به شرح زیر می باشد :

۱- هر تابع مقیاس برتابع مقیاسی که از انتقال صحیح آن حاصل می شود عمود است، یعنی حاصلضرب داخلی آنها صفر می باشد .

۲- زیر فضایی که به وسیله یک تابع مقیاس در مقیاس پایین ایجاد می شود درون زیر فضایی که از آن تابع مقیاس ولی در مقیاس بالاتر ایجاد می شود ، قرار دارد یعنی :

$$V_{-\infty} \subset \dots \subset V_{-2} \subset V_{-1} \subset V_0 \subset V_1 \subset V_2 \subset \dots \subset V_{\infty} \quad (16-3)$$

۳- زیر فضای مشترک در تمام V_j ها ، $\{0\}$ می باشد و

$$Span \bigcup_{j=-\infty}^{\infty} = L^2(R), Span \bigcap_{j=-\infty}^{\infty} = \{0\} \quad (17-3)$$

$$4- \text{ اگر } f(x) \in V_j \text{ آنگاه } f(2x) \in V_{j+1}$$

تحت شرایط فوق توابع بسطزیر فضای z به صورت مجموعی از توابع بسط زیر فضای V_{j+1} قابل نمایش است یعنی :

$$\phi_{j,k}(n) = \sum_n h_{\phi}(n) 2^{\frac{j+1}{2}} \phi(2^{j+1}x - n) \quad (18-3)$$

و چون $\phi_{0,0}(x) = \phi(x)$ بنابراین :

$$\phi(x) = \sum_n h_{\phi}(n) \sqrt{2} \phi(2x - n) \quad (19-3)$$

در رابطه فوق ، $h_\phi(n)$ ضریب مقیاس نامیده می شود .

به عنوان مثال در مورد تابع مقیاسی هار همانطور که در شکل های مربوط به این تابع نشان داده شده، داریم

$$\begin{aligned}\phi(x) &= \frac{1}{\sqrt{2}} [\sqrt{2} \phi(2x)] + \frac{1}{\sqrt{2}} [\sqrt{2} \phi(2x-1)] \\ h_\phi(0) &= h_\phi(1) = \frac{1}{\sqrt{2}}\end{aligned}\quad (20-3)$$

به ازاء هر تابع مقیاس $\phi(x)$ می توان تابع موجک $\psi(x)$ را به گونه ای بدست آورد که با انتقال دادن و مقیاس کردن آن مطابق رابطه زیر می توان اختلاف فضای V_j و V_{j+1} را نشان داد:

$$\psi_{j,k}(x) = 2^{j/2} \psi(2^j x - k) \quad (21-3)$$

زیر فضای مربوط به این توابع را با W_j نشان داده و داریم :

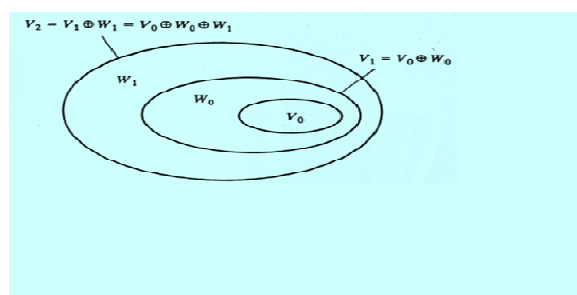
$$W_j = \text{Span} \{ \psi_{j,k}(x) \} \quad (22-3)$$

در این صورت هر تابع $f(x) \in W_j$ را می توان به صورت زیر نشان داد :

$$f(x) = \sum_k \alpha_k \psi_{j,k}(x) \quad (23-3)$$

W_j در واقع متمم V_j در V_{j+1} می باشد و هریک از اعضای آن بر V_j عمودند یعنی :

$$\langle \phi_{j,k}(x), \psi_{j,l}(x) \rangle = 0 \quad j, k, l \in \mathbb{Z} \quad (24-3)$$



شکل (۱۳-۳) فضای تولید شده به کمک موجک

با توجه به رابطه بین V_j و W_j ، فضای $L^2(R)$ را می توان به صورت زیر نشان داد :

$$\begin{cases} L^2(R) = V_0 \oplus W_0 \oplus W_1 \oplus \dots & (1) \\ L^2(R) = V_1 \oplus W_1 \oplus W_2 \oplus \dots & (2) \\ L^2(R) = \dots \oplus W_{-2} \oplus W_{-1} \oplus W_0 \oplus \dots & (3) \\ L^2(R) = V_{j_0} \oplus W_{j_0} \oplus W_{j_0+1} \oplus \dots & (4) \end{cases} \quad (25-3)$$

مشاهده می شود که مطابق روابط ۲۵-۳ می توان $L^2(R)$ را به وسیله توابع موجک به تنهایی

نیز نشان داد . در رابطه چهارم، j یک مقیاس آغازین اختیاری می باشد .

توابع موجک را می توان مانند توابع مقیاس یا توابع مقیاسی شیفت شده با رزولوشن ۲ برابر نشان

داد [۱]

$$\psi(x) = \sum_n h_\psi(n) \sqrt{2} \phi(2x - n) \quad (26-3)$$

$h_\psi(n)$ را ضرایب تابع موجک می نامند و رابطه آن با $h_\phi(n)$ به صورت زیر می باشد:

$$h_\psi(n) = (-1)^n h_\phi(1-n) \quad (27-3)$$

۳-۶ تبدیل موجک یک بعدی

۳-۶-۱ سری موجکی

با توجه به معادله چهارم از روابط ۲۵-۳ در نمایش $L^2(R)$ ، برای هر تابع $f(x) \in L^2(R)$ می توان

رابطه زیر را نوشت [۱]

$$f(x) = \sum_k c_{j_0}(k) \phi_{j_0,k}(x) + \sum_{j=j_0}^{\infty} \sum_k d_j(k) \psi_{j,k}(x) \quad (28-3)$$

در رابطه فوق j ، یک مقیاس انتخابی اختیاری بوده و $c_{j_0}(k)$ ضریب مقیاس یا تفریب و $d_j(k)$

ضریب موجک یا جزئیات نامیده می شوند .

قسمت اول رابط فوق بیانگر تقریبی از تابع $f(x)$ می باشد و در مقیاس های $j \geq j_0$ با اضافه شدن

جملات قسمت دوم ، جزئیات بیشتری از $f(x)$ بیان می شود

ضرایب $c_{j_0}(k)$, $d_j(k)$ از رابطه زیر قابل مقایسه می باشند :

$$c_{j_0}(k) = \langle f(x), \phi_{j_0,k}(x) \rangle = \int f(x) \phi_{j_0,k}(x) dx \quad (29-3)$$

و

$$d_j(k) = \langle f(x), \psi_{j,k}(x) \rangle = \int f(x) \psi_{j,k}(x) dx \quad (30-3)$$

۳-۶-۲ تبدیل گسسته و پیوسته موجکی

مطابق بخش قبلی، بسط سری موجکی، تابعی از یک متغیر پیوسته را به رشته ای از ضرایب می نگارد، اگر تابع گسسته باشد، ضرایب حاصله تبدیل گسسته موجکی (DWT) نامیده می شود، به منظور هماهنگی با تعاریف مربوط به تبدیل پیوسته موجکی، ضرایب تقریب و جزئیات را در اینجا با

$$W_\phi(j_0, k) \text{ و } W_\psi(j, k) \text{ نمایش داده و داریم [۱]}$$

$$W_\phi(j_0, k) = \frac{1}{\sqrt{m}} \sum_x f(x) \phi_{j_0,k}(x) \quad (31-3)$$

$$W_\psi(j, k) = \frac{1}{\sqrt{m}} \sum_x f(x) \psi_{j,k}(x) \quad (32-3)$$

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{m}} \sum_k W_\phi(j_0, k) \phi_{j_0,k}(x) + \frac{1}{\sqrt{m}} \sum_{j=j_0}^{\infty} \sum_k W_\psi(j, k) \psi_{j,k}(x) \quad (33-3)$$

در رابطه فوق $f(x)$ ، $\phi_{j_0,k}(x)$ و $\psi_{j,k}(x)$ —تابعی از متغیرهای گسسته $x = 0, 1, 2, \dots, m-1$ می باشند.

معمولاً j برابر صفر و m به صورت 2^j در نظر گرفته می شود و $\frac{1}{\sqrt{m}}$ ضریب نرمال کننده ضریب می باشد.

در تبدیل پیوسته موجک یک تابع پیوسته به یک فضای دو بعدی شامل زمان و مقیاس مطابق رابطه زیر نگاشته می شود

$$W_\psi(s, \tau) = \frac{1}{\sqrt{s}} \int_{-\infty}^{\infty} f(x) \psi\left(\frac{x-\tau}{s}\right) dx \quad (34-3)$$

این تعریف همان رابطه ای است که در تبدیل پیوسته موجکی بیان شد و در واقع $W_\psi(s, t)$ همان $CWT(s, t)$ می باشد .

تابع $f(x)$ را به کمک تبدیل معکوس موجکی می توان به دست آورد [۱]

$$f(x) = \frac{1}{c_\psi} \int_0^\infty \int_{-\infty}^\infty W_\psi(s, \tau) \psi_{s, \tau}(x) \frac{d\tau ds}{s^2} \quad (3-36)$$

$$c_\psi = \int_{-\infty}^\infty \frac{|\Psi(w)|}{|w|} dw \quad (3-35)$$

به منظور وجود تبدیل معکوس موجکی ، باید $c_\psi < \infty$ باشد.

۳-۶-۳ تبدیل سریع موجکی

یکی از روش های محاسبه سریع تبدیل گسسته موجکی تبدیل سریع موجکی می باشد که بین ضرایب DWT در مقیاس های مجاور رابطه ای برقرار می کند .

همانطور که در قسمت های قبل بیان شد برای تابع مقیاس $\phi(x)$ رابطه زیر برقرار است :

$$\phi(x) = \sum_n h_\phi(n) \sqrt{2} \phi(2x - n) \quad (3-37)$$

چنانچه در این رابطه x را با ضریب 2^j مقیاس کرده و به اندازه k انتقال دهیم و با فرض $m = 2^j k + n$ ، داریم :

$$\begin{aligned} \phi(2^j x - k) &= \sum_n h_\phi(n) \sqrt{2} \phi(2(2^j x - k) - n) \\ &= \sum_m h_\phi(m - 2k) \sqrt{2} \phi(2^{j+1} x - m) \end{aligned} \quad (3-38)$$

به همین ترتیب برای تابع موجک داریم :

$$\psi(2^j x - k) = \sum_m h_\psi(m - 2k) \sqrt{2} \phi(2^{j+1} x - m) \quad (3-39)$$

در تبدیل گسسته موجکی داشتیم:

$$W_{\psi}(j, k) = \frac{1}{\sqrt{m}} \sum_x f(x) \psi_{j,k}(x) \quad (40-3)$$

اگر در این معادله رابطه مربوط به $\psi_{j,k}(x)$ را قرار داده و به جای $\psi(2^j x - k)$ مقدار محاسبه شده در این قسمت را قرار دهیم [۱]

$$W_{\psi}(j, k) = \frac{1}{\sqrt{m}} \sum_x f(x) 2^{j/2} \left[\sum_m h_{\psi}(m - 2k) \sqrt{2} \phi(2^{j+1} x - m) \right] \quad (41-3)$$

$$W_{\psi}(j, k) = \sum_m h_{\psi}(m - 2k) \left[\frac{1}{\sqrt{m}} \sum_x f(x) 2^{\frac{j+1}{2}} \phi(2^{j+1} x - m) \right] \quad (42-3)$$

قسمت داخل براکت در رابطه فوق برابر $W_{\phi}(j+1, m)$ می باشد ، بنابراین

$$W_{\psi}(j, k) = \sum_m h_{\psi}(m - 2k) W_{\phi}(j+1, m) \quad (43-3)$$

یعنی ضرایب جزئیات در DWT در مقیاس j تابعی از ضرایب تقریب در مقیاس $j+1$ می باشد .

به همین نحو برای $W_{\phi}(j, k)$ داریم [۱]

$$W_{\phi}(j, k) = \sum_m h_{\phi}(m - 2k) W_{\phi}(j+1, m) \quad (44-3)$$

با توجه به اینکه کانولوشن ۲ تابع گسسته $f(n)$ و $g(n)$ به صورت زیر تعریف می شود:

$$f(n) * g(n) = \sum_m f(n-k) g(k) \quad (45-3)$$

می توان $W_{\psi}(j, k)$ ، $W_{\phi}(j, k)$ را با کمک کانولوشن به صورت زیر بیان کرد :

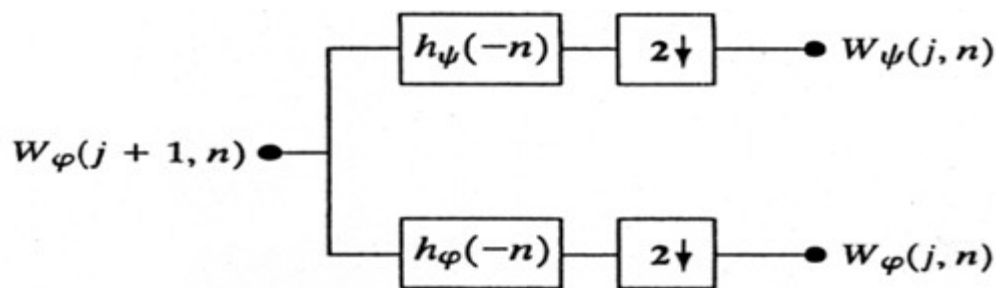
$$W_{\psi}(j, k) = h_{\psi}(-n) * W_{\phi}(j+1, n) \mid n=2k \quad k \geq 0 \quad (46-3)$$

$$W_{\phi}(j, k) = h_{\phi}(-n) * W_{\phi}(j+1, n) \mid n=2k \quad k \geq 0 \quad (47-3)$$

با توجه به مفاهیم فیلتر ها که در آن یک سیگنال ورودی از یک سری کانال های بالاگذر و پایین گذر

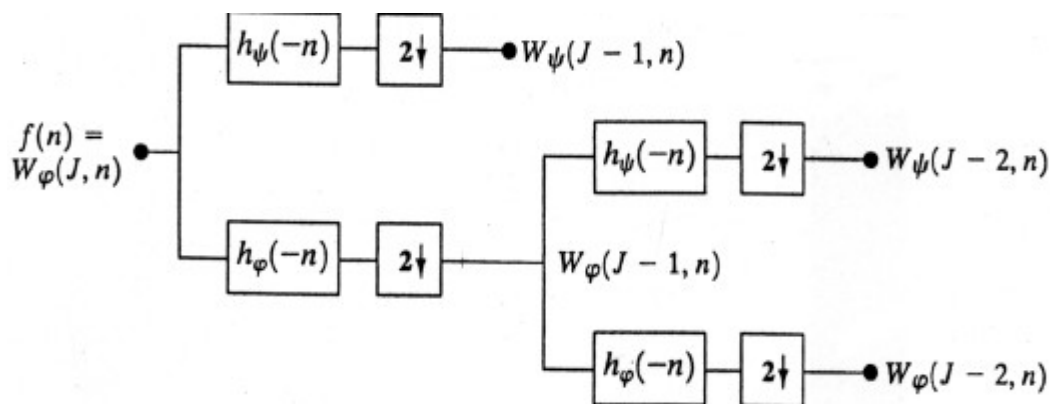
عبور داده می شود ، معادلات فوق را می توان عبور $W_{\phi}(j+1, n)$ از یک فیلتر دو کاناله مطابق شکل

زیر دانست [۱]



شکل (۳-۱۴) عبور تابع موجک در مقیاس $J+1$ از فیلتر دو کاناله

در حالت کلی $W_\phi(j, n)$ را می توان سیگنالی ورودی مانند $f(n)$ در نظر گرفت که در هر مرحله از یک فیلتر دو کاناله مطابق شکل زیر عبور داده می شود [۱]



شکل (۳-۱۵) عبور متوالی سیگنال از فیلتر دو کاناله

فیلتر اول تابع اصلی را به ۲ قسمت پایین گذر (مولفه تقریبی) و بالا گذر (مولفه جزئی) تقسیم می کند که متناظر با $W_\phi(j-1, n)$ و $W_\psi(j-1, n)$ می باشند .

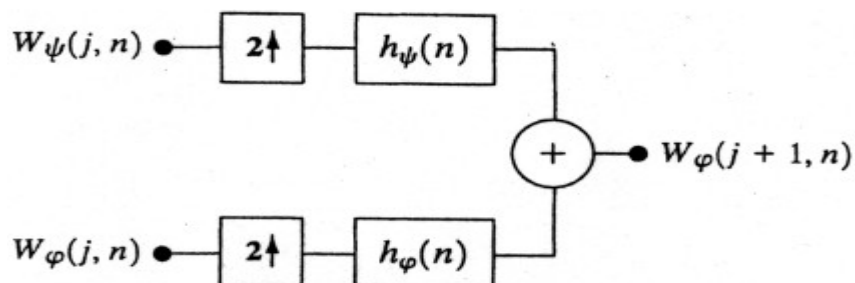
عملیات فوق برای باند پایین گذر مجدداً تکرار می شود و $W_\phi(j-2, n)$ و $W_\psi(j-2, n)$ حاصل می شوند که معادل با تقسیم زیر فضای V_{j-1} به V_{j-2} و W_{j-2} می باشند .

به کمک تبدیل معکوس سریع موجکی عکس روند عملیات این بخش تکرار می شود و به کمک فیلتر های ترکیب می توان تابع اولیه را از مولفه های آن بازسازی کرد .

به عنوان مثال در شکل زیر $W_\psi(j, n)$ و $W_\phi(j, n)$ ترکیب می شوند تا $W_\phi(j+1, n)$ مطابق رابطه

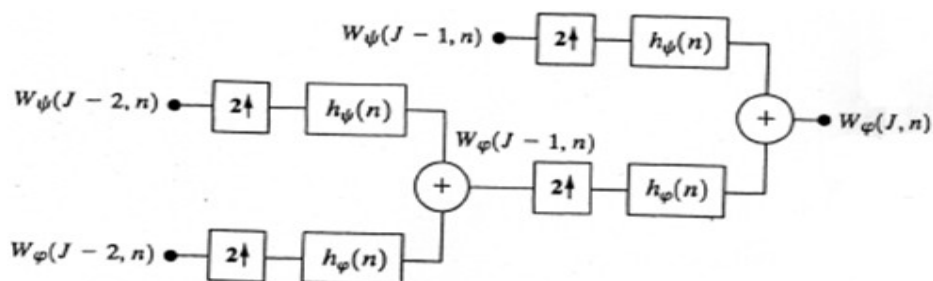
زیر حاصل می شود [۱]

$$W_{\phi}(j+1, k) = h_{\phi}(k) * W_{\phi}(j, k) + h_{\psi}(k) * W_{\psi}(j, k) \quad (48-3)$$



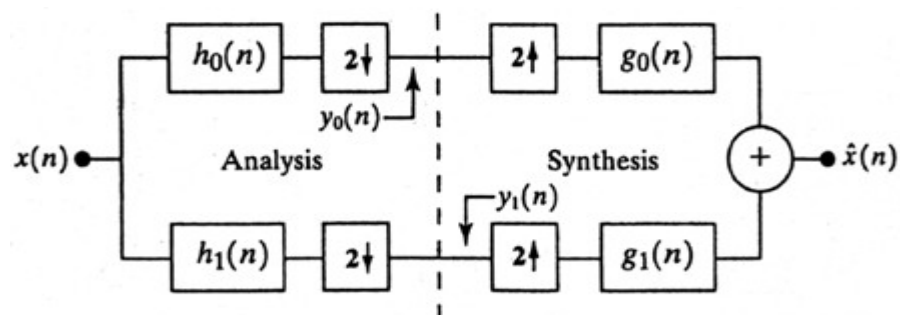
شکل (۳-۱۶) بازسازی تک مرحله ای سیگنال

البته اگر مطابق شکل دوم تجزیه سیگنال، عملیات تجزیه را برای $W_{\psi}(j-1, n)$ هم انجام شده باشد مطابق شکل زیر می توان با ترکیب $W_{\psi}(j-1, n)$ ، $W_{\psi}(j-2, n)$ ، $W_{\phi}(j-2, n)$ تابع ۱ صلی را بازسازی کرد [۱]



شکل (۳-۱۷) بازسازی چند مرحله ای سیگنال

شکل زیر سیگنال $x(n)$ را که در یک فیلتر ۲ کاناله تجزیه و سپس در فیلتر ۲ کاناله دیگری ترکیب شده است را نشان میدهد. [۱]



شکل (۳-۱۸) تجزیه و بازسازی سیگنال

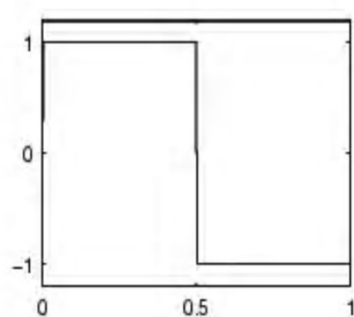
۷-۳ موجکهای مادر

موجکها انواع واقسام مختلفی دارند که برخی از آنها عبارتند از:

۱- موجک هار

این موجک ساده ترین موجک بوده وضابطه وشکل آن به صورت زیر می باشد

$$\psi(x) = \begin{cases} 1 & 0 \leq x \leq .5 \\ -1 & .5 \leq x \leq 1 \\ 0 & \text{elsewhere} \end{cases} \quad (۴۹-۳)$$

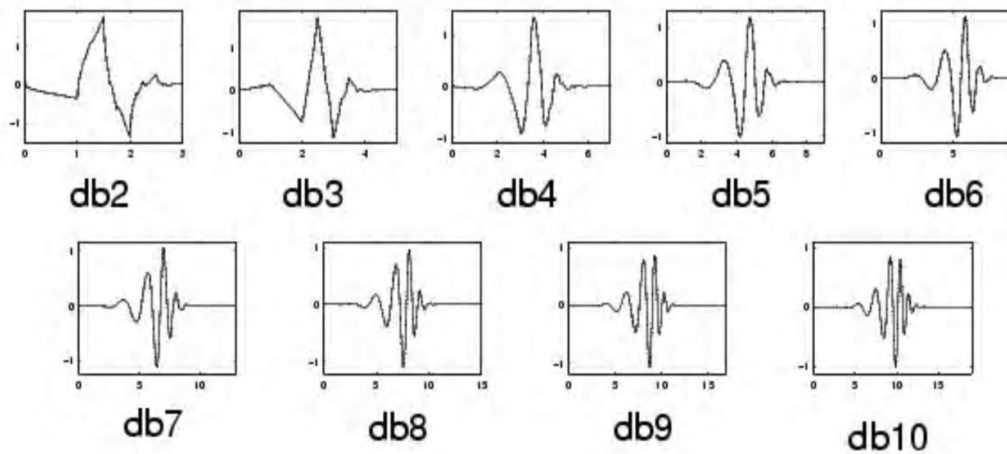


شکل (۱۹-۳) موجک هار

۲- موجک دابچیز

توابع موجک دابچیز با dbN نشان داده می شود که N مرتبه موجک میباشد

در شکل زیر خانواده موجکهای دابچیز نشان داده شده است (۱db همانند موجک هارمی باشد)

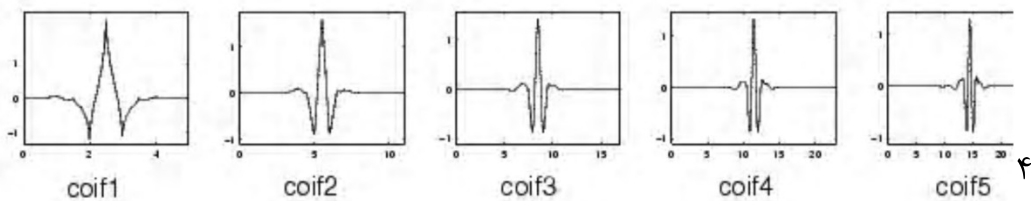


شکل (۳-۲۰) موجک دابچیز

۳- موجک کویفلت

این موجک با coifN نشان داده میشود

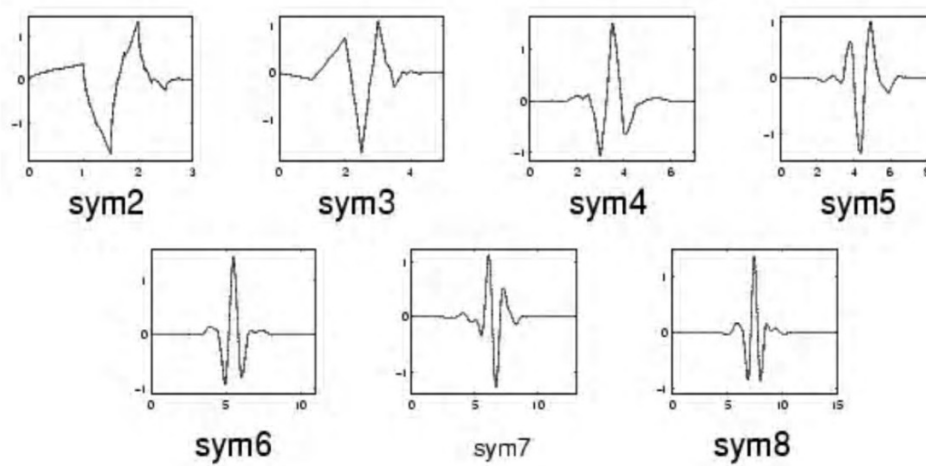
در اشکال زیر خانواده این موجک نشان داده شده است.



شکل (۳-۲۱) موجک کویفلت

۴- موجک سیملت

این موجکها تقریبا متقارن هستند وبا symN نشان داده می شوند.

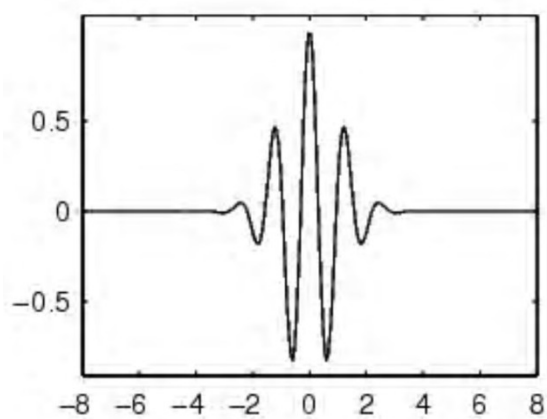


شکل (۳-۲۲) موجک سیملت

۵-موجک مورلت

ضابطه این موجک و شکل آن به صورت زیر می باشد

$$morl(x) = \exp\left(\frac{-x^2}{2}\right) * \cos(5x) \quad (۳-۵۰)$$



شکل (۳-۲۳) موجک مورلت

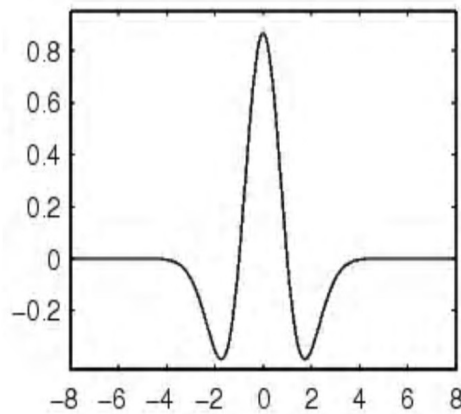
۶- موجک مکزیکن هت

ضابطه وشکل این موجک به صورت زیر می باشد

$$meh(x) = c * \exp\left(\frac{-x^2}{2}\right) * (1 - x^2)$$

$$c = \frac{2\pi^{-.25}}{\sqrt[3]{3}}$$

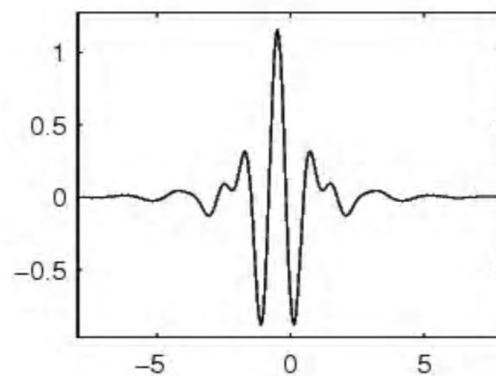
(۵۱-۳)



شکل (۲۴-۳) موجک مکزیکن هت

۷- موجک میر

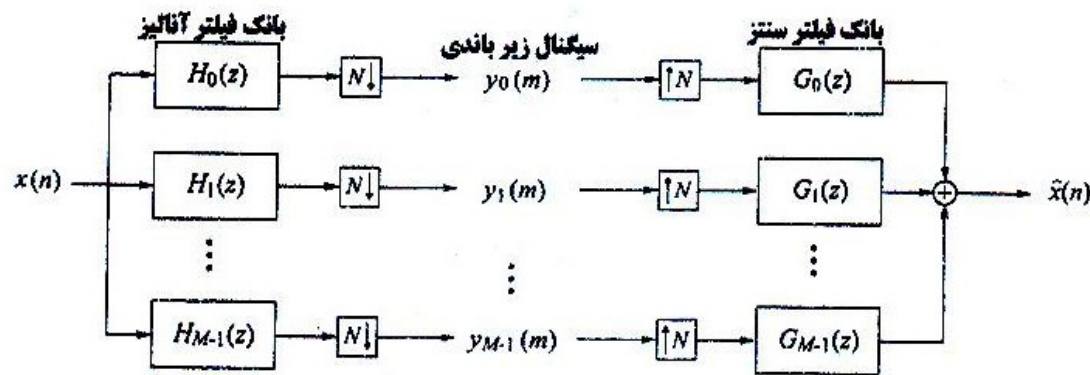
این موجک شکلی متقارن به صورت زیر دارد



شکل (۲۵- ۳) موجک میر

۳-۸ فیلتر بانک ها

فیلتر بانکها آرایشی از فیلترهای پائین گذر، میانگذر و بالاگذر برای استفاده در تجزیه طیفی و ترکیب سیگنالها هستند که نقش اساسی در بسیاری از کاربردهای مدرن پردازش سیگنال نظیر کدینگ صوت و تصویر دارند. دلیل این رواج، سادگی استخراج مولفه های طیفی از سیگنال می باشد، از آنجائیکه اغلب فیلتر بانکها دارای چندین نرخ نمونه برداری می باشند آنها با عنوان سیستمهای چند نرخ نیز شناخته می شوند بعنوان یک مثال شکل زیر فیلتر بانکی با M کانال را نشان میدهد.



شکل (۳-۲۶) فیلتر بانک M کاناله

سیگنال ورودی به M سیگنال زیرباندی با استفاده از M فیلترهای آنالیز باندهای عبور متفاوت تجزیه می شود، بنابراین هریک از سیگنالهای زیرباندی اطلاعات سیگنال ورودی در باند فرکانسی خاصی را حمل میکند.

بلوکهای بایپیکانه های اشاره شده به سمت پائین در شکل فوق کاهش نرخ نمونه برداری به نسبت N و بلوکهای بایپیکانه های اشاره شده به سمت بالا افزایش نرخ نمونه برداری به میزان N را نشان می دهد. کاهش نرخ نمونه برداری به میزان N انتخاب فقط یک نمونه از مجموعه N نمونه است که این عمل به حذف زواید از M سیگنال زیرباندی کمک می کند. افزایش نرخ نمونه برداری به میزان N ، الحاق $N-1$ صفر متوالی بین نمونه هاست که امکان بازیابی نرخ نمونه برداری اصلی را می دهد. بازیابی کامل به معنای آن است

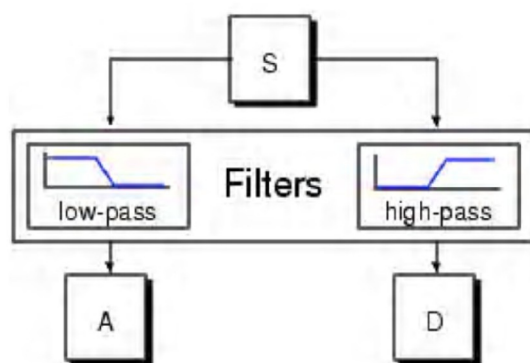
که سیگنال خروجی یک کپی از سیگنال ورودی باشد، بدون اینکه هیچ اغتشاش اضافی بجز انتقال زمانی و یا تغییر مقیاس دامنه را داشته باشد

۳-۹ کاربرد نرم افزار MATLAB در پردازش سیگنال

نرم افزار MATLAB یک نرم افزار قوی در محاسبات ریاضی و بسیاری از امور مهندسی می باشد، به کمک Toolbox wavelet در این برنامه میتوان بسیاری از امور مربوط به پردازش سیگنال را انجام داد.

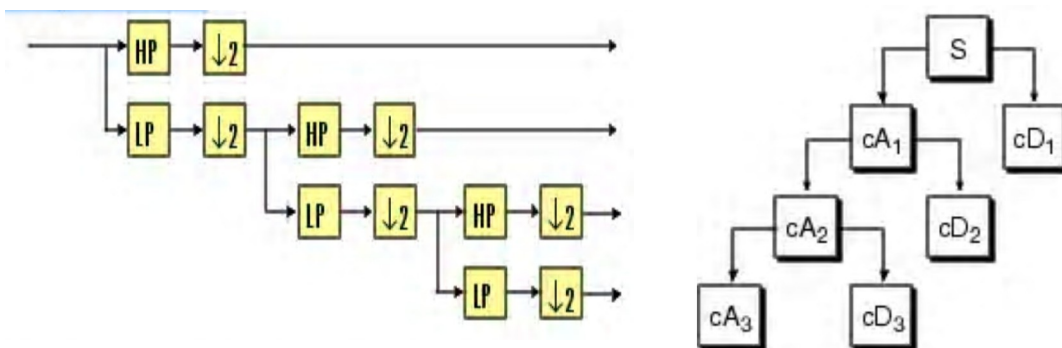
از آنجا که در پایان نامه حاضر نیز به منظور تجزیه، بازسازی و فیلتر کردن سیگنال زلزله از این نرم افزار استفاده شده است، شرح مختصری از Toolbox wavelet در این قسمت ارائه می شود.

با عبور دادن یک سیگنال از یک فیلتر دو کاناله می توان مولفه های فرکانس بالا و فرکانس پایین این سیگنال را از هم تفکیک کرد که این عمل به صورت شماتیک در شکل زیر نشان داده شده است



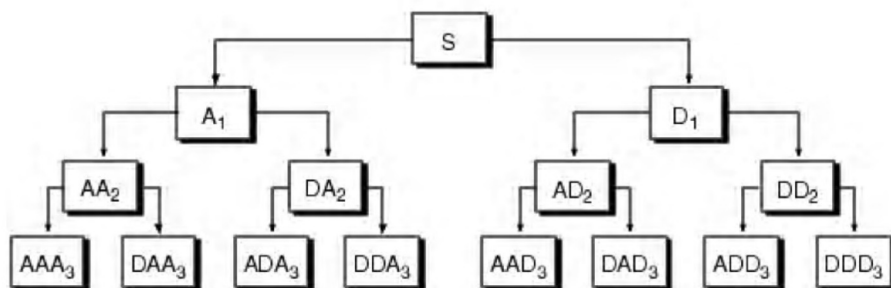
شکل (۳-۲۷) تجزیه سیگنال در یک فیلتر دو کاناله

عمل عبور دادن سیگنالهای حاصله را از فیلتر دو کاناله می توان تکرار کرد، از آنجا که مولفه های فرکانس پایین حاوی اطلاعات مهمتری از سیگنال هستند، مجدداً این قسمت از سیگنال از یک فیلتر دو کاناله عبور داده می شود و این عمل را مجدداً نیز میتوان تکرار کرد



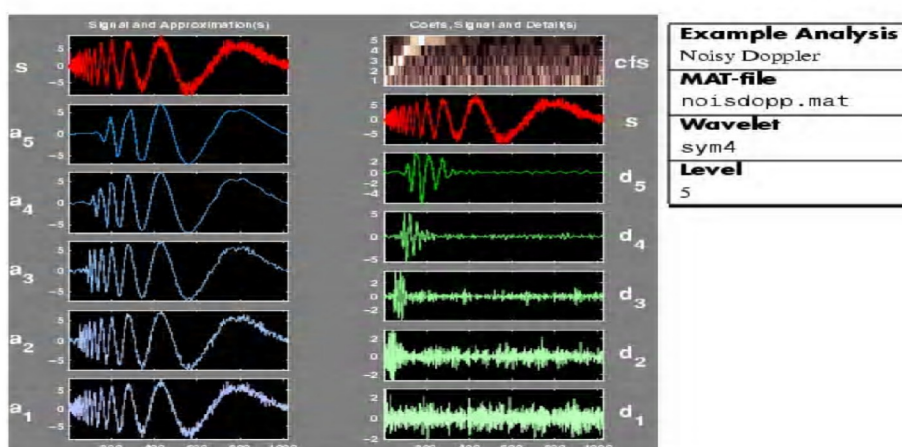
شکل (۳-۲۸) تجزیه چند مرحله‌ای به کمک wavelet

البته می‌توان عمل تجزیه را برای مولفه بالا گذر نیز تکرار کرد که در اینصورت از wavelet packet استفاده می‌کنیم.



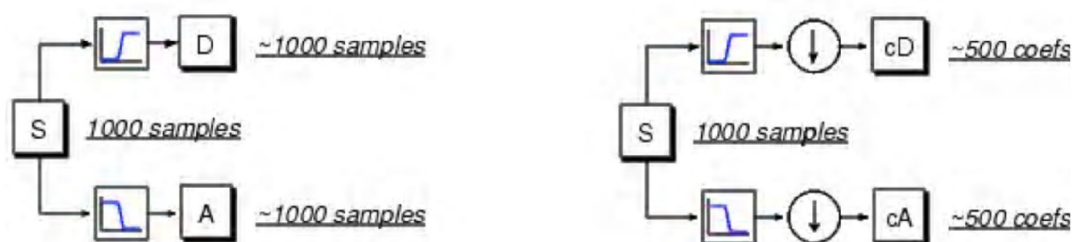
شکل (۳-۲۹) تجزیه یک سیگنال به کمک wavelet packet

در شکل زیر یک سیگنال و مولفه‌های جزئیات و تقریب‌های آن تا ۵ مرحله نشان داده شده است.



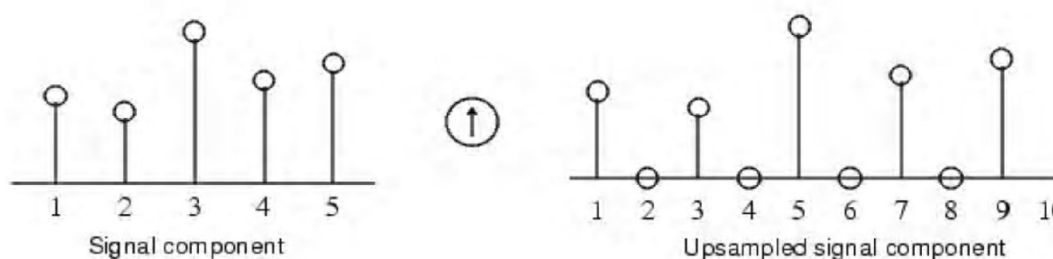
شکل (۳-۳۰) مولفه‌های تقریبی و جزئیات در سیگنال

چنانچه فرض شود که سیگنال اولیه حاوی ۱۰۰۰ نقطه می باشد با عبور دادن سیگنال از یک فیلتر دو کاناله هر کدام از مولفه ها نیز ۱۰۰۰ نقطه خواهند داشت که با کاهش نرخ نمونه برداری به ضریب ۲ هر یک از مولفه های سیگنال را به دارای ۵۰۰ نقطه خواهند شد.

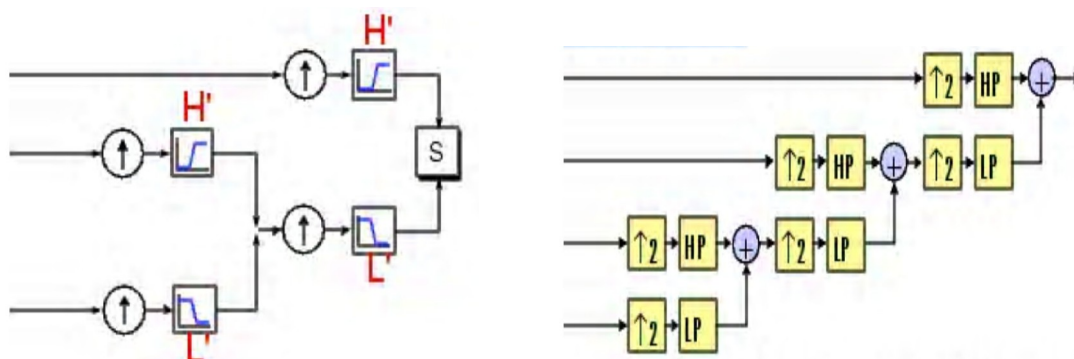


شکل (۳-۳۱) مراحل تجزیه و کاهش نرخ نمونه برداری در یک سیگنال

به منظور بازسازی سیگنال می توان با افزایش نرخ نمونه برداری، با افزودن صفرهایی به مولفه های تجزیه و سپس عبور آنها از فیلتر های ترکیب، سیگنال اولیه را بازسازی کرد.

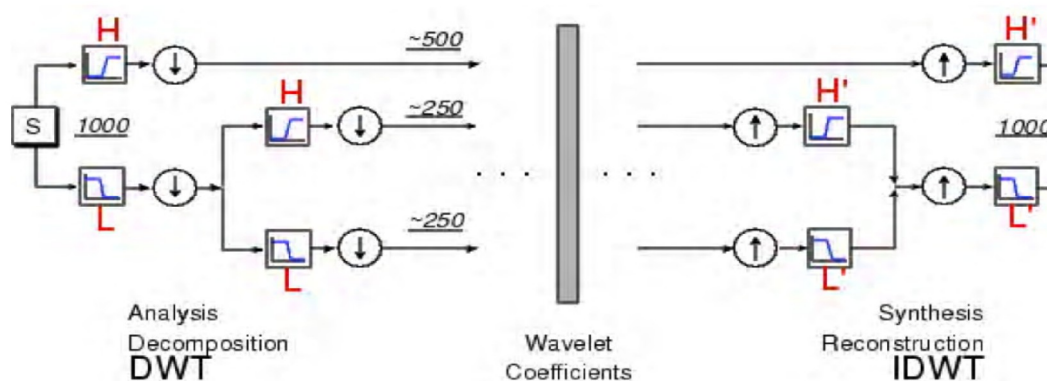


شکل (۳-۳۲) افزایش نرخ نمونه برداری در یک سیگنال



شکل (۳-۳۳) بازسازی سیگنال از روی مولفه های تجزیه آن

در شکل زیر مراحل تجزیه و بازسازی سیگنال همراه به یکدیگر نشان داده شده است.



شکل (۳-۳۴) مراحل تجزیه و بازسازی سیگنال

به کمک افزار MATLAB می توان تجزیه و بازسازی تک مرحله ای و چند مرحله ای یک سیگنال را با دستورات موجود در محیط این برنامه انجام داد که ذیلا به آنها اشاره می شود، در این دستورات x نام سیگنال مورد نظر می باشد

۳-۹-۱ تجزیه تک مرحله ای

به منظور تجزیه سیگنال در یک مرحله از دستورات زیر استفاده می شود.

$$[CA, CD] = \text{dwt}(x, 'wname') \quad (۳-۵۲)$$

$$[CA, CD] = \text{dwt}(x, LO_D, Hi_D) \quad (۳-۵۳)$$

در دستور اول تجزیه به کمک موجکی که نام آن در قسمت `wname` قرار داده می شود انجام می شود و در دستور دوم به کمک فیلترهای بالا گذر و پایین گذر.

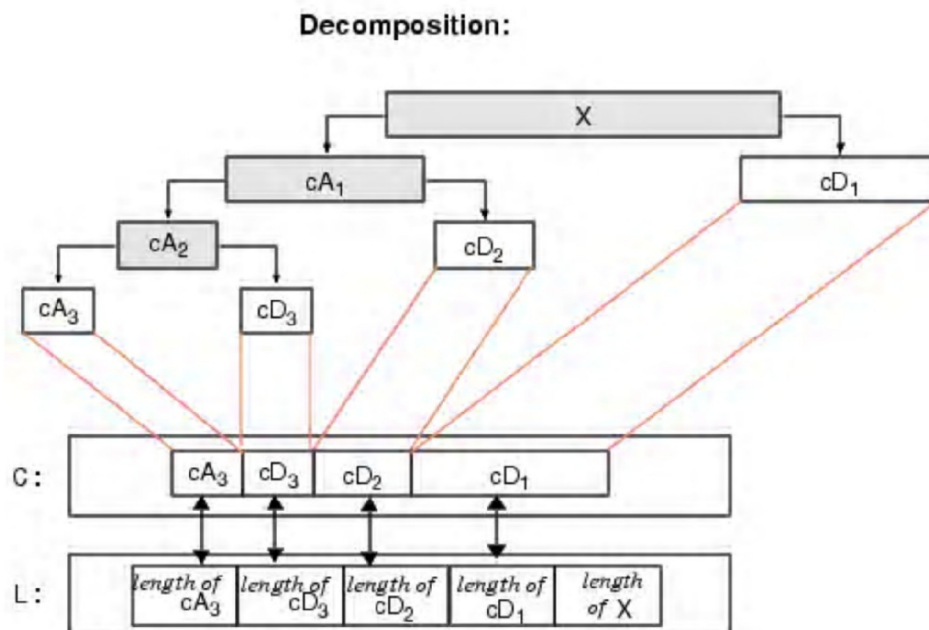
۳-۹-۲ تجزیه چند مرحله ای

تجزیه چند مرحله ای سیگنال به کمک نام موجک یا فیلتر بانک مربوطه تا مرحله N به کمک دستور `wavedec` و مطابق روابط زیر انجام می شود

$$[C, l] = \text{wavedec}(x, N, 'wname') \quad (۳-۵۴)$$

$$[C, L] = \text{wavedec}(x, N, LO_D, Hi_D) \quad (۳-۵۵)$$

شکل شماتیک تجزیه به صورت زیر می باشد



شکل (۳-۳۵) تجزیه چند مرحله ای سیگنال

۳-۹-۳ باز سازی تک مرحله ای

بازسازی سیگنال از روی ضرایب تقریب و جزئیات در حالت تک مرحله ای به کمک دستورات زیر

انجام می شود

$$x = idwt(CA, CD, 'wname') \quad (۳-۵۶)$$

$$x = idwt(CA, CD, LO_R, Hi_R) \quad (۳-۵۷)$$

۳-۹-۴ بازسازی چند مرحله ای

اگر یک سیگنال تجزیه شده باشد ومولفه های تقریب وجزئیات تجزیه در دسترس باشد به کمک

دستور wavedec میتوان سیگنال اصلی را باز سازی کرد.

$$(۳-۵۸)$$

$$x = waverec(C, L, 'wname')$$

$$x = waverec(C, L, LO_R, Hi_R) \quad (۳-۵۹)$$

۳-۹-۵ ضرایب جزییات (CD) و تقریب (CA)

به منظور دسترسی به ضرایب تقریب و جزییات در یک سیگنال تجزیه شده، از دستورات زیر استفاده می شود، اگر سازه تجزیه $[C, L]$ در دسترس باشد، به منظور دسترسی به ضرایب $CD_1, CD_2, \dots, CD_n$ می توان از دستور زیر استفاده کرد.

$$CA = \text{appcoef}(C, L, 'wname', N) \quad (۳-۶۰)$$

$$CA = \text{appcoef}(C, L, LO_R, Hi_R, N) \quad (۳-۶۱)$$

$$CD = \text{detcoef}(C, L, N) \quad (۳-۶۲)$$

البته به کمک شکل ۳-۳۵ و از روی نمودار درختی تجزیه می توان به ضرایب CD_i و CA_n دسترسی پیدا کرد، مثلاً در آن نمودار داریم:

$$(۳-۶۳)$$

$$CA_3 = C(1:L(1))$$

$$(۳-۶۴)$$

$$CD_3 = C(L(1)+1:L(1)+L(2))$$

$$(۳-۶۵)$$

$$CD_2 = C(L(1)+L(2)+1:L(1)+L(2)+L(3))$$

$$(۳-۶۶)$$

$$CD_1 = C(L(1)+L(2)+L(3)+1:L(1)+L(2)+L(3)+L(4))$$

فصل چہارم

مطالعات عددی

۴-۱ مقدمه

به منظور آنالیز دینامیکی سازه ها در برابر زلزله ، از داده های عددی مربوط به شتاب زمین در مدت زلزله استفاده می شود . شتابنگاشت ها این داده ها را به صورت نقاطی با فواصل زمانی معین ثبت می کنند ، شتابنگاشت های این قسمت از شتابنگاشت های موجود در سایت مرکز تحقیقات مسکن و سایت peer strong motion انتخاب شده اند.

در برنامه های کامپیوتری آنالیز دینامیکی سازه ها ، این اعداد که به صورت یک سری فایل های متنی موجود می باشند به برنامه معرفی شده و با مشخص کردن نوع آنالیز ، تعداد نقاط خروجی ، گام های زمانی و ... آنالیز انجام می شود ، در آنالیز سازه های این فصل از نرم افزار SAP۲۰۰۰ نسخه 11.0.8 استفاده شده است . پس از مدل کردن کامل سازه مورد نظر در این برنامه، شتابنگاشت های مربوط به زلزله های السنترو ، طیس و بزم در سازه های جداگانه به برنامه معرفی می شوند و در هر حالت تعداد نقاط خروجی و گام های نقاط خروجی برابر تعداد نقاط ورودی و به همان گام زمانی داده های عددی ورودی در نظر گرفته می شوند ، آنالیز دینامیکی به روش انتگرالگیری مستقیم انجام می شود و در هر حالت زلزله های مربوط در جهت x به سازه اعمال شده و در همه حالات نتایج آنالیز دینامیکی در زمان انجام آنالیز ثبت می شوند .

انرژی یک سیگنال از رابطه زیر بدست می آید

$$E = \int_{-\infty}^{\infty} |x(t)|^2 dt \quad (4-1)$$

که $x(t)$ سیگنال مورد نظر و $|x(t)|$ اندازه این سیگنال می باشد .

موج زلزله نیز یک سیگنال بوده و انرژی آن در طی مدت زلزله از رابطه (۴-۱) بدست می آید ، اما از آنجا که قست اعظم انرژی زلزله در قسمت با محتوای فرکانسی پایین قرار دارد ، می توان این قسمت از موج را استخراج کرده و برای این قسمت از موج زلزله آنالیز دینامیکی را انجام داد . حُسن این عمل آن است که در این حالت، زمان تحلیل دینامیکی سازه مورد نظر در برابر زلزله کاهش می یابد .

همانطور که ذکر شد فایل‌های متنی مربوط به داده های زلزله در دسترس می باشند ، در واقع موج زلزله به صورت یک تابع شتاب - زمان در این فایل ها ثبت شده است و معمولاً شتاب زمین هنگام زلزله به صورت تابعی از g یعنی شتاب گرانشی زمین در فاصله های زمانی یکسانی موجود می باشد . با فیلتر کردن موج زلزله و عبور آن از یک فیلتر دوکاناله بالاگذر می توان محتوای فرکانسی بالا و پایین زلزله را از هم تفکیک کرد که طی این عمل تعداد نقاط موج زلزله نصف و گام زمانی دوبرابر می شود ، حال می توان قسمت با محتوای فرکانسی پایین را به عنوان یک موج جدید در نظر گرفت و سازه موردنظر را برای این موج جدید آنالیز کرد و از آنجا که تعداد نقاط معرف موج به نصف موج اولیه کاهش یافته است بنابراین زمان آنالیز نصف می شود .

همچنین می توان موج حاصله از فیلتر پایین گذر در مرحله اول را به عنوان یک سیگنال جدید در نظر گرفت و با عبور دادن آن از یک فیلتر دوکاناله ، مجدداً محتوای بالا و پایین فرکانسی آن را از هم تفکیک کرد ، خروجی های این مرحله هر کدام حاوی یک چهارم نقاط موج اولیه بوده و گام زمانی در این حالت، چهار برابر حالت اولیه می شود ، در این صورت با انتخاب قست پایین گذر و انجام آنالیز دینامیکی برای این موج ، زمان تحلیل به یک چهارم حالت اولیه کاهش می یابد .

با تکرار این عمل و انتخاب قسمت پایین گذر ، در هر مرحله زمان تحلیل نسبت به حالت قبل به نصف کاهش می یابد . اما از آنجا که در هر مرحله از فیلتر کردن نقاط خاصی از موج اصلی گزینش می شوند مسلماً پاسخ سازه در برابر سیگنال های جدید با پاسخ سازه در برابر سیگنال اولیه تفاوت خواهد داشت و درصد خطا با افزایش مراحل فیلتر کردن افزایش می یابد .

در سازه های این قسمت تغییر مکان گرهی در نقاط مختلف سازه به عنوان ملاک عمل انتخاب شده و در هر مرحله درصد خطا که ناشی از اختلاف تغییر مکان هر حالت با حالت اولیه می باشد محاسبه می شود و مشاهده می شود که با فیلتر کردن تا دو مرحله درصد خطا در همه حالات کمتر از ۱۰٪ می باشد ، یعنی با دوبار عمل فیلتر کردن موج اصلی و انتخاب یک چهارم نقاط موج اولیه و انجام

آنالیز سازه برای این نقاط و با کم شدن زمان تحلیل به یک چهارم حالت اولیه ، تغییر مکان نقاط سازه نسبت به حالتیکه موج اصلی به سازه اعمال شده است ، درصد خطایی کمتر از ۱۰٪ خواهند داشت .

هنگامیکه پاسخ سازه برای موج فیلتر شده در مرحله n ام محاسبه شد باید برای این پاسخ به تعداد n مرحله تبدیل معکوس موجکی (IDWT) انجام شود . به عنوان مثال اگر فیلتر کردن موج اصلی زلزله تا سه مرحله انجام شود و آخرین مؤلفه پایین گذر برای آنالیز دینامیکی انتخاب شود، برای پاسخ سازه در برابر این مؤلفه، باید سه مرحله تبدیل معکوس موجکی انجام شود تا بتوان نتایج حاصله را با نتایج مربوط به زلزله اصلی مقایسه نمود .

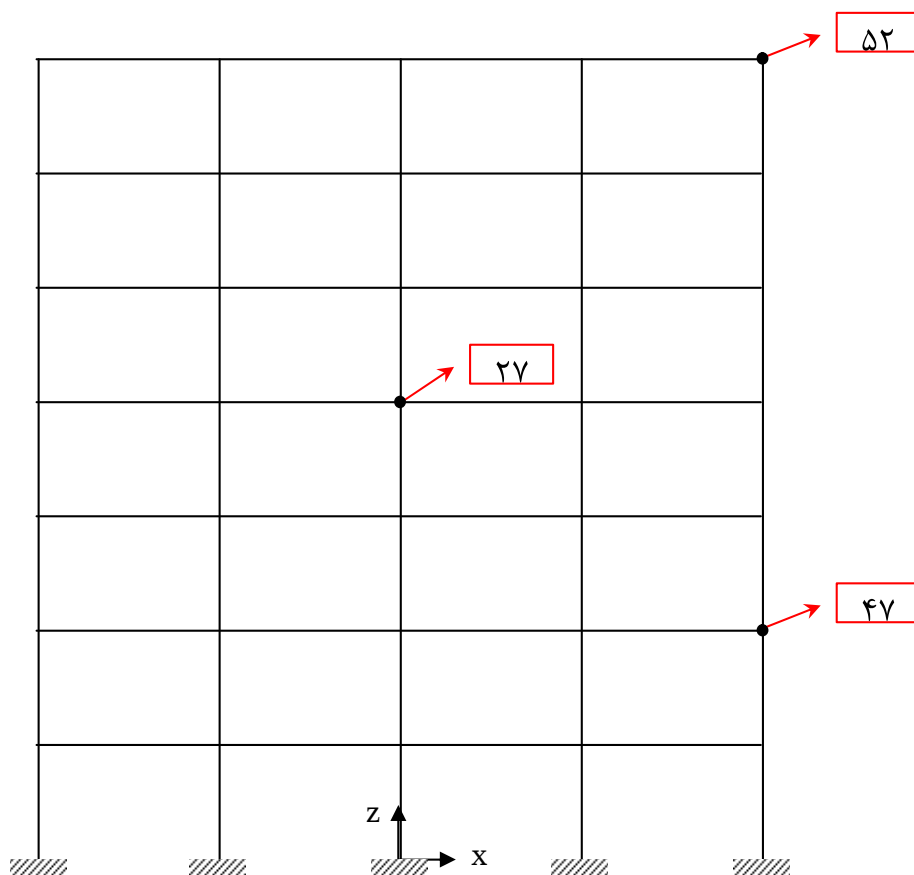
عمل فیلتر کردن موج اصلی در برنامه MATLAB و به کمک توابع پایه موجکی دابچیز انجام می شود . فیلتر کردن برای رکوردهای مختلف زلزله تا چهار مرحله انجام شده و نمودارهای مربوط به حالات مختلف این عمل در هر حالت نشان داده شده است . همچنین تاریخچه تغییر مکان گره های مختلف سازه در برابر موج اصلی و مؤلفه های آن نشان داده شده است . به کمک نرم افزار Seismosignal نیز طیف زلزله برای موج اصلی و مؤلفه ها آن در رکوردهای مختلف زلزله رسم شده است .

۴-۲ آنالیز دینامیکی قاب خمشی ۷ طبقه در برابر زلزله السنترو

در این قسمت یک قاب خمشی ۷ طبقه فولادی در برابر مؤلفه افقی زلزله السنترو و مؤلفه های تجزیه شده پایین گذر آن تا ۴ مرحله آنالیز می شود .

زلزله السنترو و از سایت peer strong motion اقتباس شده و مؤلفه افقی این زلزله که حاوی ۴۰۰۰ نقطه با گام های زمانی ۰/۰۱ می باشد، انتخاب شده است . حداکثر شتاب زمین (PGA) طی این مؤلفه برابر $0.313g$ می باشد . تاریخ وقوع زلزله نیز ۱۹۴۰/۰۵/۱۹ بوده و این مؤلفه از زلزله در جهت x به قاب اعمال و آنالیز به روش انتگرالگیری مستقیم خطی انجام می شود .

این قاب که در شکل ۴-۱ نشان داده شده است دارای ۷ طبقه و ۴ دهانه می باشد. ارتفاع طبقات ۳/۲ متر و عرض هر دهانه ۵ متر می باشد. تیرهای ۴ طبقه اول IPE ۴۵۰ و سه طبقه بالایی IPE ۴۰۰ بوده و ستونهای ۴ طبقه اول HE ۴۵۰ A و سه طبقه بالایی HE ۴۰۰ A می باشد که پروفیل HE A معادل با پروفیل IPB می باشد. تنش جاری شدن فولاد $f_y = 2400 \text{ kg/cm}^2$ و تنش نهایی آن $f_u = 3700 \text{ kg/cm}^2$ می باشد. عرض بارگیر قاب ۵ متر فرض شده است و با توجه به اینکه بار مرده و زنده به ترتیب 600 kg/m^2 و 200 kg/m^2 در نظر گرفته شده است، بار مرده و زنده گسترده تیرهای قاب به ترتیب 3000 kg/m و 1000 kg/m خواهد بود.

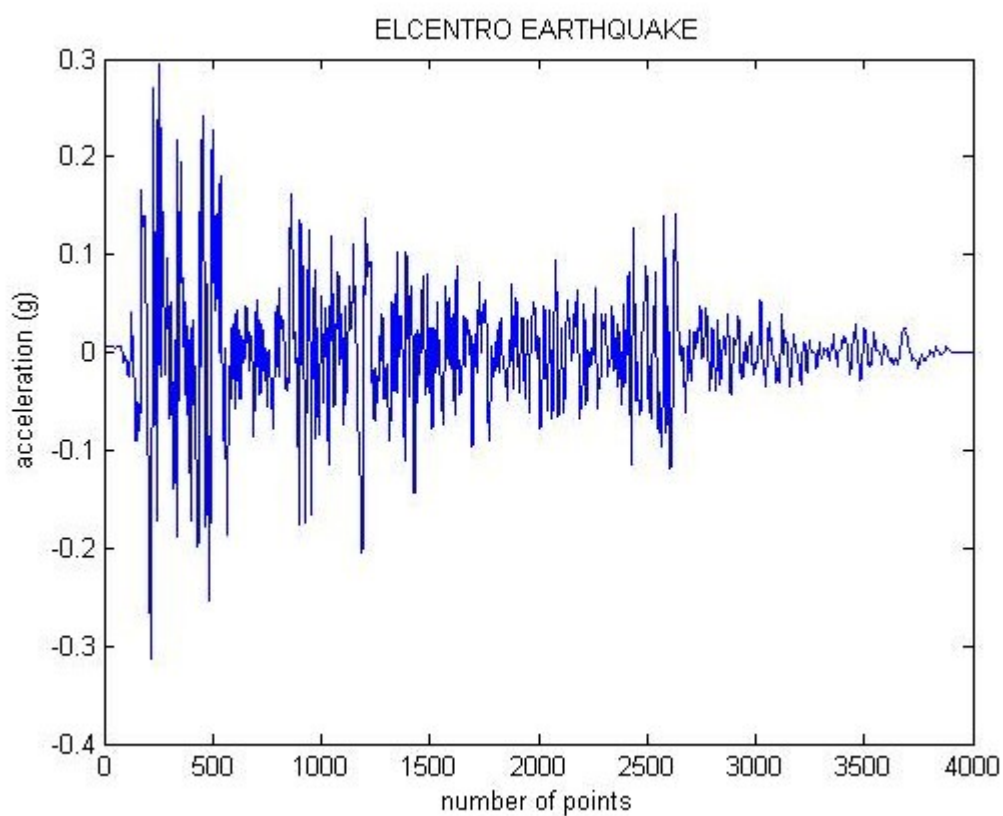


شکل (۴-۱) قاب ۷ طبقه خمشی فولادی

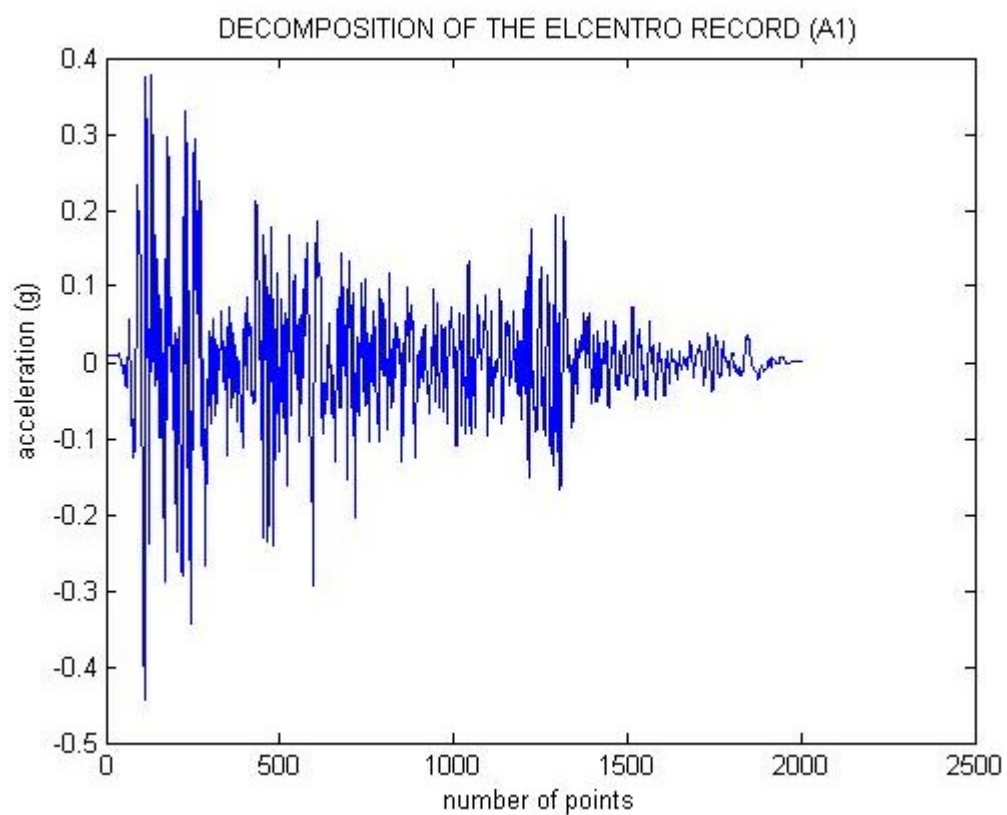
همانطور که ذکر شد این زلزله تا چهار مرحله فیلتر می شود، بنابراین تعداد نقاط در هر مرحله به ترتیب ۲۰۰۰، ۱۰۰۰، ۵۰۰ و ۲۵۰ نقطه و گام زمانی در این مؤلفه ها به ترتیب ۰/۰۲، ۰/۰۴،

۰/۰۸ و ۰/۱۶ ثانیه خواهد بود و برای هر یک از این مؤلفه ها آنالیز دینامیکی به طور جداگانه انجام شده و نهایتاً نتایج با هم مقایسه می شوند .

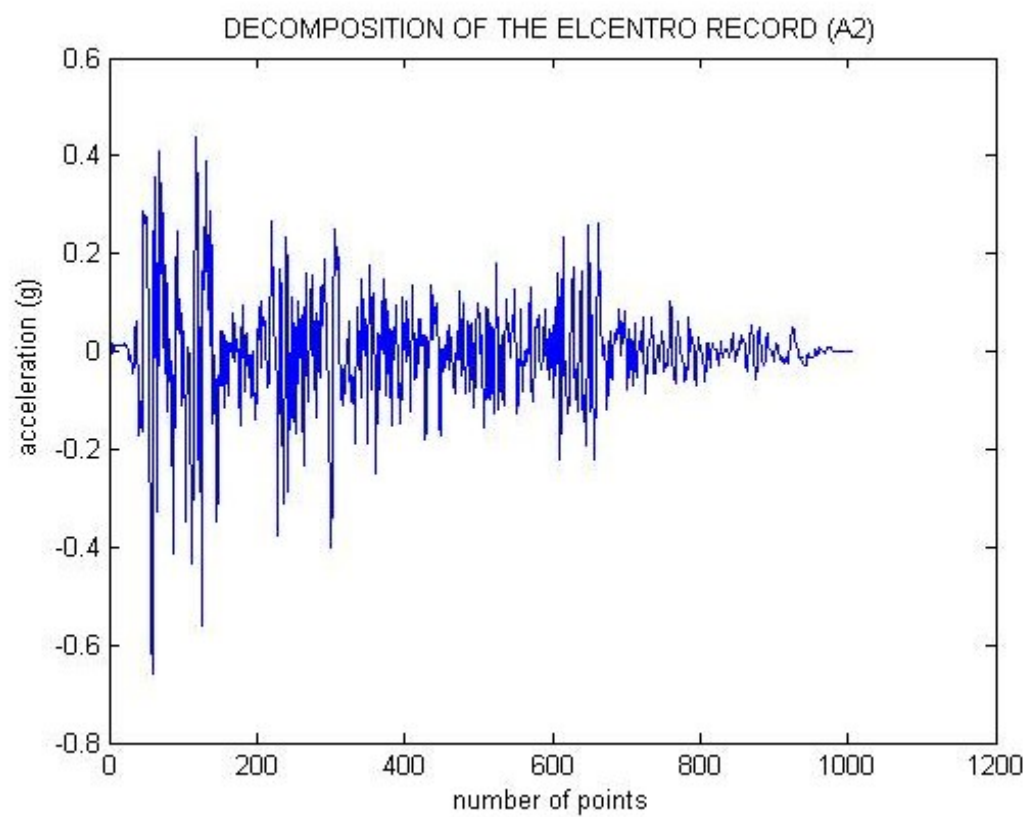
فیلتر کردن زلزله اصلی به کمک موجک db^4 انجام شده است و مؤلفه های بالاگذر و پایین گذر تا چهار مرحله در شکلهای ۲-۴ تا ۱۰-۴ نشان داده شده اند .



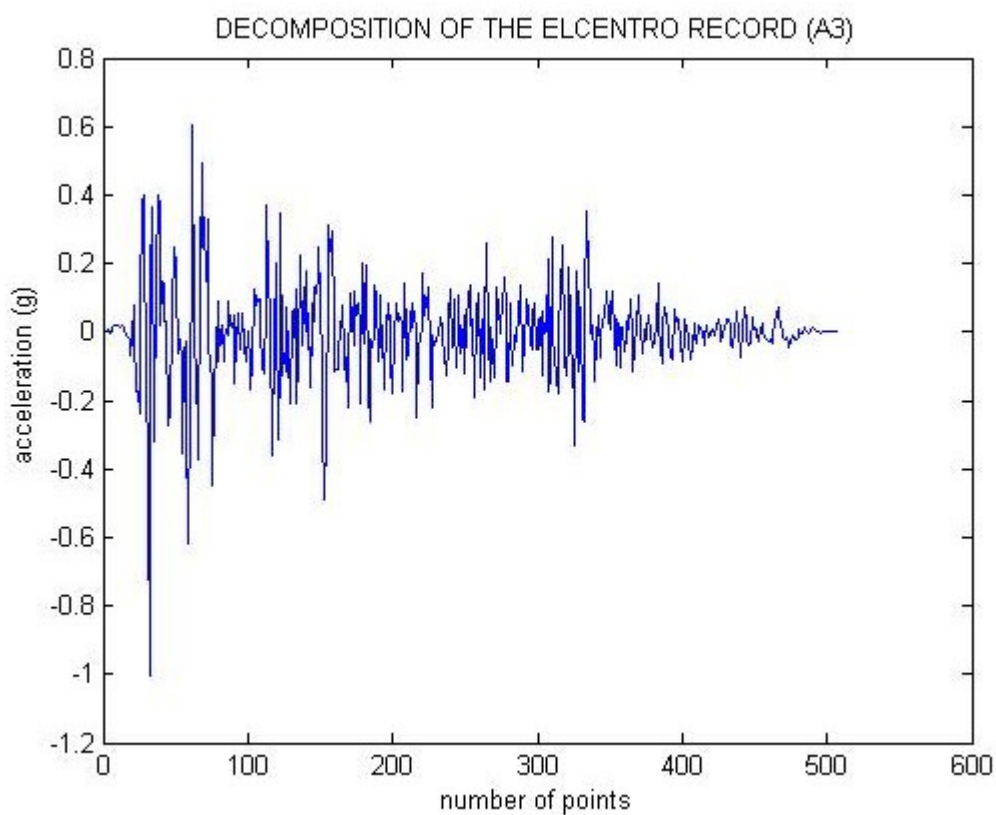
شکل (۲-۴) مؤلفه افقی زلزله السنترو



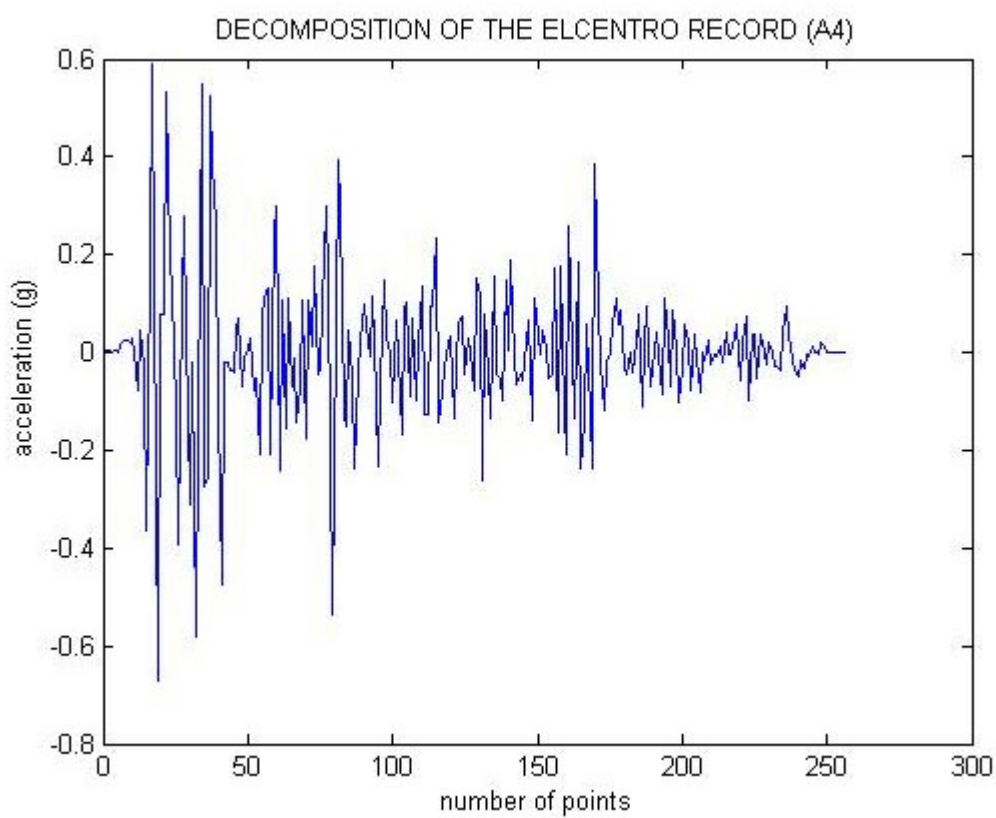
شکل (۳-۴) اولین مولفه پایین گذر زلزله السنترو



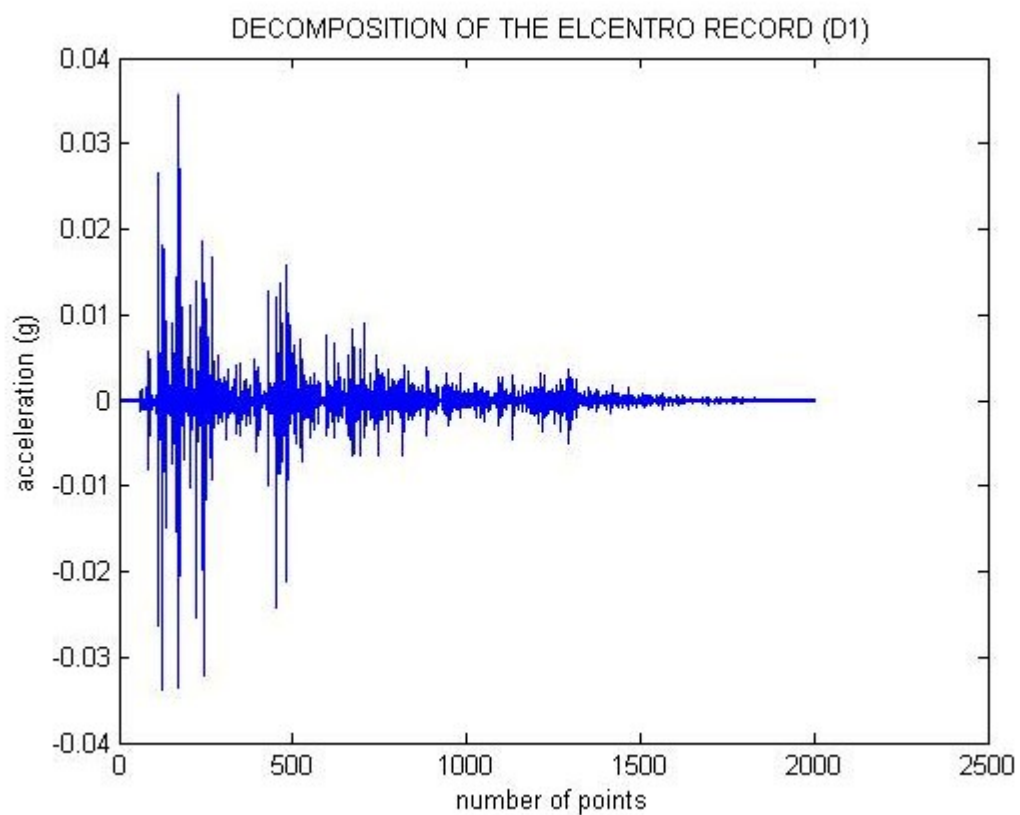
شکل (۴-۴) دومین مولفه پایین گذر زلزله السنترو



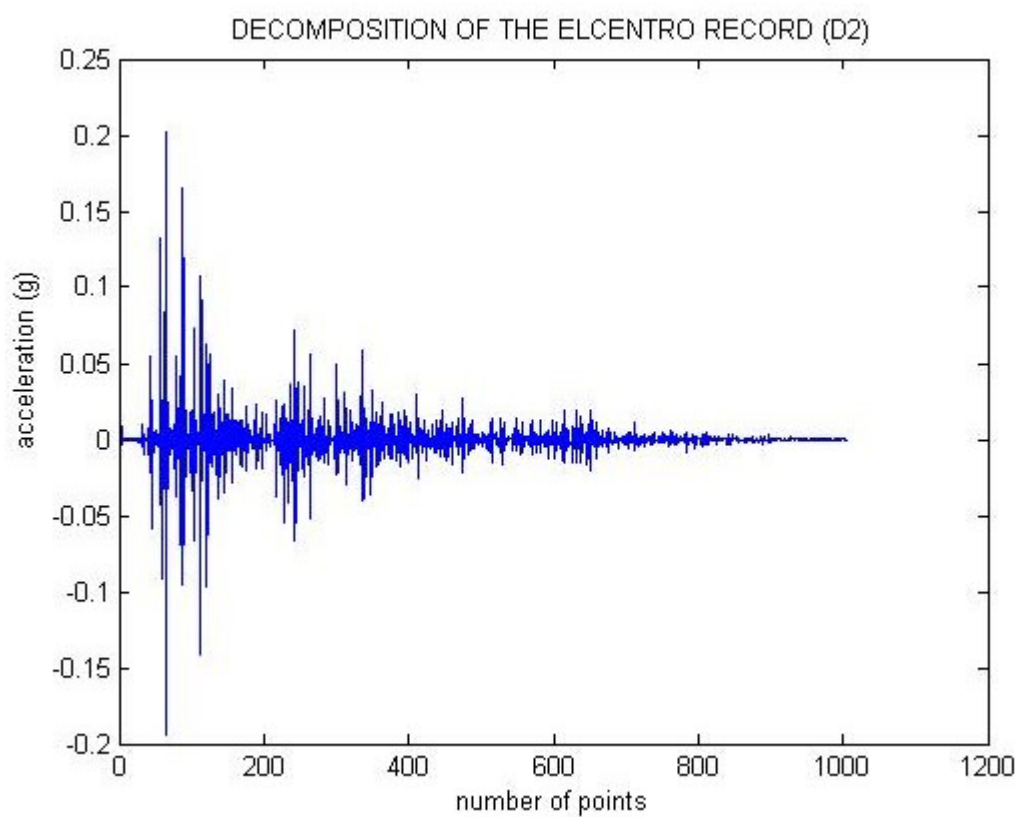
شکل (۴-۵) سومین مولفه پایین گذر زلزله السنترو



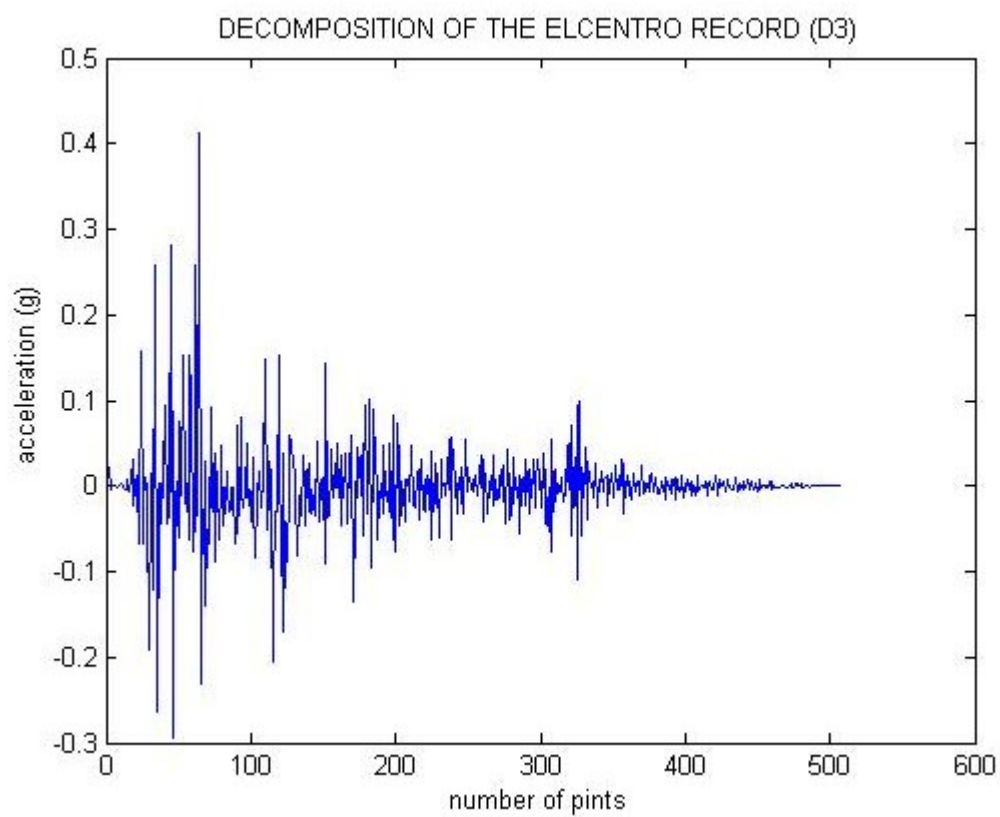
شکل (۴-۶) چهارمین مولفه پایین گذر زلزله السنترو



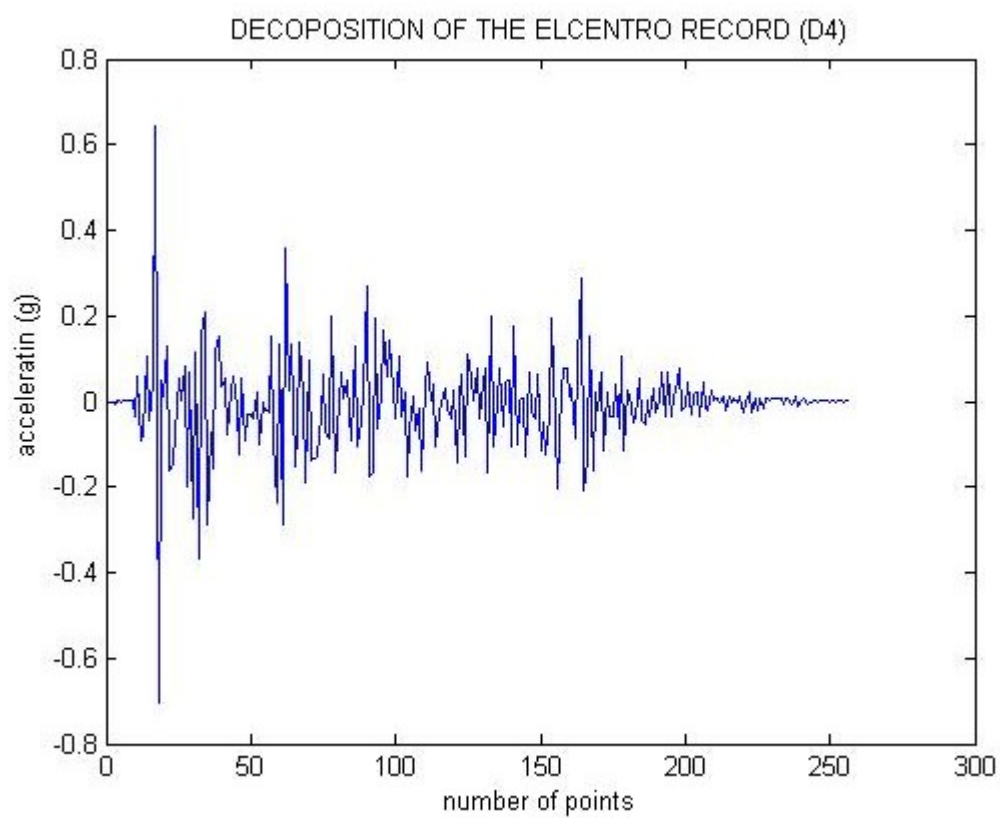
شکل (۷-۴) اولین مولفه بالا گذر زلزله السنترو



شکل (۸-۴) دومین مولفه بالا گذر زلزله السنترو



شکل (۹-۴) سومین مولفه بالا گذر زلزله السنترو

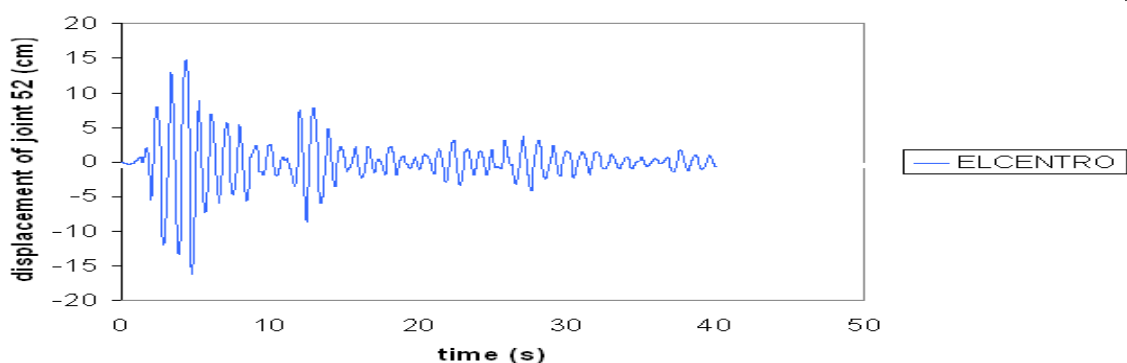


شکل (۱۰-۴) چهارمین مولفه بالا گذر زلزله السنترو

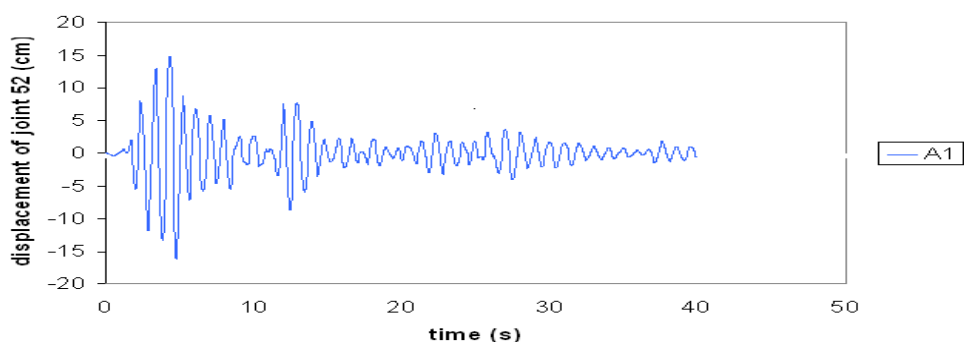
سه نقطه از این قاب در نظر گرفته شده و تاریخچه تغییر مکان این نقاط هنگام زلزله رسم شده و نقاط ماکسیمم این تغییر مکانها در هر حالت با حالت اولیه مقایسه می شوند .

اولین گره ، گره فوقانی سمت راست قاب یعنی گره شماره ۵۲ می باشد که تاریخچه تغییر مکان این گره تحت زلزله اصلی و مؤلفه های پایین گذر A^1 تا A^4 در شکلهای ۴-۱۱ تا ۴-۱۵ رسم شده

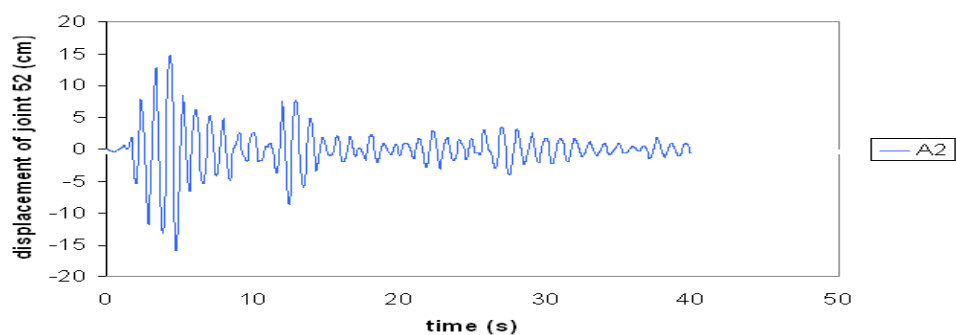
است



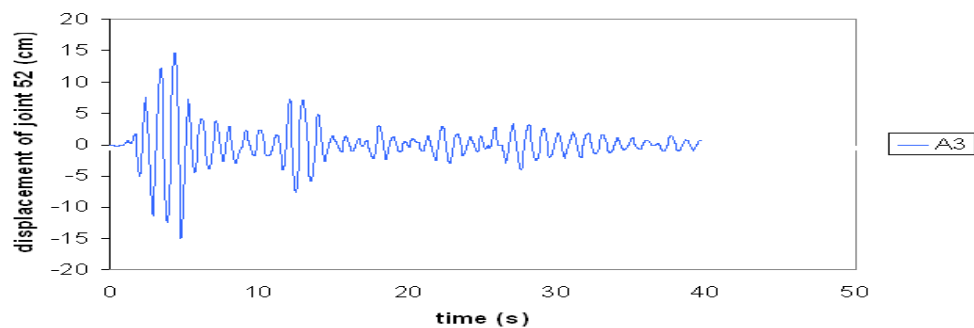
شکل (۴-۱۱) تاریخچه تغییر مکان گره ۵۲ تحت زلزله السنترو



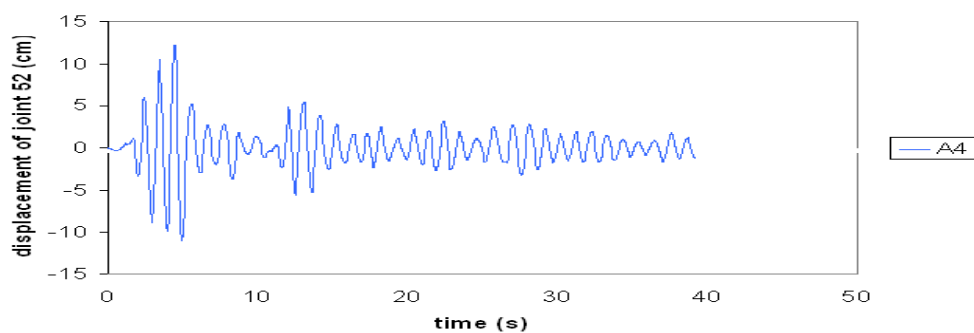
شکل (۴-۱۲) تاریخچه تغییر مکان گره ۵۲ تحت مولفه A^1 زلزله السنترو



شکل (۴-۱۳) تاریخچه تغییر مکان گره ۵۲ تحت مولفه A^2 زلزله السنترو



شکل (۴-۱۴) تاریخچه تغییر مکان گره ۵۲ تحت مولفه A^۳ زلزله السنترو



شکل (۴-۱۵) تاریخچه تغییر مکان گره ۵۲ تحت مولفه A^۴ زلزله السنترو

درصد خطا با رابطه زیر محاسبه می شود :

$$\text{درصد خطا} = \left| \frac{\Delta_{\max} - (\Delta_{\max})_i}{\Delta_{\max}} \right| \times 100 \quad (۴-۲)$$

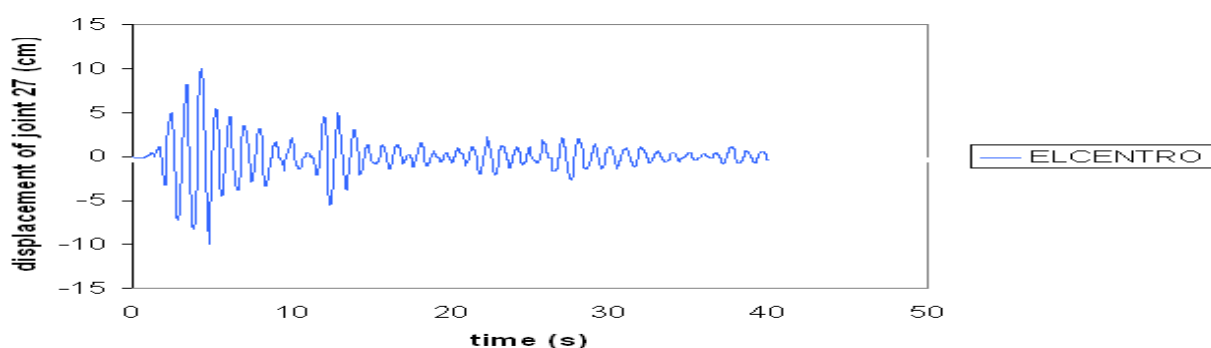
که در این رابطه $\Delta_{\max}$ تغییر مکان حداکثر گره مورد نظر در برابر زلزله اصلی و $(\Delta_{\max})_i$ حداکثر تغییر مکان آن گره در مرحله i می باشد. این تغییر مکانها، حداکثر تغییر مکان در جهت مثبت محور x می باشند.

مقدار تغییر مکان حداکثر درصد خطا و زمان آنالیز در هر حالت در جدول ۴-۱ نشان داده شده است.

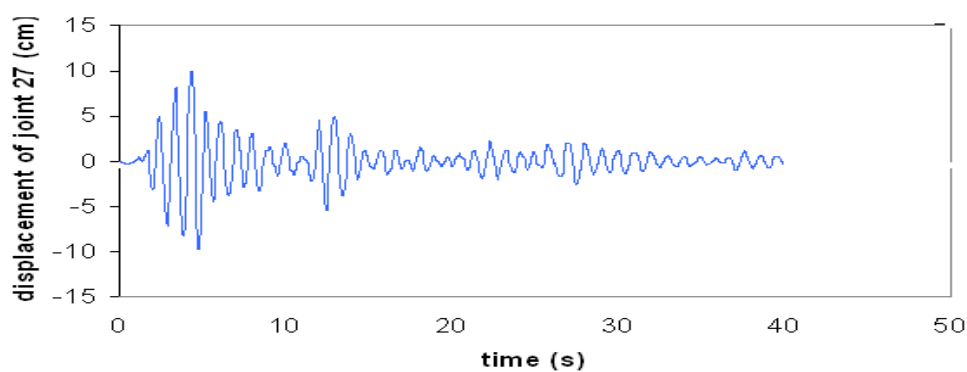
جدول (۱-۴) نتایج آنالیز دینامیکی قاب ۷ طبقه در گره ۵۲

زمان آنالیز (ثانیه)	درصد خطا	حداکثر تغییر مکان (cm)	گره ۵۲
۹۶	----	۱۴.۷۹	ELCENTRO
۴۸	۰.۰۷	۱۴.۸۰	A ^۱
۲۴	۰.۲	۱۴.۸۲	A ^۲
۱۲	۱	۱۴.۶۴	A ^۳
۶	۱۷	۱۲.۲۸	A ^۴

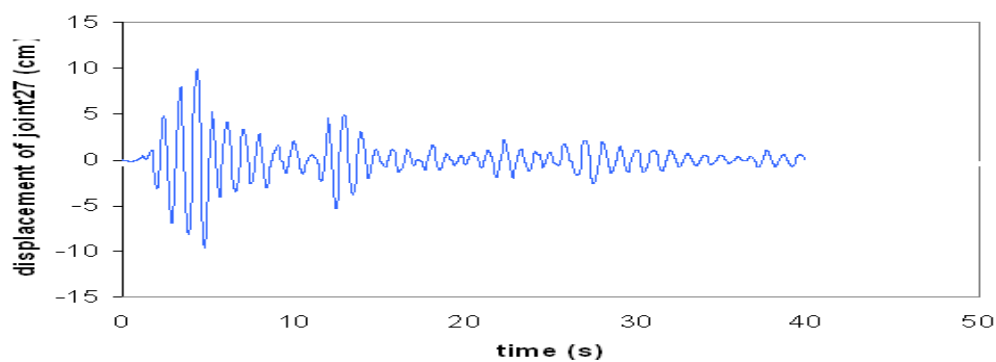
گره بعدی گره شماره ۲۷ در طبقه چهارم می باشد. تاریخچه تغییر مکان این نقطه تحت زلزله اصلی و مؤلفه های A^۱ تا A^۴ در شکل های ۱۶-۴ تا ۲۰-۴ رسم شده است.



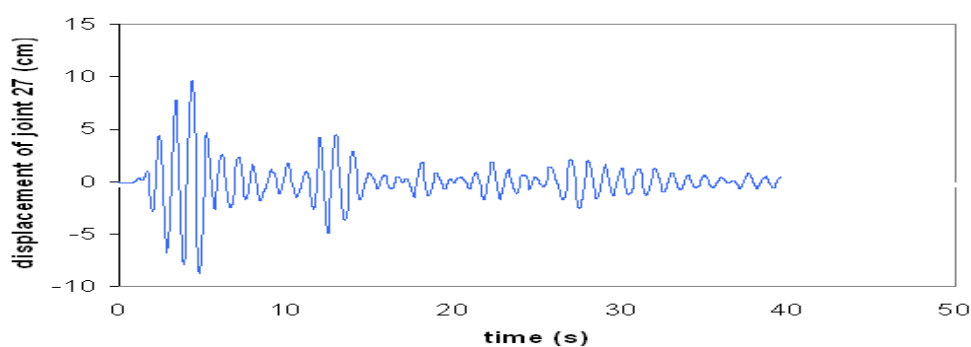
شکل (۱۶-۴) تاریخچه تغییر مکان گره ۲۷ تحت مولفه افقی زلزله السنترو



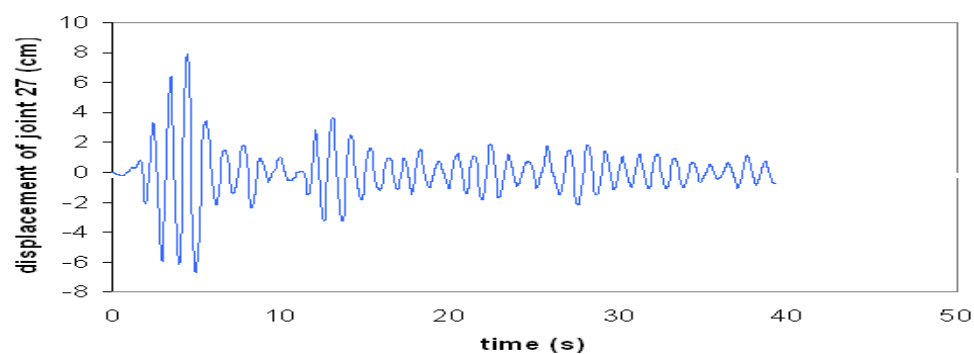
شکل (۱۷-۴) تاریخچه تغییر مکان گره ۲۷ تحت مولفه A^۱ زلزله السنترو



شکل ۴-۱۸) تاریخچه تغییر مکان گره ۲۷ تحت مولفه A^۲ زلزله السنترو



شکل ۴-۱۹) تاریخچه تغییر مکان گره ۲۷ تحت مولفه A^۳ زلزله السنترو



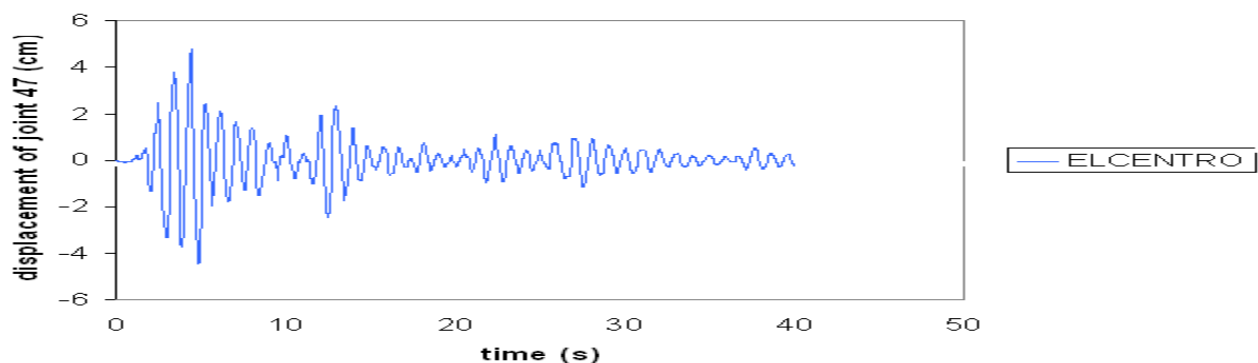
شکل ۴-۲۰) تاریخچه تغییر مکان گره ۲۷ تحت مولفه A^۴ زلزله السنترو

تغییر مکان حداکثر این گره تحت زلزله اصلی و مؤلفه های آن و درصد خطا در هر حالت در جدول ۴-۲ ارائه شده است .

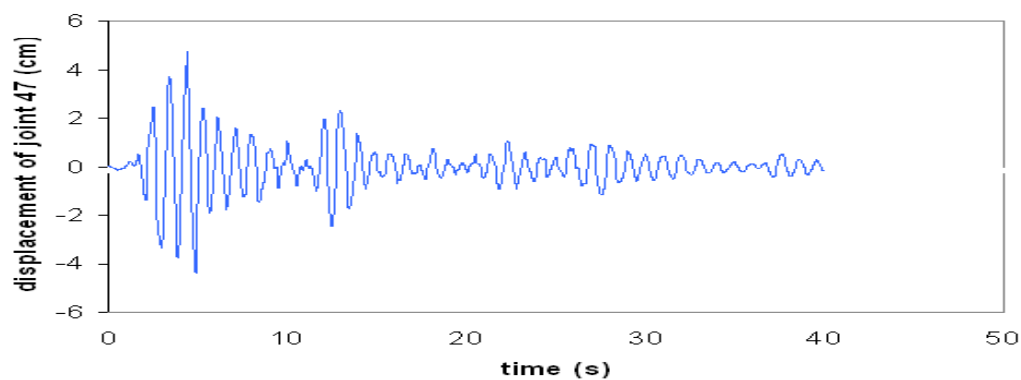
جدول (۲-۴) نتایج آنالیز دینامیکی قاب ۷ طبقه در گره ۲۷

زمان آنالیز (ثانیه)	درصد خطا	حداکثر تغییر مکان (cm)	گره ۲۷
۹۶	----	۹.۹۷	ELCENTRO
۴۸	۰.۲	۹.۹۵	A ^۱
۲۴	۰.۶	۹.۹۱	A ^۲
۱۲	۲.۸	۹.۶۹	A ^۳
۶	۲۱	۷.۸۷	A ^۴

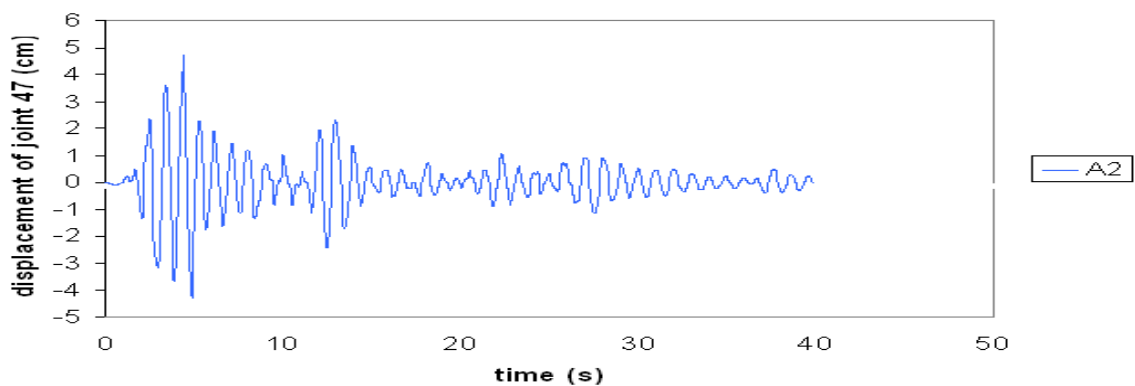
آخرین گره ، گره شماره ۴۷ در طبقه دوم می باشد که تاریخچه تغییر مکان این گره در حالات مختلف در شکل‌های ۲۱-۴ تا ۲۵-۴ رسم شده است .



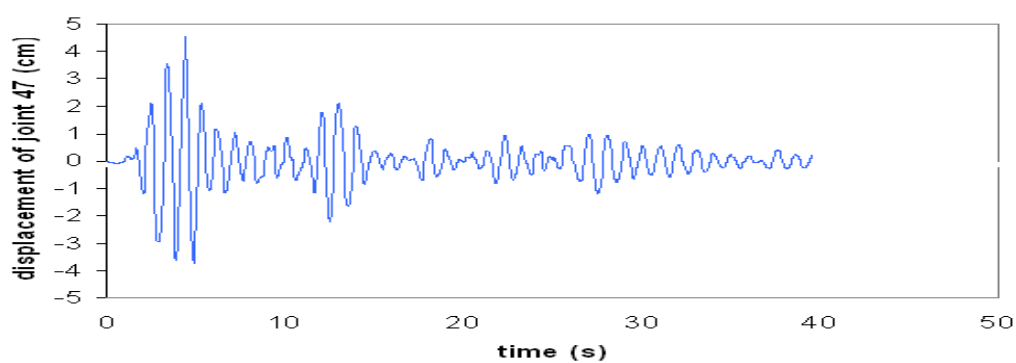
شکل (۲۱-۴) تاریخچه تغییر مکان گره ۴۷ تحت مولفه افقی زلزله السنترو در قاب ۷ طبقه



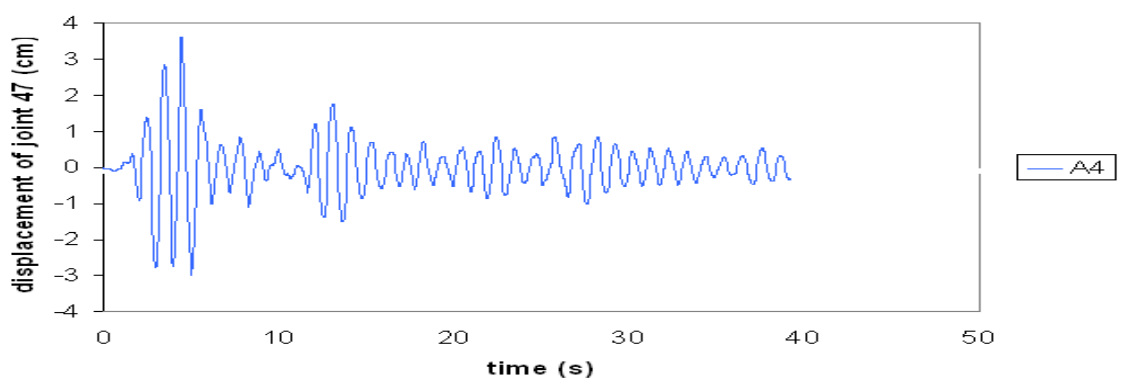
شکل (۲۲-۴) تاریخچه تغییر مکان گره ۴۷ تحت مولفه A^۱ زلزله السنترو در قاب ۷ طبقه



شکل (۴-۲۳) تاریخچه تغییر مکان گره ۴۷ تحت مولفه A_۲ زلزله السنترو در قاب ۷ طبقه



شکل (۴-۲۴) تاریخچه تغییر مکان گره ۴۷ تحت مولفه A_۳ زلزله السنترو در قاب ۷ طبقه



شکل (۴-۲۵) تاریخچه تغییر مکان گره ۴۷ تحت مولفه A_۴ زلزله السنترو در قاب ۷ طبقه

تغییر مکانهای حداکثر و درصد خطا در هر حالت در جدول ۴-۳ نشان داده شده است .

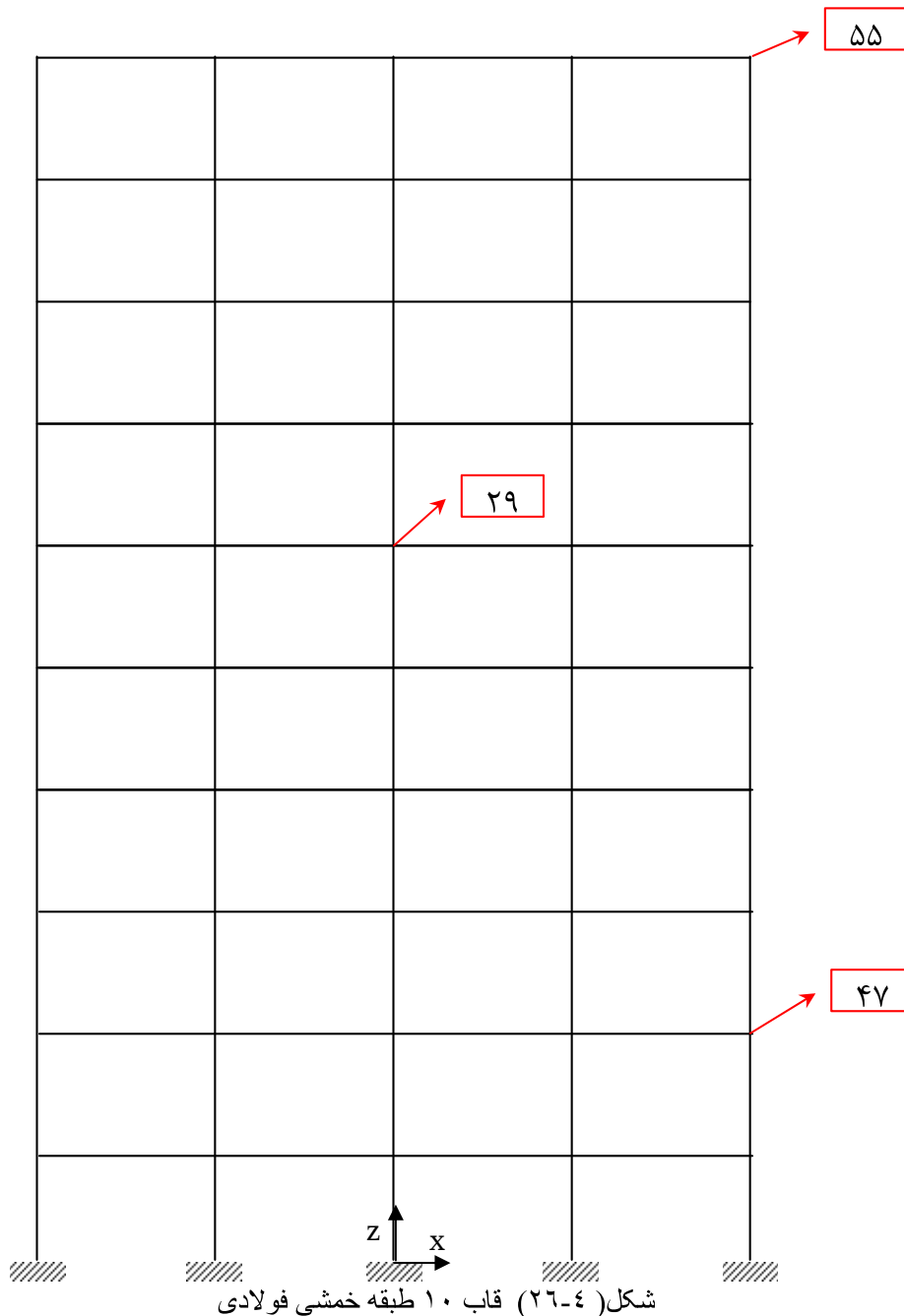
جدول (۳-۴) نتایج آنالیز دینامیکی قاب ۷ طبقه در گره ۴۷

زمان آنالیز (ثانیه)	درصد خطا	حداکثر تغییر مکان (cm)	گره ۴۷
۹۶	----	۴.۷۸	ELCENTRO
۴۸	۰.۲	۴.۷۷	A ^۱
۲۴	۱.۵	۴.۷۱	A ^۲
۱۲	۴.۶	۴.۵۶	A ^۳
۶	۲۴	۳.۶۱	A ^۴

همانطور که در جدولهای ۱-۴ تا ۳-۴ مشاهده می شود حداکثر درصد خطا تا مؤلفه A^۲ در گره های این قاب برابر ۱/۵٪ می باشد .

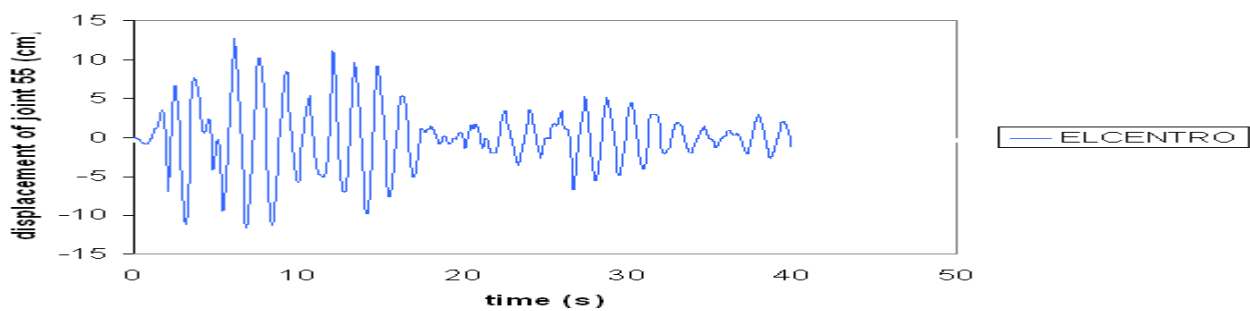
۳-۴ آنالیز دینامیکی قاب خمشی ۱۰ طبقه در برابر زلزله السنترو

این قاب نیز یک قاب ۱۰ طبقه فولادی می باشد ، مشخصات و جهت زلزله اعمالی ، جنس فولاد ، بار تیرها ، عرض و ارتفاع طبقات مانند حالت قبل می باشد با این تفاوت که تیرها در هر ۵ طبقه اول IPB۴۵۰ و در ۵ طبقه فوقانی IPE۴۰۰ بوده و ستونهای ۷ طبقه اول A HE۴۰۰ و ۳ طبقه فوقانی HE۳۶۰ A می باشند . این قاب در شکل ۴-۲۶ نشان داده شده است . در این قاب نیز سه گره از قاب انتخاب شده شده و تاریخچه تغییر مکان این گره ها تحت زلزله اصلی و مؤلفه های آن رسم و مقایسه نتایج انجام خواهد شد .

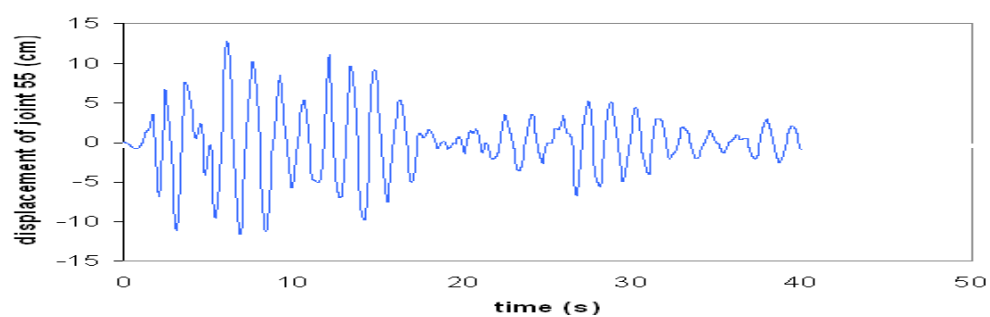


شکل (۴-۲۶) قاب ۱۰ طبقه خمشی فولادی

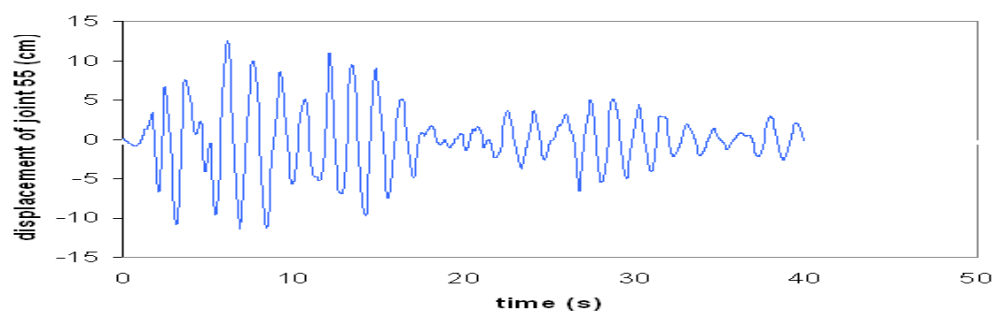
گره ابتدایی گره فوقانی قاب یعنی گره ۵۵ می باشد که تاریخچه تغییر مکان این گره در حالات مختلف در شکل‌های ۴-۲۷ تا ۴-۳۱ رسم شده است .



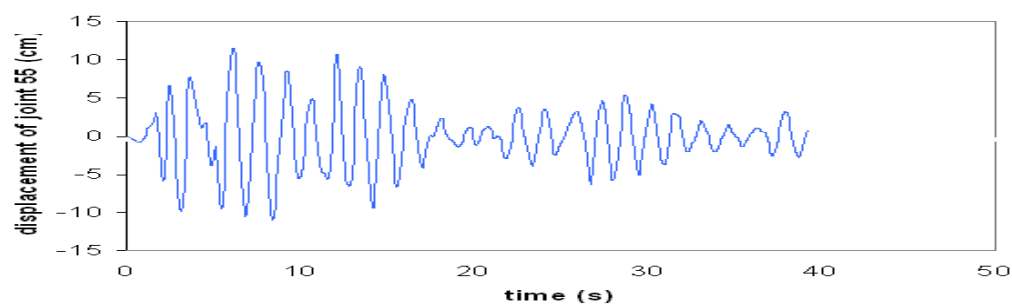
شکل (۴-۲۷) تاریخچه تغییر مکان گره ۵۵ تحت مولفه افقی زلزله السنترو



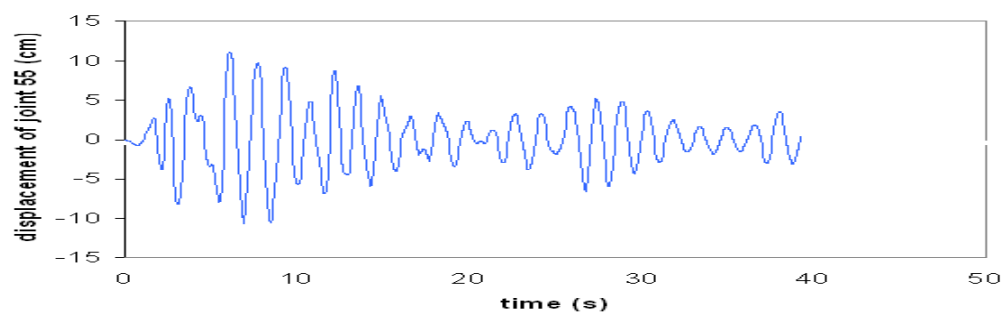
شکل (۴-۲۸) تاریخچه تغییر مکان گره ۵۵ تحت مولفه A^۱ زلزله السنترو



شکل (۴-۲۹) تاریخچه تغییر مکان گره ۵۵ تحت مولفه A^۲ زلزله السنترو



شکل (۴-۳۰) تاریخچه تغییر مکان گره ۵۵ تحت مولفه A^۳ زلزله السنترو



شکل (۴-۳۱) تاریخچه تغییر مکان گره ۵۵ تحت مولفه A^۴ زلزله السنترو

مقدار حداکثر تغییر مکان ، درصد خطا و زمان آنالیز در هر حالت در جدول ۴-۴ ارائه شده است .

جدول (۴-۴) نتایج آنالیز دینامیکی قاب ۱۰ طبقه در گره ۵۵

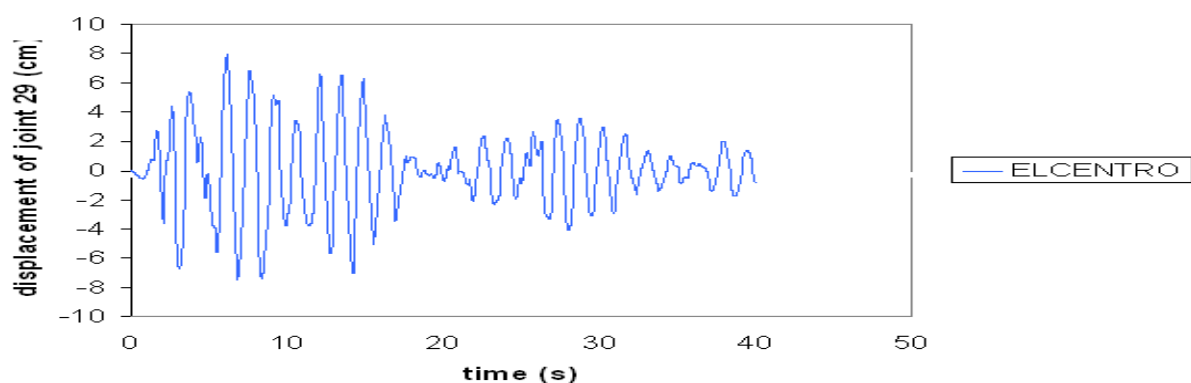
زمان آنالیز (ثانیه)	درصد خطا	حداکثر تغییر مکان (cm)	گره ۵۵
۱۰۲	---	۱۲.۷۰	ELCENTRO
۵۱	۰.۰۸	۱۲.۶۹	A ^۱
۲۶	۱.۴۲	۱۲.۵۲	A ^۲
۱۳	۹.۶	۱۱.۴۸	A ^۳
۷	۱۲.۴	۱۱.۱۲	A ^۴

سیگنال اصلی زلزله در این حالت به کمک موجک db^۴ تجزیه شده است . این سیگنال بار دیگر به کمک موجک haar فیلتر شده و قاب در برابر زلزله اصلی و مؤلفه های پایین گذر آن که با فیلتر کردن به کمک موجک haar حاصل شده اند ، آنالیز می شود و حداکثر تغییر مکان و درصد خطا در حالات مختلف برای گره ۵۵ در جدول ۴-۵ ارائه شده است . همچنین به منظور مقایسه با حالاتیکه تجزیه به کمک موجک db^۴ انجام شده است درصد خطا در این حالت نیز در جدول آمده است . مشاهده می شود که تجزیه به کمک موجک db^۴ معمولاً منجر به خطایی کمتر می شود .

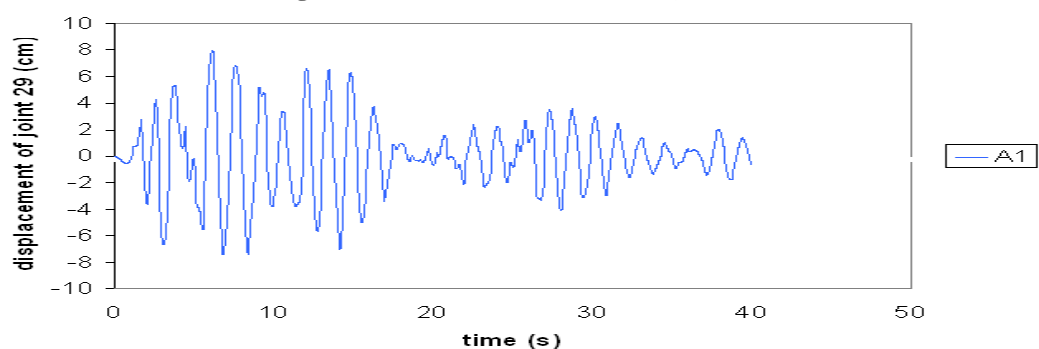
جدول (۴-۵) نتایج آنالیز دینامیکی قاب ۱۰ طبقه در گره ۵۵ به کمک موجک haar و db^۴

درصد خطا در تجزیه با موجک db ^۴	درصد خطا در تجزیه با موجک haar	حداکثر تغییر مکان در تجزیه با موجک haar	گره ۵۵
---	---	۱۲.۷۰	ELCENTRO
۰.۰۸	۰.۳۹	۱۲.۶۶	A ^۱
۱.۴۲	۱.۶	۱۲.۴۹	A ^۲
۹.۶	۷.۶	۱۱.۷۳	A ^۳
۱۲.۴	۱۳.۷	۱۰.۹۶	A ^۴

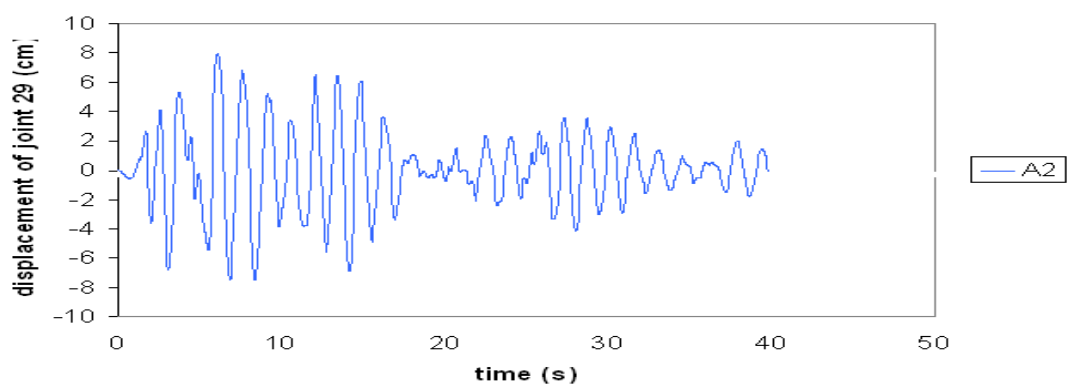
گره بعدی گره شماره ۲۹ در طبقه ششم می باشد که تاریخچه تغییر مکان این گره ها در حالات مختلف در شکل‌های ۳۲-۴ تا ۳۶-۴ رسم شده است.



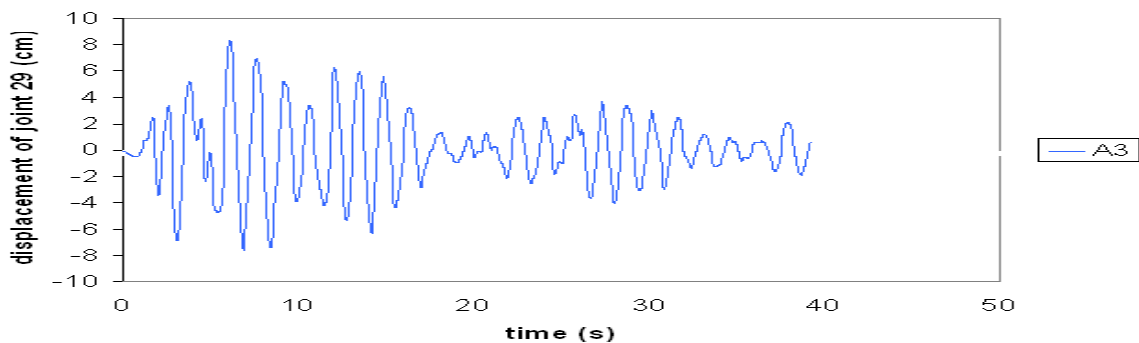
شکل (۳۲-۴) تاریخچه تغییر مکان گره ۲۹ تحت مولفه افقی زلزله السنترو



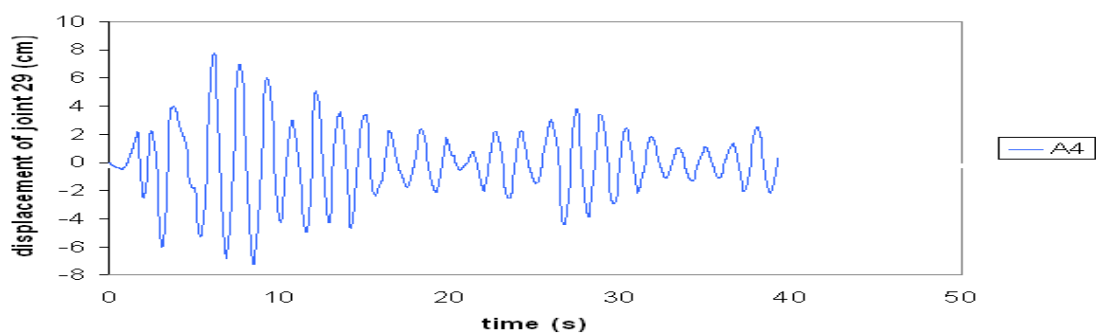
شکل (۳۳-۴) تاریخچه تغییر مکان گره ۲۹ تحت مولفه A1 زلزله السنترو



شکل (۳۴-۴) تاریخچه تغییر مکان گره ۲۹ تحت مولفه A2 زلزله السنترو



شکل (۴-۳۵) تاریخچه تغییر مکان گره ۲۹ تحت مولفه A^۳ زلزله السنترو



شکل (۴-۳۶) تاریخچه تغییر مکان گره ۲۹ تحت مولفه A^۴ زلزله السنترو

مقایسه حداکثر تغییر مکانها و درصد خطا در هر حالت نیز در جدول ۴-۶ انجام شده است .

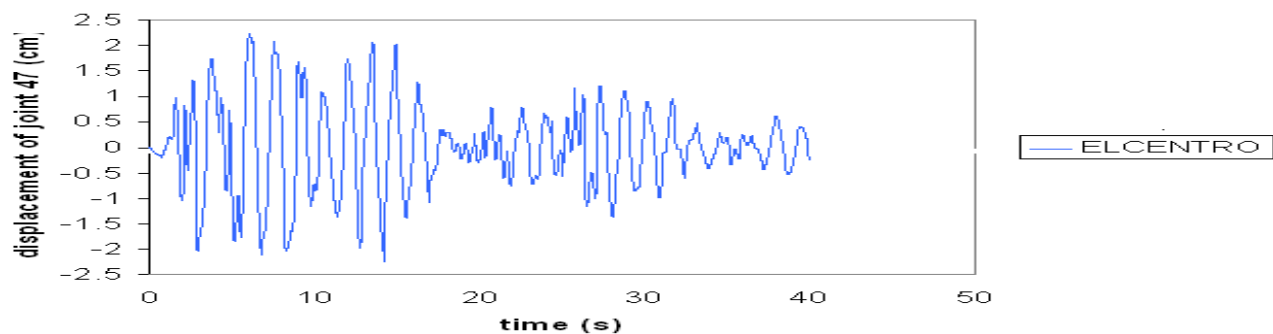
جدول (۴-۶) نتایج آنالیز دینامیکی قاب ۱۰ طبقه در گره ۲۹

زمان آنالیز (ثانیه)	درصد خطا	حداکثر تغییر مکان (cm)	گره ۲۹
۱۰۲	---	۷.۹۴	ELCENTRO
۵۱	۰	۷.۹۴	A ^۱
۲۶	۰	۷.۹۴	A ^۲
۱۳	۴.۶	۸.۳۱	A ^۳
۷	۲	۷.۷۸	A ^۴

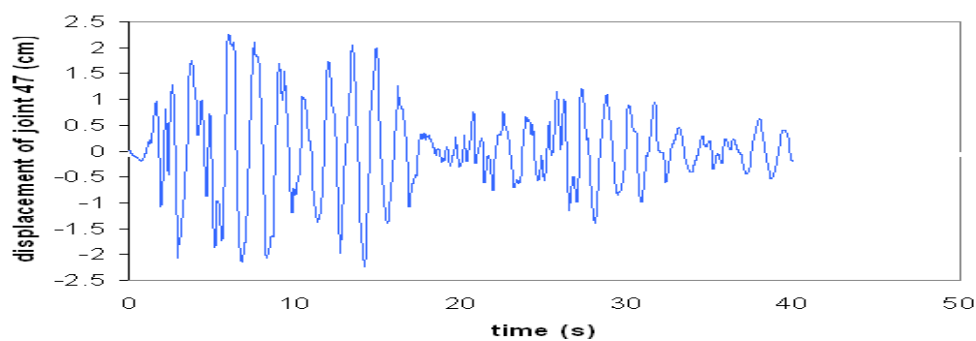
لازم به ذکر است که در حالت A^۱ و A^۲ در صورتیکه تغییر مکانها تا سه رقم اعشار منظور شوند، در

صد خطا صفر نخواهد شد اما در این حالت نیز خطا حدود پنج صدم درصد خواهد بود.

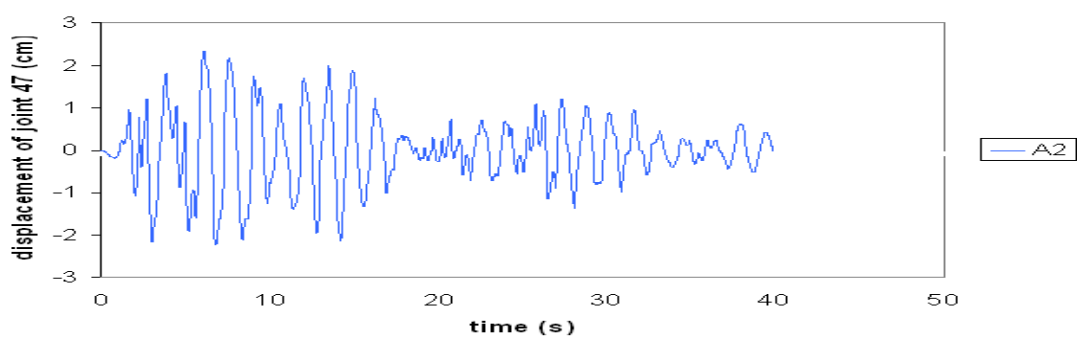
آخرین گره ، گره شماره ۴۷ در طبقه دوم می باشد ، برای این گره نیز تاریخچه تغییر مکان در حالات مختلف در شکل‌های ۴-۳۷ تا ۴-۴۱ رسم شده است .



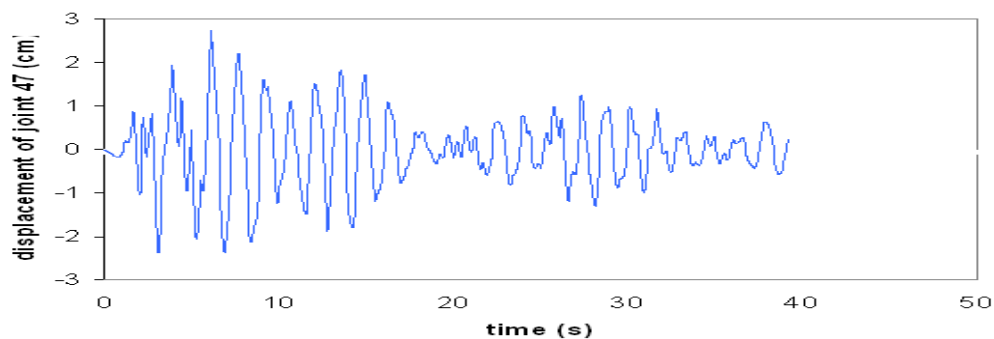
شکل (۴-۳۷) تاریخچه تغییر مکان گره ۴۷ تحت مولفه افقی زلزله السنترو در قاب ۱۰ طبقه



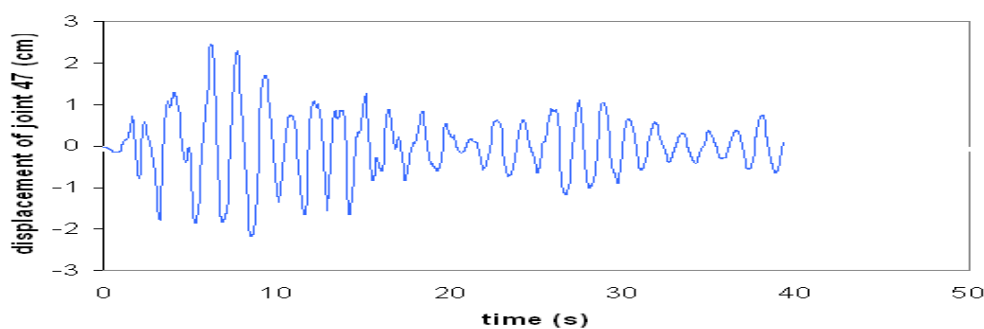
شکل (۴-۳۸) تاریخچه تغییر مکان گره ۴۷ تحت مولفه A^۱ زلزله السنترو در قاب ۱۰ طبقه



شکل (۴-۳۹) تاریخچه تغییر مکان گره ۴۷ تحت مولفه A^۲ زلزله السنترو در قاب ۱۰ طبقه



شکل (۴-۴۰) تاریخچه تغییر مکان گره ۴۷ تحت مولفه A^3 زلزله السنترو در قاب ۱۰ طبقه



شکل (۴-۴۱) تاریخچه تغییر مکان گره ۴۷ تحت مولفه A^4 زلزله السنترو در قاب ۱۰ طبقه

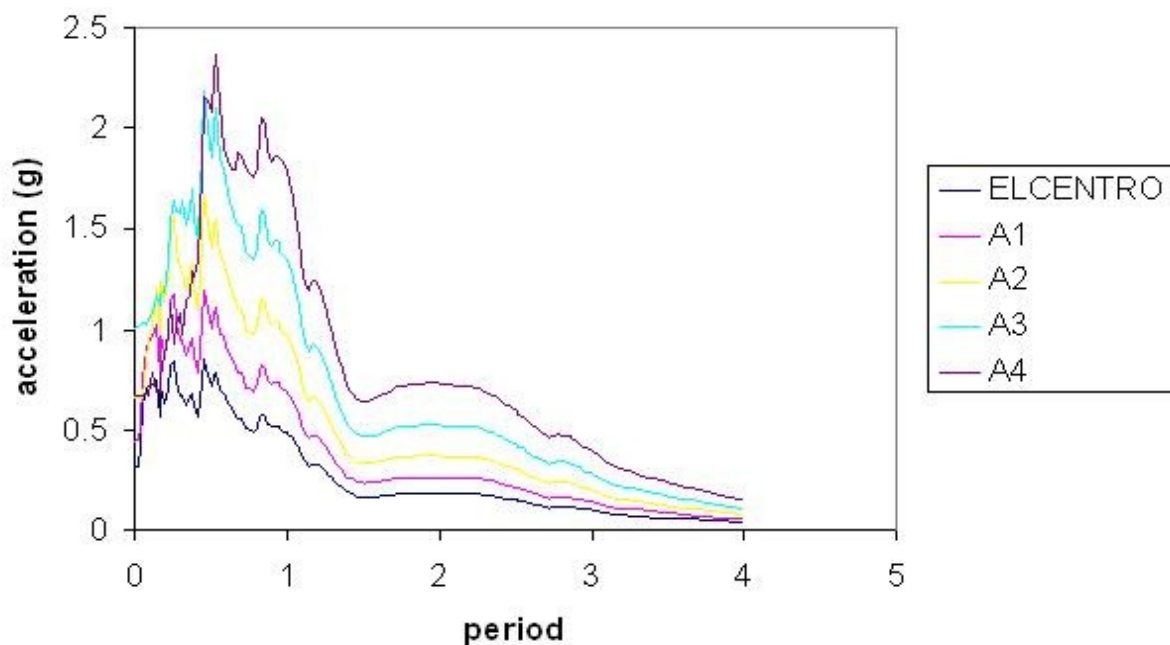
مقایسه نتایج در جدول ۴-۷ انجام شده است.

جدول (۴-۷) نتایج آنالیز دینامیکی قاب ۱۰ طبقه در گره ۴۷

زمان آنالیز (ثانیه)	درصد خطا	حداکثر تغییر مکان (cm)	گره ۴۷
۱۰۲	---	۲.۲۴	ELCENTRO
۵۱	۰.۹	۲.۲۶	A^1
۲۶	۴.۵	۲.۳۴	A^2
۱۳	۲۱.۹	۲.۷۳	A^3
۷	۹.۴	۲.۴۵	A^4

همانطور که در جداول ۴-۴ تا ۴-۷ مشاهده حداکثر میزان خطا در تجزیه تا مرحله دوم ۴/۵٪ می باشد .

در شکل ۴-۴ طیف مؤلفه افقی زلزله السنترو و طیف مؤلفه های A_1 تا A_4 این زلزله به کمک نرم افزار seismosignal رسم شده است .

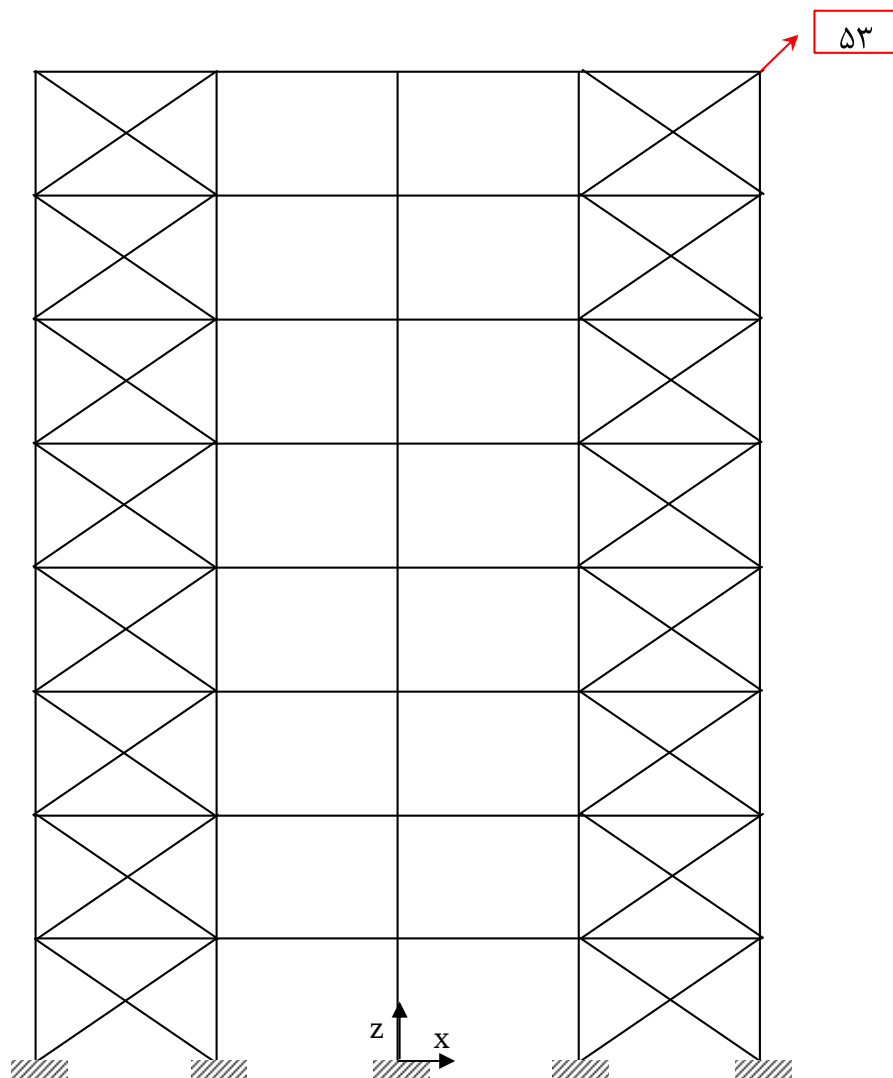


شکل (۴-۴) طیف زلزله السنترو و مؤلفه های آن

۴-۴ آنالیز دینامیکی قاب ۸ طبقه بادبندی در برابر زلزله طبس

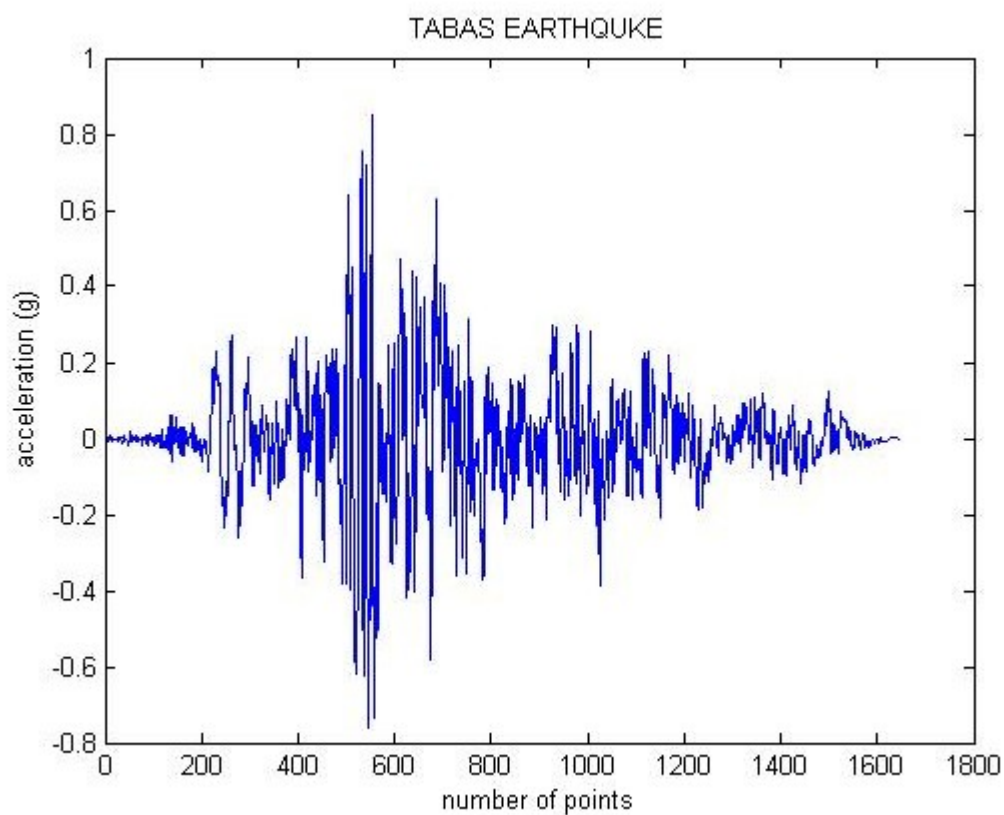
در این قسمت یک قاب ۸ طبقه بادبندی که دهانه های کناری آن بادبندی می باشد در نظر گرفته شده است . در ۵ طبقه اول تیرها IPE_{450} و ستونهای A_{HE450} و در سه طبقه فوقانی تیرها IPE_{400} و ستونها A_{HE400} می باشند . عرض دهانه ها، ارتفاع طبقات و جنس فولاد مانند قسمتهای ۲-۴ و ۳-۴ در نظر گرفته شده است. این قاب در شکل ۴-۴ نشان داده شده است .

زلزله اعمالی به قاب مؤلفه افقی زلزله طبس با PGA برابر $0.852g$ می باشد . این زلزله در ایستگاه طبس ثبت شده و حاوی ۱۶۴۰ نقطه بر حسب g با گام زمانی 0.02 ثانیه می باشد .

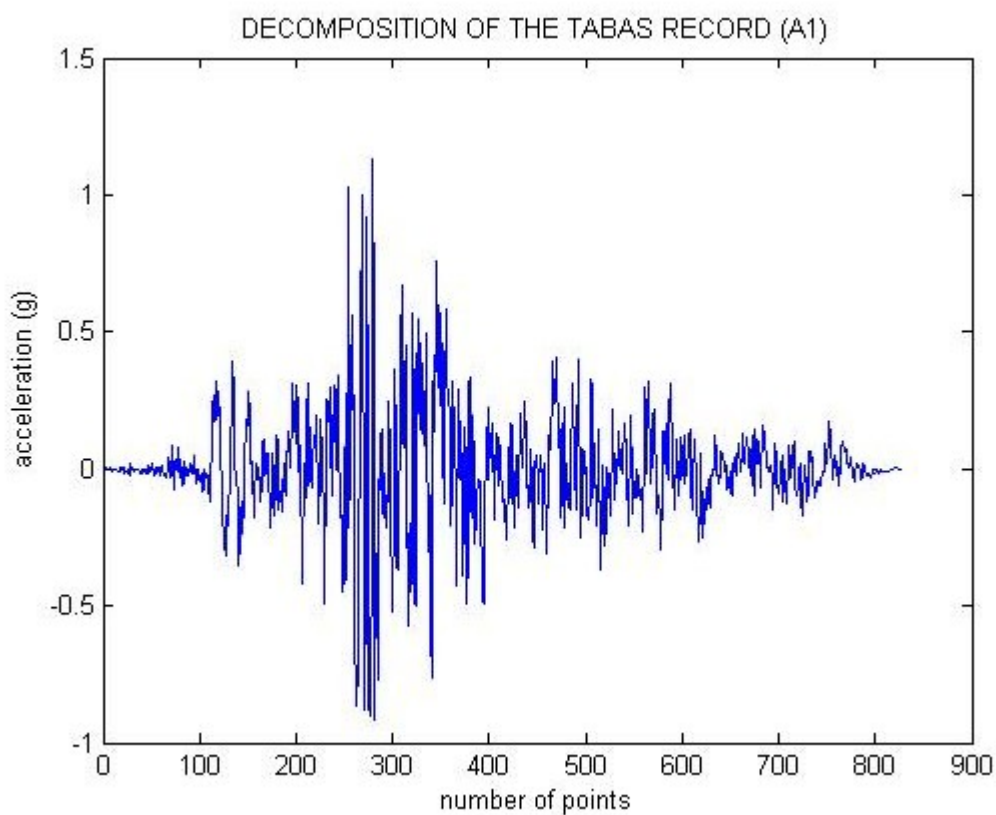


شکل (۴-۴۳) قاب ۸ طبقه بادبندی

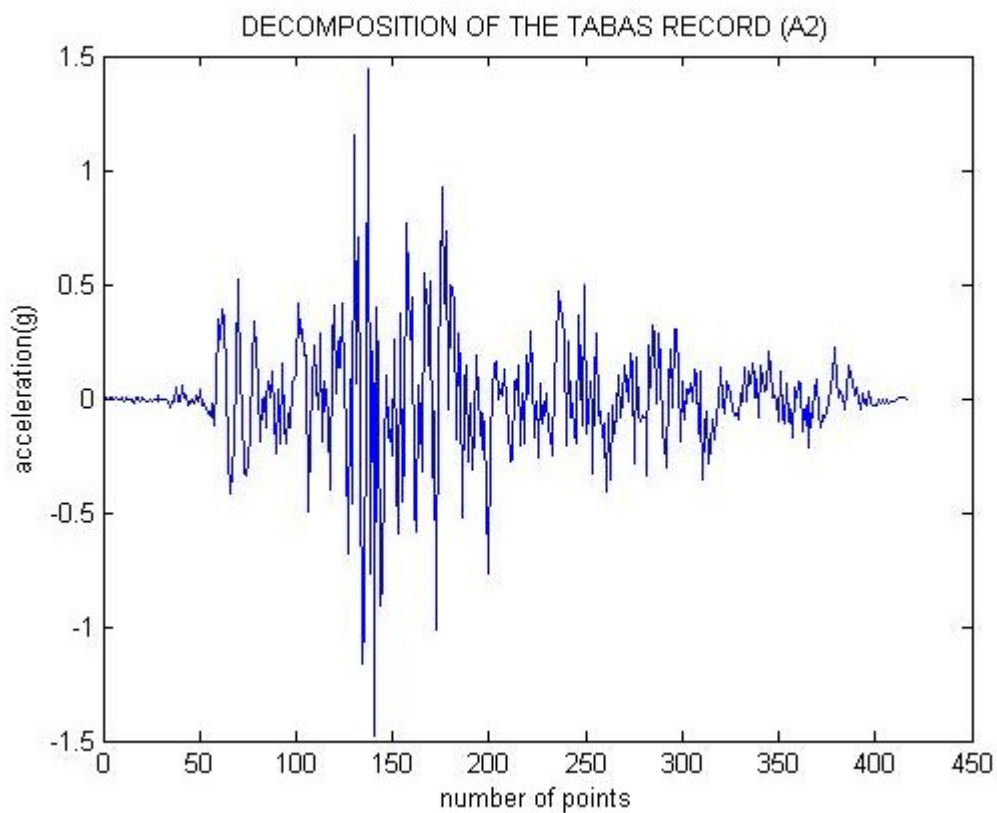
در این حالت نیز تجزیه به کمک موجک db^4 انجام شده است. اما در این حالت تمامی مؤلفه های A^1 تا A^4 و D^1 تا D^4 یعنی تمام مؤلفه های بالا گذر و پایین گذر تا چهار مرحله در نظر گرفته شده و برای هر حالت، آنالیز دینامیکی انجام شده است. در شکل های ۴-۴۴ تا ۴-۵۲ زلزله اصلی و مؤلفه های آن نشان داده شده است.



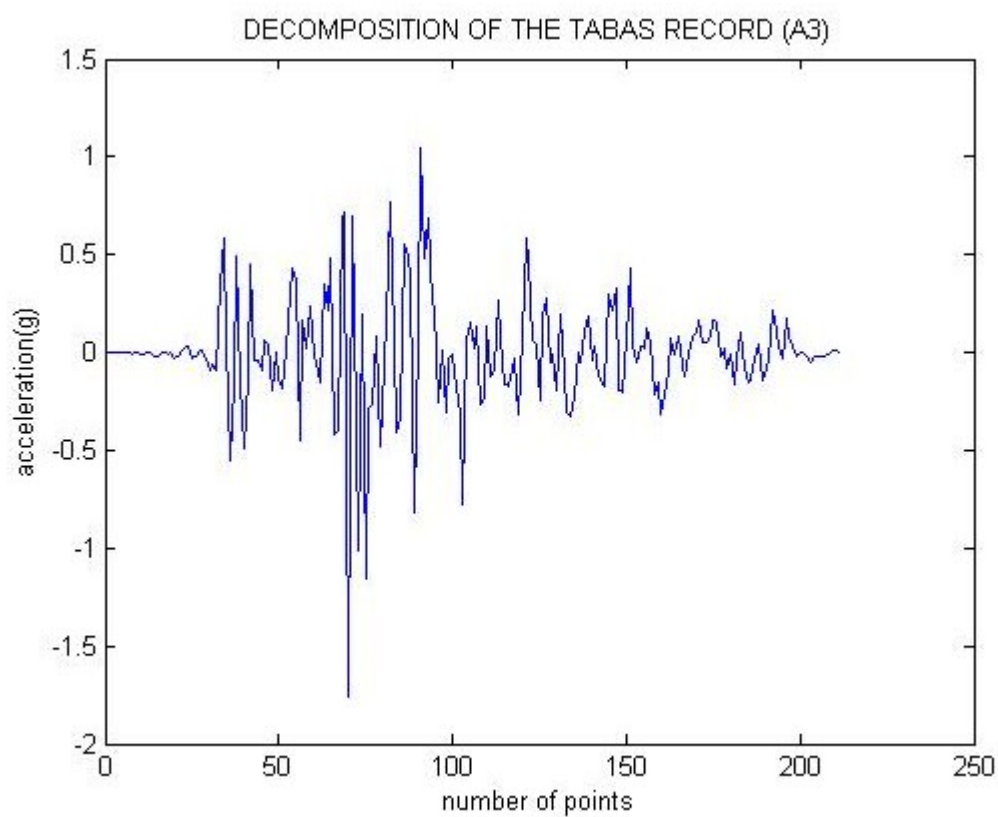
شکل (۴-۴) مولفه افقی زلزله طیس



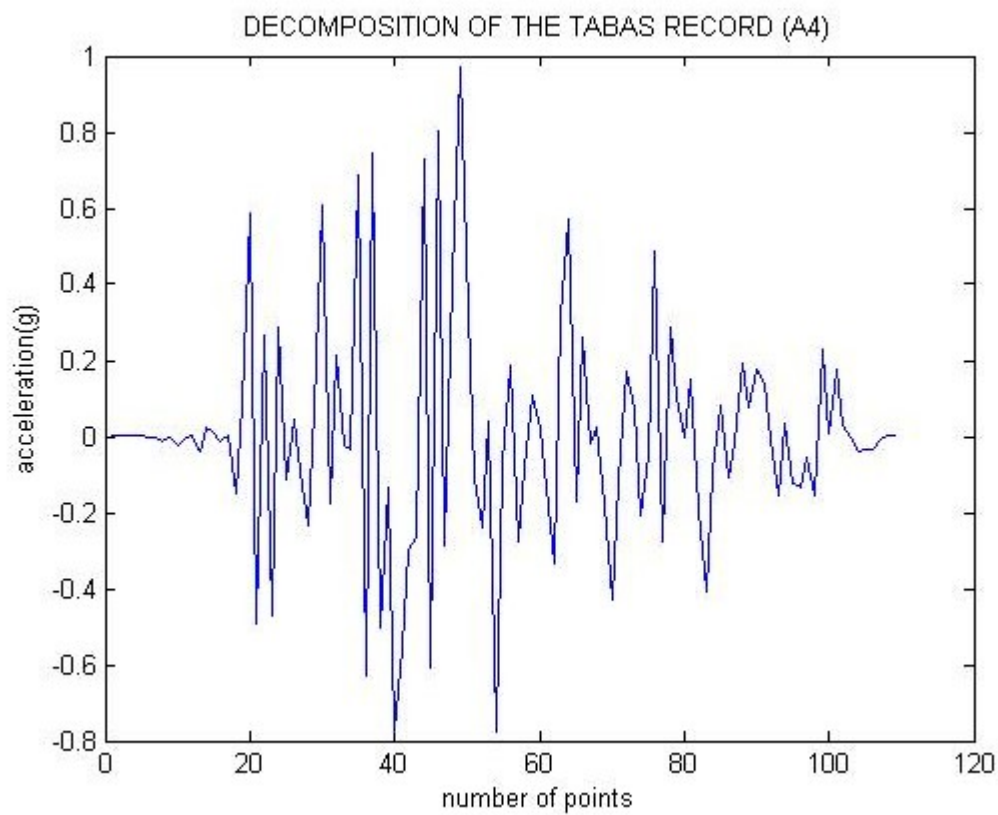
شکل (۴-۵) اولین مولفه پایین گذر زلزله طیس



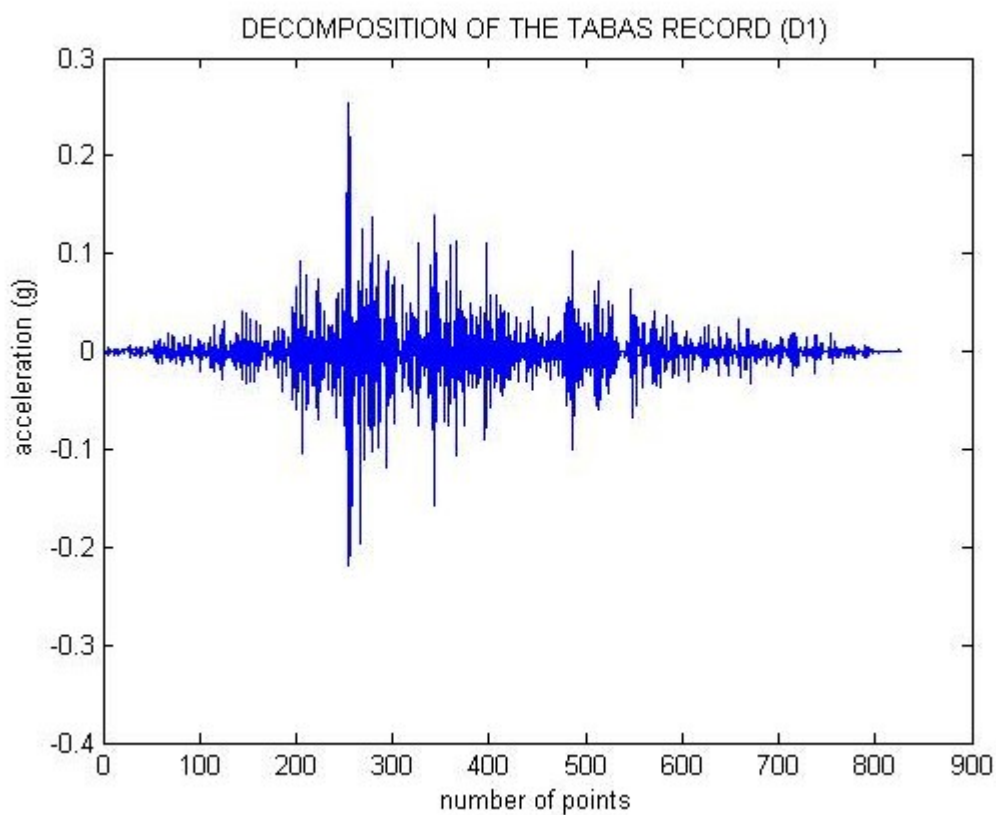
شکل (۴-۴۶) دومین مولفه پایین گذر زلزله طبس



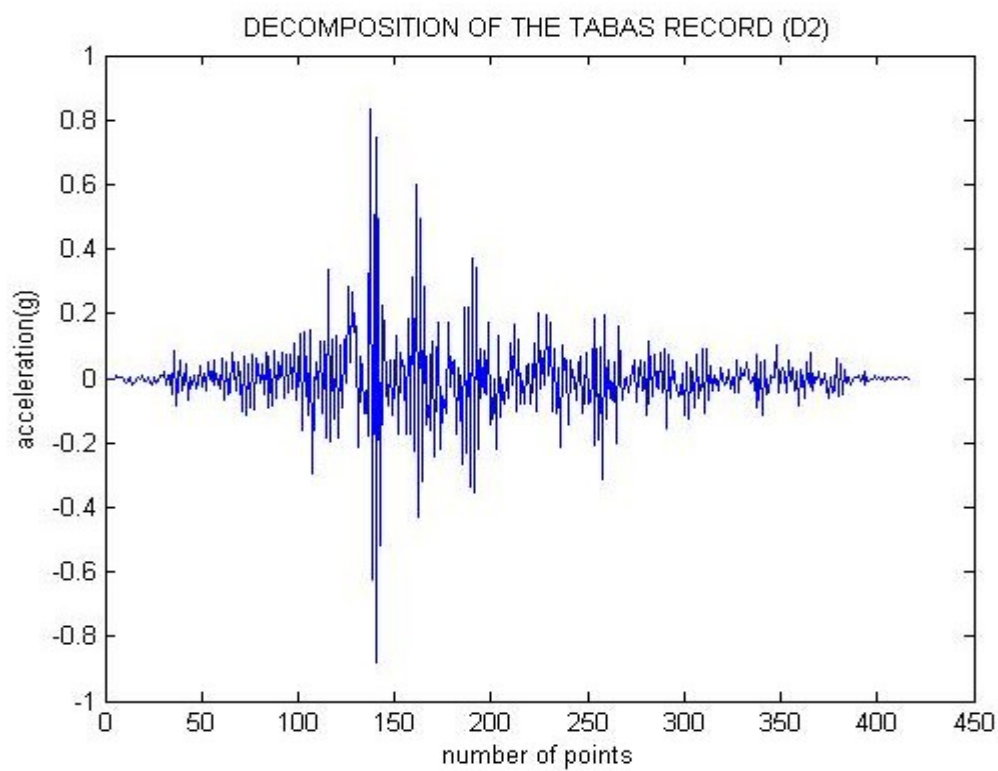
شکل (۴-۴۷) سومین مولفه پایین گذر زلزله طبس



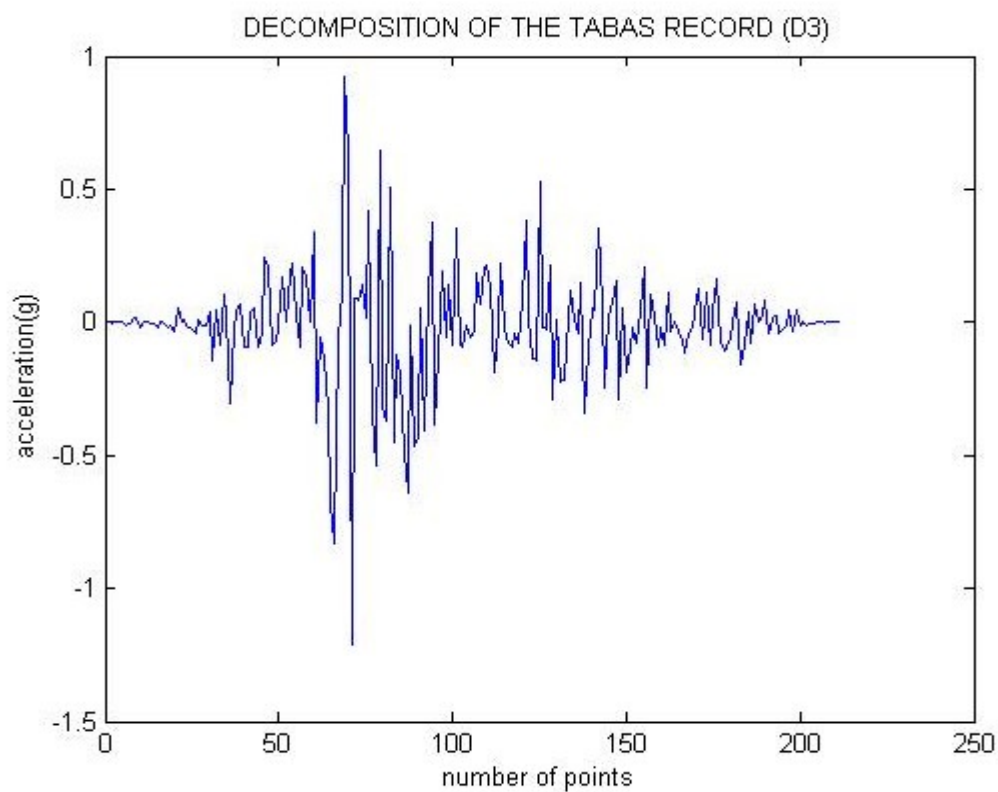
شکل (۴-۴۸) چهارمین مولفه پایین گذر زلزله طبس



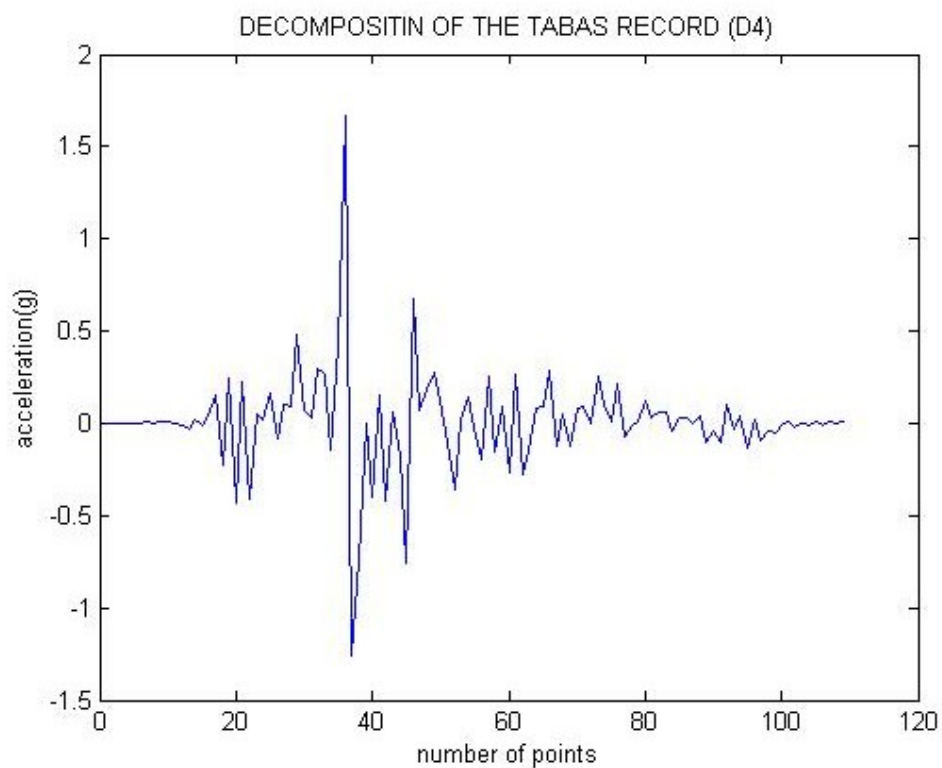
شکل (۴-۴۹) اولین مولفه بالا گذر زلزله طبس



شکل (۴-۵۰) دومین مولفه بالا گذر زلزله طیس

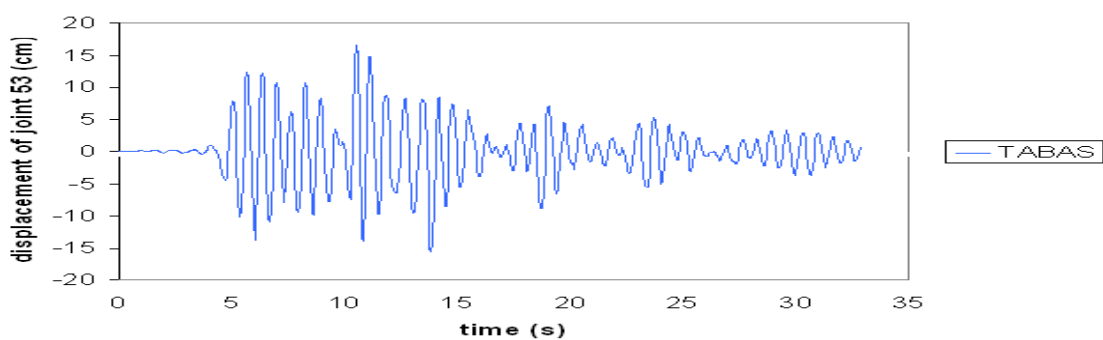


شکل (۴-۵۱) سومین مولفه بالا گذر زلزله طیس

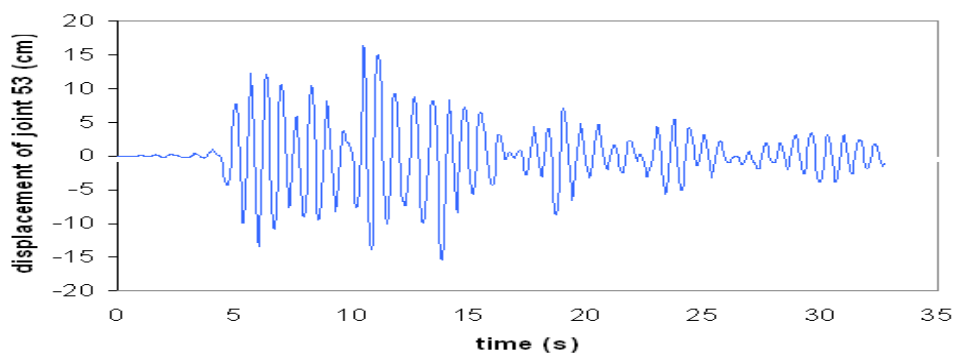


شکل (۴-۵۲) چهارمین مولفه بالا گذر زلزله طبس

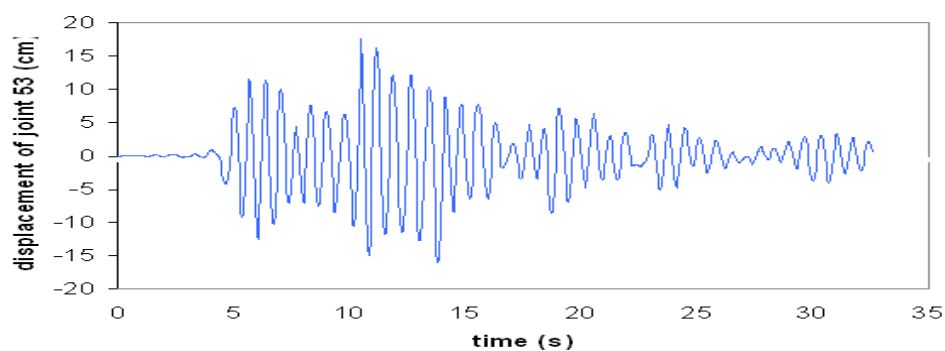
در این قاب گره فوقانی یعنی گره ۵۳ در نظر گرفته شده و تاریخچه تغییر مکان این گره در حالات مختلف در شکل‌های ۴-۵۳ تا ۴-۶۱ رسم شده است .



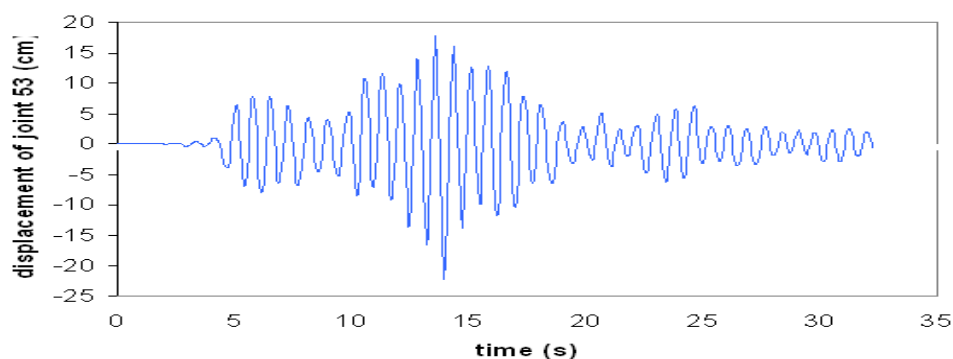
شکل (۴-۵۳) تاریخچه تغییر مکان گره ۵۳ تحت مولفه افقی زلزله طبس



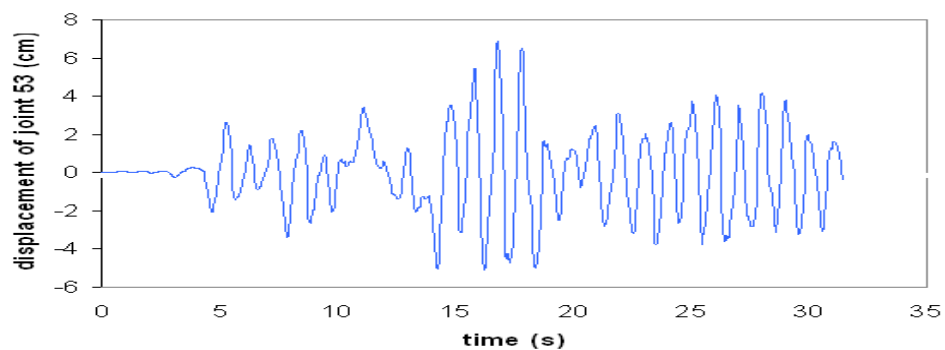
شکل ۴-۵۴) تاریخچه تغییر مکان گره ۵۳ تحت مولفه A^۱ زلزله طبس



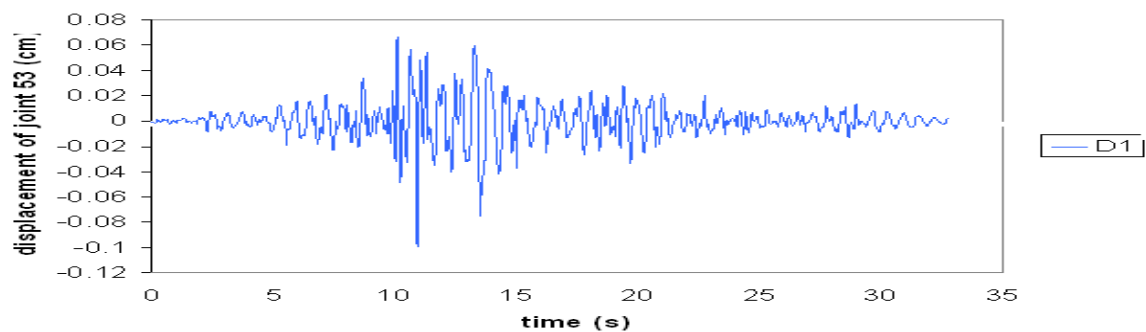
شکل ۴-۵۵) تاریخچه تغییر مکان گره ۵۳ تحت مولفه A^۲ زلزله طبس



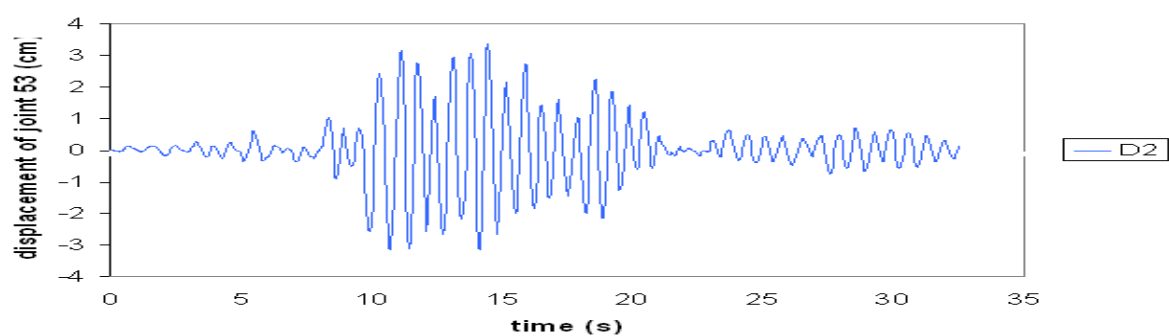
شکل ۴-۵۶) تاریخچه تغییر مکان گره ۵۳ تحت مولفه A^۳ زلزله طبس



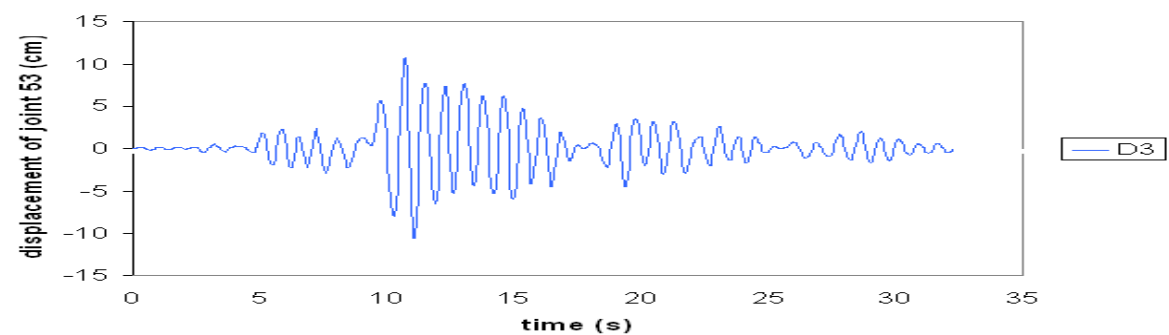
شکل ۴-۵۷) تاریخچه تغییر مکان گره ۵۳ تحت مولفه A^۴ زلزله طبس



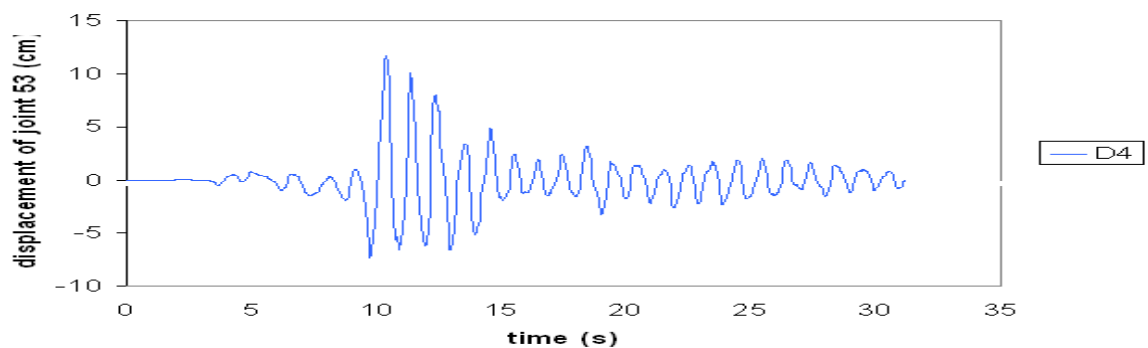
شکل (۵۸-۴) تاریخچه تغییر مکان گره ۵۳ تحت مولفه D۱ زلزله طبس



شکل (۵۹-۴) تاریخچه تغییر مکان گره ۵۳ تحت مولفه D۲ زلزله طبس



شکل (۶۰-۴) تاریخچه تغییر مکان گره ۵۳ تحت مولفه D۳ زلزله طبس



شکل (۶۱-۴) تاریخچه تغییر مکان گره ۵۳ تحت مولفه D۴ زلزله طبس

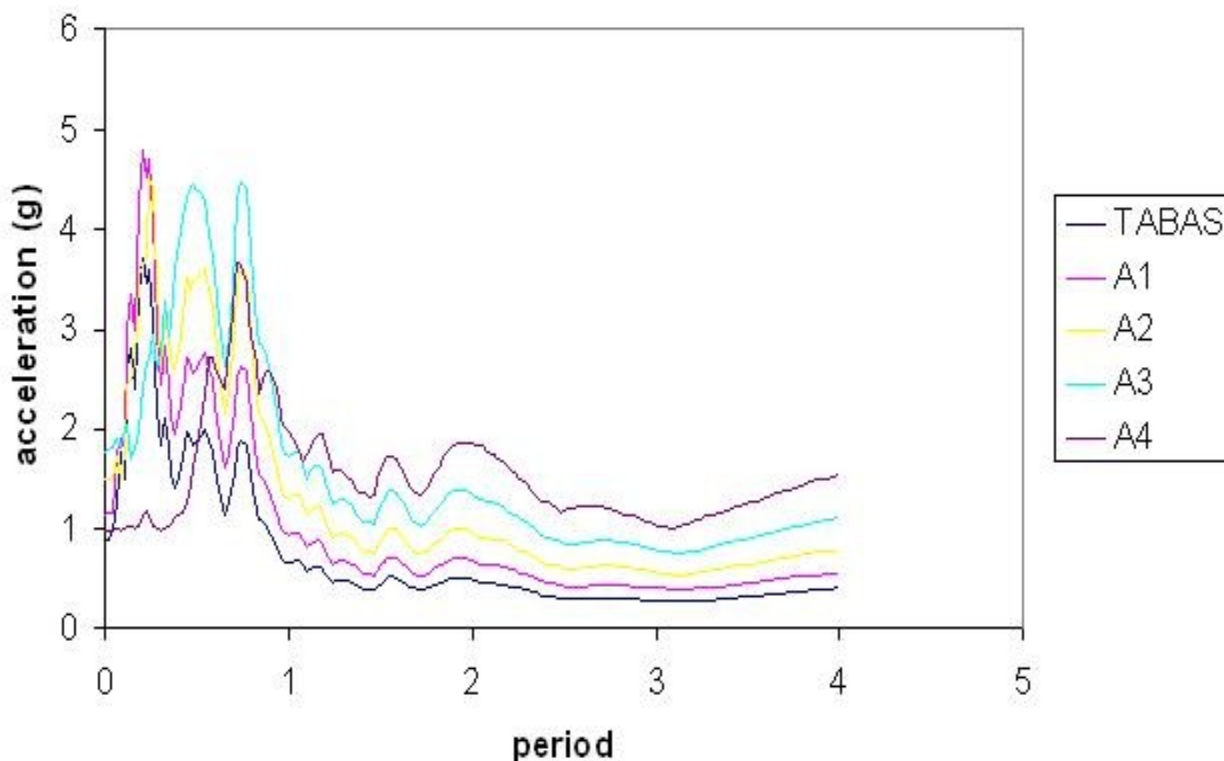
در جدول ۴-۸ حداکثر تغییر مکان این گره در جهت مثبت محور x تحت زلزله اصلی و مؤلفه های آن و درصد خطا در هر حالات و همچنین زمان آنالیز دینامیکی نشان داده شده است .

جدول (۴-۸) نتایج آنالیز دینامیکی قاب ۸ طبقه در گره ۵۳

زمان آنالیز (ثانیه)	درصد خطا	حداکثر تغییر مکان (cm)	گره ۵۳
۴۲	---	۱۶.۵۲	TABAS
۲۱	۰.۶۷	۱۶.۴۱	A ^۱
۱۱	۶.۲	۱۷.۵۵	A ^۲
۶	۸.۲	۱۷.۸۸	A ^۳
۳	۵۸.۴	۶.۸۷	A ^۴
۲۱	۹۹.۶	۰.۰۷	D ^۱
۱۱	۷۹.۷	۳.۳۶	D ^۲
۶	۳۴.۹	۱۰.۷۵	D ^۳
۳	۵۰.۵	۸.۱۷	D ^۴

همانطور که مشاهده می شود تا مرحله A^۳ درصد خطا کمتر از ۱۰٪ می باشد ، همچنین همانطور که تغییر مکانها و درصد خطاها در حالات D^۱ تا D^۴ نشان می دهد ، انتخاب هر یک از این مؤلفه ها و انجام آنالیز دینامیکی در برابر هر کدام از این مؤلفه ها ، منجر به خطایی غیرقابل قبول که بعضاً به ۱۰۰٪ هم می رسد، می شود و این مطلب تأییدی بر این موضوع می باشد که انتخاب مؤلفه های پایین گذر که حاوی فرکانس های پایین می باشند ، انتخابی مناسب می باشد و پاسخ سازه در برابر این مؤلفه ها به پاسخ سازه در برابر زلزله اصلی نزدیکتر می باشد .

در شکل ۴-۶۲ طیف زلزله اصلی و مؤلفه های آن نشان داده شده است .

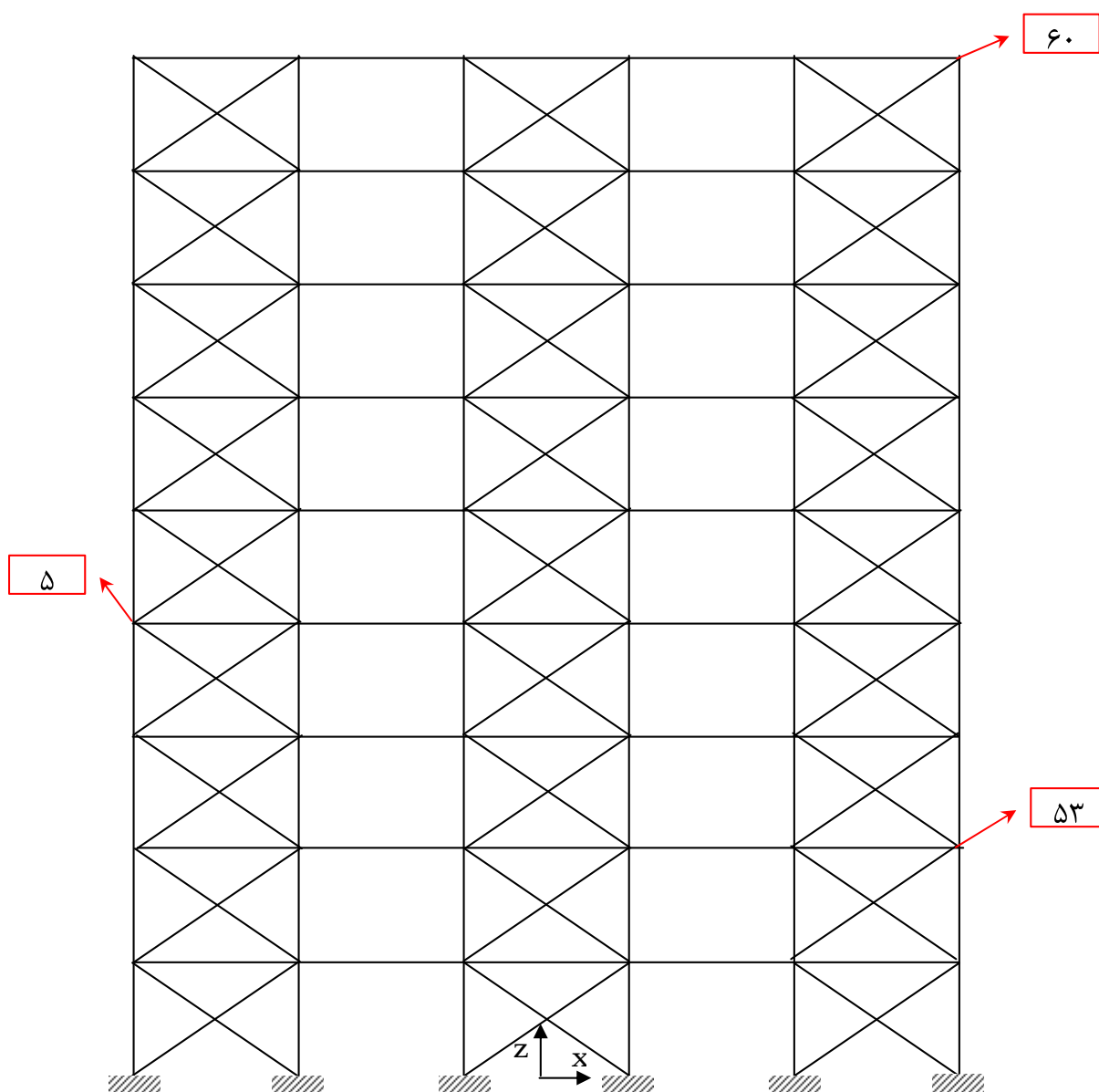


شکل (۴-۶) طیف زلزله طبس و مؤلفه های آن

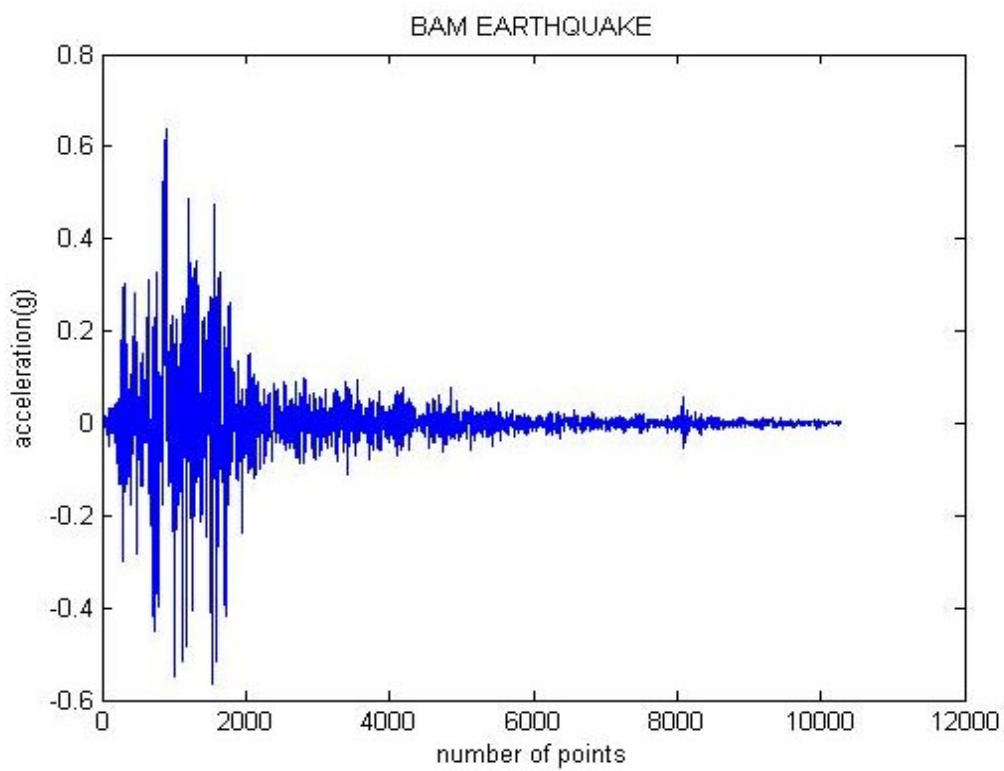
۴-۵ آنالیز دینامیکی قاب ۹ طبقه بادبندی در برابر زلزله بم

به منظور بررسی اثرات زلزله های حوزه نزدیک (near field) و بررسی کارآمدی روش فیلتر کردن موج اصلی زلزله در این قسمت مؤلفه های افقی (T) زلزله بم انتخاب شده است. این زلزله در پنج دیماه ۱۳۸۲ و در ساعت ۵ و ۲۶ دقیقه صبح حادث شده است. شتابنگاشتی که در فرمانداری شهرستان بم بوده به عنوان شتابنگاشت اصلی در این قسمت در نظر گرفته شده است. این شتابنگاشت به کانون گسل زمین لرزه بم نزدیک بوده و بیشینه شتاب ثبت شده بر روی مؤلفه قائم در آن $0.989g$ می باشد. در این قسمت مؤلفه های افقی این زلزله با PGA حدود $0.64g$ که حاوی 10280 نقطه با گام های زمانی 0.05 ثانیه می باشد، انتخاب شده است که این نقاط بر حسب $\frac{g}{10}$ می باشند. در شکل های ۴-۶۴ تا ۴-۷۲ رکورد اصلی زلزله و مؤلفه های آن نشان داده شده است. لازم به ذکر است که این رکورد از سایت مرکز تحقیقات مسکن اقتباس شده و در جهت x به سازه اعمال می شود.

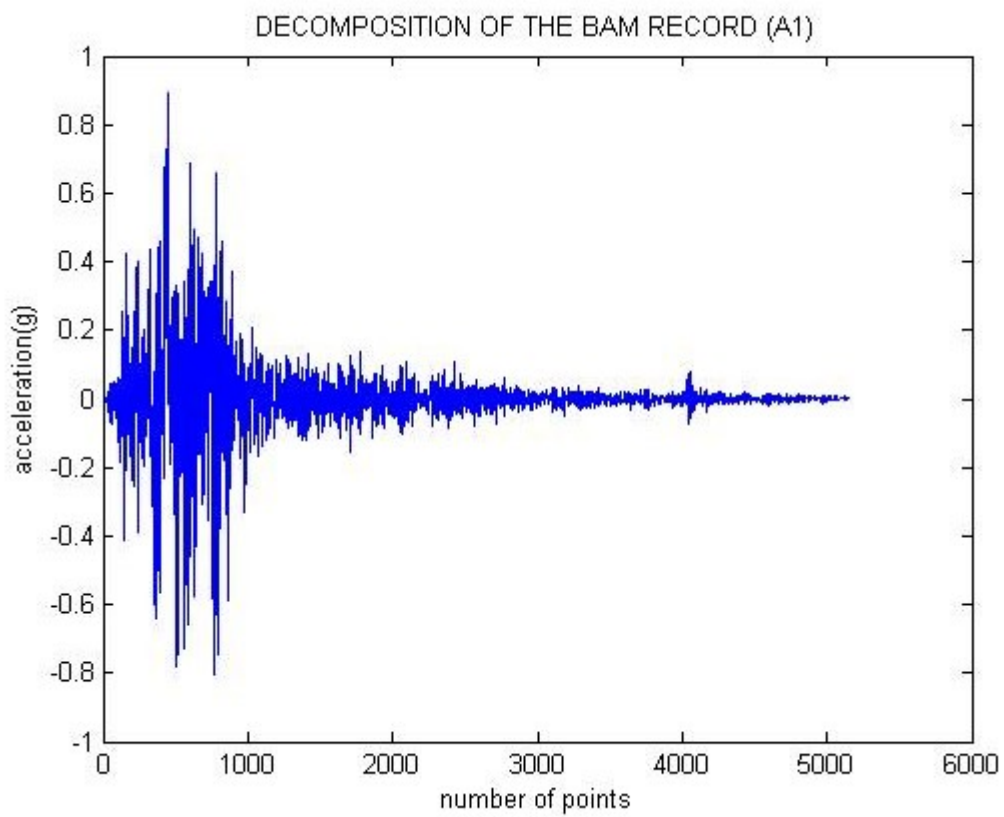
قاب‌ی که در این قسمت بررسی می‌شود، یک قاب ۹ طبقه و ۵ دهانه می‌باشد که در شکل ۴-۶۳ نشان داده شده است. عرض دهانه‌ها ۵ متر و ارتفاع طبقات ۳ متر می‌باشد، تیرهای ۵ طبقه اول IPE۴۵۰ و ۴ طبقه فوقانی IPE۴۰۰ می‌باشد. ستونها در ۵ طبقه اول A HE۴۵۰ و در ۴ طبقه فوقانی A HE۴۰۰ می‌باشد. در ۵ طبقه اول بادبندهای دهانه‌های کناری UNP۱۶ ۲ و ۴ طبقه فوقانی UNP۱۴ ۲ می‌باشند و در دهانه وسط در ۵ طبقه اول UNP۱۴ ۲ و در ۴ طبقه فوقانی UNP۱۲ ۲ می‌باشند. مشخصات فولاد و بار مرده و زنده تیرها نیز نظیر حالات قبل می‌باشد.



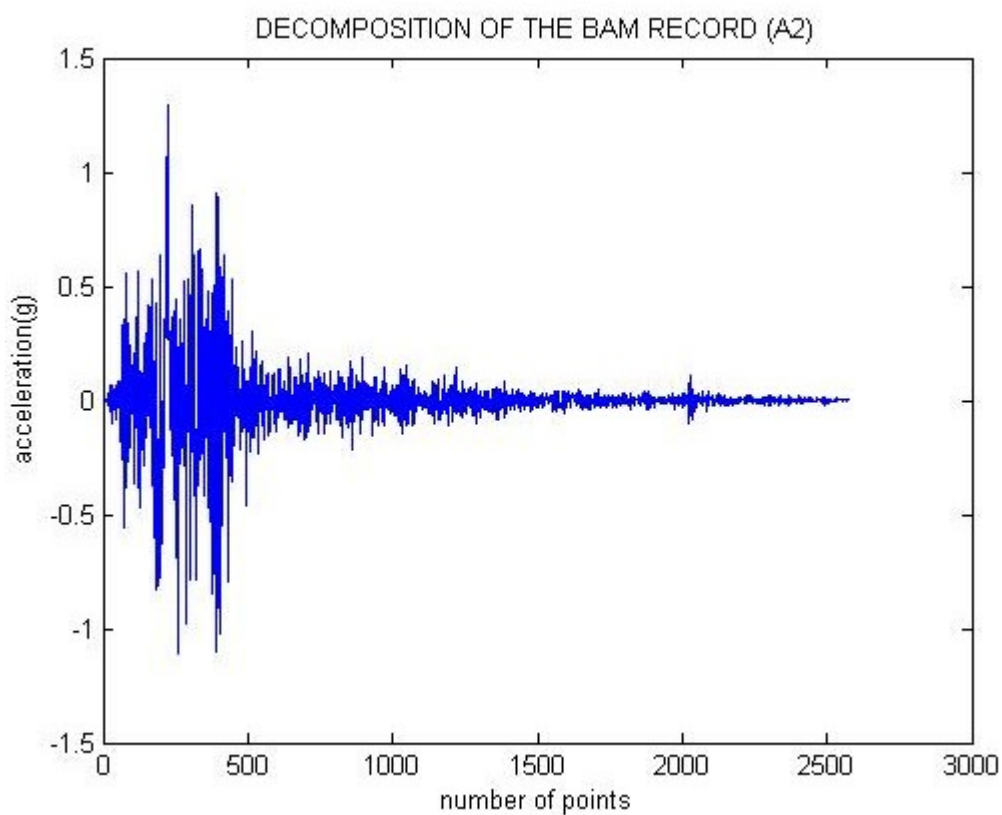
شکل (۴-۶۳) قاب ۹ طبقه بادبندی



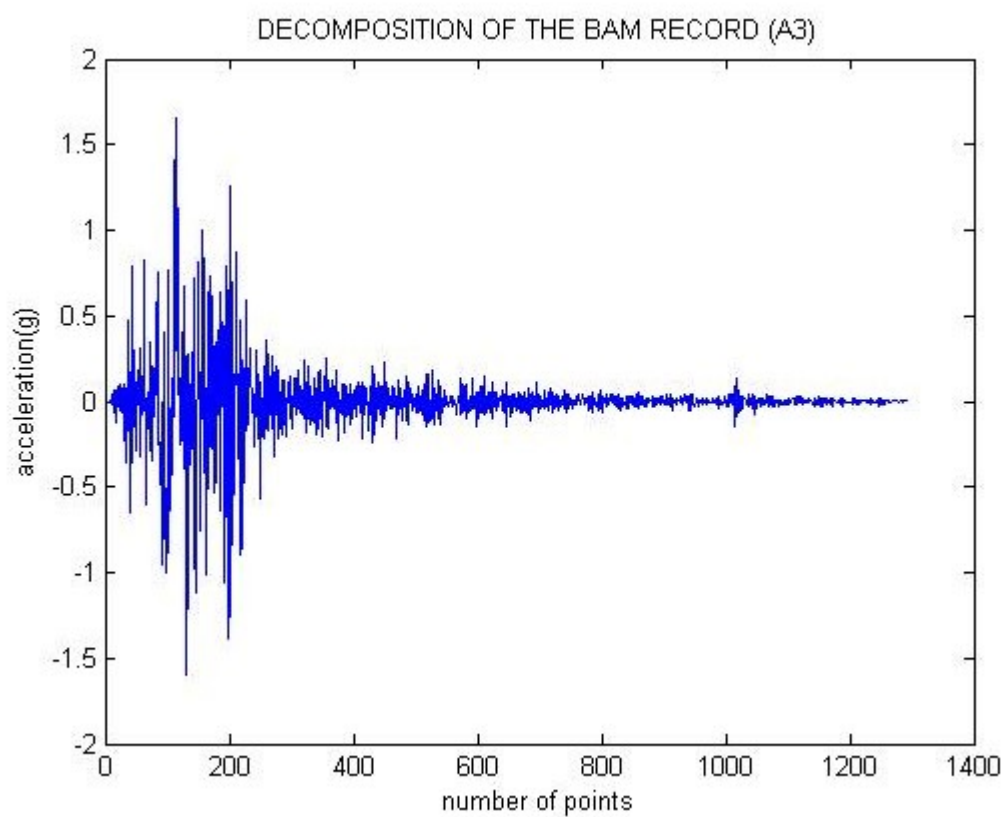
شکل (۴-۶۴) مولفه افقی زلزله بم



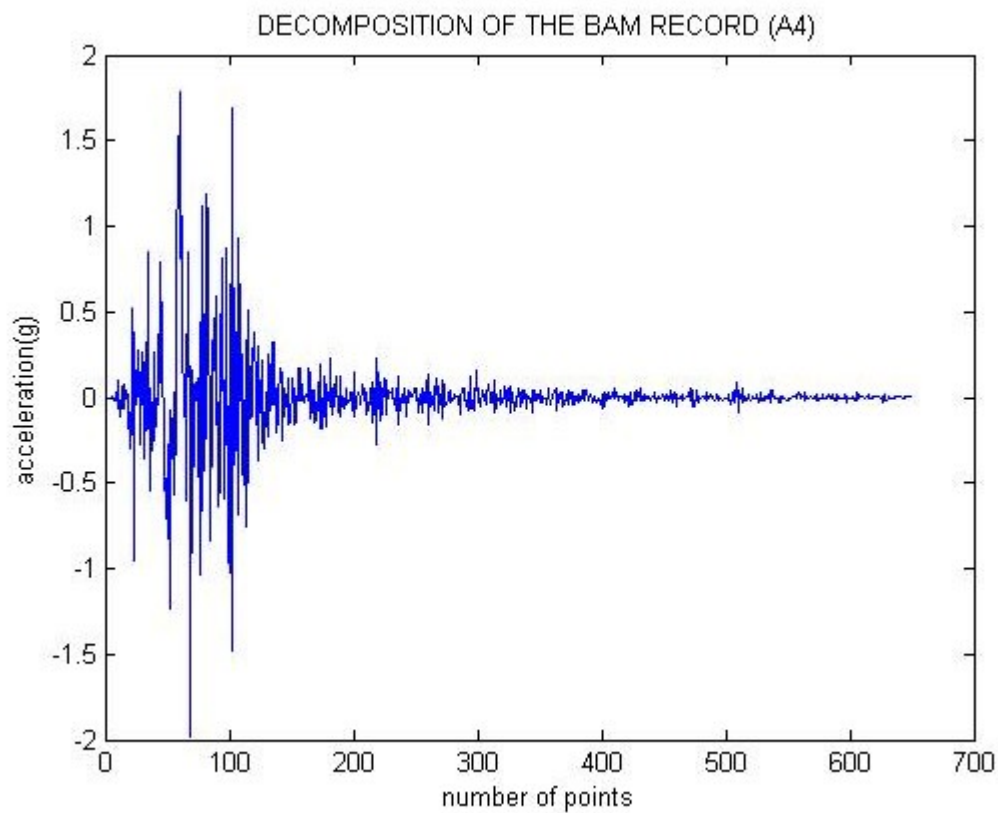
شکل (۴-۶۵) اولین مولفه پایین گذر زلزله بم



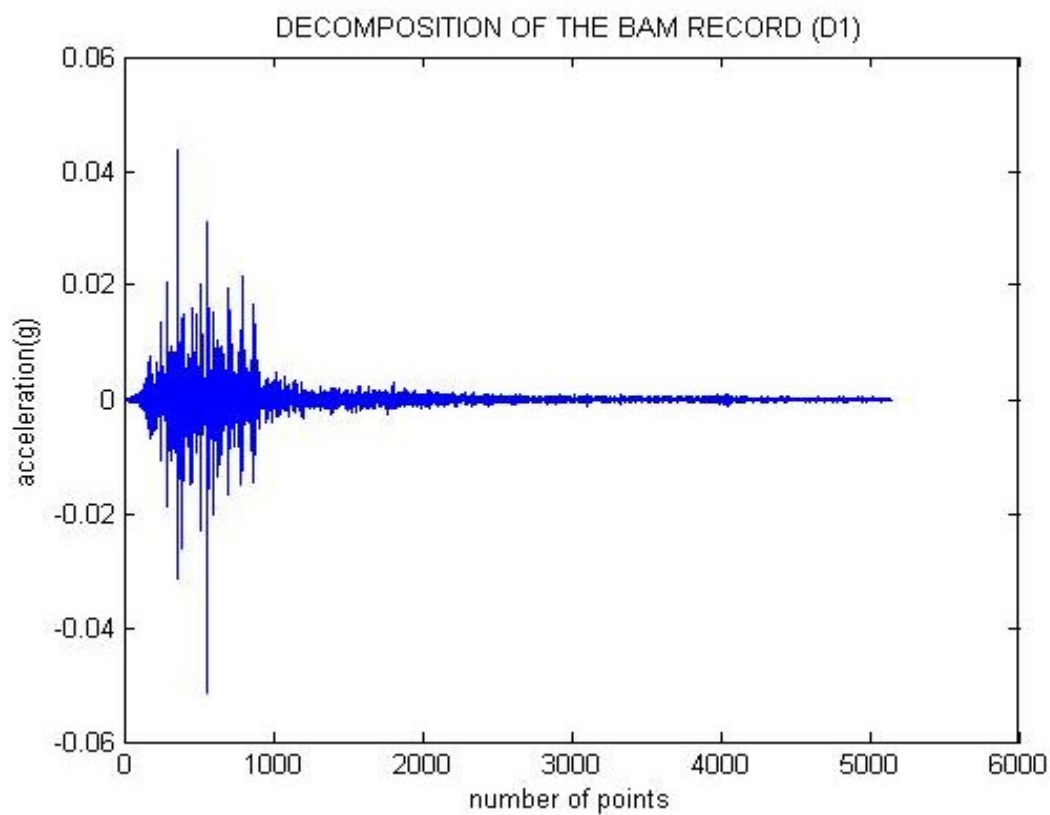
شکل (۴-۶۶) دومین مولفه پایین گذر زلزله بم



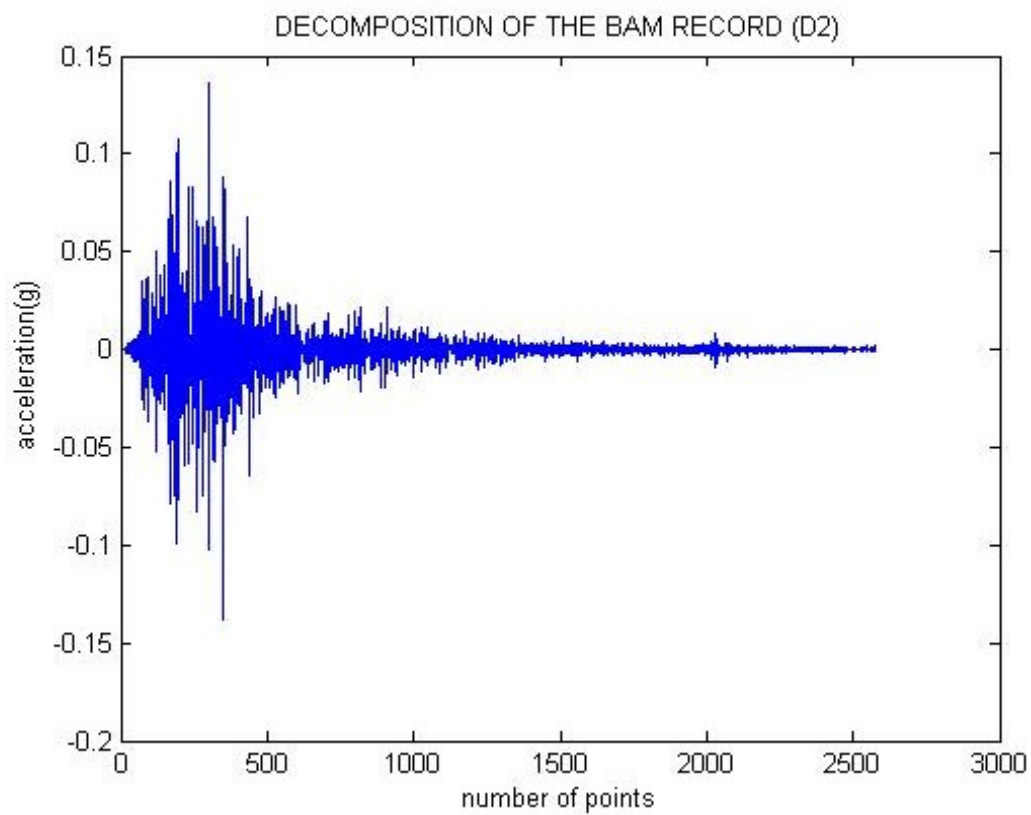
شکل (۴-۶۷) سومین مولفه پایین گذر زلزله بم



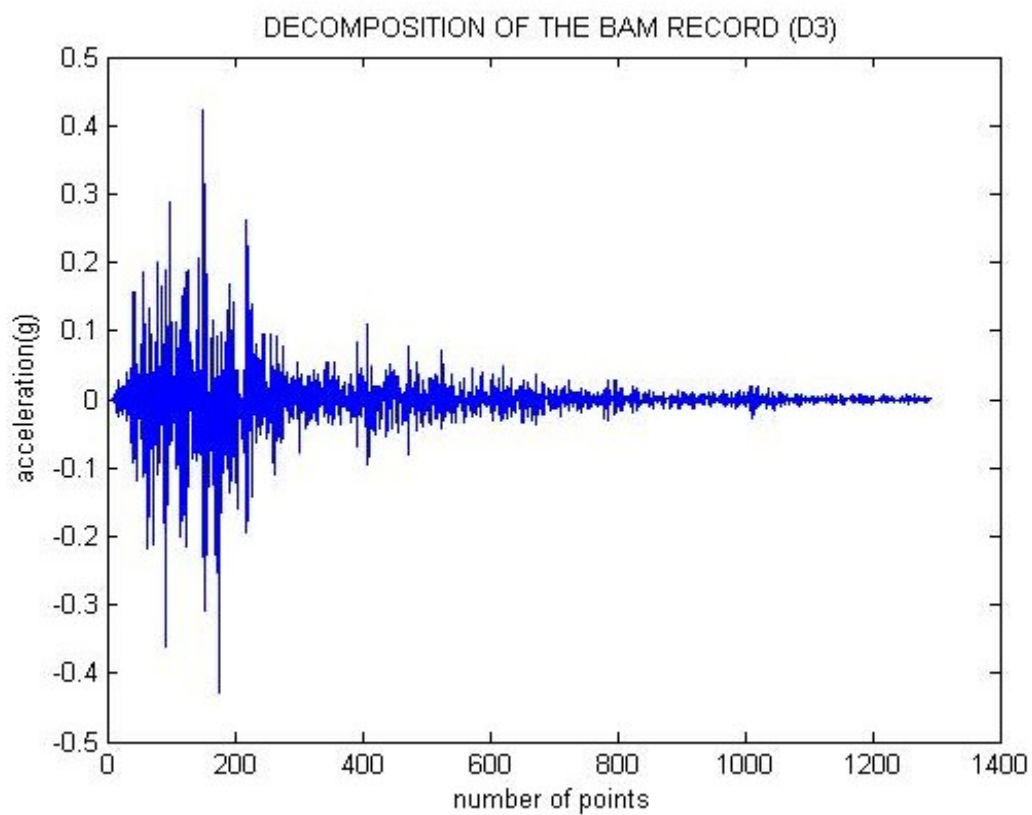
شکل (۴-۶۸) چهارمین مولفه پایین گذر زلزله بم



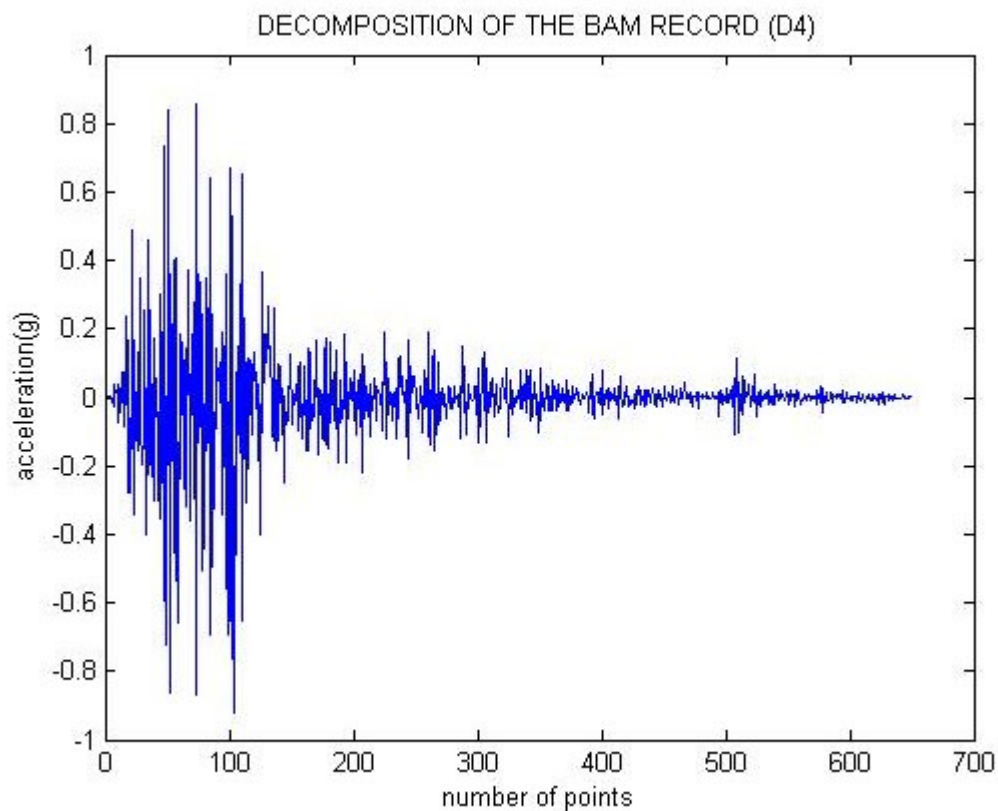
شکل (۴-۶۹) اولین مولفه بالاگذر زلزله بم



شکل ۴ (۷۰-) دومین مولفه بالا گذر زلزله بم



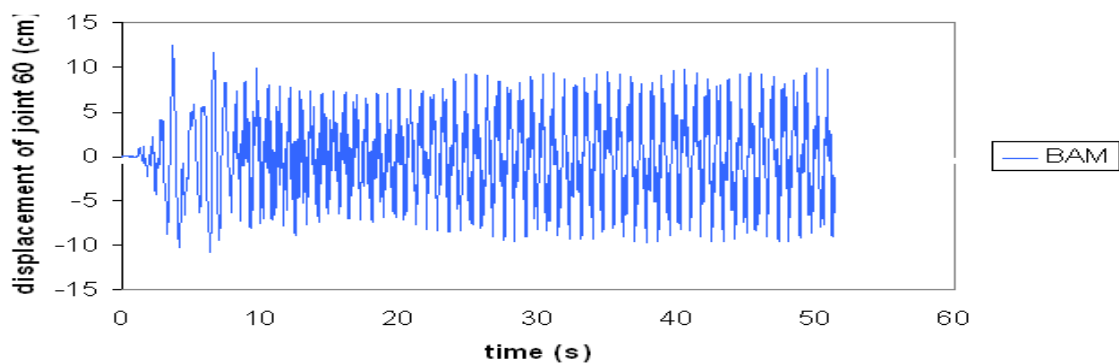
شکل ۴ (۷۱-) سومین مولفه بالاگذر زلزله بم



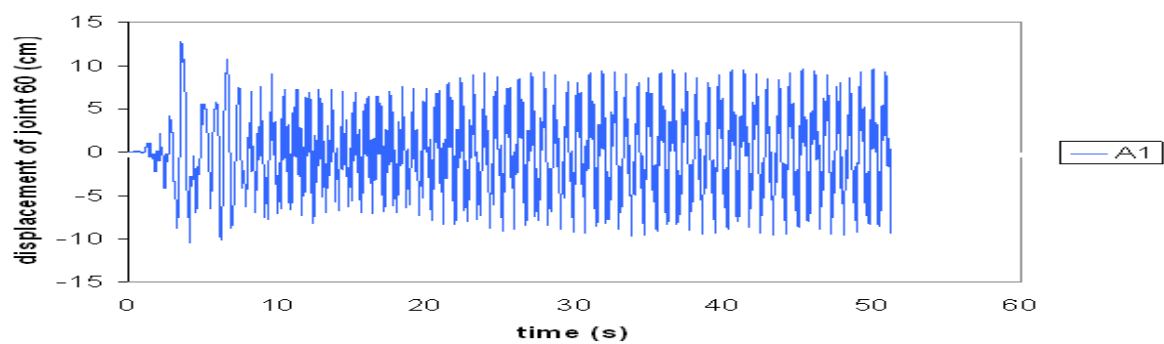
شکل (۷۲-۴) چهارمین مولفه بالاگذر زلزله بم

در این قاب گره های ۵، ۵۳ و ۶۰ در نظر گرفته شده و تاریخچه تغییر مکان، حداکثر تغییر مکان در حالات مختلف و درصد خطا در حالات مختلف بررسی می شود.

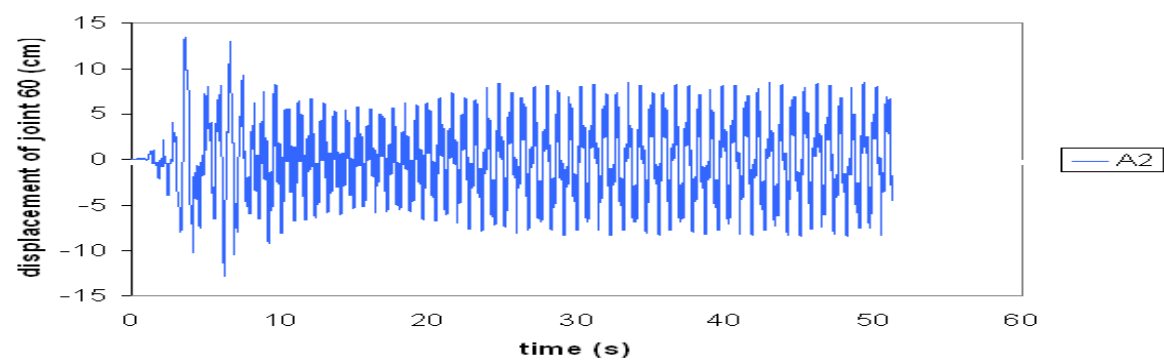
ابتدا گره فوقانی یعنی گره شماره ۶۰ را در نظر می گیریم، تاریخچه تغییر مکان این گره تحت زلزله اصلی و مؤلفه های A^1 تا A^4 در شکل‌های ۷۳-۴ تا ۷۷-۴ نشان داده شده است.



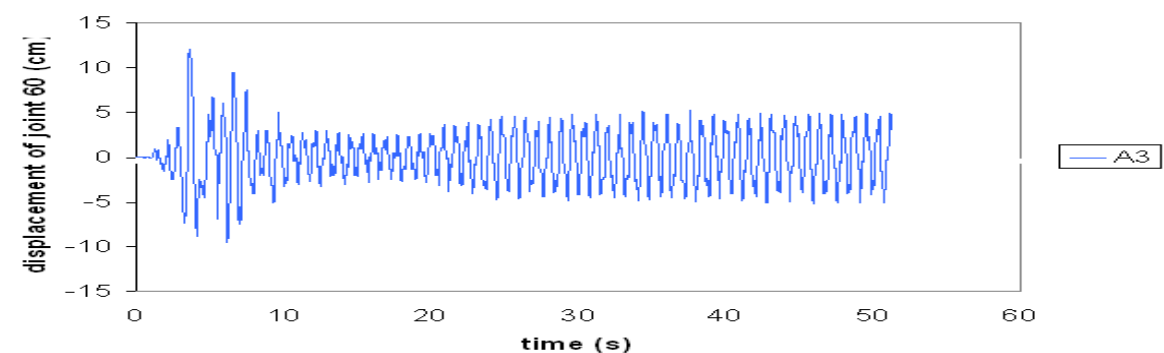
شکل (۷۳-۴) تاریخچه تغییر مکان گره ۶۰ تحت مولفه افقی زلزله بم



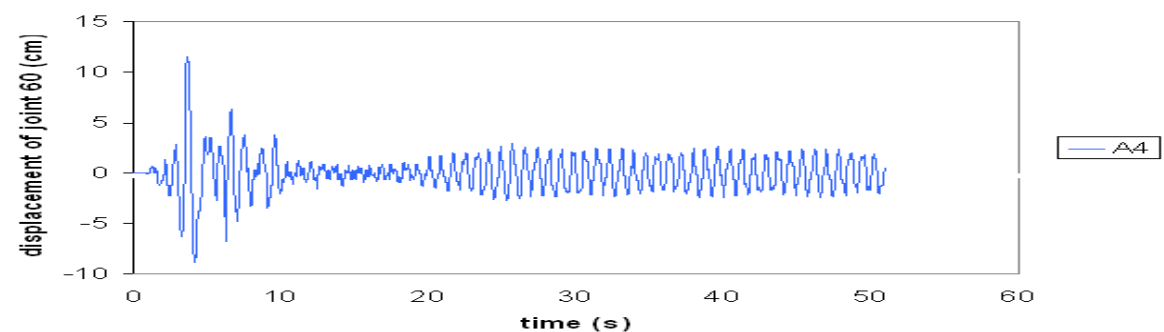
شکل (۴-۷۴) تاریخچه تغییر مکان گره ۶۰ تحت مولفه A^۱ زلزله بم



شکل (۴-۷۵) تاریخچه تغییر مکان گره ۶۰ تحت مولفه A^۲ زلزله بم



شکل (۴-۷۶) تاریخچه تغییر مکان گره ۶۰ تحت مولفه A^۳ زلزله بم



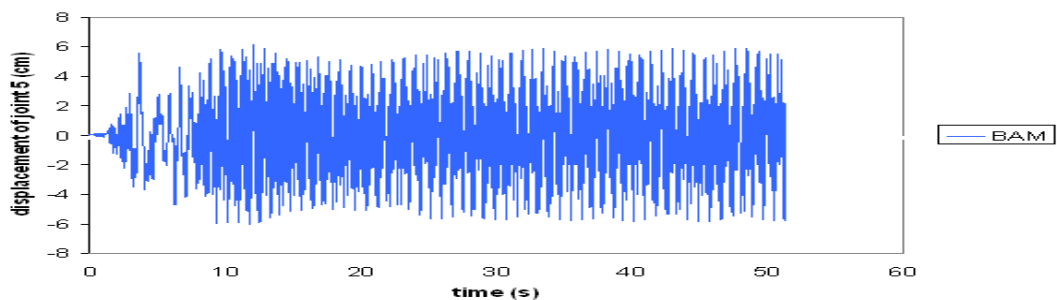
شکل (۴-۷۷) تاریخچه تغییر مکان گره ۶۰ تحت مولفه A^۴ زلزله بم

در جدول ۹-۴ حداکثر تغییر مکان این گره در جهت مثبت محور x ، درصد خطا و زمان آنالیز در حالت‌های مختلف نشان داده شده است . همانطور که مشاهده می شود درصد خطا در تمامی حالات کمتر از ۱۰٪ می باشد .

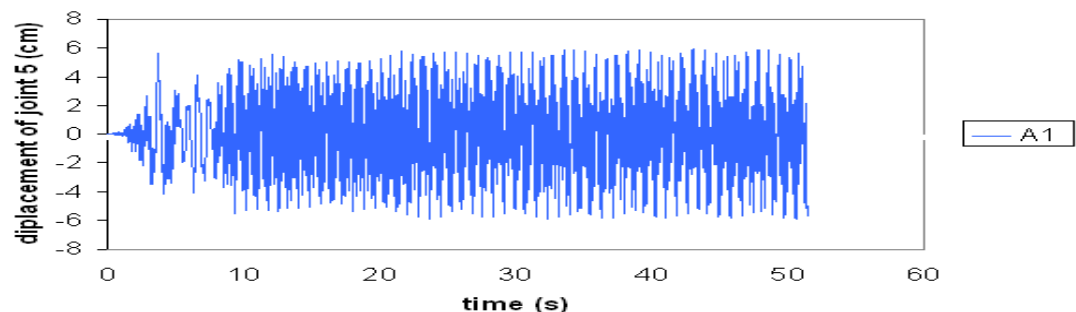
جدول (۹-۴) نتایج آنالیز دینامیکی قاب ۹ طبقه در گره ۶۰

زمان آنالیز (ثانیه)	درصد خطا	حداکثر تغییر مکان (cm)	گره ۶۰
۲۸۶	---	۱۲.۴۷	BAM
۱۴۳	۲.۳	۱۲.۷۶	A ^۱
۷۲	۶.۲۳	۱۳.۳۷	A ^۲
۳۶	۳.۵	۱۲.۰۳	A ^۳
۱۸	۷.۶	۱۱.۵۲	A ^۴

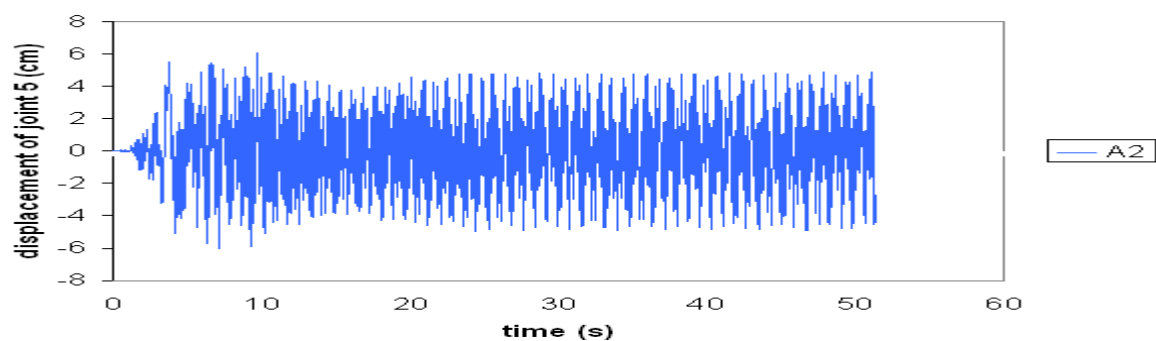
گره بعدی گره ۵ در طبقه چهارم می باشد که تاریخچه تغییر مکان این گره در برابر رکورد اصلی و مؤلفه های آن در شکل‌های ۷۸-۴ تا ۸۲-۴ نشان داده شده است .



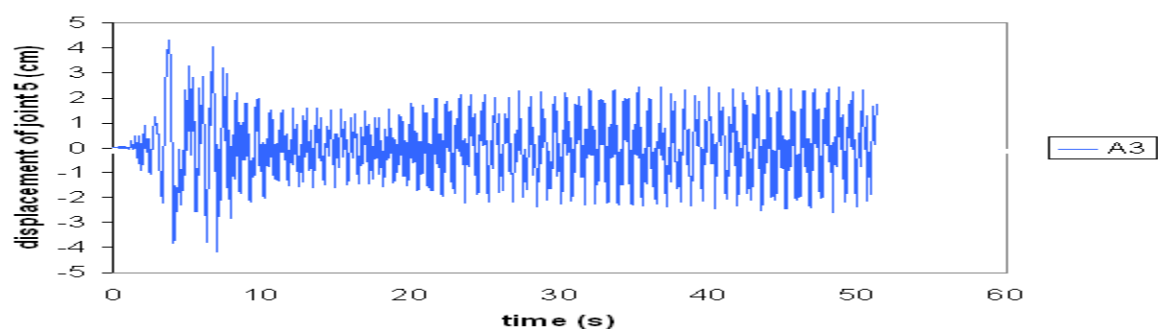
شکل (۷۸-۴) تاریخچه تغییر مکان گره ۵ تحت مؤلفه افقی زلزله بم



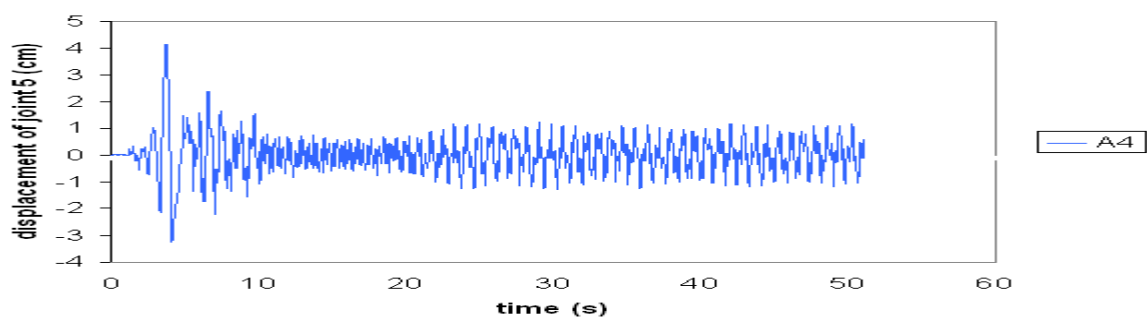
شکل (۷۹-۴) تاریخچه تغییر مکان گره ۵ تحت مؤلفه A^۱ زلزله بم



شکل (۸۰-۴) تاریخچه تغییر مکان گره ۵ تحت مولفه A_2 زلزله بم



شکل (۸۱-۴) تاریخچه تغییر مکان گره ۵ تحت مولفه A_3 زلزله بم



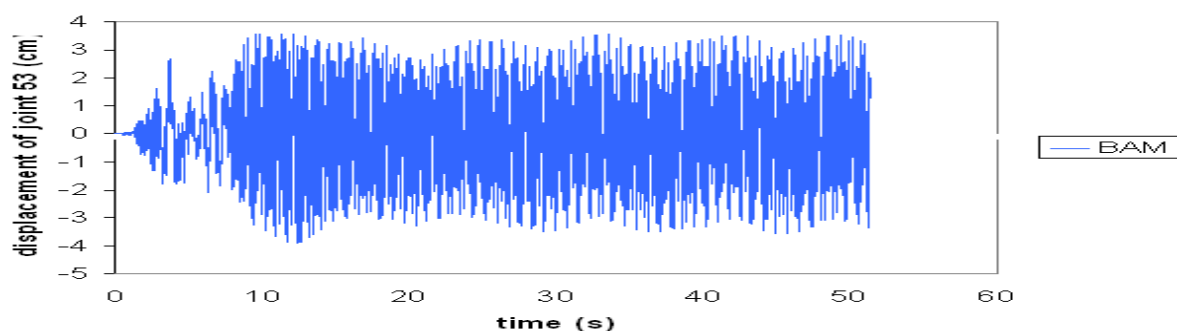
شکل (۸۲-۴) تاریخچه تغییر مکان گره ۵ تحت مولفه A_4 زلزله بم

در جدول ۴-۱۰ حداکثر تغییر مکان این گره و درصد خطا در حالات مختلف نشان داده شده است و همانطور که مشاهده می شود درصد خطا در دو مؤلفه A_1 و A_2 کمتر از ۱۰٪ می باشد.

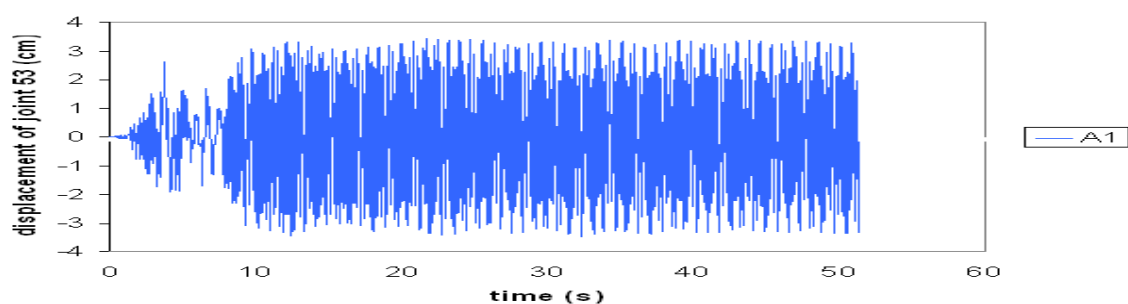
جدول (۴-۱۰) نتایج آنالیز دینامیکی قاب ۹ طبقه در گره ۵

زمان آنالیز (ثانیه)	درصد خطا	حداکثر تغییر مکان (cm)	گره ۵
۲۸۶	---	۶.۱۱	BAM
۱۴۳	۴.۱	۵.۸۶	A ^۱
۷۲	۰.۹۸	۶.۰۵	A ^۲
۳۶	۲۹	۴.۳۲	A ^۳
۱۸	۳۲	۴.۱۵	A ^۴

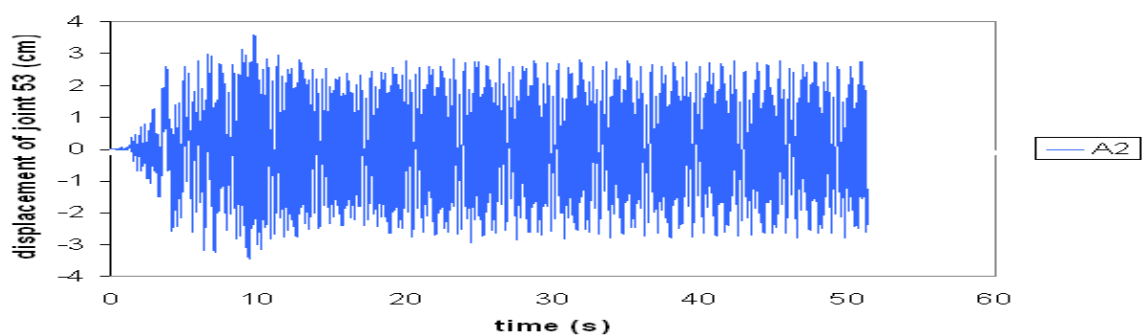
آخرین گره ، گره شماره ۵۳ در طبقه دوم می باشد که تاریخچه تغییر مکان آن در حالات مختلف در شکل‌های ۴-۸۳ تا ۴-۸۷ رسم شده است .



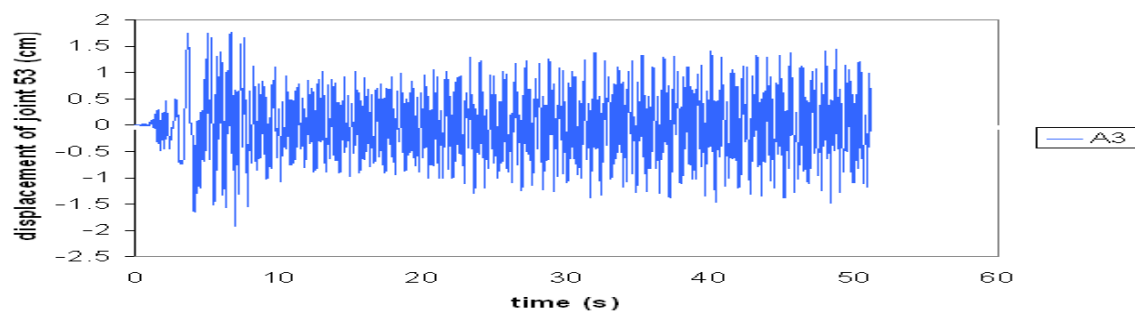
شکل (۴-۸۳) تاریخچه تغییر مکان گره ۵۳ تحت مولفه افقی زلزله بم



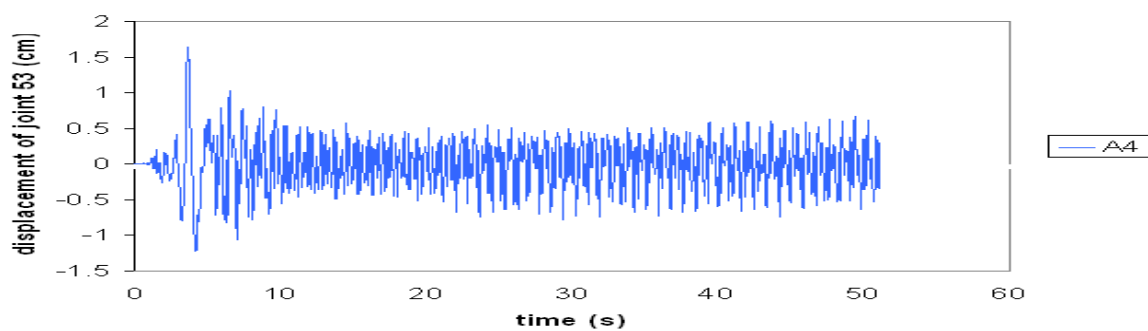
شکل (۴-۸۴) تاریخچه تغییر مکان گره ۵۳ تحت مولفه A^۱ زلزله بم



شکل (۴-۸۵) تاریخچه تغییر مکان گره ۵۳ تحت مولفه A_2 زلزله بم



شکل (۴-۸۶) تاریخچه تغییر مکان گره ۵۳ تحت مولفه A_3 زلزله بم



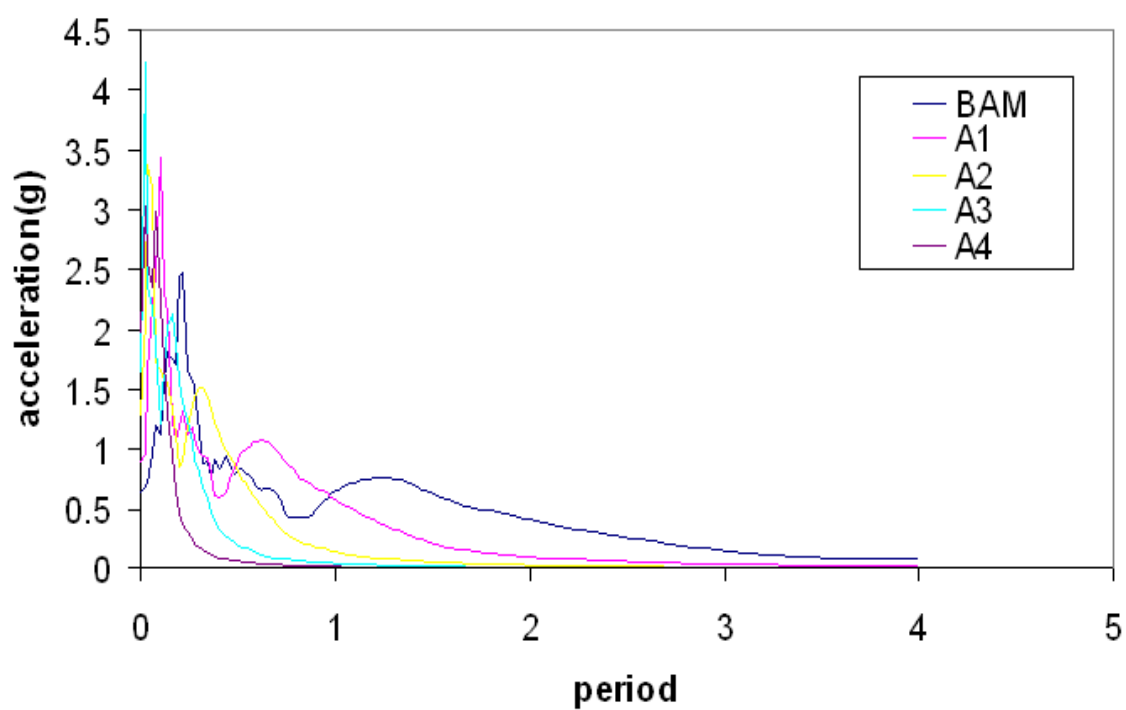
شکل (۴-۸۷) تاریخچه تغییر مکان گره ۵۳ تحت مولفه A_4 زلزله بم

در جدول ۴-۱۱ نیز که حداکثر تغییر مکان و در صد خطا ارائه شده است و مشاهده می شود که در صد خطا در مؤلفه های A_1 و A_2 کمتر از ۱۰٪ می باشد .

جدول (۴-۱۱) نتایج آنالیز دینامیکی قاب ۹ طبقه در گره ۵۳

زمان آنالیز (ثانیه)	درصد خطا	حداکثر تغییر مکان (cm)	گره ۵۳
۲۸۶	---	۳.۵۷	BAM
۱۴۳	۳.۹	۳.۴۳	A۱
۷۱	۰.۸۴	۳.۶۰	A۲
۳۶	۵۰	۱.۷۸	A۳
۱۸	۵۴	۱.۶۴	A۴

مقایسه طیف زلزله اصلی و مؤلفه های آن در شکل ۴-۸۸ انجام شده است .



شکل (۴-۸۸) طیف زلزله بم ومؤلفه های آن

فصل پنجم

بحث در نتایج و پیشنهادات

۵-۱ نتایج و بحث در نتایج

هدف کلی این تحقیق ارائه روشی به منظور کاهش زمان آنالیز دینامیکی سازه ها می باشد . از آنجا که متداولترین نوع بار دینامیکی مؤثر بر سازه ها که بعضاً منجر به ویرانی سازه نیز می شود ، بار زلزله می باشد، ضرورت انجام آنالیز دینامیکی در برابر این بار خصوصاً در سازه های مرتفع و مهم واضح می باشد .

معمولاً رکوردهای زلزله به صورت یک سری فایل های متنی که در آن شتاب زمین هنگام زلزله در زمانهایی با گامهای مساوی بیان شده است، موجود می باشند ، با معرفی این فایلها به نرم افزار مورد استفاده می توان آنالیز دینامیکی را انجام داد ، بهترین حالت بررسی رفتار سازه آن است که در تمام نقاط زمانی پاسخ سازه موجود باشد و بدین منظور با آنالیز دینامیکی به روش تاریخچه زمانی می توان به این هدف نایل شد ، اما این روش مخصوصاً در سازه های سه بعدی و مرتفع احتیاج به زمان زیادی دارد که عملاً در اکثر موارد به دلیل زمان زیاد انجام آنالیز به روشهای دیگری مانند تحلیل طیفی یا آنالیز مودال اکتفا می شود .

در این تحقیق نشان داده شده که به دلیل قرار داشتن قسمت اعظم انرژی موج زلزله در محتوای فرکانسی پایین آن ، می توان از این قسمت در آنالیز دینامیکی سازه استفاده کرده و زمان تحلیل را کاهش داد ، بدین منظور همانطور که در فصل چهارم بیان شد ، می توان موج زلزله را از یک فیلتر دوکاناله که منجر به تفکیک محتوای بالا و پایین فرکانسی می شود ، عبور داده و قسمت حاوی فرکانس پایین را جهت آنالیز دینامیکی انتخاب نمود و بدین ترتیب زمان تحلیل را به نصف تقلیل داد. عمل فیلتر نمودن را می توان مجدداً برای مؤلفه پایین گذر تکرار کرده و قسمت پایین گذر جدید را در آنالیز دینامیکی استفاده نمود و زمان را به نصف حالت قبل و یک چهارم زمان اولیه کاهش داد . هر چند این روش قابل تکرار می باشد اما در هر بار فیلتر کردن ، خطای آنالیز افزایش می یابد .

در مطالعات عددی فصل چهارم تغییر مکان نقاط مختلف قابهای ساختمانی به عنوان معیار در نظر گرفته شد و این تغییر مکان برای رکورد اصلی زلزله و مؤلفه های آن محاسبه شد. هنگام محاسبه تغییر مکان در برابر مؤلفه های پایین گذر، به تعداد مراحل فیلترینگ، تبدیل معکوس موجکی (IDWT) انجام شد. یعنی چنانچه آنالیز برای مؤلفه پایین گذر مرحله n انجام می شود و تاریخچه تغییر مکان یک گره خاص بدست می آید، این تاریخچه به صورت یک ماتریس ستونی در نرم افزار MATLAB تعریف شده و n مرحله تبدیل معکوس موجکی برای این پاسخ انجام می شد تا بتوان این پاسخ را با پاسخ سازه در برابر زلزله اصلی مقایسه کرد. همچنین زمان آنالیز دینامیکی به منظور مقایسه، در تمامی حالات ثبت شده است. در این فصل نشان داده شد که تجزیه سیگنال تا دو مرحله و انجام آنالیز با مؤلفه های پایین گذر تا دو مرحله، منجر به خطایی کمتر از ۱۰٪ در تغییر مکان نقاط سازه می شود، بنابراین عملاً با خطایی کمتر از ۱۰٪ زمان آنالیز به ۲۵٪ حالت اولیه کاهش داده می شود.

همچنین در این فصل آنالیز برای مؤلفه های بالاگذر یعنی مؤلفه های حاوی فرکانس بالا نیز انجام شد و نشان داده شد که انتخاب این مؤلفه ها جهت انجام آنالیز دینامیکی منجر به خطایی غیر قابل قبول می شود که این امر تأییدی بر مناسب بودن انتخاب مؤلفه های حاوی فرکانس پایین به جای این مؤلفه ها در آنالیز دینامیکی می باشد. در قسمت دیگری از فصل چهارم، این روش در زلزله های حوزه نزدیک بررسی شده و کاربرد آن مورد تأیید قرار گرفت.

همچنین تجزیه موج زلزله به کمک موجک ها نیز انجام شد و با آنالیز سازه در برابر مؤلفه های حاصل و مقایسه نتایج با حالتیکه تجزیه به کمک موجک دابچیز انجام شده بود، مشاهده شد که معمولاً تجزیه به کمک موجک دابچیز منجر به خطایی کمتر در پاسخ سازه می شود.

طیف زلزله نیز برای رکورد اصلی و مؤلفه های تجزیه شده آن تا چهار مرحله به کمک نرم افزار seismosignal رسم شد و مشاهده شد که با افزایش مراحل فیلترینگ، اختلاف بین طیف زلزله اصلی و مؤلفه های آن افزایش می یابد.

از مجموعه مطالعات تئوری و عددی این تحقیق می توان استنباط نمود که دوبار فیلتر کردن یک رکورد زلزله و انتخاب آخرین مؤلفه پایین گذر که حاوی پایین ترین فرکانس ها در موج زلزله می باشد و انجام آنالیز دینامیکی برای این مؤلفه، زمان تحلیل دینامیکی سازه را با خطایی قابل قبول به یک چهارم حالت اولیه کاهش می دهد و انجام آنالیز دینامیکی در زمانی کوتاهتر محقق شود .

۵-۲ پیشنهادات

روشی که در این تحقیق ارائه شد به عنوان گام هایی در جهت کاهش زمان آنالیز دینامیکی قابل استفاده می باشد تا آنالیز دینامیکی به روش تاریخچه زمانی با سرعتی بیشتر انجام شود ، به منظور توسعه این روش و همچنین جهت مطالعات و کارهای آتی پیشنهاداتی به شرح زیر ارائه می شود :

۱- فیلتر کردن موج اصلی زلزله به کمک سایر موجک ها و مقایسه نتایج با یکدیگر .

۲- بررسی سایر پارامترها در پاسخ دینامیکی سازه نظیر سرعت و شتاب نقاط و مقایسه این پارامترها و سایر پارامترهای مؤثر ، در حالات مختلف زلزله اصلی و مؤلفه های آن .

۳- استفاده از روش این تحقیق در برابر سایر بارهای دینامیکی نظیر بارهای انفجاری .

۴- استفاده از این روش در فرایند بهینه سازی سازه ها در برابر نیروی زلزله که در آن احتیاج به آنالیز مکرر سازه در برابر زلزله می باشد .

۵- بررسی کاربرد این روش در آنالیز دینامیکی سازه هایی نظیر صفحات و پوسته ها .

مراجع و منابع

[۱]-Gonzalez.R,Woods.R(۲۰۰۲), "**Digital image processing** ",second edition, Prentice-Hall

[۲]- Policar.R,"**The Wavelet Tutorial**" ,DEP Of Electrical and Computer Engineering,Rowan University, ۱۹۹۴

[۳]- Burrus C.S,Gopinath R.A,Guo H, (۱۹۹۸),"**Introduction to Wavelet and Wavelet Transform**",Prentice Hall,

[۴]- Chau F.T,Liang Y,Gao J and Shao x,"**Chemometrics From Basics to Wavelet Transforms**",John wiley,۲۰۰۴

[۵]-Qian,Shie,(۲۰۰۲),"**Introduction to time-frequency and wavelet transform**", Prentice Hall

[۶]-Mallat.S,(۱۹۹۸),"**A wavelet tour of signal processing**",Academic press

{۷}- چ.ل.فیلیپس و ج.م.پار،(۱۳۷۷)،"سیگنالها،سیستمها و تبدیلهای"،(جلد اول و دوم)، ترجمه:

دکتر احمد صادقی یزدان خواه،انتشارات دانشگاه صنعتی سهند،

{۸}- ادوارد کامن ، (۱۳۶۹)،"مقدمهای بر سیگنالها و سیستمها"، ترجمه بهزاد قهرمان،نشر نیما

{۹}- سام شانموگام، (۱۳۸۶)،"سیستمهای مخابراتی دیجیتال و آنالوگ"، ترجمه محمدرضا

عارف،انتشارات دانشگاه صنعتی اصفهان

{۱۰}- آنیل چوپرا،(۱۳۸۳)"دینامیک سازه ها و تعیین نیروهای زلزله"،ترجمه شاپور طا

حونی،چاپ سوم،انتشارات علم و ادب

{۱۱}- برگی خسرو،(۱۳۷۵)،"دینامیک سازه ها"،انتشارات دانشگاه تهران

{۱۲} - پاز. ماریو، (۱۳۷۳)، "تئوری و روشهای محاسبه دینامیک سازه ها"، ترجمه حسن

مقدم، عباس خواجه کرم الدینی، انتشارات موسسه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله
{۱۳} - کلاف. ر.، پین زین. ج. (۱۳۷۷)، "دینامیک سازه ها"، ترجمه محمد مهدی سعادت پور، انتشارات

دانشگاه صنعتی اصفهان

{۱۴} - باجی. ج.، هاشمی. ج.، (۱۳۸۳)، "برنامه عمومی تحلیل و طراحی سازه ها، مرجع جامع

SAP ۲۰۰۰"، انتشارات متفکران

[۱۵]-Salajeghe.E,Gholizadeh.S,Torkzade.P,(۲۰۰۷), "**Optimal design of structures with frequency constraints using wavelet back propagation neural**", Asian journal of civil Engineering, VOL ۸.No ۱

[۱۶]-Teleska.L,Lapenna.V,Alexis.A,(۲۰۰۴), "**Multiresolution wavelet analysis of earthquakes**", chaos, soliton and fractals ۲۲. Available at www.sciencedirect.com

[۱۷]-Douka.E,Loutridis.S,Trochidis.A,(۲۰۰۳), "**crack identification in beams using wavelet analysis**", International journal of solids and structure ۴۰, Available at www.sciencedirect.com

[۱۸]-Ovanesova.A.V,Suarez.L.E,(۲۰۰۴), "**Application of wavelet transforms to dmage detection in frame structures**", Engineering structures ۲۶, Available at www.sciencedirect.com

[۱۹]-Boulet.B,(۲۰۰۵), "**Fundamentals of signals and systems**", Charlws River Media

[۲۰]-Daubechies.L,(۱۹۹۲), "**Ten lecture on wavelets**", CBM-NSF Coference Series in Applied Mathematics SIAM Ed

[۲۱]-Kaiser.G,(۱۹۹۴), "**A friendly guide to wavelets**", Birkhauser publisher

[۲۲]-Proakis.J,Manolakis.D, (۲۰۰۷), "**Digital image processing**", Prentice-Hall

[۲۳]-Openheim.A,Schafer.R,(۱۹۹۹), "**Discrete-Time signal processing**", Prentice-Hall

Abstract

Dynamic analysis of structures is generally utilized to study the behavior and response of structures against dynamic loads. Earthquake load is one of the most important types of dynamic loads which is applied to structures. Dynamic analysis of structures against earthquake loads is mostly performed based on two methods: Spectral & Time-history methods. In Spectral method the maximum response of structures is taken into account, whereas in Time-history method the entire response of structures as a function of time is considered. Although Time-history method is more accurate than Spectral method, due to the fact that long time is consumed in Time-history method, its applications are limited to only special structures.

The aim of this thesis is to reduce the time of analysis in Time-history method using the filtration of seismic waves. In the proposed approach only low frequency components of earthquake wave which have high energy are selected as the base of dynamic analysis and therefore, the analysis time is considerably reduced.

Two filtration process of earthquake wave were performed and the last components of low path, which have the lowest frequencies, were selected for dynamic analysis. It was observed that the analysis time was reduced to a quarter of the original time with sufficient accuracy. Filtering was made by using base wavelet function. In each step of filtering the size of component containing low frequency is half of the previous size. After performing dynamic analysis for low frequency component and finding the structural response to this component, inverse wavelet transform of response is calculated to compare this response with original response.

Decomposition of the original wave was made by two types of wavelet (i.e. Daubechies and Haar), it was found that the analysis error is less when using Daubechies wavelet compared to Haar wavelet. The response of structure to the high frequency component is also calculated. It was found that in this case the response is very different from the response to the original earthquake. Consequently the high frequency component is not a representative of the original earthquake.

Keywords:

Dynamic analysis, Wavelet, Time history, Filtering, Frequency, Earthquake, High pass component, Low pass component

This document was created with Win2PDF available at <http://www.daneprairie.com>.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.