مقایسه تحلیل مودال حالت بردار ریتز (Ritze) و بردار ایگن (Eigen) بر مبنای تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی غیرخطی (Nthl)

سید علی موسوی داودی*
کارشناس‌ارشد سازه، دانشکده فنی‌مهندسی عمران، مرکز آموزش عالی طبری
مرتضی نقی‌پور
استاد، دانشکده فنی‌مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، بابل، ایران
Ali_mousavii@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۶/۲۰ تاریخ پذیرش نهایی: ۹۸/۰۸/۲۹

چکیده :

امروزه نیازهای موجود در طراحی سازه‌ها از جمله وزن کم و استحکام بالا در علم مهندسی سازه، امکان ایجاد ارتعاشات ناخواسته و مخرب را در این سیستم‌ها افزایش داده است. همچنین استفاده از نرم‌افزارهای کامپیوتری برای مدل‌سازی نمی‌تواند به تنهایی به طور دقیق رفتار دینامیکی سازه ساختمانی را پیش‌بینی نماید. به همین دلیل رویکردی اساسی به تکنیک‌های تجربی ایجاد شد و سبب ایجاد پیشرفت در زمینه آنالیز مودال گردید. در سال‌های اخیر آنالیز مودال به عنوان ابزاری جهت تعیین و ارتقا مشخصات دینامیکی سازه‌ها استفاده شده است: مدهای ارتعاشی بدست آمده از تحلیل مودال برای فهم صحیح رفتار سازه مفید می‌باشد. همچنین از مدهای بدست آمده از آنالیز مودال در تحلیل‌های تاریخچه زمانی مودال و تحلیل شبه دینامیکی طیف پاسخ نیز استفاده می‌گردد. نکته قابل توجه در تحلیل مودال این مطلب می‌باشد که در هنگام استفاده از تحلیل مودال دو نوع حالت تحلیلی با نام‌های حالت بردار ویژه و حالت بردار ریتز وجود دارد. یافتن بهترین روش بین دو حالت در تحلیل مودال بر روی پاسخ‌های سازه‌ها بسیار مهم می‌باشد، تا به امروز مطالعاتی گسترده و جامع در این زمینه صورت نگرفته است. با توجه به اهمیت این موضوع، در این پژوهش به بررسی ارزیابی دقت بین دو حالت بردار (ریتز) و (ایگن) در تحلیل مودال پرداخته خواهد شد. در انتها مشاهده شد که تحلیل مودال ناشی از بردار ایگن دقت بیشتری نسبت به بردار ریتز دارد و نتایج حاصل از تحلیل مودال ایگن به واقعیت نزدیکتر است.

کلید واژگان: تحلیل مودال، تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی، بردار ریتز، بردار ایگن

۱- مقدمه

در دو دهه گذشته، آنالیز مودال به دانشی فراگیر با هدف تعیین، بهبود و بهینه‌سازی مشخصات دینامیکی سازه‌های مهندسی تبدیل شده است. آنالیز مودال، فرآیند تعیین خواص ذاتی دینامیکی یک سیستم در قالب فرکانس‌های طبیعی، ضرایب میرایی و شکل مودها و به کارگیری آنها به منظور ایجاد مدلی ریاضی از رفتار دینامیکی سیستم می‌باشد. این مدل ریاضی به مدل مودال سیستم و اطلاعات مربوط به مشخصات آن، داده‌های مودال نامیده می‌شوند. آنالیز مودال، هر دو مبحث تئوری و تجربی را در بر می‌گیرد. آنالیز مودال تئوری، بر اساس یک مدل فیزیکی از سیستمی دینامیکی شامل خواص جرمی، سختی و میرایی می‌باشد.[۱] این خواص ممکن است به صورت معادلات دیفرانسیل موجود باشند. به کمک تحلیل اجزای محدود می‌توان تقریباً هر سازه دینامیکی خطی را گسسته سازی کرد و در نتیجه به طور قابل ملاحظه ای قابلیت و میدان کاری آنالیز مودال تئوریک افزایش یافته است.[۲] تمامی سازه های حقیقی هنگامی که تحت تأثیر نیرویی قرار می‌گیرند رفتار دینامیکی از خود نشان می‌دهند اگر بارهای وارد بر یک سازه به صورت آرام به یک سازه وارد شوند نیروی اینرسی در یک سازه قابل صرفنظر کردن است و سازه از حالت دینامیکی به استاتیکی نزدیکتر می‌شود. علاوه بر آن تمامی سازه‌های حقیقی تغییر مکان-های غیرمحدودی دارند، بنابراین بحرانی‌ترین حالت یک سازه برای مدل کردن در کامپیوتر و آنالیز آن این است که مدلی ساخته شود که از یک سری اعضای بدون جرم و با تغییر مکان محدود به همراه یک سری گره‌هایی با جابجایی تشکیل شوند، که جرم آن می‌تواند در گره‌ها اعمال شود. به هر حال به دست آوردن بارهای دینامیکی یک سازه، میزان میرایی انرژی وارد بر آن و شرایط مرزی مانند فونداسیون برای سازه‌ها بسیار سخت است. برای کاهش خطاهای مدل که حاصل از تقریب زدن در سه عامل ذکر شده‌اند لازم است که آنالیز دینامیکی روی مدل‌های مختلف یک سازه انجام بگیرد که در هر کدام هر یک از شرایط عوض شده اند. روش‌های مختلفی برای آنالیز دینامیکی یک سازه وجود دارند که هر کدام از آنها محاسن و معایب خود را دارند.[۳]

۲- مبانی تحلیل مودال

تحلیل مودال برای بدست آوردن مدهای ارتعاشی سازه بکار می‌رود. مدهای ارتعاشی بدست آمده از تحلیل مودال برای فهم صحیح رفتار سازه مفید می-باشند. همچنین از مدهای بدست آمده از آنالیز مودال در تحلیل‌های تاریخچه زمانی مودال و تحلیل شبه دینامیکی طیف پاسخ استفاده می‌گردد. هنگام تنظیم پارامترهای تحلیل مودال در نرم‌افزار دو نوع حالت تحلیل مودال جهت انتخاب وجود دارد:

تحلیل بردارهای ویژه (ایگن): مدهای ارتعاشی و فرکانس‌های سازه را در حالت ارتعاش آزاد و بدون میرایی بدست می آورد. این مدهای طبیعی دیدی سریع از رفتار سازه در اختیار طراح قرار می‌دهند.[۴]

تحلیل بردارهای ریتز: مدهای ارتعاشی تحریک شده با یک بارگذاری خاص را می یابد. بردارهای ریتز برای استفاده در روش مودال تحلیل تاریخچه زمانی و تحلیل طیف پاسخ پایه ای بهتر از بردارهای ویژه ایجاد می کنند.[۴]

۳- مبانی دینامیکی تاریخچه زمانی غیر خطی (NTHL)

در این روش سازه تحت بارگذاری تاریخچه زمانی شتاب زلزله قرار می‌گیرد و سازه به طور کامل تحلیل و پاسخ به صورت تاریخچه زمانی تعیین می‌گردد. در آنالیز تاریخچه زمانی، آثار مودهای بالاتر و تغییرات در الگوی بار اینرسی به علت نرم شدگی سازه در خلال زلزله به طور خودکار در نظر گرفته می‌شود.[۵] در این روش به طور مستقیم تغییر مکان کلی حداکثر که توسط یک شتاب نگاشت مشخص به سازه اعمال می‌شود، تعیین شده و احتیاجی به تخمین زدن این پارامتر بر پایه روابط تجربی–تئوریک نمی‌باشد.[۶،۷،۸] این آنالیز به تغییراتی نظیر تغییر خصوصیات شتاب‌نگاشت و رفتار سخت‌شدگی غیرخطی المان‌های مورد استفاده بسیار حساس می‌باشد. از همین روی بحث مقیاس کردن شتاب نگاشت‌ها و روش انجام این کار تاثیر مستقیمی در نتایج تحلیل می‌گذارد. به همین علت برای کاهش پراکندگی نتایج و برآورد صحیح نیازهای لرزه‌ای لازم است آنالیز تاریخچه زمانی متعددی انجام شود. معمولا آئین نامه‌های ساختمان مقرر می‌دارند که در صورت استفاده از سه رکورد بیشینه پاسخ‌ها و در صورت استفاده از هفت رکورد، مقدار میانگین نتایج ملاک عمل قرار گیرند. انجام این تحلیل برای سازه‌های خاص مانند سازه‌های نامنظم و ساختمان‌های بلند و سازه‌های با اهمیت اجباری می‌باشد. ضمن اینکه این تحلیل در کارهای تحقیقاتی، تحلیل دینامیکی افزایشی، رسم منحنی‌های شکنندگی و ... بکار می‌رود.[۹،۱۰،۱۱]

۴- معرفی روش تحقیق

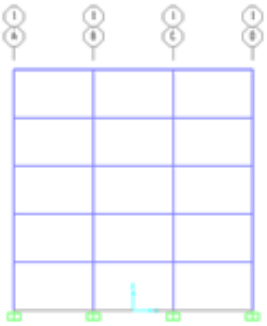
۴-۱ معرفی نمونه‌های مورد مطالعه

در این مقاله به منظور مقایسه روش بردار ریتز (Ritze) و ایگن (Eigen) تحلیل مودال با تحلیل تاریخچه زمانی غیر خطی (Nthl) از

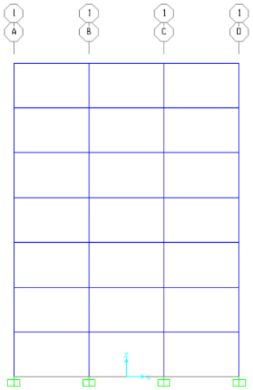
سه ساختمان قاب خمشی بتنی استفاده شده است، که مشخصات آنها به شرح ذیل می باشد: لازم به ذکر می‌باشد که جهت مدلسازی از نرم‌افزار Sap2000 استفاده گردیده است، مشخصات ساختمان‌های مورد مطالعه عبارتند از :

- تعداد طبقات:۵،۷،۹
- طول همه ی دهانه ها ۵ متر می‌باشد.
- این ۳ ساختمان در نرم‌افزار Sap2000 مدل‌سازی می‌شوند.
- آیین‌نامه بارگذاری مبحث ششم مقررات ملی ساختمان ویرایش ۱۳۹۲
- آیین نامه ۲۸۰۰ ویرایش چهارم جهت بارگذاری لرزه‌ایی استفاده شده است.

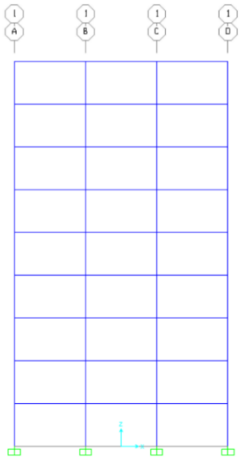
در شکل‌های زیر می‌توان سازه‌های مدلسازی شده در این پژوهش را مشاهده کرد.



شکل ۱- نمای سازه ۵ طبقه



شکل ۲- نمای سازه ۷ طبقه



شکل ۳- نمای سازه ۹ طبقه

جدول ۱- مشخصات اعضای سازه‌ای ساختمان ۵ طبقه

طبقه	ستون (سانتیمتر)	تیر (سانتیمتر)
طبقه اول	مربع ۴۵×۴۵ ۱۶ میلگرد ۲۰	مستطیل، ارتفاع ۴۰ و عرض ۴۵
طبقه دوم	مربع ۴۵×۴۵ ۱۶ میلگرد ۲۰	مستطیل، ارتفاع ۴۰ و عرض ۴۵
طبقه سوم	مربع ۴۰×۴۰ ۱۲ میلگرد ۲۰	مربع ۴۰×۴۰
طبقه چهارم	مربع ۴۰×۴۰ ۸ میلگرد ۲۰	مربع ۴۰×۴۰
طبقه پنجم	مربع ۳۵×۳۵ ۸ میلگرد ۲۰	مربع ۳۵×۳۵

جدول ۲- مشخصات اعضای سازه‌ای ساختمان ۷ طبقه

طبقه	ستون (سانتیمتر)		تیر (سانتیمتر)
طبقه اول	مربع ۶۰×۶۰ ۱۶ میلگرد ۲۵		مستطیل، ارتفاع ۵۰ و عرض ۶۰
طبقه دوم	مربع ۶۰×۶۰ ۱۶ میلگرد ۲۲		مستطیل، ارتفاع ۵۰ و عرض ۶۰
طبقه سوم	مربع ۵۵×۵۵ ۱۶ میلگرد ۲۰		مستطیل، ارتفاع ۵۰ و عرض ۵۵
طبقه چهارم	مربع ۵۰×۵۰ ۱۶ میلگرد ۲۰		مستطیل، ارتفاع ۴۰ و عرض ۵۰
طبقه پنجم	مربع ۴۵×۴۵ ۱۲ میلگرد ۲۰		مربع ۴۵×۴۵
طبقه ششم	مربع ۴۰×۴۰ ۸ میلگرد ۲۰		مربع ۴۵×۴۵
طبقه هفتم	مربع ۳۵×۳۵ ۸ میلگرد ۲۰		مربع ۳۵×۳۵

جدول ۳- مشخصات اعضای سازه‌ای ساختمان ۹ طبقه

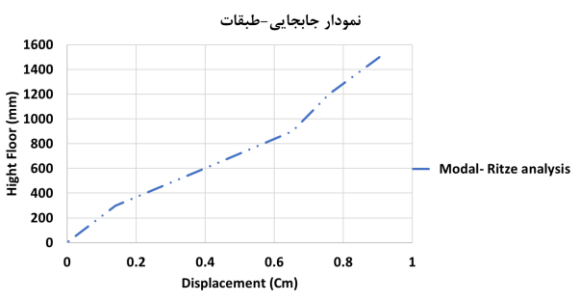
طبقه	ستون (سانتیمتر)	تیر (سانتیمتر)
طبقه اول	مربع ۷۰×۷۰ ۱۸ میلگرد ۲۵	مستطیل، ارتفاع ۶۵ و عرض ۷۰
طبقه دوم	مربع ۶۵×۶۵ ۱۸ میلگرد ۲۲	مستطیل، ارتفاع ۶۰ و عرض ۶۵
طبقه سوم	مربع ۶۰×۶۰ ۱۶ میلگرد ۲۵	مستطیل، ارتفاع ۵۰ و عرض ۶۰
طبقه چهارم	مربع ۶۰×۶۰ ۱۶ میلگرد ۲۲	مستطیل، ارتفاع ۵۰ و عرض ۶۰
طبقه پنجم	مربع ۵۵×۵۵ ۱۶ میلگرد ۲۰	مستطیل، ارتفاع ۵۰ و عرض ۵۵
طبقه ششم	مربع ۵۰×۵۰ ۱۶ میلگرد ۲۰	مستطیل، ارتفاع ۴۰ و عرض ۵۰
طبقه هفتم	مربع ۴۵×۴۵ ۱۲ میلگرد ۲۰	مربع ۴۵×۴۵
طبقه هشتم	مربع ۴۰×۴۰ ۸ میلگرد ۲۰	مربع ۴۵×۴۵
طبقه نهم	مربع ۳۵×۳۵ ۸ میلگرد ۲۰	مربع ۳۵×۳۵

۲-۴- معرفی روش تحقیق

بعد از انجام مدل‌سازی در نرم‌افزار Sap2000 به منظور مقایسه و ارزیابی دقت و قابلیت اعتماد تحلیل مودال در حالت بردار ریتز و بردار ایگن نسبت به یکدیگر، از یک تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی هم استفاده شد، تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی غیرخطی به عنوان مبنا و معیار اندازه گیری مقایسه ایی و ارزیابی دقت بین حالت تحلیلی مودال ریتز و ایگن به کار گرفته شده است، نحوه کار به این صورت است که نتایج حاصل از تحلیل مودال را در دو حالت بردار ایگن و بردار ریتز نسبت به نتایج حاصل شده از تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی غیرخطی که به عنوان دقیق ترین نوع تحلیل سازه‌ایی در حال حاضر شناخته شده است مورد مقایسه قرار خواهد گرفت.

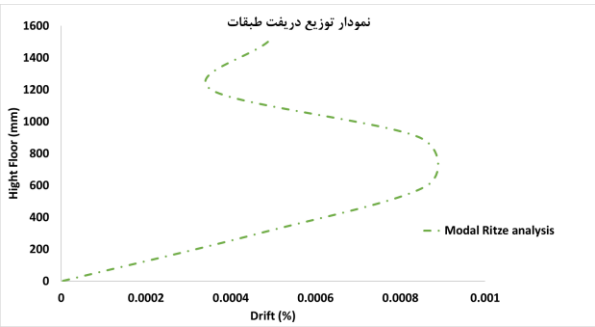
۴- ۲- نتایج تحلیل سازه ۵ طبقه

بعد از انجام تحلیل سازه ۵ طبقه بتن مسلح توسط نرم‌افزار اجزای محدود Sap2000 خروجی ناشی از تحلیل مودال در دو حالت بردار ریتز و ایگن و همچنین نتایج ناتشی از تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی را مشاهده می‌گردد. در شکل (۴) تغییرمکان توزیع شده طبقات در سازه ۵ طبقه توسط تحلیل مودال تحت بردار ریتز مشاهده می‌گردد. در این نمودار مشاهده گردید حداکثر جابجایی نهایی ایجاد شده در طبقه پنجم بوده که مقدار آن برابر ۰/۸۳ سانتی‌متر است.



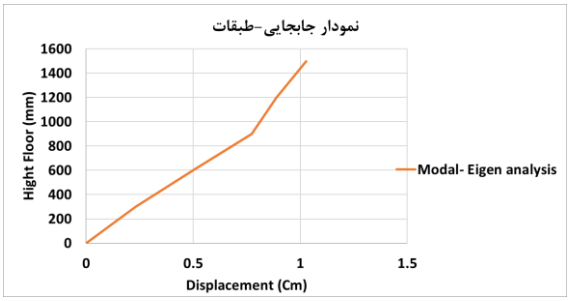
شکل ۴- نمودار تغییرمکان طبقات توزیع شده در ارتفاع سازه ۵ طبقه تحت تحلیل مودال بردار ریتز

در شکل (۵) می‌توان نتایج دریفت توزیع شده در طبقات ناشی از تحلیل مودال تحت بردار ریتز را مشاهده کرد، با بررسی این نمودار می‌توان گفت که حداکثر دریفت در طبقه سوم اتفاق افتاده است که مقدار آن برابر ۰,۰۰۸۷ است.



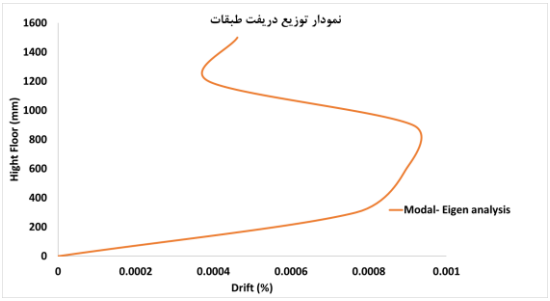
شکل ۵-نمودار توزیع دریفت سازه ۵ طبقه تحت تحلیل مودال بردار ریتز

بعد از انجام تحلیل سازه ۵ طبقه توسط نرم افزار اجزاء محدود سپ ۲۰۰۰ در شکل (۶) می‌توان نتایج تغییرمکان توزیع شده در طبقات ناشی از تحلیل مودال تحت بردار ویژه ایگن را مشاهده کرد. حداکثر جابجایی نهایی ایجاد شده در این مدل در طبقه پنجم اتفاق افتاده است، که مقدار آن برابر با ۹,۴ سانتی متر است.



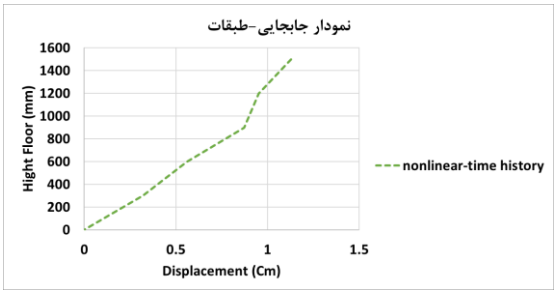
شکل۶- نمودار تغییرمکان–ارتفاع سازه ۵ طبقه تحت تحلیل مودال بردار ایگن

در شکل (۷) می‌توان نتایج توزیع دریفت طبقات ناشی از تحلیل مودال تحت بردار ایگن را مشاهده کرد، با بررسی این نمودار توزیع دریفت می‌توان گفت که حداکثر دریفت در طبقه سوم رخ داده است که مقدار آن برابر ۰,۰۰۹۷ است.



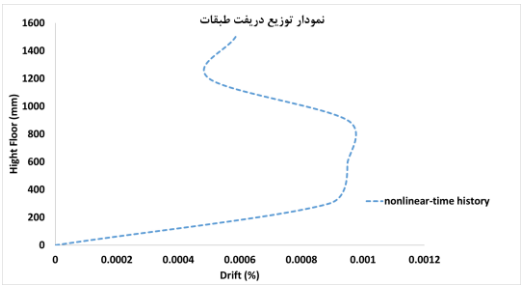
شکل ۷- نمودار توزیع دریفت سازه ۵ طبقه تحت تحلیل مودال بردار ایگن

همچنین بعد از انجام تحلیل سازه ۵ طبقه توسط نرم‌افزار اجزاء محدود سپ۲۰۰۰ در شکل (۸) می‌توان نتایج تغییرمکان توزیع شده در طبقات ناشی از تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی غیرخطی را مشاهده کرد. در این نمودار مشاهده گردید حداکثر جابجایی نهایی ایجاد شده در طبقه پنجم برابر مقدار ۱/۲۳سانتی‌متر است.



شکل ۸–نمودار تغییرمکان–ارتفاع سازه ۵ طبقه تحت تحلیل دینامیکی غیر-خطی تاریخچه زمانی

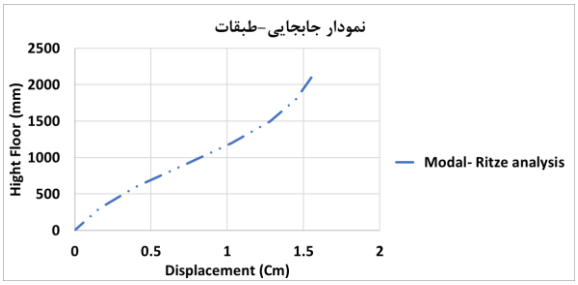
بعد از انجام تحلیل سازه ۵ طبقه توسط نرم افزار اجزاء محدود سپ۲۰۰۰ در شکل (۹) می‌توان نتایج توزیع دریفت طبقات ناشی از تحلیل دینامیکی غیر خطی تاریخچه زمانی را مشاهده کرد، حداکثر دریفت در این مدل در طبقه چهارم اتفاق افتاده است که مقدار آن برابر ۰,۰۰۱۲ است.



شکل ۹– نمودار توزیع دریفت سازه ۵ طبقه تحت تحلیل دینامیکی غیرخطی تاریخچه زمانی

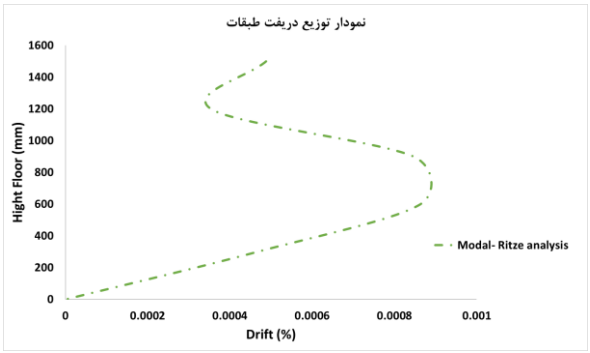
۴- ۲- نتایج تحلیل سازه ۷ طبقه

بعد از انجام مدلسازی سازه ۷ طبقه در نرم‌افزار سپ۲۰۰۰ به منظور تعیین برتری نتایج تحلیل مودال در دو حالت بردار ریتز و ایگن مقایسه نتایج حاصل از این دو حالت تحلیل نسبت تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی غیر خطی مورد مقایسه و بررسی قرار گرفت، در شکل (۱۰) می‌توان مقدار تغییرمکان ایجاد شده طبقات سازه ۷ طبقه ناشی از تحلیل مودال تحت بردار ریتز را مشاهده کرد. با مشاهده این نمودار، مشخص شد که حداکثر جابجایی نهایی ایجاد شده در طبقه هفتم سازه اتفاق افتاده است، که این مقدار برابر با ۱/۵۲ سانتی‌متر است.



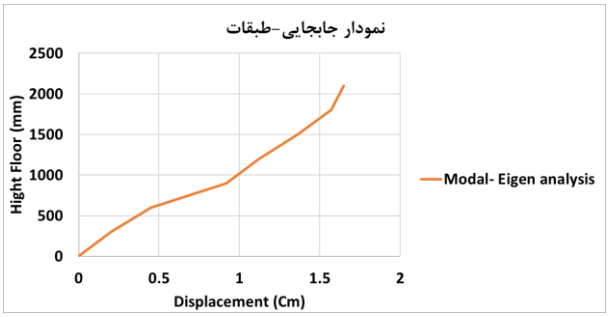
شکل ۱۰– نمودار تغییرمکان–ارتفاع سازه ۷ طبقه تحت تحلیل مودال بردار ریتز

بعد از انجام تحلیل سازه ۷ طبقه در شکل (۱۱) نتایج توزیع دریفت در طبقات ناشی از تحلیل مودال تحت بردار ریتز را مشاهده کرد، با بررسی نمودار توزیع دریفت مشخص گردید، که حداکثر دریفت توزیع شده در طبقه چهارم اتفاق افتاده است که مقدار آن برابر ۰,۰۰۸۶ است.



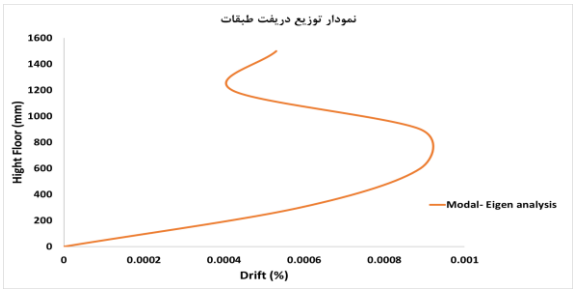
شکل ۱۱- نمودار توزیع دریفت سازه ۷ طبقه تحت تحلیل مودال بردار ریتز

در شکل (۱۲) می‌توان نتایج تغییرمکان توزیع شده در طبقات، ناشی از تحلیل مودال تحت بردار ایگن را مشاهده کنیم. با بررسی این نمودار مشاهده شد که حداکثر جابجایی نهایی ایجاد شده در طبقه هفتم سازه اتفاق افتاده است، که این مقدار برابر با ۱/۶۷ سانتی‌متر است.



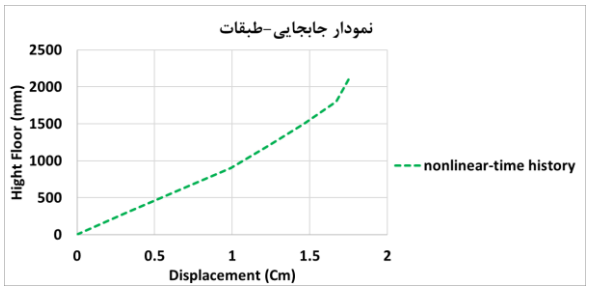
شکل ۱۲- نمودار تغییر مکان – ارتفاع سازه ۷ طبقه تحت تحلیل مودال بردار ایگن

در شکل (۱۳) نمودار توزیع دریفت طبقات ناشی از تحلیل مودال تحت بردار ایگن را مشاهده می‌گردد. با بررسی نمودار توزیع دریفت مشخص گردید، که حداکثر دریفت توزیع شده در طبقه سوم اتفاق افتاده است که مقدار آن برابر ۰,۰۰۹۷ است.



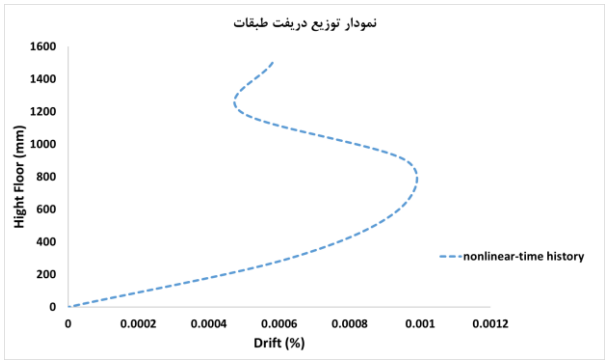
شکل ۱۳- نمودار توزیع دریفت سازه ۷ طبقه تحت تحلیل مودال بردار ایگن

در شکل (۱۴) نتایج تغییرمکان توزیع شده طبقات، ناشی از تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی غیرخطی را مشاهده کرد. با بررسی این نمودار مشاهده شد که حداکثر جابجایی نهایی ایجاد شده در طبقه هفتم سازه اتفاق افتاده است، که این مقدار برابر با ۱/۷۳ سانتی‌متر است.



شکل۱۴- نمودار تغییرمکان–ارتفاع سازه ۷ طبقه تحت تحلیل دینامیکی غیر-خطی تاریخچه زمانی

در شکل (۱۵) نتایج توزیع دریفت طبقات ناشی از تحلیل دینامیکی غیرخطی تاریخچه زمانی مشاهده می‌گردد. با بررسی این نمودار مشاهده گردید، که حداکثر دریفت توزیع شده در طبقه چهارم اتفاق افتاده است که مقدار آن برابر ۰,۰۰۱۲ است.



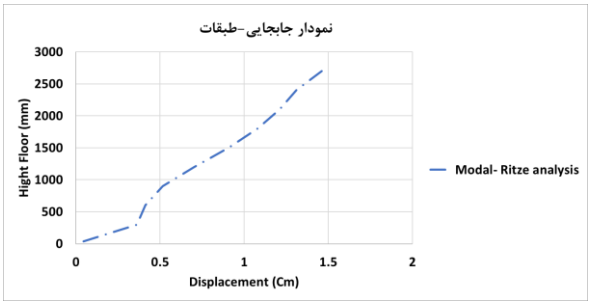
شکل۱۵–نمودار توزیع دریفت سازه ۷ طبقه تحت تحلیل دینامیکی غیرخطی تاریخچه زمانی

۳-۴- نتایج تحلیل سازه ۹ طبقه

بعد از انجام مدل‌سازی در نرم‌افزار سپ۲۰۰۰ به منظور اینکه تعیین برتری تحلیل غیرخطی نسبت به تحلیل خطی در تحلیل تاریخچه زمانی مودال و همچنین به رسیدن به بررسی دقت بیشتر روش بردار ایگن نسبت به بردار ریتس در تحلیل تاریخچه زمانی مودال تحلیل‌ها را با نرم‌افزار سپ ۲۰۰۰ انجام گردیده است، به همین منظور بعد از انجام

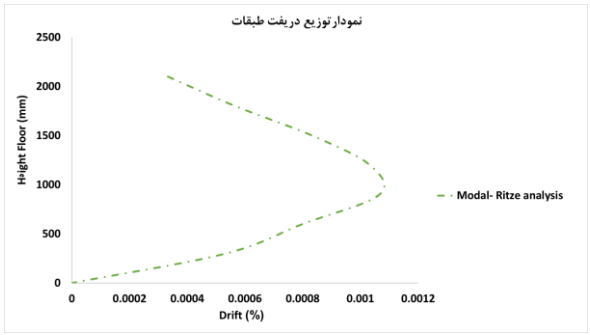
تحلیل خروجی ها نمودار تغییر مکان– ارتفاع سازه‌های مطالعاتی را مورد بررسی و تحلیل قرار که داده‌ایم.

بعد از انجام تحلیل سازه ۹ طبقه توسط نرم‌افزار اجزاء محدود سپ ۲۰۰۰ در شکل (۱۶) می‌توان نتایج تغییر مکان توزیع شده در طبقات ناشی از تحلیل مودال تحت بردار ریتز را مشاهده کرد. با بررسی این نمودار مشخص شد که حداکثر جابجایی نهایی ایجاد شده در طبقه هفتم سازه اتفاق افتاده است، که این مقدار برابر با ۱/۴۵ سانتی‌متر است.



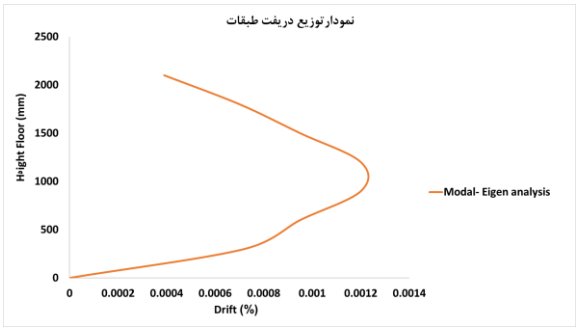
شکل ۱۶– نمودار تغییرمکان–ارتفاع سازه ۹ طبقه تحت تحلیل مودال بردار ریتز

در شکل (۱۷) نتایج توزیع دریفت طبقات، ناشی از تحلیل مودال تحت بردار ریتز مشاهده می‌گردد، با بررسی این نمودار مشاهده گردید که حداکثر دریفت توزیع شده در طبقه ششم اتفاق افتاده است که مقدار آن برابر ۰,۰۰۱۴۲ است.



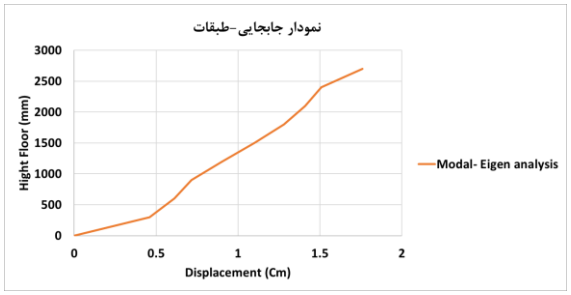
شکل ۱۷– نمودار توزیع دریفت سازه ۹ طبقه تحت تحلیل مودال بردار ریتز

در شکل (۱۸) می‌توان نتایج تغییرمکان توزیع شده طبقات، ناشی از تحلیل مودال تحت بردار ایگن مشاهده کرد. با بررسی این نمودار مشخص شد که حداکثر جابجایی نهایی ایجاد شده در طبقه هشتم سازه اتفاق افتاده است، که این مقدار برابر با ۱/۷۳ سانتی‌متر است.



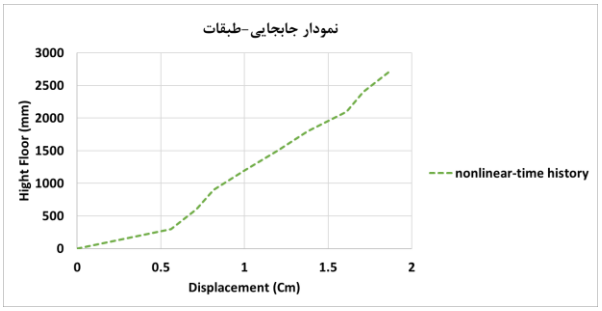
شکل ۱۸– نمودار تغییرمکان–ارتفاع سازه ۹ طبقه تحت تحلیل مودال بردار ایگن

در شکل (۱۸) نتایج توزیع دریفت طبقات، ناشی از تحلیل مودال تحت بردار ایگن را مشاهده می‌گردد. با بررسی این نمودار مشخص گردید که حداکثر دریفت توزیع شده در طبقه هشتم اتفاق افتاده است که مقدار آن برابر ۰,۰۰۱۲۲ است.



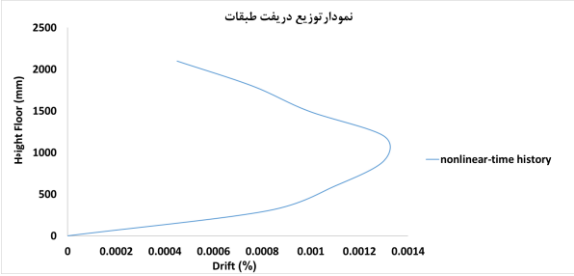
شکل ۱۹– نمودار توزیع دریفت سازه ۹ طبقه تحت تحلیل مودال بردار ایگن

همچنین در شکل (۲۰) نتایج تغییرمکان توزیع شده، طبقات ناشی از تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی غیرخطی مودال مشاهده می‌گردد. با بررسی این نمودار مشاهده گردید، که حداکثر دریفت توزیع شده در طبقه ششم اتفاق افتاده است که مقدار آن برابر ۰,۰۰۱۴۲ است.



شکل ۲۰– نمودار تغییرمکان–ارتفاع سازه ۹ طبقه تحت تحلیل دینامیکی غیر-خطی تاریخچه زمانی

بعد از انجام تحلیل سازه ۹ طبقه در شکل (۲۱) می‌توان، نتایج دریفت توزیع شده در طبقات، ناشی از تحلیل دینامیکی غیرخطی تاریخچه زمانی را مشاهده کرد. با بررسی این نمودار مشاهده شد که حداکثر دریفت توزیع شده در طبقه هشتم اتفاق افتاده است که مقدار آن برابر ۰,۰۰۱۲۹ است.

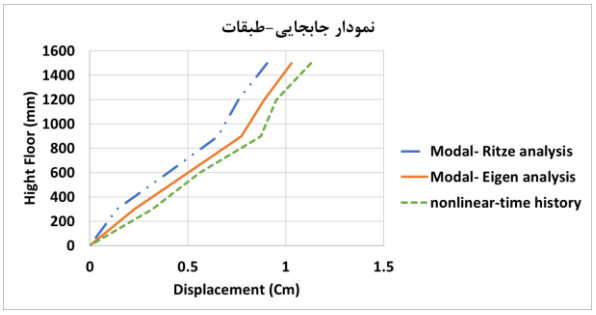


شکل ۲۱- نمودار توزیع دریفت سازه ۹ طبقه تحت تحلیل دینامیکی غیرخطی تاریخچه زمانی

۵- مقایسه نتایج تحلیل نمونه‌ها

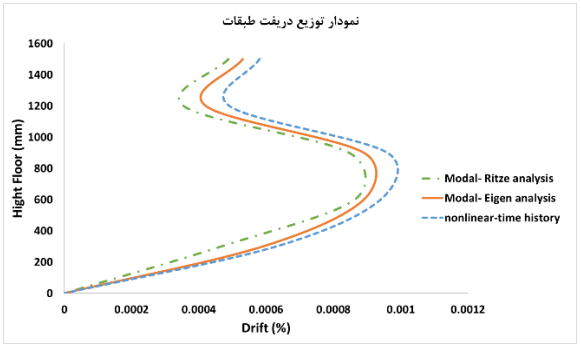
۵-۱-پاسخ سازه در ساختمان ۵ طبقه تحت تحلیل مودال بردار ریتز (Ritze)، ایگن(Eigen) و تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی غیرخطی(Nthl)

بعد از انجام تحلیل نمونه‌های مورد مطالعه ۵ طبقه در شکل (۲۲) می‌توان نتایج نمودار توزیع دریفت طبقات سازه ۵ طبقه تحت تحلیل مودال ناشی از بردار ریتز و ایگن و تحلیل تاریخچه زمانی غیر خطی را مشاهده کرد، با توجه به بررسی و مطالعه نمودار توزیع تغییرمکان طبقات در سازه ۵ طبقه، و همچنین با توجه به این نکته که دقیق‌ترین تحلیل حال حاضر برای سازه‌های ساختمانی، تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی غیرخطی است از این تحلیل بمنظور مقیاس و سنجش بررسی دقت دو تحلیل مودال بردار ریتز و ایگن استفاده گردید، مقدار اختلاف تحلیل مودال ناشی از تحلیل بردار ریتز در حدود ۲۳,۴۱٪ درصد نسبت به تحلیل دینامکی تاریخچه رمانی غیرخطی بود، همچنین با توجه به بررسی تحلیل مودال ناشی از برادر ایگن مشاهده شد که این اختلاف خیلی کمتر از تحلیل مودال ناشی از بردار ریتز بوده، این اختلاف چیزی در حدود ۹,۵۷ درصد بود.



شکل۲۲- مقایسه نمودار توزیع تغییرمکان طبقات سازه ۵ طبقه تحت تحلیل مودال ناشی از بردار ریتز و ایگن و تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی

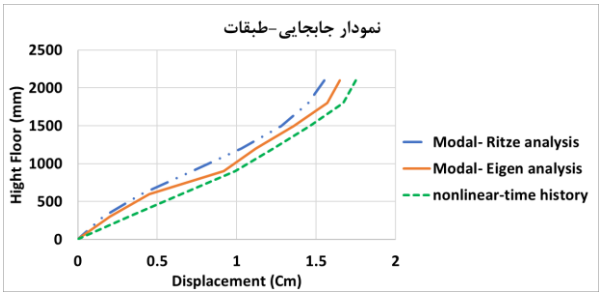
بعد از انجام تحلیل نمونه مورد مطالعه سازه ۵ طبقه در شکل (۲۳) می‌توان نتایج توزیع دریفت طبقات سازه ۵ طبقه تحت تحلیل مودال ناشی از بردار ریتز و ایگن و تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی را مشاهده کرد. با توجه به بررسی و مطالعه نمودار توزیع دریفت طبقات در سازه ۵ طبقه، و همچنین با توجه به این نکته که دقیق‌ترین تحلیل حال حاضر برای سازه‌های ساختمانی، تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی غیرخطی است از این تحلیل بمنظور مقیاس و سنجش بررسی دقت دو تحلیل مودال بردار ریتز و ایگن استفاده گردید، با مقایسه عددی مشاهده گردید، مقدار اختلاف تحلیل مودال ناشی از بردار ریتز در حدود ۲۵/۶۱ درصد نسبت به تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی بود، همچنین با توجه به بررسی تحلیل مودال ناشی از برادر ایگن مشاهده گردید که این اختلاف خیلی کمتر از تحلیل مودال ناشی از بردار ریتز بوده که این اختلاف چیزی در حدود ۱۱/۷۳ درصد نسبت به تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی بود، با توجه به مقایسه این دو تحلیل می‌توان نتیجه‌گیری کرد که مقدار تحلیل مودال ناشی از بردار ایگن دارای اختلاف کمتری از تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی غیرخطی است.



شکل ۲۲- مقایسه نمودار توزیع دریفت طبقات سازه ۵ طبقه تحت تحلیل مودال ناشی از بردار ریتز و ایگن و تحلیل تاریخچه زمانی غیر خطی

۲-۵- مقایسه پاسخ سازه۷ طبقه تحت تحلیل مودال بردار ریتز(Ritze)و ایگن(Eigen)تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی غیرخطی (Nthl)

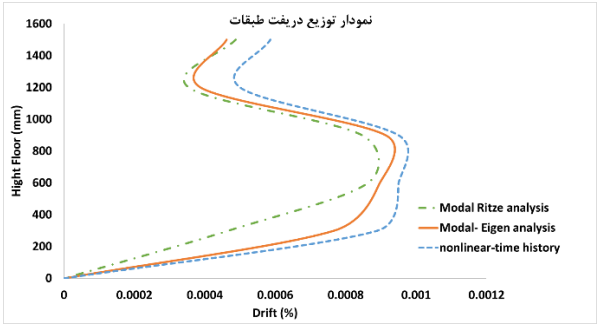
بعد از انجام تحلیل سازه ۷ طبقه در شکل (۲۲) می‌توان نمودار توزیع تغییرمکان طبقات سازه ۷ طبقه تحت تحلیل مودال ناشی از بردار ریتز و ایگن و تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی را مشاهده کرد، با توجه به بررسی و مطالعه نمودار توزیع تغییرمکان طبقات در سازه ۷ طبقه، و این نکته که دقیق‌ترین تحلیل حال حاضر برای سازه‌های ساختمانی، تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی غیرخطی است از این تحلیل بمنظور مقیاس و سنجش بررسی دقت دو تحلیل مودال بردار ریتز و ایگن استفاده گردید، با مقایسه عددی مشاهده گردید، مقدار اختلاف تحلیل مودال ناشی از بردار ریتز در حدود ۳۲/۷۴ درصد نسبت به تحلیل دینامیکی غیر خطی است، همچنین با توجه به بررسی تحلیل مودال ناشی از برادر ایگن مشاهده گردید که این اختلاف نسبت به به تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی خیلی کمتر از تحلیل مودال ناشی از بردار ریتز بوده که این مقدار چیزی در حدود ۱۴/۲۳ درصد بوده است، با توجه به مقایسه این دو تحلیل می‌توان نتیجه گیری کرد، که مقدار تحلیل مودال ناشی از بردار ایگن دارای اختلافی کمتری نسبت به تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی غیرخطی است.



شکل ۲۳- مقایسه نمودار توزیع تغییر مکان طبقات سازه ۷ طبقه تحت تحلیل مودال ناشی از بردار ریتز و ایگن و تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی

بعد از انجام تحلیل سازه ۷ طبقه در شکل (۲۳) می‌توان نمودار توزیع دریفت طبقات سازه ۷ طبقه تحت تحلیل مودال ناشی از بردار ریتز و ایگن و تحلیل تاریخچه زمانی غیر خطی را مشاهده کرد. با توجه به بررسی و مطالعه نمودار توزیع دریفت طبقات در سازه ۷ طبقه، و این نکته که دقیق‌ترین تحلیل حال حاضر برای سازه‌های ساختمانی، تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی غیرخطی است از این تحلیل بمنظور مقیاس و سنجش بررسی دقت دو تحلیل مودال بردار ریتز و ایگن استفاده گردید، با مقایسه عددی مشاهده گردید، مقدار اختلاف ناشی از تحلیل مودال ناشی بردار ریتز در حدود ۲۶/۷٪ درصد نسبت به تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی بوده است، همچنین با توجه به بررسی تحلیل مودال ناشی از برادر ایگن مشاهده گردید که این اختلاف خیلی کمتر از تحلیل مودال ناشی از بردار ریتز بوده که این اختلاف چیزی در حدود ۱۲/۶۴ درصد نسبت به تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی بود.

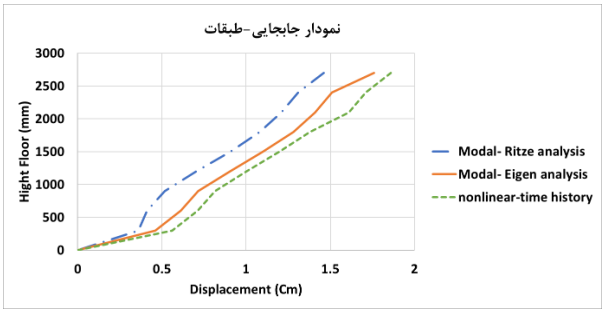
25



شکل۲۴- مقایسه نمودار توزیع دریفت طبقات سازه ۷ طبقه تحت تحلیل مودال ناشی از بردار ریتز و ایگن و تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی

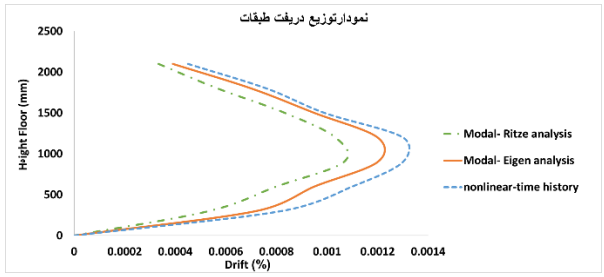
۳-۵-مقایسه پاسخ سازه ۹ طبقه تحت تحلیل مودال بردار ریتز (Ritze) و ایگن (Eigen) و تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی غیرخطی (Nthl)

بعد از انجام تحلیل سازه ۹ طبقه شکل (۲۵) می‌توان توزیع تغییرمکان سازه ۹ طبقه تحت تحلیل مودال ناشی از بردار ریتز و ایگن و تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی را مشاهده کرد. با توجه به بررسی و مطالعه نمودار توزیع تغییرمکان طبقات در سازه ۹ طبقه، و همچنین با توجه به این نکته که دقیق‌ترین تحلیل در حال حاضر، تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی غیرخطی است. از این تحلیل به منظور مقیاس و سنجش تحلیل مودال برای دو حالت بردار ریتز و ایگن استفاده گردید، مقدار اختلافی که در تحلیل مودال ناشی از بردار ریتز نسبت به تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی وجود داشت اختلافی در حدود ۲۸/۴ درصد بوده، همچنین با توجه به بررسی تحلیل مودال ناشی از برادر ایگن مشاهده گردید که این اختلاف خیلی کمتر از تحلیل مودال ناشی از بردار ریتز بوده که این اختلاف چیزی در حدود ۱۲/۴ درصد نسبت به تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی بوده، با توجه به مقایسه این دو تحلیل می‌توان نتیجه‌گیری کرد، که مقدار تحلیل مودال ناشی از بردار ایگن دارای اختلافی کمتری از تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی غیر خطی دارا است، و می‌توان عنوان کرد که تحلیل مودال ناشی ازبردار ایگن دارای دقت بیشتر نسبت به تحلیل مودال ناشی از بردار ریتز است.



شکل ۲۵- مقایسه توزیع تغییر مکان سازه ۹ طبقه تحت تحلیل مودال ناشی از بردار ریتز و ایگن و تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی

بعد از انجام تحلیل سازه ۹ طبقه در شکل (۲۶) می‌توان نمودار توزیع دریفت طبقات ناشی از بردار ریتز و ایگن و تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی را مشاهده کرد. با توجه به بررسی و مطالعه نمودار توزیع دریفت طبقات در سازه ۹ طبقه، مقدار اختلاف که در تحلیل مودال ناشی از بردار ریتز نسبت به تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی حاصل شد برابر ۳۱/۲ درصد بود، همچنین با توجه به بررسی تحلیل مودال ناشی از برادر ایگن مشاهده شد، که این اختلاف خیلی کمتر از تحلیل مودال ناشی از بردار ریتز بوده که این اختلاف چیزی در حدود ۷/۶۹ درصد نسبت به تحلیل دینامیکی غیرخطی است.



شکل ۲۶- مقایسه نمودار توزیع دریفت طبقات سازه ۹ طبقه تحت تحلیل مودال ناشی از بردار ریتز و ایگن و تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی

۶- نتیجه گیری

بعد از انجام تحلیل نمونه‌های مورد مطالعه توسط نرم‌افزار اجزاء محدود Sap2000 و انجام تحلیل مودال و تحلیل دینامیکی غیرخطی تاریخچه زمانی نتایج ذیل حاصل گردید:

با توجه به بررسی و مطالعه نمودار توزیع تغییرمکان طبقات در سازه ۵ طبقه، با مقایسه این پارامتر تحلیلی مقدار اختلافی که در تحلیل مودال ناشی از بردار ریتز نسبت به تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی وجود دارد، اختلافی در حدود ۲۳/۴۱ درصد بوده، همچنین با توجه به بررسی تحلیل مودال ناشی از بردار ایگن مشاهده گردید که این اختلاف خیلی کمتر از تحلیل مودال ناشی از بردار ریتز بوده که این اختلاف چیزی در حدود ۹/۵۷ درصد نسبت به تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی غیر خطی بوده، با توجه به مقایسه این دو تحلیل می‌توان نتیجه گیری کرد مقدار تحلیل مودال ناشی از بردار ایگن دارای اختلاف کمتری نسبت تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی غیرخطی است، می‌توان عنوان کرد که تحلیل مودال ناشی از بردار ایگن دارای دقت بیشتری نسبت به تحلیل مودال ناشی از بردار ریتز دارا است.

با توجه به بررسی و مطالعه نمودار توزیع دریفت در سازه ۵ طبقه، با مقایسه این پارامتر تحلیلی مقدار اختلافی که در تحلیل مودال ناشی از بردار ریتز نسبت به تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی وجود دارد، اختلافی در حدود ۲۵/۶۱ درصد بوده، همچنین با توجه به بررسی تحلیل مودال ناشی از بردار ایگن مشاهده گردید که این اختلاف خیلی کمتر از تحلیل مودال ناشی از بردار ریتز بوده، که این اختلاف چیزی در حدود ۱۱/۷۳ درصد نسبت به تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی غیرخطی بوده، با توجه به مقایسه این دو تحلیل می‌توان نتیجه گیری کرد، که مقدار تحلیل مودال ناشی از بردار ایگن دارای اختلاف کمتری از تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی غیرخطی است، و می‌توان گفت که تحلیل مودال ناشی ازبردار ایگن دارای دقت بیشتری نسبت به تحلیل مودال ناشی از بردار ریتز دارا می باشد .

با توجه به بررسی و مطالعه نمودار توزیع تغییرمکان طبقات در سازه ۷ طبقه، با مقایسه این پارامتر که در تحلیل مودال ناشی از بردار ریتز نسبت به تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی وجود دارد، اختلافی در حدود ۳۲/۷۲. درصد بوده، همچنین با توجه به بررسی تحلیل مودال ناشی از بردار ایگن مشاهده گردید، این اختلاف خیلی کمتر از تحلیل مودال ناشی از بردار ریتز بوده، که این اختلاف چیزی در حدود ۱۴/۲۳ درصد بوده، با توجه به مقایسه این دو تحلیل می‌توان نتیجه‌گیری کرد که مقدار تحلیل مودال ناشی از بردار ایگن دارای اختلافی کمتری از تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی غیرخطی دارا می‌باشد، و می‌توان گفت که تحلیل مودال ناشی ازبردار ایگن دارای دقت بیشتر نسبت به تحلیل مودال ناشی از بردار ریتز دارا است.

با توجه به بررسی و مطالعه نمودار توزیع دریفت در سازه ۷ طبقه، با مقایسه این پارامتر که در تحلیل مودال ناشی از بردار ریتز نسبت به تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی وجود دارد، اختلافی در حدود ۲۶/۷ درصد بوده، همچنین با توجه به بررسی تحلیل مودال ناشی از برادر ایگن مشاهده گردید، این اختلاف خیلی کمتر از تحلیل مودال ناشی از بردار ریتز بوده، که این اختلاف چیزی در حدود ۱۲/۶۴ درصد بوده، با توجه به

مقایسه این دو تحلیل می توانیم نتیجه‌گیری کنیم که مقدار تحلیل مودال ناشی از بردار ایگن دارای اختلافی کمتری از تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی غیر خطی دارا می‌باشد، و می‌توانیم عنوان کنیم که تحلیل مودال ناشی ازبردار ایگن دارای دقت بیشتر نسبت به تحلیل مودال ناشی از بردار ریتز دارا می‌باشد.

با توجه به بررسی و مطالعه نمودار توزیع تغییر مکان طبقات در سازه ۹ طبقه، با مقایسه این پارامتر که در تحلیل مودال ناشی از بردار ریتز نسبت به تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی وجود دارد، اختلافی در حدود ۲۸/۴ درصد بوده، همچنین با توجه به بررسی تحلیل مودال ناشی از برادر ایگن مشاهده گردید، این اختلاف خیلی کمتر از تحلیل مودال ناشی از بردار ریتز بوده که این اختلاف چیزی در حدود ۱۲/۴ درصد بوده، با توجه به مقایسه این دو تحلیل می‌توان نتیجه گیری کرد که مقدار تحلیل مودال ناشی از بردار ایگن دارای اختلاف کمتری از تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی غیر خطی است، و می توان گفت که تحلیل مودال ناشی ازبردار ایگن دارای دقت بیشتر نسبت به تحلیل مودال ناشی از بردار ریتز است.

با توجه به بررسی و مطالعه نمودار توزیع دریفت در سازه ۹ طبقه، با مقایسه این پارامتر که در تحلیل مودال ناشی از بردار ریتز وجود دارد اختلافی در حدود ۳۱/۲ درصد بوده، همچنین با توجه به بررسی تحلیل مودال ناشی از برادر ایگن مشاهده گردید که این اختلافی خیلی کمتر از تحلیل مودال ناشی از بردار ریتز بوده که این اختلاف چیزی در حدود ۷/۶۹ درصد بوده، با توجه به مقایسه این دو تحلیل می‌توان نتیجه‌گیری کرد که مقدار تحلیل مودال ناشی از بردار ایگن دارای اختلافی کمتری از تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی غیر خطی دارا می‌باشد، و می‌توان عنوان کرد که تحلیل مودال ناشی از بردار ایگن دارای دقت بیشتری نسبت به تحلیل مودال ناشی از بردار ریتز دارا است.

مراجع

[۱] راهنمای کاربردی دستور العمل بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود سازه‌های بتنی، نشریه ۳۶۳ سازمان برنامه و بودجه

[2] Kalkan,E and S.K Kunnath, Adaptive Modal Combination pRoceduRe foR Non lineR static Analysis of building stRuctuRes .EngineeRing StRuctuRes,2003.132: p 1718-1739

[3] Applied Technology Council. Seismic evaluation and RetRofit of concRete buildings. RepoRt ATC-40. Redwood City (CA); 2015.

[4] Saiidi M, SOZEN MA ."Simple non-lineR seismic analysis of RC stRuctuRes", ASCE J StRuct div,(1981)

[5] FajfaR,p.and fischingeR, "N2-Method foR NonlineaR seismic analysis of RegulaR stRuctuRes" pRoceedings of the ninth woRld confeRence on EaRthquake EngineeRing ,Tokyo-kyoto,japan(2016)

[6] ATC .Seismic evaluation and RetRofit of concRete building "RepoRt ATC-40 Applied Technology Council(1996)

[7] Otani s, HiRaishi H, MidoRikawa M ,TeshigawaRa M" New seismic design pRovisions in japan. PRoceeding of uzumeRi symposium, ACI Annual Convention Canada(2017)

[8] Jan, TS,M.W.Liu, and Y.C.Kao, an uppeR-bound pushoveR analysis pRoceduRe foR estimating the seismic

[9] Jianmeng M,changhai Z, lili X."An improved modal pushover Analysis procedure for estimating seismic demands of structures " Earthquake engineering and engineering vibration,Vol.7No.1 (2014)

[10] Chopra,A. and Goel,R. (2016) " A Modal poushover analysis procedure for estimating seismic demands for building "" Earthquake engineering and structural Dynamics,vol.31,pp.561-582.

[11] Poursha,m.f.khoshnoudian, and A.S.Moghadam, A consecutive modal poushover procedure for estimating seismic demands of tall buildings. Engineering structures,2009.31:p587-600

[12] Federal Emergence Management Agency. Improvement of nonlinear static seismic analysis procedure. Report FEMA-440. Washington (DC); 2013.

[13]Federal Emergence Management Agency. NEHRP guidelines for the seismic rehabilitation of buildings. Report FEMA-273. Washington (DC); 1997.

A Comparison of Modal Analysis of Ritz Vector Mode (Ritze) and Eagan Vector (Eigen) based on nonlinear Time History (NTH) Dynamic Analysis

Seyed Ali Mousavi Davoudi *
Senior Researcher, Tabari High School of Babol
Morteza Neghipour
Professor, Faculty of Civil Engineering, Babol University of Technology
(Ali_mousavii@yahoo.com)

Abstract:

Nowadays, the requirements of designing structures based on low weight and high strength in structural engineering science, have increased the possibility of unwanted and destructive vibrations in these systems. Also, using of computer softwares for modeling alone cannot accurately predict the dynamic behavior of structures. For this reason, a fundamental approach to experimental techniques was developed and made progress in the field of modal analysis. In recent years, modal analysis has been applied as a tool to determine and enhance the dynamic properties of structures. The vibrational modes obtained from the modal analysis, are useful for understanding the behavior of the structure correctly. Modal analysis is also used in modal time history analyzes and quasi-dynamic analysis of response spectrum. An important point in modal analysis is that when using modal analysis there are two types of analytical models named special vector state and Ritz vector state. Finding the best method for modal analysis of structural responses is very important in modal analysis, so far no comprehensive studies have been conducted to date. Considering the importance of this issue, in this study the evaluation of the accuracy between the two modes of vectors (Ritz) and (Eigen) in modal analysis is done. It is concluded that the modal analysis of Eigen vector is more accurate than Ritz vector and the results of Eigen modal analysis are closer to reality.

Keywords: Modal analysis, Nonlinear time history analysis, Ritz vector, Eigen vector