

# Modal Pushover Analysis of Mass-Irregular Mean Concrete Frames

رضا جامعی<sup>۱</sup>، کیا چهر بهفر نیا<sup>۲</sup>، محسن اعتمادی<sup>۳</sup>

۱- کارشناس ارشد سازه دانشگاه آزاد اسلامی نجف آباد [Jamei1056@yahoo.com](mailto:Jamei1056@yahoo.com)

۲- استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان [Kia@cc.iut.ac.ir](mailto:Kia@cc.iut.ac.ir)

۳- استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان [etemaadi@cc.iut.ac.ir](mailto:etemaadi@cc.iut.ac.ir)

**ABSTRACT:** Modal Pushover Analysis (MPA) method has been introduced for improving conventional pushover analysis methods. This method can consider the effect of higher modes in addition to the fundamental mode in the final response. Therefore application of MPA method in pushover analysis of irregular tall buildings in which dynamic response is affected by the higher modes seems to be necessary. In this study the results of modal push over analysis of mass-irregular concrete frames is compared with that of static pushover analysis. Eleven floor mass-irregular mean concrete frames are analyzed. The mass irregularity is considered in the first, middle or top floors of concrete frames. Many parameters including story displacement and relative story displacement (drift) are evaluated and compared to those obtained from time History analysis. Obtained results show that the dynamic response of mass-irregular concrete frames is highly dependent to the location of irregularity. The results are presented in proper tables and graphs.

کلمات کلیدی: ارزیابی لرزهای، قابهای بتن آرمه، نامنظمی جرمی، آنالیز استاتیکی غیرخطی

## ۱. مقدمه

استفاده از تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی غیرخطی در برآورد نیازهای لرزهای ساختمانها با دشواریها و پیچیدگیهای خاصی همراه است. نیاز به در نظر گرفتن مجموعه‌های از تحریکهای زمین و کار با نتایج تحلیل از دشواریهای این روش است. به همین دلیل روشهای تحلیل استاتیکی غیرخطی با توجه به پیشرفت روش طراحی سازه‌ها براساس

---

۱- کارشناس ارشد سازه دانشگاه آزاد اسلامی نجف آباد

۲- استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان

۳- استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان

عملکرد جایگاه خوبی را در میان روشهای مختلف به خود اختصاص داده است. جهت استفاده از روش آنالیز استاتیکی غیرخطی آیین نامه هایی مانند FEMA356 تشریح شده است [1]. در این راستا کراوینکلر (krawinkler) و سنویرانتا (senviranta) نشان داده اند. که روش آنالیز استاتیکی غیرخطی (NSA) در ساختمانهای کوتاه که توزیع رگتار غیرخطی در ارتفاع یکنواخت است، پاسخ های خوبی ارائه می کند [2]. لکن در ساختمانهای بلند و نامنظم این روش پاسخ های رضایت بخشی ارائه نمی دهد.

در روش تحلیل پوش آور [NSA] یک سازه تحت بار جانبی که متناسب با شکل مود غالب ساز (مود اول الاستیک) می باشد قرار می گیرد و این بار به طور افزایشی به سازه اعمال میگردد تا سازه به تغییر مکان هدف در نقطه کنترل (که معمولاً بام می باشد) برسد، سپس پاسخ های سازه را ثبت میکنیم. با این حال این روش مشارکت مود های بالاتر از مود اصلی را در پاسخ نهایی لحاظ نمی کند و همچنین تاثیرات ناشی از باز توزیع نیروهای اینرسی و یا تغییر خواص ناشی از تسلیم را در محاسبه پاسخ های لرزه ای نادیده می گیرد. جهت مرتفع نمودن این محدودیت ها روش آنالیز استاتیکی غیر خطی مودال (modal pushover analysis) توسط تعدادی از محققین Chopra & Goel ارائه شده است [3].

روش آنالیز استاتیکی غیر خطی مودال که با نام اختصاری (MPA) شناخته شده است قادر است اثر مود های بالاتر از مود اصلی را در تعیین پاسخ نهایی سازه لحاظ کند، لذا استفاده از این روش در ارزیابی ساختمانهای نامنظم در ارتفاع که مود های بالاتر تعیین کننده هستند از اهمیت خاصی برخوردار است. در این روش فرض می شود که پاسخ مود ها در حالت غیر الاستیک نیز مستقل از هم می باشند، بنابراین پاسخ لرزه ای سازه در هر مود به طور مستقل از جابجا کردن سازه با الگوی توزیع بار ثابت ناشی از نیروهای اینرسی در آن مود تا رسیدن به تغییر مکان هدف معین حاصل می شود، سپس پاسخ کلی سازه از روی ترکیب پاسخ مود ها با استفاده از روش جدر مربعات (SRSS) یا (CQC) بدست می آید.

## ۲. آنالیز استاتیکی غیر خطی مودال (MPA):

در سال ۲۰۰۲ توسط Chopra و Goel ارائه شده است [3]. این روش به علت بیان یک در هندسی از موضوع، مقبولیت بیشتری نسبت به سایر روشهای پوش آور پیشرفته پیدا کرده است. اساس این روش ترکیب مقادیر پاسخ ماکزیمم تعیین شده در تحلیل های پوش آور جداگانه با استفاده از قانده ترکیب مودال (SRSS) می باشد. در این روش با استفاده از مفهوم سازه یک در جه آزاد معادل برای هر مود و با اعمال شتاب نگاشت زلزله دلخواه، تغییر مکان سازه یک در جه آزاد تحت اثر هر شتابنگاشت محاسبه می شود و با توجه به مقدار بدست آمده، تغییر مکان هدف در سازه اصلی در هر مود بدست می آید، سپس سازه در هر مود بطور جداگانه تا رسیدن به تغییر مکان هدف مشخص شده تحت نیروهای متناسب با شکل مود مورد نظر آنالیز استاتیکی غیر خطی می شود.

در نهایت پاسخهای مطلوب با ترکیب پاسخ های استخراج شده از تحلیلهای استاتیکی غیرخطی در هر مود تعیین می گردد. در واقع روش (MPA) را می توان روشی بر پایه روش تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی به حساب آورد. طبق روش پیشنهادی بوسیله Chopra و Goel، منحنی های ظرفیت بوسیله اعمال نیروهای جانبی متناسب با شکل مود سازه ایجاد می شود. - تعداد مود های در نظر گرفته شده باید دارای سهم ۹۰٪ از جرم باشد.

### ۱.۲. مراحل روش آنالیز استاتیکی فزاینده غیر خطی مودال (MPA):

مرحله ۱- انجام تحلیل مقادیر ویژه جهت تعیین پریود های طبیعی ارتعاش  $T_n$  و اشکال مودی  $\phi_n$  به کمک روش آنالیز دینامیکی خطی.

مرحله ۲- در هر مود، منحنی ظرفیت سازه که رابطه بین برش پایه در برابر تغییر مکان بام را نشان می دهد، بر اساس توزیع الگوی بار مطابق رابطه زیر:

$$S_n^* = m\phi_n \quad (1)$$

در رابطه فوق  $M$  ماتریس جرم و  $\phi_n$  مود  $n$  ام می باشد.