

# توانایی توابع جهش دهنده همگرا کننده

## در روند تحلیل غیر خطی

علی بیگری فدافن<sup>i</sup>؛ فریدون ایرانی<sup>ii</sup>

### چکیده

یکی از مشکلاتی که همواره در روند تحلیل غیر خطی پدیدار می شود، واگرایی محاسبات است. در این نوشتار پس از روشن کردن چگونگی رخ دادن واگرایی عددی محاسبات، روشی به منظور جلوگیری از این اثر معرفی می شود و در انتها با معرفی چند نمونه، توانایی ویژه توابع معرفی شده بصورت کاربردی نشان داده می شود.

### کلمات کلیدی

تحلیل غیر خطی - سختی و تری پیشرو - توابع جهش دهنده همگرا کننده .

## *Capability of Mutation and Convergent Functions*

### *In Nonlinear Analysis*

A. Biglary ; F. Irani

#### ABSTRACT

Divergence is one of the most important problems in nonlinear analysis. In this paper, the reason why this problem may exist is explained, then the proposed method of analysis to prevent this problem is introduced. Finally with the help of some practiced examples, capability of the especial introduced mutation functions is represented.

#### KEYWORDS

Non-linear Analysis, Forward Secant Stiffness, Mutation Function.

( نامیده می شود که در دو مبحث تحلیل غیرخطی هندسی

مصالح (Material Non - Linear Analysis) گنجانده می شود.

در طی روند تحلیل غیرخطی سرعت همگرایی پاسخها به سمت

مقادیر واقعی بدلیل رفتار غیر خطی سازه کاهش می یابد در

حالی که می توان با بکارگیری توابع جهش دهنده این روند را

بهبود بخشیده و سرعت میل به پاسخها را افزایش داد.

#### ۱- مقدمه

در یک سازه واقعی محاسبه تغییر مکانها و نیروهای دقیق بر

اساس روش تحلیل خطی امکان پذیر نیست زیرا عوامل

گونگونی از قبیل رفتار غیر خطی مصالح بکار رفته و همچنین

تغییرات هندسه سازه در طول زمان بارگذاری باعث غیر خطی

شدن رابطه بین نیروها و تغییر مکانها می شود . تحلیلی که در

برگیرنده این گونه رفتار باشد تحلیل غیرخطی (Non-Linear

Analysis)

<sup>i</sup> عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی کاشمر Biglarya@ yahoo.com

<sup>ii</sup> استاد دانشگاه فردوسی مشهد

شروع تحلیل غیرخطی ماتریسی سازه‌ها را می‌توان از پنجاه سال گذشته دانست و آنچه که از سال ۱۹۷۵ تاکنون ذهن پژوهشگران را در زمینه تحلیل غیرخطی هندسی مشغول کرده، چگونگی حل رابطه غیرخطی بین تغییر شکل‌ها و نیروها است. پژوهشگرانی که به چگونگی حل معادله حاکم بر رفتار سازه پرداخته‌اند، هر یک روشی را ارایه کرده‌اند، که هر روش مزایا و معایب خاص خود را دارا می‌باشد. بر این اساس یک روش مناسب جهت حل معادله حاکم روشی است که شامل این شرایط باشد [۱]، [۲]:

- ۱- توانایی رسیدن به پاسخ دقیق را داشته باشد،
- ۲- سرعت میل به همگرایی را به مقدار لازم داشته باشد،
- ۳- امکان واگرایی پاسخ‌ها در حالت‌های گوناگون کم باشد،
- ۴- توانایی گسترش یافتن را دارا باشد،
- ۵- برای تحلیل ساختاری ساده داشته باشد،
- ۶- توانایی گذر از نقاط حدی که در آنها بار یا تغییر مکان به مقدار بیشینه یا کمینه خود می‌رسد را دارا باشد.

### ۳- توابع جهش دهنده (Mutation Functions)

گاهی در یک گام ویژه از روند محاسبات مقدار تغییر مکان‌ها در تکرارهای متوالی حوالی پاسخ دقیق نوسان می‌کند و با سرعت بسیار کمی نتایج به سمت مقدار واقعی میل می‌کند. به منظور کاستن از اثر این نوع مشکلات عددی با الهام از جهش‌های تعریف شده بصورت تصادفی در الگوریتم‌های ژنتیکی که بمنظور تغییر در فضای محاسبات طرح می‌شوند، می‌توان جهش‌هایی کاملاً هدفمند را در جهت مناسب به گونه‌ای طراحی کرد که بهبود روند محاسبات را با تغییر فضا بصورت اجباری بدنبال داشته باشد [۳].

### ۴- توابع جهش دهنده همگرا کننده

یکی از دلایل عدم همگرایی تغییر مکان‌ها در روند تحلیل غیر خطی وقوع ناپایداری سازه‌ای در عضو و یا اعضای از سازه است. این امر باعث توقف روند تحلیل می‌شود و در صورتی که هدف از تحلیل بررسی رفتار سازه پس از اولین ناپایداری سازه باشد از الگوریتم‌های مختلفی به منظور عبور از نقاط حدی استفاده می‌شود. در این نوشتار به موضوع ناپایداری‌های عددی پرداخته می‌شود که به دلیل عدم همسانی مقدار و روند تغییرات سختی مربوط به هر درجه آزادی و همچنین اثر اندرکشی درجات آزادی بر یکدیگر، بوجود می‌آید و باعث می‌شود که مقادیر تغییر مکان محاسبه شده در برخی

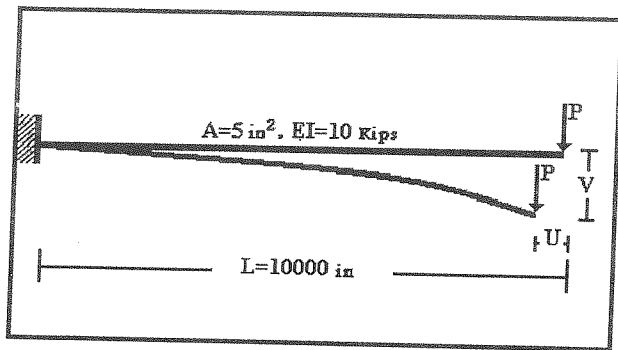
موارد در همسایگی مقدار واقعی نوسان کند و با سرعت کمی به سمت مقدار واقعی میل کند. با بررسی نتایج بیش از پنج هزار ساعت تحلیل مشاهده شد که این نوسان ناشی از بوجود آمدن بار نامیزان در درجات آزادی بدون بار و تغییر علامت بار نامیزان -unbalanced load vector- در تکرارهای یک گام است. همچنین مشخص شد که می‌توان با کنترل نوسان مقدار بار نامیزان در تمامی درجات آزادی و اعمال یک شوک لحظه‌ای در زمانی که بار نامیزان در درجات آزادی فاقد بار گذاری خارجی به وجود می‌آید و یا مقدار بار نامیزان تغییر علامت می‌دهد، باعث بهبود قابل ملاحظه‌ای در روند همگرایی شد. توابعی که به منظور طراحی این جهش در روند محاسبات پیشنهاد می‌شوند بدین صورت معرفی می‌شوند:

۱ - چنانچه در هر درجه آزادی بار گذاری واقعی وجود ندارد، مقدار بار نامیزان در همان درجه آزادی باید صفر شده و تکرارها ادامه یابند.

۲ - در هر درجه آزادی باید از یک سمت خاص به پاسخ دقیق نزدیک شد؛ به گونه‌ای که اجازه نوسان و تغییر علامت به مقدار بار نامیزان داده نشود. بدین منظور کافی است در صورتی که علامت بار نامیزان در یک درجه آزادی تغییر کند مقدار آن صفر شده و تکرارها ادامه یابند.

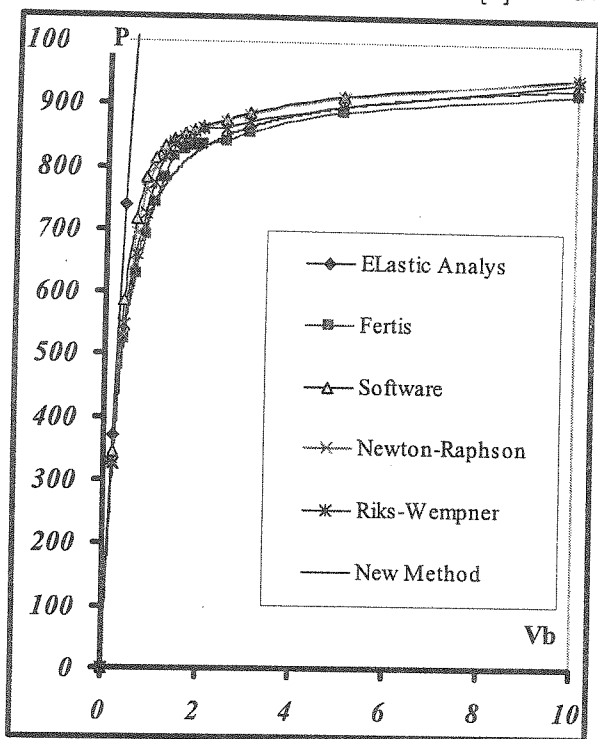
لازم به توضیح آن که تعداد تکرارها در هر گام بر اساس میزان دقت تعریف شده در روند تحلیل تعیین می‌شود و هنگامی که دقت محاسبات در سطح مطلوب قرار گرفت گامهای بعدی محاسبات دنبال می‌شود.

به منظور بررسی تأثیر روند پیشنهاد شده، نرم افزاری توسط نگارنده ارائه شده که تحلیل دقیق سازه‌های دو بعدی را امکان پذیر می‌سازد. این نرم افزار بر اساس رابطه غیرخطی بین بار و تغییر مکان و بر پایه ماتریس سختی ویژه‌ای که با فرض تغییر شکل های بزرگ (Large Deformation) و کرنش های کوچک (Small Strain) و بر اساس رابطه سازی لاگرانژی به هنگام شونده به دست می‌آید و روشی مناسب برای تحلیل غیر خطی سازه‌ها می‌باشد، استوار است [۱] و با روشی که تلفیقی از روش های پیوسته (Methods Sequential) و ناپیوسته (Non Sequential Methods) می‌باشد، رابطه غیر خطی بین نیروها و تغییر مکان ها حل می‌شود. در حین تحلیل نیز رفتار غیر کشسان مصالح درخمش در نظر گرفته می‌شود. از توانایی‌های ویژه این برنامه لحاظ کردن رفتار کشسان و غیر کشسان مصالح در برش می‌باشد. علاوه بر موارد فوق اثر سختی اتصال و تغییرات آن و نیز رفتار خاص اتصال خورجینی را می‌توان در محاسبات لحاظ کرد. به منظور اطمینان از صحت محاسبات الگوریتم باز خورد خطا نیز به



شکل (۱): تیر انعطاف پذیر طره‌ای.

رابطه بار تغییر مکان برای تغییر شکل  $U, V$  بر اساس روش پیشنهادی - New Method - در کنار نتایج ارایه شده توسط فرتیز - Fertis - و ریکس - Riks - ویمپنر - Wempner - و روش نیوتن رافسون و یک برنامه رایانه‌ای دیگر در شکل (۲) نشان داده شده است [۴].



برنامه افزوده شده است [۲] و محاسبات بر اساس روش نیوتن رافسون بهبود یافته با بکارگیری مفهوم عدم تمایز بین ماتریس سختی مماسی و وترى [۱] و تخمین تغییر مکانها برای گام بعدی انجام گرفته است.

## ۵- بررسی نتایج تحلیل

به منظور دست یابی به پاسخهایی با خطایی کمتر از سه درصد در مقدار نیروها در نمونه شماره یک باید گام بارگذاری یک صد هزارم در نظر گرفته شود که در این حالت اجرای برنامه به ۹۱۱/۶۶ ثانیه زمان نیاز دارد. در حالیکه با اعمال توابع جهش دهنده زمان اجرای برنامه با ۸۴ درصد کاهش به ۱۴۳/۱۱ ثانیه می‌رسد. مقدار تأثیر این توابع بر روی نمونه‌های انتخاب شده برای مقدار خطای نسبی ثابت در جدول (۱) نشان داده شده است.

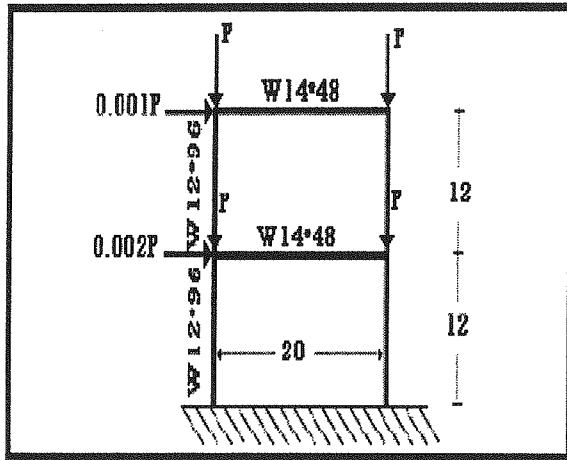
با توجه به رفتار نمونه‌ها این نتیجه حاصل می‌شود که اگر رابطه بار تغییر مکان در ناحیه خطی تغییر کند بهبود ۲۰ درصدی در سرعت تحلیل قابل دستیابی است و با کاسته شدن از مقدار سختی مقدار تأثیر توابع جهش دهنده همگرا کننده افزایش پیدا می‌کند همچنین مشخص شد که تحلیل غیرخطی سازه‌های بزرگی که به روش معمول امکان پذیر نبود با اعمال این توابع امکان پذیر شد. [۲]

شایان ذکر است که در ثبت زمانها الگوریتم تخمین تغییر مکانها در شروع گام بعد و استفاده از اثر سختی وترى پیشرو (Forward Secant Stiffness) در روند محاسبات فعال بوده است [۱]. همچنین در ثبت زمان اجرای برنامه با حذف تمامی وقفه‌های I/O در برنامه و اختصاص یک فضای مشخص به سیستم عامل و نگارش برنامه در محیط کمپایلر Fortran Power Station تمامی عملیات در فضای کاملاً یکنواخت انجام گرفته است.

## ۶- نمونه شماره یک: تیر انعطاف پذیر طره‌ای

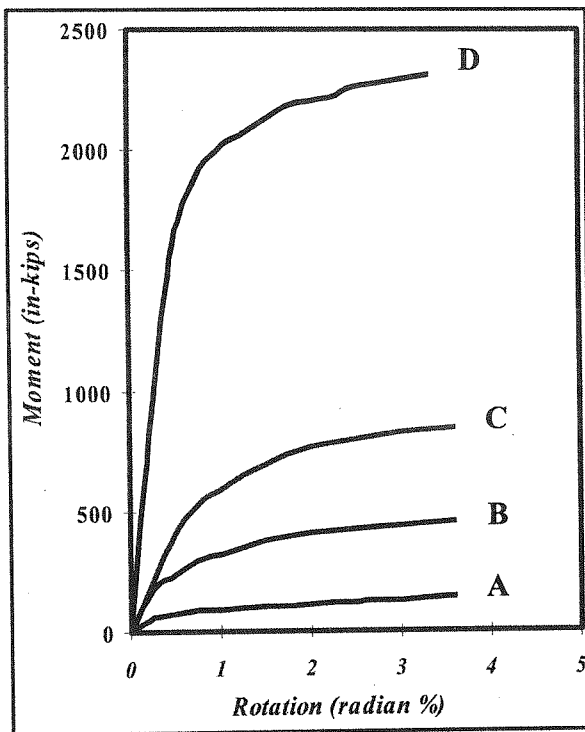
در این مثال رفتار یک تیر بسیار انعطاف پذیر طره‌ای با مشخصات ارایه شده در شکل (۱). که با ده عضو شبیه سازی شده است، مورد بررسی قرار می‌گیرد.

جانبی یک قاب دو طبقه با ابعاد و بارگذاری و مشخصات معرفی شده در شکل (۳) در برابر تغییرات مقدار بارگذاری به عنوان الگو در نظر گرفته شده است.



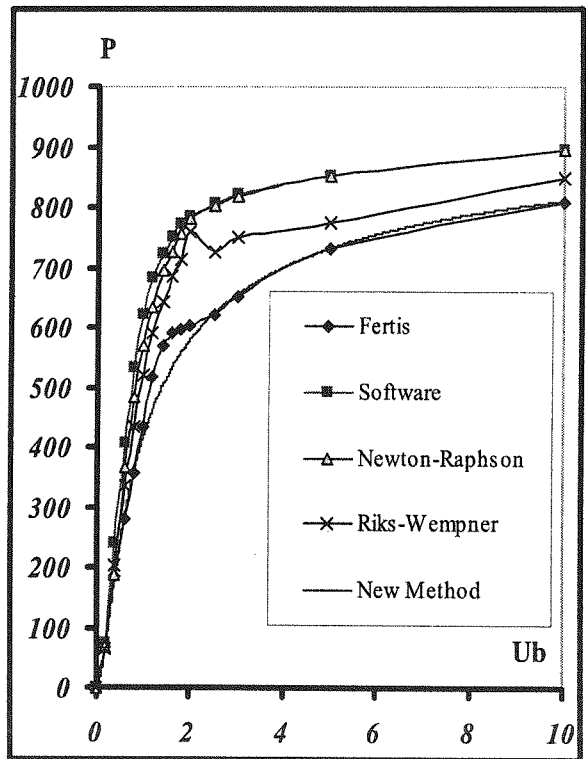
شکل (۳): مشخصات قاب مهاربندی نشده.

در این قاب رفتار بار - تغییر مکان، برای چهار گونه اتصال نیمه صلب، با مشخصات رفتاری مشخص شده در شکل (۴) و همچنین در حالتی که اتصالات بصورت صلب کامل در نظر گرفته شود در مرجع [۵] ارایه شده‌اند.



شکل (۴): رابطه لنگر دوران برای اتصالات معرفی شده.

نتایج محاسبات بر اساس برنامه نگارش یافته در کنار نتایج مندرج در مرجع اشاره شده در شکل (۵) ارایه شده‌اند، که نشان دهنده تطبیق کامل نتایج.



شکل (۲): نتایج مربوط به روشهای گوناگون تحلیل غیر خطی مثال تیر انعطاف پذیر.

همانگونه که مشاهده می‌شود نتایج محاسبات همخوانی لازم را دارا می‌باشد و اختلاف مشاهده شده بین روش های موجود را می‌توان به دلیل تفاوت روش ها و فرضیات گوناگون بکار گرفته شده دانست.

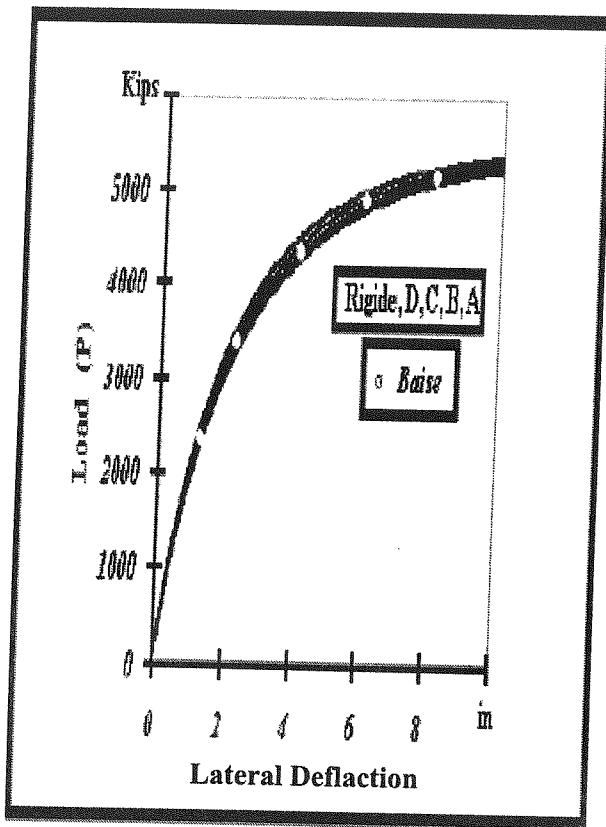
در حالیکه در بررسی‌های انجام شده در مورد توانایی برنامه‌های تحلیل غیر خطی نظیر SAP ، Drain ، ANSYS این امر به روشنی مشخص شد که بکارگیری عضوهای قابی در هر یک از این برنامه‌ها می‌تواند پاسخ های اشتباهی را ارایه دهد که غیر قابل قبول باشد؛ بگونه‌ایکه در برنامه SAP2000(ver 8.08) نتایج تحلیل غیر خطی پس از ۶۰۰ ثانیه غیر قابل استناد است. [۲]

## ۷- نمونه شماره دو: قاب نیمه صلب

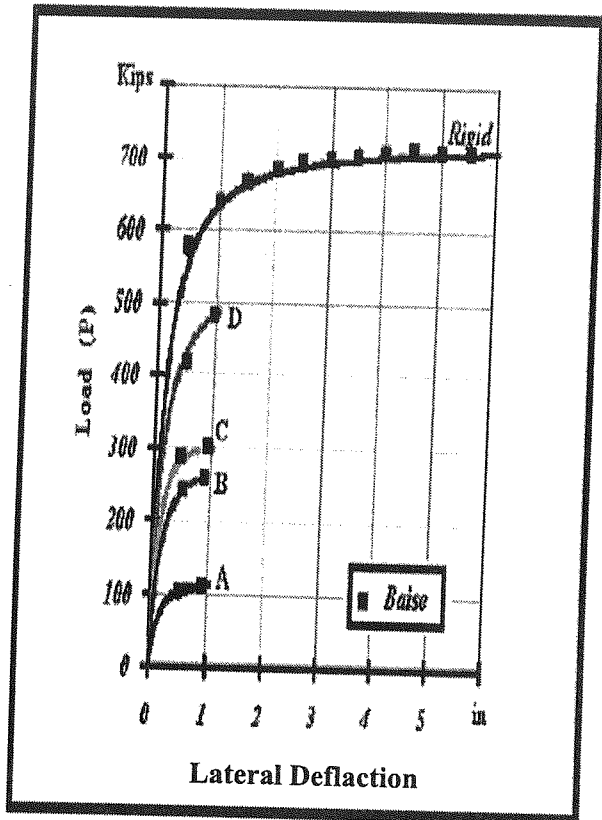
این مثال که توسط AISC- به منظور معرفی توانایی برنامه‌ای که این مؤسسه ارایه کرده نیز بکار گرفته شده است، شامل دو بخش می‌باشد که در بخش نخست به بررسی رفتار یک قاب دو طبقه مهاربندی نشده با اتصالات نیمه صلب و در بخش دوم به بررسی رفتار همان قاب بصورت مهاربندی شده پرداخته می‌شود [۵].

### ۷-۱- قاب مهاربندی نشده

در این بخش چگونگی تغییرات بار - تغییر مکان پیشینه



شکل (۷): مقایسه نتایج محاسبات با نتایج موجود.

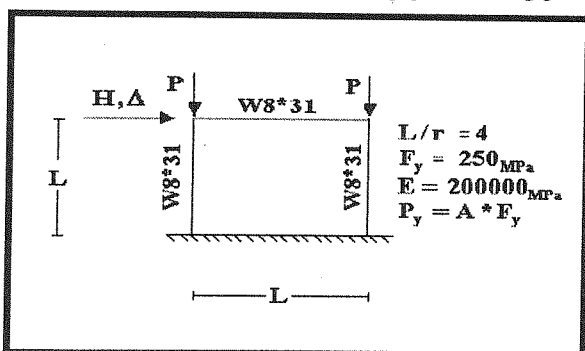


شکل (۵): مقایسه نتایج محاسبات با نتایج موجود.

### ۸- نمونه شماره سه: قاب خمشی الزانتی -

-Elzanaty

در این مثال رفتار قاب یک طبقه و یک دهانه‌ای که مشخصات آن در شکل (۸) معرفی شده است و توسط الزانتی - Elzanaty - در سال ۱۹۸۰ و وایت - White - در سال ۱۹۸۵ تحلیل آن به روش ناحیه خمیری انجام گرفته، توسط برنامه شبیه سازی شده است [۶].



شکل (۸): مشخصات قاب الزانتی - Elzanaty -

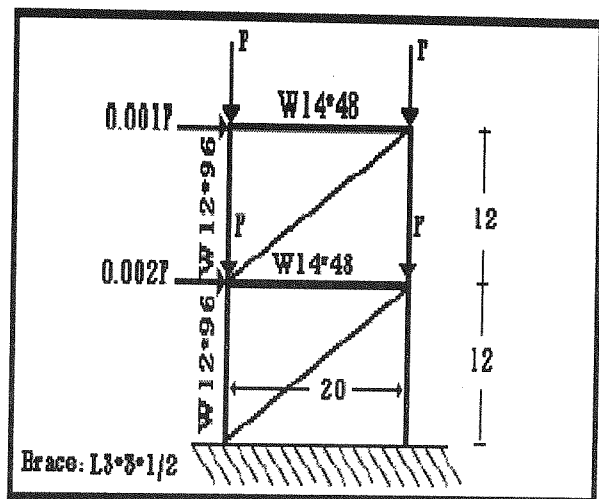
نتایج محاسبات در مقایسه با نتایج روش های گوناگون در

دو حالت  $\left(\frac{P}{P_y} = 0.4\right)$  و  $\left(\frac{P}{P_y} = 0.6\right)$ ، در شکل (۹) و

شکل (۱۰) نشان داده شده است و تطابق عالی نتایج محاسبات

### ۲-۷- قاب مهاربندی شده

در این بخش رفتار قاب مهاربندی شده شکل (۶) برای پنج گونه اتصال معرفی شده مورد بازبینی قرار گرفته است.



شکل (۶): مشخصات قاب مهاربندی شده.

نتایج محاسبات انجام شده در کنار نتایج مرجع [۵] در

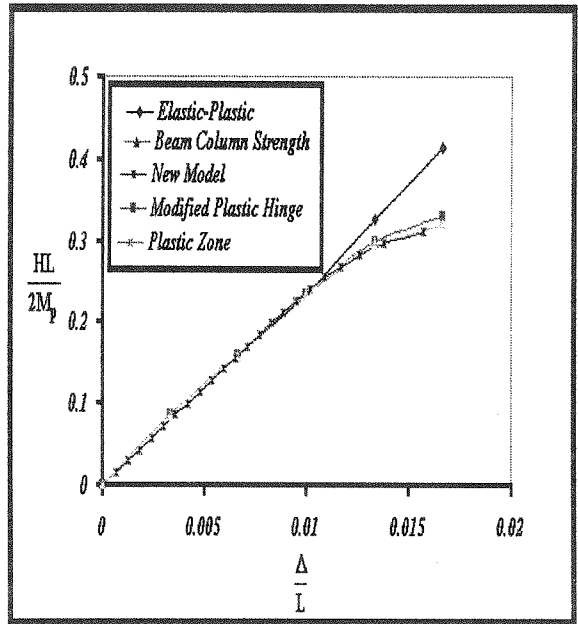
شکل (۷) نشان دهنده تطبیق کامل نتایج می‌باشد.

$$\left(\frac{P}{P_y} = 0.6\right)$$

### ۹- نتیجه

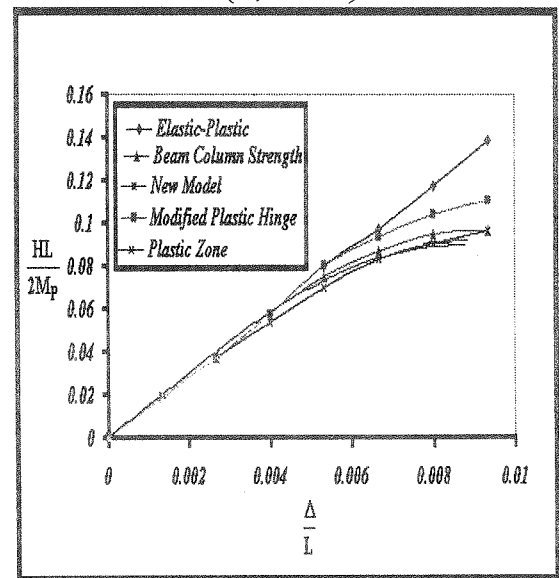
قابلیت‌های توابع دو گانه جهش دهنده همگرا کننده را که در این نوشتار به آن اشاره شد بدین صورت می‌باشد.

- ۱- سادگی کاربرد در تمامی الگوریتم‌های غیرخطی مبتنی بر روش نیوتن - رافسون.
  - ۲- سازگاری با تمامی محیط‌های برنامه‌نویسی.
  - ۳- کاهش قابل ملاحظه زمان اجرای تحلیل به میزان حداقل ۲۰ درصد.
  - ۴- امکان پذیر ساختن تحلیل سازه‌های با شکل پذیری زیاد و با درجات آزادی متنوع.
- که قابلیت‌های بر شمرده شده فوق هر یک دلیلی بر کارایی این توابع می‌باشد.



شکل (۹): مقایسه نتایج محاسبات با نتایج موجود

$$\left(\frac{P}{P_y} = 0.4\right)$$



شکل (۱۰): مقایسه نتایج محاسبات با نتایج موجود

جدول (۱): تأثیر توابع جهش دهنده همگرا کننده.

زمان تحلیل بدون اعمال توابع جهش دهنده بر حسب ثانیه	زمان تحلیل با اعمال توابع جهش دهنده بر حسب ثانیه	درصد بهبود زمان اجرا
۹۱۱/۶۶	۱۴۳/۱۱	٪۸۴/۳
۴/۱	۲/۹۳	٪۲۸/۵
۳/۵۱	۲/۵۳	٪۲۷/۹
۳/۳۵	۲/۴۱	٪۲۸

٪۲۸	۱/۵۴	۲/۱۴	D	قاب مهار بندی شده با اتصالات نوع
٪۲۷/۴	۱/۵۹	۲/۱۹	Rigid	
٪۲۷/۶	۳/۱۵	۴/۳۵	A	
٪۲۷/۸	۳/۲۲	۴/۴۶	B	
٪۲۷/۴	۳/۲۰	۴/۴۱	C	
٪۲۷/۳	۳/۲۵	۴/۴۷	D	
٪۲۷/۶	۳/۳۰	۴/۵۶	Rigid	
٪۲۱/۲	۱/۶۷	۲/۱۲	$\left(\frac{P}{P_y} = 0.4\right)$	قاب الزانتی
٪۲۱/۶	۱/۱۶	۱/۴۸	$\left(\frac{P}{P_y} = 0.6\right)$	

## مراجع

- [۱] ایرانی فریدون و بیگری فدافن علی " روشی نو در تحلیل غیر خطی بر اساس سختی و تری پیشرو" مجله بین المللی علوم مهندسی، شماره چهارم، جلد سیزدهم، پاییز ۲۸۱، صفحات ۲۹-۵۴.
- [۲] بیگری فدافن علی " شبیه سازی رفتار قابهای دوگانه با مهاریهای واگرا و تعیین سهم هر بخش از نیروی جانبی " پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۳۷۹.
- [3] Goldberg. D. E, "Genetic Algorithms in Search & optimization and Machine Learning ", Addison - Wesley Publishing Company, 1989.
- [4] Torkamani. M. A. M, Sonmez. M, Cao. J, "Second - Order Elastic Plane Frame Analysis Using Finite - Element Method ", Journal of Structural Engineering, Vol. 123, No. 9, 1225-1235 , 1997.
- [5] Chen. W. F, Lui. E. M, "Stability Design of Steel Frames", CRC Press, Boca Raton Ann Arbor Boston, London, 1991.
- [6] King. W. S, With. D. W, Chen. W. F, "Second - Order Inelastic Analysis Methods for Steel Frame Design Building", Journal of Structural Engineering, Vol.116, No.2, 408 - 428, 1992

