



تحلیل غیر خطی قابهای فضایی با اتصالات نیمه گیردار

رضا عباس نیا^۱، عبدالله جاویدی^۲
(دریافت ۸۹/۱۱/۱۷، پذیرش ۹۱/۸/۲۷)

چکیده

هنگامی که تغییر شکلهای سازه زیاد است، هندسه و سختی سازه با افزایش بار تغییر کرده و جهت پیش بینی رفتار دقیق سازه نیاز به تحلیل غیر خطی میباشد. یکی از مهمترین روشهای تحلیل غیر خطی هندسی قابها، روش توابع پایداری می باشد که بدلیل دقت بالا همواره مورد توجه محققین بوده است. تحلیلهای غیرخطی هندسی صورت گرفته پیشین به روش توابع پایداری محدود به قابهایی با اتصالات گیردار و یا مفصل ایده آل میباشد. در این مقاله تحلیل استاتیکی غیرخطی هندسی قابهای فضایی به روش توابع پایداری جهت تحلیل قابهای فضایی با اتصالات نیمه گیردار خمشی ارائه شده است. تاثیر نیمه گیرداری خمشی اتصالات در معادلات نیرو جابجایی اعضا و همچنین ماتریس سختی سازه اعمال شده و اندرکنش نیروهای داخلی و دورانهای بزرگ گرهی نیز در روند تحلیل لحاظ شده اند. مقایسه نتایج بدست آمده از تحلیل به روش پیشنهادی با نتایج حاصل از دیگر روشها نشان از دقت و صحت روش پیشنهادی دارد.

کلمات کلیدی

تحلیل غیر خطی هندسی، قابهای فضایی، اتصالات نیمه گیردار

Nonlinear Analysis of Space Frame with Semi-Rigid Connections

Reza Abbasnia, Abdollah Javidi

ABSTRACT

When deformations are large and structure behaves nonlinearly, the stiffness of the structure changes and a geometric nonlinear analysis should be performed to predict the real behavior of the structure. Among of several methods in geometric nonlinear analysis, Stability function approach is one of the most important methods. Previous researches in stability functions approach are limited to frames with rigid or ideal hinge connections. But real behavior of connections is semi-rigid and previous methods should be modified. This work present a method for large deformation analysis of elastic space frames incorporating the effects of semi-rigid connections. Member force-deformation relationships are adopted for semi-rigid connections consideration and the effect of large rotation and force interaction also taken into account. Numerical examples are shown the good accuracy of the analysis using the newly formulated approach.

Key Words

Nonlinear Geometric Analysis, Space Frame, Semi-Rigid Connections

۱. عضو هیئت علمی دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت، abbasnia@iust.ac.ir (نویسنده مسئول)
۲. دانشجوی کارشناسی ارشدسازه، دانشگاه علم و صنعت ایران، a.javidi@hotmail.com



$\{P\}$ بردار نیروهای خارجی اعمال شده بر گره ها در دستگاه مختصات عمومی و بردار $\{f(\Gamma)\}$ برآیند نیروهای داخلی در گره ها می باشد. معادله تعادل بصورت نموی بصورت رابطه (۲) نوشته می شود.

$$\{\Delta P\} = (\tau)\{\Delta X\} \quad (2)$$

در رابطه (۲) مقادیر تغییرات نیروها و معرف تغییر مکانها و دورانها می باشند. ماتریسی سختی مماسی سیستم، تغییرات نیروها نسبت به تغییر مکانها و دورانها بوده و در غالب رابطه (۳) بیان میگردد.

$$[\tau] = \left[\frac{\partial f_i}{\partial x_j} \right] \quad (3)$$

۳- ماتریس دوران گرهی

دوران گره ها پس از تغییر شکل در قاب های فضائی بوسیله ماتریس راهنمای گرهی $[\omega]$ قابل محاسبه است. ستونهای ماتریس $[\omega]$ کسینوسهای هادی بردارهای متعامد متصل بر گره و در حرکت با آن در هنگام تغییر شکل، با محورهای عمومی می باشند.

$$[\omega] = \begin{bmatrix} \omega_{11} & \omega_{12} & \omega_{13} \\ \omega_{21} & \omega_{22} & \omega_{23} \\ \omega_{31} & \omega_{32} & \omega_{33} \end{bmatrix} \quad (4)$$

برای سادگی محاسبات بردارهای متصل بر گره در حالت بدون تغییر شکل موازی دستگاه محورهای مختصات عمومی در نظر گرفته می شود.

هنگام تحلیل غیرخطی یک قاب فضائی که با استفاده از معادلات نموی خطی شده، یکی از مسائل اساسی این است که چگونه ماتریس دوران گرهی پس از تغییر یافتن موقعیت گره ها در هر مرحله اصلاح گردد. بدین منظور یک گره دلخواه از سازه در نظر گرفته می شود و فرض میشود $[\omega]$ ماتریس راهنمای گرهی در موقعیت موجود باشد، حال اگر در مرحله جدید گره به اندازه زاویه γ

دو روش عمده در تحلیل غیر خطی سازه ها مطرح است. الف: روش اجزای محدود ب: روش توابع پایداری. هر دو روش در تحلیل تغییر شکلهای بزرگ به شکل گسترده ای مورد استفاده قرار میگیرد. روش اجزای محدود با توجه به سادگی بیشتر مورد اقبال بوده است. این درحالیست که روش توابع پایداری با وجود پیچیدگی و دشواری از دقت بیشتری برخوردار است.

با استفاده از تئوری تغییر شکلهای بزرگ در روش توابع پایداری، ماتریس سختی مماسی در دستگاه مختصات اولیرین با استفاده از تئوری تیر ستون بدون در نظر گرفتن اندرکنش خمش و نیروی محوری توسط اوران [۱] ارائه شده است. در مطالعات وی اثرات انحنا در تغییر طول محوری منظور شده است. اوران ماتریس راهنمای گرهی را دوران های کوچک در مرجع [۲] معرفی نموده است. در مطالعات انجام شده توسط میک تاون [۳] دورانهای اعضا کوچک فرض شده است.

اثرات تغییر شکل های بزرگ با در نظر گرفتن اثرات نیروی محوری بر روی سختی پیشینی برای مقاطع دارای دو محور تقارن و همچنین با منظور کردن توسط کاسیمالی و عباس نیا [۴] مورد بحث قرار گرفته است.

لیکن در تمامی مطالعات گذشته اتصالات گیردار کامل و یا مفصل ایده آل فرض شده اند. این در حالیست که رفتار واقعی اتصالات نیمه گیردار بوده و در حد فاصل دو فرض گیرداری و مفصلی عمل می کنند. از این رو در این مقاله و در راستای گسترش مطالعات پیشین، روش تحلیل غیر خطی استاتیکی جهت تحلیل قابهای فضایی با اتصالات نیمه گیردار ارائه شده است.

۲- معادله تعادل سیستم

چنانچه سازه قابی شکلی دلخواه در نظر گرفته شود و Γ نمایش دهنده هندسه تغییر شکل یافته سازه باشد آنگاه معادلات تعادل سیستم به صورت رابطه (۱) نوشته می شود.

$$\{f(\Gamma)\} = \{P\} \quad (1)$$



گرهی در مرحله جدید محاسبه می گردد:

$$[\omega^{(i+1)}] = [W][\omega^i] \quad (10)$$

۴- ماتریس راهنمای عضو

برای جداسازی تغییر شکل های جسم صلب عضو از تغییر شکل های نسبی آن که کوچک فرض می شود، از محورهای اوپلرین استفاده شده است.

محورهای مختصات عضو از قانون دست راست پیروی می کنند بطوریکه محور \bar{x}_1 از مرکز سطح مقطع عضو عبور می کند و دو انتهای عضو تغییر شکل یافته را به یکدیگر متصل می کند و محورهای \bar{x}_2 و \bar{x}_3 موازی با محورهای اصلی سطح مقطع عضو می باشند. از آنجا که محورهای اصلی به علت تغییر مکانهای نسبی عضو در حال تغییر می باشند، محورهای \bar{x}_2 و \bar{x}_3 از میانگین گرفتن محورهای اصلی دو انتها حاصل می گردند. محورهای مختصات عضو بوسیله ماتریس راهنمای $[T]$ مشخص می گردند که ستونهای این ماتریس کسینوسهای هادی محورهای مختصات عضو نسبت به محورهای مختصات عمومی را مشخص می نمایند. تغییر شکلهای انتهایی اعضا با استفاده از مفهوم ماتریس راهنمای مقطع عضو [۴] حاصل می شود.

۵- روابط نیرو - تغییر شکل عضو

یک میله با مقطع منشوری دلخواه مطابق شکل (۱) از یک قاب فضایی در نظر گرفته می شود. با این فرض که $\{F\}$ و $\{\bar{F}\}$ به ترتیب مقادیر نیروهای انتهایی عضو در دستگاه مختصات عمومی و عضو باشند. رابطه بین $\{F\}$ و $\{\bar{F}\}$ بر اساس معادله (۱۱) قابل محاسبه است.

حول یک محور دوران نماید که کسینوس های هادی محور فوق n_1, n_2, n_3 باشند. ماتریس دوران گرهی جدید برای گره فوق توسط رابطه (۵) قابل محاسبه است.

$$[\omega] = [W][\omega] \quad (5)$$

$[W]$ ماتریس دوران می باشد. با استفاده از قانون دست راست برای تعریف جهت مثبت ماتریس $[W]$ بصورت رابطه (۶) معرفی گردیده است.

$$[W] = \begin{bmatrix} n_2 \text{Sin} \gamma & -n_3 \text{Sin} \gamma & \text{Cos} \gamma \\ +n_1 n_2 (1 - \text{cos} \gamma) & +n_1 n_2 (1 - \text{cos} \gamma) & +n_1^2 (1 - \text{cos} \gamma) \\ -n_1 \text{Sin} \gamma & \text{Cos} \gamma & n_3 \text{Sin} \gamma \\ +n_2 n_3 (1 - \text{cos} \gamma) & +n_2^2 (1 - \text{cos} \gamma) & +n_1 n_2 (1 - \text{cos} \gamma) \\ \text{Cos} \gamma & n_1 \text{Sin} \gamma & -n_2 \text{Sin} \gamma \\ +n_3^2 (1 - \text{cos} \gamma) & +n_2 n_3 (1 - \text{cos} \gamma) & +n_1 n_2 (1 - \text{cos} \gamma) \end{bmatrix} \quad (6)$$

رابطه (۶) برای دوران های بزرگ معتبر می باشد اگر زاویه γ کوچک باشد آنگاه مقادیر سینوس و کسینوس آن با استفاده از روابط تقریبی زیر قابل محاسبه است.

$$\text{Cos} \gamma = 1 \quad ; \quad \text{Sin} \gamma \approx \gamma \quad (7)$$

رابطه (۶) بصورت رابطه (۸) ساده می شود:

$$W = \begin{bmatrix} 1 & -\gamma_3 & \gamma_2 \\ \gamma_3 & 1 & -\gamma_1 \\ -\gamma_2 & \gamma_1 & 1 \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$\gamma_1 = \gamma m_1 \quad ; \quad \gamma_2 = \gamma m_2 \quad ; \quad \gamma_3 = \gamma m_3 \quad (9)$$

اگر $\Delta \gamma_1, \Delta \gamma_2$ و $\Delta \gamma_3$ مؤلفه ها تغییرات دوران گره های سازه در اثر ایجاد نمو $\{\Delta X\}$ در تغییر شکل های سازه باشند. آنگاه با استفاده از رابطه (۱۰) ماتریس راهنمای

$$[\bar{B}] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ \frac{1}{L(1+\delta)} & \frac{1}{L(1+\delta)} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{1}{L(1+\delta)} & -\frac{1}{L(1+\delta)} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \\ -\frac{1}{L(1+\delta)} & -\frac{1}{L(1+\delta)} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{L(1+\delta)} & \frac{1}{L(1+\delta)} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

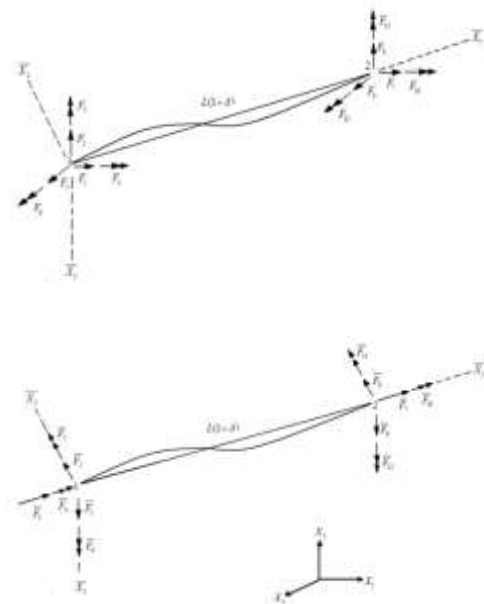
(۱۳)

عمده تاثیر نیمه گیرداری خمشی اتصالات بر توزیع نیروهای انتهایی اعضا می باشد. بمنظور اعمال نیمه گیرداری اتصالات در تحلیل قابها از رابطه لنگر-چرخش اتصال، که بیانگر رفتار اتصال تحت لنگر خمشی است استفاده میشود. در تحلیل سازه ها و از نقطه نظر تئوری، سختی اتصال به صورت مدلی از فنرهای خمشی در تحلیل وارد میشوند. سختی اتصال، شیب خط مماس بر منحنی نیرو چرخش اتصال در هر نقطه از آن است. در مراجع معمولاً جهت بیان کمی نیمه گیرداری بصورت عددی بی بعد، از معیاری که توسط ونگ [۵] پیشنهاد شده است. استفاده میشود. این معیار که ضریب نیمه گیرداری نامیده میشود، عددی بی بعد و بین صفر تا یک را طبق رابطه (۱۴) به یک اتصال نسبت میدهد

$$\rho = \frac{1}{1 + \frac{3}{R}} \quad (14)$$

در رابطه (۱۴) شاخص سختی است که در غالب رابطه (۱۵) بیان شده است:

$$R = \frac{k}{\left(\frac{EI}{L}\right)} \quad (15)$$



شکل (۱): نیروهای تیرستون در مختصات محلی و عمومی

$$\{F\} = \{R\} \{\bar{F}\} \quad (11)$$

در رابطه (۱۱) ماتریس انتقال 12×12 می باشد و بصورت رابطه (۱۲) تعریف میشود:

$$[R] = \begin{bmatrix} [r] & 0 & 0 & 0 \\ 0 & [r] & 0 & 0 \\ 0 & 0 & [r] & 0 \\ 0 & 0 & 0 & [r] \end{bmatrix} \quad (12)$$

ذکر این نکته ضروری است که ماتریس راهنمای عضو $[r]$ مربوط به حالت تغییر شکل یافته می باشد. نیروهای انتهایی عضو $\{\bar{F}\}$ توسط رابطه (۱۲) به نیروهای $\{\bar{S}\}$ ایجاد شده ناشی از تغییر شکل های نسبی عضو مرتبط می گردند.

$$\{\bar{F}\} = [\bar{B}] \{\bar{S}\} \quad (12)$$



$$[t] = \left[\frac{\partial \bar{S}}{\partial U_1} \right] \quad (19)$$

ماتریس سختی مماسی عضو $[T]$ در دستگاه مختصات سازه از طریق (۲۰) محاسبه میگردد [۷].

$$[T] = [R][B][t][B]^T [R]^T + \sum_{k=t}^6 S_k [R][g^{(k)}][R]^T \quad (20)$$

۷- مراحل گام به گام تحلیل

پاسخ غیرخطی به روش بار افزایشی با استفاده از روند تکرار نیوتن - رافسون - در هر تراز بازگذاری به منظور ارضا معادلات تعادل گره بدست می آید. بر اساس فرمول بندی تغییر شکل های بزرگ که در بخش های گذشته به طور مشروح توضیح داده شد، گام های محاسبه با هر بار افزایشی به صورت زیر انجام می شود.

۱- خصوصیات سازه و بارهای اعمالی مشخص می گردد.
الف- مختصات گره ها و وضعیت قرارگیری اعضا مشخص می گردد.

ب - مقدار کل بارهای اعمالی و مقدار افزایش بار در هر مرحله $\{\Delta P\}$ تعیین می گردد.

۲- با توجه به تغییر شکل ها و نیروهای داخلی اعضا (که در اولین مرحله صفر میباشند):

الف: سختی اتصال تعیین میگردد

ج- ماتریس سختی مماسی اعضا $[t]$ ، در مختصات موضعی تعیین می گردند.

د- ماتریس سختی مماسی برای هر عضو $[T]$ ، ر و در نهایت ماتریس سختی سیستم $[\tau]$ سوار می گردد.

۲- جایگذاری $[\tau]$ و $\{\Delta P\}$ در رابطه (۲) و حل معادله به منظور بدست آوردن $\{\Delta x\}$.

۳- الف) تعیین موقعیت های جدید گره (مختصات جدید گره) با استفاده از رابطه (۲۱)

$$\{x^{(i+1)}\} = \{x^{(i)}\} + \{\Delta x\} \quad (21)$$

تغییرات شاخص سختی بین صفر ($R = 0$) برای اتصالات مفصلی کامل و بینهایت ($R = \infty$) برای اتصالات با گیرداری کامل بود. بدین ترتیب، در اتصال مفصلی مقدار ضریب نیمه گیرداری صفر و در حالت گیرداری کامل برابر یک خواهد بود.

در شرایط نیمه گیرداری اتصالات، تغییر شکل های نسبی عضو $\{\bar{S}\}$ بصورت روابط (۱۶) و (۱۷) خواهد بود:

$$\begin{bmatrix} M_{13} \\ M_{23} \\ M_{12} \\ M_{22} \\ M_t \end{bmatrix} = \frac{EI}{L} \begin{bmatrix} C_{13}^* & C_{23}^* & 0 & 0 & 0 \\ C_{23}^* & C_{13}^{**} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & C_{12}^* & C_{22}^* & 0 \\ 0 & 0 & C_{22}^* & C_{12}^{**} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{C_t}{EI} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \theta_{13} \\ \theta_{23} \\ \theta_{12} \\ \theta_{22} \\ \varphi \end{bmatrix} \quad (16)$$

$$Q = EA \left(\frac{u}{L} - C_{b3} - C_{b2} \right)$$

توابع پایداری تیر: C_{ij}^* و C_{ij}^{**} ($i = 1, 2; j = 2, 3$)

ستون با اتصالات نیمه گیردار میباشند [۸]

$C_{bj}; j = 2, 3$: تابع انحنای تیر ستون با اتصالات نیمه گیردار

بنابراین مولفه های بردار تغییر شکلهای نسبی $\{\bar{S}\}$ بصورت رابطه (۱۸) میباشند.

$$\bar{S}_1 = M_{13}, \bar{S}_2 = M_{23}, \bar{S}_3 = M_{12}, \bar{S}_4 = M_{22}, \bar{S}_5 = M_t, \bar{S}_6 = Q \quad (18)$$

۶- ماتریس سختی مماسی عضو

و ماتریس $[t]$ ماتریسی 6×6 می باشد که معرف ماتریس سختی مماسی عضو در دستگاه مختصات عضو است. عناصر ماتریس $[t]$ با گرفتن مشتقی جزئی از مقادیر نیروها بر حسب تغییر شکلهای حاصل می گردد.

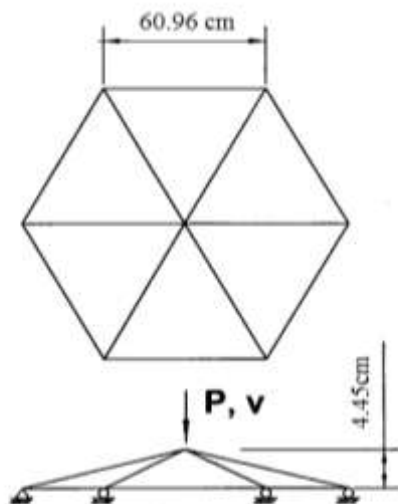
۱۰- یک جزء بار $\{\Delta P\}$ ، در نظر گرفته شده و به گام دوم بازگشت می شود.

۸- نتایج

از میان قابهای مرجع جهت بررسی صحت روش پیشنهادی، تنها نتایج تحلیل غیر خطی قاب ۱۲ عضوی که قبلاً توسط شوگیا [۷] بدست آمده است موجود می باشد. پس از بررسی صحت روش نتایج چند قاب مرجع دیگر نیز در با اس چند قاب فضایی مرجع از جمله قاب ۱۸ عضوی گنبدی و قاب افقی فضایی، قاب افقی نیز آورده شده است.

نمونه اول: قاب گنبدی ۱۲ عضوی

شکل (۲) هندسه و خصوصیات مقاطع قاب گنبدی ۱۲ عضوی را نشان میدهد. نتایج تحلیل غیر خطی این قاب گنبدی ۱۲ عضوی با استفاده از روش پیشنهاد شده در شرایطی که اتصالات هر دو انتهای شش عضو فوقانی نیمه گیردار باشند (مشابه با مرجع [۷]) در شکل (۳) آورده شده است. سختی اتصالات نیمه گیردار مشابه با فرضیات صورت گرفته در مرجع [۷] و برابر با $\frac{2EI}{L}$ میباشد که بصورت $k_{ij} = \frac{2EI_j}{L}$ در این مطالعه لحاظ شده است.



$$E = 303200 \text{ N/cm}^2 ; G = 109600 \text{ N/cm}^2$$

$$A = 3.178 \text{ cm}^2 ; I_1 = I_2 = 0.832 \text{ cm}^4 ; J = 1.378 \text{ cm}^4$$

شکل (۲): هندسه و مشخصات قاب گنبدی ۱۲ عضوی

۴- تعیین هندسه عضو با استفاده از آخرین اطلاعات مربوط به موقعیت ها و دورانه‌های گره های سازه، تغییر شکل های نسبی $\{u\}$ ، بدست می آیند و ماتریس راهنمای عضو $[r]$ محاسبه می گردد.

۵- تعیین نیروهای انتهایی عضو برای هر عضو، ابتدا تعیین نیروهای انتهایی $\{\bar{S}\}$ و سپس تعیین نیروهای انتهایی در مختصات عمومی:

$$\{F\} = [R][\bar{B}]\{\bar{S}\} \quad (22)$$

۶- به علت اینکه سختی عضو در طول مرحله ثابت فرض می شود، معادلات تعادل سیستم در تراز $\{P^{(i+1)}\}$ لزوماً ارضا نمی شوند. با استفاده از روند تکرار نیوتن - رافسون معادلات تعادل با یک مقدار خطای مجاز ارضاء می گردد. زیر نویس $\{P\}$ به چرخه $\{P^{(i+1)}\}$ تکرار برمی گردد، در حالیکه $\{P\}$ در تراز $\{P^{(i+1)}\}$ مقدار ثابتی در نظر گرفته شده است. نیروهای نامتعادل، $\{\Delta Q\}$ ، از رابطه زیر محاسبه می شوند

$$\{\Delta Q_j\} = \{P\} - \{f(\Gamma_j)\} \quad (23)$$

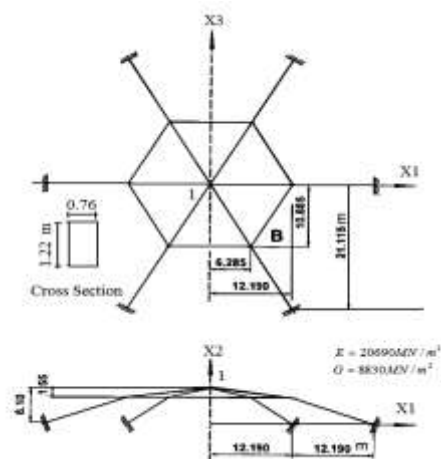
۷- با استفاده از آخرین مقادیر بدست آمده از کمیت های هندسی و استاتیکی، ماتریس $[T]$ برای هر عضو تعیین شده و ماتریس سختی مماسی سیستم $[t]$ سوار می شود.

۸- با در نظر گرفتن نیروهای غیر متعادل گره بعنوان بار افزایشی، بردار تصحیح $\{\Delta x\}$ با استفاده از رابطه افزایشی زیر تعیین می شود.

$$t_j \{\Delta x_j\} = \{\Delta Q_j\} \quad (24)$$

۹- اگر بردار تصحیح تغییر مکان به اندازه کافی کوچک نباشد، موقعیت های جدید گره را توسط رابطه $\{x_{j+1}\} = \{x_j\} + \{\Delta x\}$ و ماتریس های جدید دوران گره‌ی تعیین شده و گام های ۴ تا ۹ کوچک شدن $\{\Delta x\}$ به اندازه کافی نسبت به خطای پیش فرض، تکرار می شود.





شکل (۴): قاب گنبدی ۱۸ عضوی

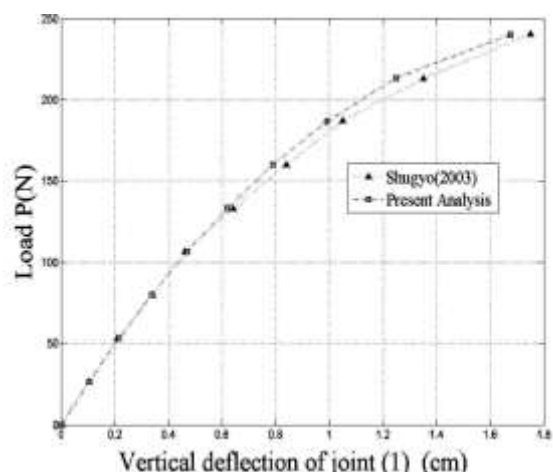
شکل (۵) جابجایی قائم گره ۱ از قاب گنبدی ۱۸ عضوی را در سه حالت مختلف نشان میدهد. ابتدا تمامی اتصالات گیردار کامل فرض شده و سپس اتصالات ابتدا و انتهای عضو فوقانی قاب نیمه گیردار شده اند. جهت نشان دادن روند تغییر رفتار سازه بر اثر تغییر در ضرایب نیمه گیرداری، دو ضریب نیمه گیرداری مختلف بکار رفته است.

جهت نشان دادن قابلیت روش در تحلیل قابها با اتصالات نیمه گیردار غیر خطی، نتایج تحلیل قاب گنبدی ۱۸ عضوی در شرایطی که اتصالات ۶ عضو فوقانی قاب نیمه گیردار باشند نیز آورده شده است. اتصال غیر خطی بوسیله مدل توانی با سه پارامتر مدل شده و سختی اتصال با تغییر لنگرهای انتهایی اعضا تغییر میکند. رابطه بین سختی و چرخش اتصال بر اساس مدل توانی با سه پارامتر در غالب رابطه (۲۵) ارائه شده است.

$$k_i = \frac{dM}{d\theta} = \frac{M_u}{\theta_0 (1+\theta^n)^{1+1/n}} = k_{i0} \frac{1}{(1+\theta^n)^{1+1/n}} \quad (25)$$

در تحلیل قاب ۱۸ عضوی با اتصالات نیمه گیردار غیر خطی سختی اولیه $k_{i0} = 10^4$ و ضریب شکل $n = 2$ در نظر گرفته شده است.

نتایج موجود در مرجع [۷] بوسیله روش اجزای محدود غیر خطی و با در نظر گرفتن چهار المان بر هر عضو حاصل شده است. این در حالیست که در تحلیل صورت گرفته به روش پیشنهادی به ازای هر عضو تنها یک المان در نظر گرفته شده است. همانطور که در شکل (۳) مشاهده میشود نتایج حاصل از هر دو روش در محدوده خطی بر یکدیگر منطبق بوده و در محدوده غیر خطی با تقریب خوبی نتایج به یکدیگر نزدیک میباشند.

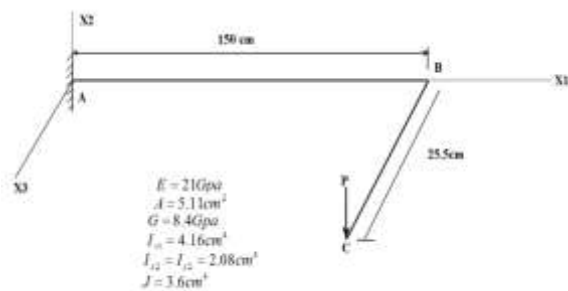


شکل (۳): منحنی بار-تغییر مکان قاب گنبدی ۱۲ عضوی با استفاده از روش پیشنهادی و روش موجود در مرجع [۷]

نمونه دوم: قاب گنبدی ۱۸ عضوی

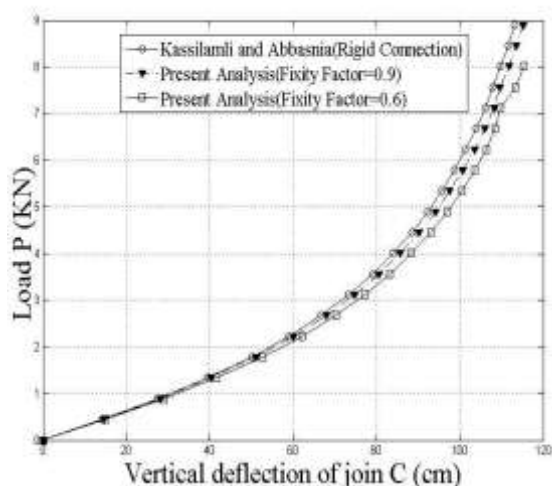
یکی از قاب های مرجع در تحلیل غیر خطی، قاب گنبدی ۱۸ عضوی میباشد. مشخصات هندسی و خصوصیات مقاطع قاب ۱۸ عضوی در شکل (۴) نشان داده شده است. این قاب قبلا توسط محققان بسیاری از جمله کاسیمالی و عباس نیا [۴] مورد بررسی قرار گرفته است. تحلیل های پیشین قاب گنبدی ۱۸ عضوی همگی با فرض گیرداری کامل اتصالات بوده و رفتار قاب در شرایط نیمه گیرداری اتصالات مورد بررسی قرار نگرفته است.

نمی شود. در شکل (۷) نمودار بار جابجایی گره C در شرایطی که اتصال گره B نیمه گیردار فرض شود ارائه شده است.

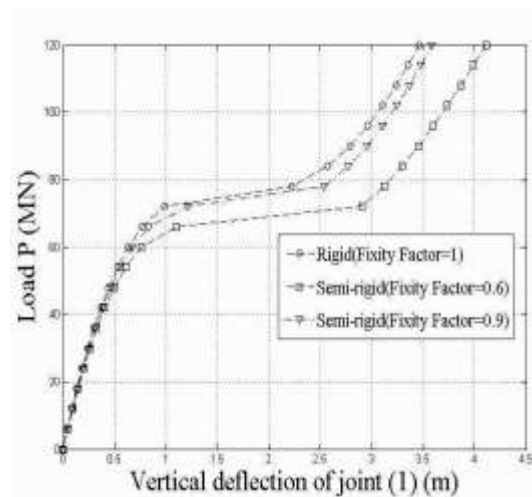


شکل (۷): مشخصات هندسی و خصوصیات قاب افقی

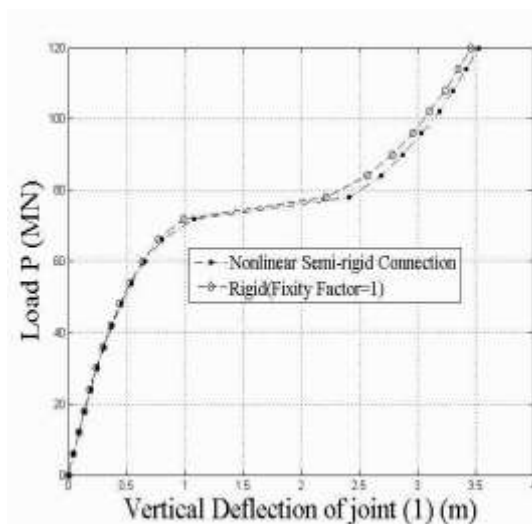
همانطور که در شکل (۸) مشاهده میشود اثر نیمه گیرداری اتصال قابل ملاحظه بوده و جابجایی گره C با کاهش ضریب نیمه گیرداری در گره B افزایش پیدا کرده است. لیکن هنگامی که بار وارده به قاب زیاد نیست و قاب رفتار غیر خطی از خود نشان نمی دهد، نتایج حالت گیرداری کامل و نیمه گیرداری تفاوت چندانی نمی کنند. این در حالیست که با افزایش بار و بروز رفتار غیر خطی، نسبت جابجایی حالت نیمه گیردار به گیردار نیز افزایش می یابد.



شکل (۸): منحنی بار - تغییر مکان قائم گره C در قاب افقی در حالات مختلف نیمه گیرداری



شکل (۵): منحنی بار - تغییر مکان گره ۱ قاب ۱۸ عضوی در شرایط گیرداری کامل و نیمه گیرداری اتصالات اعضای فوقانی



شکل (۶): منحنی بار - تغییر مکان گره ۱ در قاب ۱۸ عضوی (اتصال نیمه گیردار غیر خطی)

نمونه سوم: قاب افقی فضایی

مشخصات هندسی خصوصیات فیزیکی یک قاب افقی در شکل (۷) نشان داده شده است. قاب افقی قبلا توسط کاسیمالی و عباس نیا [۴] نیز با فرض گیرداری اتصالات تحلیل شده است. تحلیل قاب افقی به دلیل رفتار خمشی پیچشی قاب از اهمیت زیادی برخوردار است. در تحلیل قاب افقی فضایی، چنانچه اثر کاهش انحنا در تحلیل در نظر گرفته نشود، همگرایی در مرحله اول بارگذاری حاصل

۹- جمع بندی و نتیجه گیری

روش تحلیل غیر خطی جهت تحلیل قابهای فضایی با اتصالات نیمه گیردار ارائه شد. در روش پیشنهادی عوامل موثر بر رفتار غیر خطی از جمله اثرات اندرکنش نیروهای داخلی و تغییر هندسه اعضا و عضو لحاظ شده است. با بررسی نتایج حاصل از نمونه قابهای تحلیل شده میتوان به نتایج زیر دست یافت:

- روش ازدقت خوبی جهت بکارگیری در تحلیل غیر خطی قابهای فضایی با اتصالات نیمه گیردار برخوردار می باشد.
- روند افزایش جابجایی و کاهش بار بحرانی در مرحله غیر خطی، وابستگی زیادی در به مقدار نیمه گیرداری اتصال دارد. افزایش جابجایی در بارهای بالاتر و در ناحیه غیر خطی بیشتر از ناحیه خطی می باشد.
- رابطه خطی بین تغییرات ضریب نیمه گیرداری و بار بحرانی وجود نداشته و تغییرات جابجایی در حالات نیمه گیرداری نسبت به حالت گیرداری اتصالات نیز از یک روند غیر خطی پیروی میکنند.

مراجع

- 1.Oran,C.(1973a).”Tangent stiffness in Plane frames”.*J.Struct.Div.ASCE*,Vol199(ST6),pp.985-987.
- 2.Oran,C.(1973b).”Tangent stiffness in Plane frames”.*J.Struct.Div.ASCE*,Vol199(ST6),pp.987-1001.
- 3.Meek,J.L.and Tan,H.S.(1984).”Geometrically nonlinear analysis of space frames by an Incremental iterative technique”.*comput.Methods Appl.Mech Eng.*
4. Kassimali, A.and Abbasnia,R. (1991). “Large deformation analysis of elstic Space frames ,” *J. Struct.Engng.*117 (7).
5. Wang, C. K. (1983). ”Intermediate structural analysis”. McGraw-Hill Book Co., Inc., New Yourk, N.Y., chapter 20.
6. Chen W.F. and Kishi N. (1989) . “Semi-rigid Steel Beam-To-Column Connections Data Base and Modeling.” *J. Struct. Eng.*Vol.115,N.1,pp.105-117,January.
- 7-Shugyo,M., (2003). ”Elastoplastic Large Deflection Analysis of Three-Dimensional Steel Frames”.*J.Strct.Eng.*, 129(9), 1259-1267
- ۸ - جاویدی.ع، (۱۳۸۹)، ”تحلیل غیر خطی قابهای فضایی جدارنازک با اتصالات نیمه گیردار،” پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران