



کد مقاله: ۱۳۹-۲

## تعیین مقدار و الگوی نشست تفاضلی مجاز در سازه قاب خمشی فولادی

علیرضا باقریه<sup>۱</sup>، میثم غلامی<sup>۲</sup>

۱- عضو هیأت علمی، دانشگاه ملایر، [bagheri@malayeru.ac.ir](mailto:bagheri@malayeru.ac.ir)

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه، دانشگاه ملایر

### چکیده

در تحلیل متداول ساختمانها و سازه‌ها، مهندسان اغلب قابهای ساختمانی و پی را بصورت مجزا تحلیل می‌کنند و سازه را به صورت پای گیردار یا مفصلی فرض می‌کنند. سپس به تحلیل سازه می‌پردازند و در انتها با استناد به نتایج تحلیل صورت گرفته اعضای سازه اعم از تیر و ستون را طراحی می‌کنند. نشست تفاضلی نقاط مختلف یک سازه می‌تواند باعث آسیب دیدن روسازه گردد. در روشهای رایج میزان نشست تفاضلی در تحلیل مجزای دال فونداسیون تعیین و مقدار آن به میزان مجاز محدود می‌گردد. ضوابط موجود در تعیین نشست تفاضلی مجاز سازه‌ها اغلب تجربی است و چندان تابع نوع طراحی و روش اجرای سازه نمی‌باشد. بنابراین باید ضوابط دقیق تری برای تعیین نشست تفاضلی و مقادیر حدی این پارامتر وضع شود تا از عملکرد مطلوب سازه اطمینان حاصل گردد. در تحقیق حاضر یک سازه قاب خمشی فولادی بدون اعمال نشست طراحی گردید، سپس سازه در نرم افزار اجزای محدود غیرخطی مدل شد. و با افزایش مقادیر نشستهای تفاضلی، مورد تحلیل استاتیکی غیرخطی قرار گرفت. با توجه به زاویه دوران تسلیم اعضای اصلی سازه، طبق آیین نامه FEMA-356 و سطوح عملکرد ساختمان، مقادیری برای حد زاویه چرخش خمیری اعضای اصلی سازه تعیین شد و با در نظر گرفتن معیارهای پذیرش، نشست تفاضلی مجاز سازه مشخص گردید نتیجه حاصل نشان داد که، نشست یک ردیف ستون، بدترین نوع بین حالت های نشست تفاضلی بوده و مقدار مجاز  $4/9$  سانتیمتر برای آن، در سازه مورد مطالعه تعیین گردید.

**کلمات کلیدی:** نشست تفاضلی، ساختمانهای فولادی، روسازه، زاویه دوران تسلیم

### ۱. مقدمه

در تحلیل متداول ساختمانها و سازه‌ها، مهندسان اغلب قابهای ساختمانی و پی را بصورت مجزا تحلیل می‌کنند و سازه را به صورت پای گیردار یا مفصلی فرض می‌کنند و سپس به تحلیل سازه می‌پردازند و در انتها با استناد به نتایج تحلیل صورت گرفته اعضای سازه اعم از تیر و ستون را طراحی می‌کنند، اما بواسطه نشستهای تفاضلی پی مخصوصاً هنگامیکه مقدار نیروهای وارده از طرف قابها بر فونداسیون اختلاف زیادی داشته باشند، فرض عدم تغییر مکان تکیه گاه‌های سازه نمی‌تواند فرض درستی باشد. نشستهای تفاضلی می‌توانند تاثیر منفی زیادی روی سازه متکی بر پی و باز توزیع نیروها هم در قاب و هم در پی داشته باشند [۱]. و باید مقدار آن کنترل شود و به مقدار مجاز محدود گردد. در روشهای رایج میزان نشست تفاضلی در تحلیل مجزای دال فونداسیون تعیین و مقدار آن به میزان مجاز محدود می‌گردد. ضوابط موجود در تعیین نشست تفاضلی مجاز سازه‌ها اغلب تجربی است و چندان تابع نوع طراحی و روش اجرای سازه نمی‌باشد. بنابراین باید ضوابط دقیق تری برای تعیین نشست تفاضلی و مقادیر حدی این پارامتر وضع شود تا از عملکرد مطلوب سازه اطمینان حاصل گردد.

طراحی سازه و پی مستلزم درک کامل و عمیق از رفتار ژئوتکنیکی پی می‌باشد. تعیین ظرفیت باربری خاک و نشست آنی و درازمدت آن از مهمترین پارامترهایی است که هنگام طراحی پی باید مورد ارزیابی قرار گیرد. با گسترش شهرها و افزایش روزافزون ساخت و ساز و نیاز به احداث ساختمانهای بلند شناخت عمیق‌تر از اندرکنش پی ساختمان و خاک باربر زیر آن را بیشتر می‌نماید. از طرفی با توجه به اینکه ایران منطقه‌ای زلزله خیز است بررسی رفتار لایه‌های باربر زیر پی هنگام وقوع زلزله دارای اهمیت ویژه است. وقوع نشست‌های غیریکنواخت که بر اثر لایه‌بندی و ناهمگنی خاک‌های زیرین، بارگذاری و تنش غیریکنواخت، اثر همپوشانی تنش‌های حاصل از چند پی بر یک مقطع در عمق، تفاوت در نوع ساخت و ساز قسمت‌های مختلف و یا عوامل دیگر ممکن است حاصل شود، در نتیجه در نقاط مختلف یک سازه می‌توان انتظار نشست‌های مختلفی را داشت. باید مورد توجه جدی‌تری در ارزیابی‌های نشست پذیری قرار گیرد. اگر دامنه این گونه نشست‌ها از مقدار حد تحمل سازه بیشتر گردد ممکن است خطراتی بنا را تهدید کند و باعث ایجاد صدمه و یا ایجاد اختلال در برنامه بهره‌برداری سازه گردد. بنابراین باید ضوابط مشخصی برای تعیین نشست تفاضلی و مقادیر حدی این پارامترها وضع گردد تا سازه عملکرد مطلوبی داشته باشد. مطالعاتی در رابطه با تاثیرات منفی نشست تفاضلی بر روی روسازه انجام شده است [۲ و ۳].

از سال ۱۹۵۰ تاکنون محققین و آیین‌نامه‌های ساختمانی متعدد، مقادیر مجاز مختلفی برای پارامترهای مهم نشست تفاضلی توصیه نموده‌اند. در سال ۱۹۵۶، اسکمپتون و مک دونالد [۴] مقادیر حدی برای حداکثر نشست، حداکثر نشست تفاضلی و حداکثر اعوجاج زاویه‌ای با توجه به نوع پی و خاک زیر آن برای استفاده در آیین‌نامه‌های ساختمانی پیشنهاد نمودند. همچنین پولشین و توکار [۵] براساس تجربه، ضریب خیز مجاز برای ساختمانها را به صورت تابعی از  $L/H$  (طول و  $H$  ارتفاع ساختمان) تهیه نمودند. گرنٹ و همکارانش [۶] با مرتبط نمودن  $S_{T(max)}$  و  $\beta_{max}$  برای چند ساختمان نتایجی را براساس نوع پی و خاک زیر آن ارائه دادند. در تحقیق حاضر یک سازه قاب خمشی فولادی ۱۰ طبقه برای تعیین مقادیر مجاز نشست تفاضلی مورد بررسی قرار گرفته است.

## ۲. پارامترهای نشست در سازه

$S_T$ : نشست کل یک نقطه مشخص از سازه

$\Delta S_T$ : اختلاف نشست بین دو بخش سازه

$\beta$ : اعوجاج زاویه‌ای  $= \frac{\Delta S_T(ij)}{l_{ij}}$  (توجه شود که  $l_{ij}$  فاصله بین دو نقطه  $i$  و  $j$  می‌باشد)

$\Delta/L$ : نسبت خیز

## ۳. تحلیل بار افزون (Push over)

در تحلیل بار افزون، رفتار سازه به وسیله منحنی ظرفیت مشخص می‌شود. تقریباً در تمام موارد، منحنی ظرفیت به صورت منحنی برش‌پایه در مقابل تغییر مکان بام (نقطه کنترل) می‌باشد. جابجایی بام، در روش‌های حاضر، نه تنها به عنوان یک شاخص برای منحنی ظرفیت به کار می‌رود، بلکه نیازهای لرزه‌ای را در ارتفاع سازه در نقطه عملکرد برقرار می‌سازد. در این روش برای بررسی سازه، سازه تحت اثر یک الگوی بارگذاری خاص ثابت (استاتیکی) افزایش یافته تحلیل می‌شود و این تحلیل ادامه می‌یابد تا تغییر مکان نقطه‌ای از سازه (تغییر مکان نقطه‌ی کنترل) با مدلسازی رفتار واقعی (غیرارتجاعی) مصالح اعضا به حدی که قبلاً محاسبه شده است برسد این تغییر مکان که با توجه به هدف خاصی از بهسازی محاسبه شده است تغییر مکان هدف یا نیاز نامیده شده و مبنای بررسی اجزای سازه خواهد بود. به طوری که تغییر شکل، دوران و نیروها اعضا در این مرحله بررسی می‌شود. یک سطح عملکرد نشان دهنده حداکثر خرابی مورد انتظار سازه می‌باشد به طوری که اگر خرابی از این حد افزایش پیدا کند. سطح عملکرد سازه تغییر پیدا خواهد کرد. سطوح عملکرد اجزای سازه با توجه به آیین‌نامه FEMA-356

[۷] و دستورالعمل بهسازی لرزه ای [۸] به سطح عملکرد قابلیت استفاده بی‌وقفه، ایمنی جان و آستانه‌ی فروریزش طبقه بندی شده که سطح عملکرد قابلیت استفاده‌ی بی‌وقفه به سطح عملکردی اطلاق می‌شود که پیش‌بینی شود در اثر وقوع زلزله مقاومت و سختی اجزای سازه تغییر قابل توجهی پیدا نکند و استفاده‌ی بی‌وقفه از آن ممکن باشد. در سطح عملکرد ایمنی جانی پیش‌بینی می‌شود در اثر وقوع زلزله خرابی در سازه ایجاد شود، اما میزان خرابی‌ها به اندازه‌ای نباشد که منجر به خسارت جانی شود. سطح عملکرد آستانه‌ی فروریزش نیز پیش‌بینی می‌شود در اثر وقوع زلزله خرابی گسترده در سازه ایجاد شود. سطح عملکرد موردنظر در این تحقیق ایمنی جان می‌باشد.

#### ۴. به دست آوردن تغییر مکان هدف (Target displacement) در FEMA-356

مطابق FEMA-356 تغییر مکان هدف با توجه به سطح عملکرد مورد نظر طبق فرمول ۱ محاسبه می‌گردد:

$$\delta_t = C_0 C_1 C_2 C_3 \frac{T_g^2}{4\pi^2} g \quad (1)$$

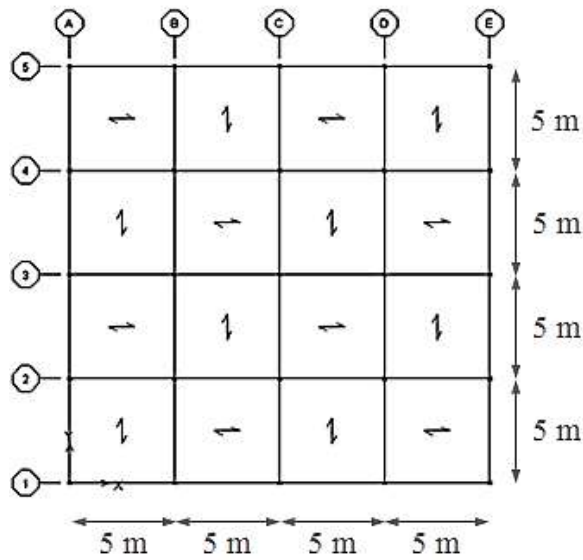
در رابطه،  $T_g$  زمان تناوب غالب مؤثر ساختمان در جهت مورد نظر است که با استفاده از سختی سکانت در برش پایه متناظر با ۶۰ درصد نیروی تسلیم محاسبه می‌گردد.  $C_0$  ضریب اصلاحی که پاسخ الاستیک سیستم یک درجه آزادی را به جابجایی ساختمان چند درجه آزادی در نقطه کنترل مربوط می‌کند.  $C_1$  ضریب اصلاحی است که جابجایی الاستیک و غیرالاستیک حداکثر سیستم یک درجه آزادی را به هم مربوط می‌کند.  $C_2$  ضریب اصلاحی است که اثرات شکل هیسترتیک، کاهش سختی، زوال مقاومت و **Pinching** را منظور کرده و  $C_3$  ضریب اصلاحی برای افزایش جابجایی به علت اثرات **P-Δ** می‌باشد. مقادیر و جداول تمامی ضرایب در FEMA-356 و دستورالعمل بهسازی ذکر شده است. زمان تناوب غالب مؤثر در جهت مورد نظر، بر مبنای منحنی نیرو - تغییر مکان ایده‌آل، به صورت فرمول ۲ بدست می‌آید:

$$T_g = T_i \sqrt{\frac{K_i}{K_g}} \quad (2)$$

در رابطه،  $T_i$  زمان تناوب غالب در جهت مورد نظر است که از تحلیل مودال سازه الاستیک حاصل می‌گردد.  $K_i$  سختی جانبی الاستیک ساختمان،  $K_g$  سختی جانبی الاستیک مؤثر ساختمان در جهت مورد نظر می‌باشد.

#### ۵. مدلسازی

با وقوع زمین‌لرزه‌های مخرب و گزارش‌های میزان خسارات و تلفات رخ داده در این زمین‌لرزه‌ها، توجه بیشتری سمت ارزیابی و بهسازی لرزه‌ای سازه‌های موجود می‌رود. این ارزیابی‌ها معمولاً بدون در نظر گرفتن اندرکنش خاک-سازه انجام می‌گیرد. هدف از انجام این مقاله بررسی اثرات اندرکنش خاک-سازه در پاسخ لرزه‌ای سازه‌ها می‌باشد. برای این منظور سازه قاب خمشی فولادی ۱۰ طبقه به ارتفاع ۳۰ متر با پلان عریض با اهمیت زیاد با شتاب مبنای با خطر نسبی خیلی زیاد در زمین نوع II با قاب خمشی ویژه در نظر گرفته و این مدل‌ها بر اساس مبحث ششم از مقررات ملی ساختمان بارگذاری ثقلی شده و در نرم افزار ETABS با آیین نامه AISC360-05/IBC2006 طراحی و مقاطع سازه تعیین می‌گردد. سپس سازه طراحی شده در ETABS، در یک نرم افزار اجزای محدود غیرخطی مدل می‌گردد تا با افزایش نشست تفاضلی تحت تحلیل بارافزون قرار گیرد. پلان ساختمانی که مورد تحلیل قرار گرفته پلان عریض (نسبت طول به عرض  $\frac{a}{b} = 1$ ) با فاصله دهانه‌ها در پلان ۵ متر می‌باشد، در شکل ۱ نمونه پلان نشان داده شده است.



شکل ۱- پلان ساختمانی استفاده شده جهت تحلیل

## ۶. روش تحلیل

برای تحلیل استاتیکی غیرخطی از نرم افزار اجزای محدود SeismoStruct استفاده نمودیم تا سازه با افزایش نشست تفاضلی تحت تحلیل بارافزون قرار گیرد و در لحظه جابه‌جایی هدف که با توجه به سطح عملکرد ایمنی جان محاسبه شده با بررسی دوران های خمیری اعضای سازه و با توجه به ضوابط پذیرش موجود در FEMA-356 مقادیر مجاز نشست تفاضلی برای سازه تعیین گردد. زاویه دوران تسلیم هر یک از اعضای سازه را بدست آورده و با دوران های خمیری اعضا در حین افزایش نشست تفاضلی مقایسه نموده و هنگامیکه اولین مفصل سازه از معیارهای قابل پذیرش آیین نامه با توجه به سطح عملکرد سازه که در این مقاله ایمنی جان می باشد عبور کند نشست مجاز سازه تعیین می گردد. [۹،۱۰]

$$\text{زاویه دوران تسلیم تیر: } \theta_y = \frac{Z F_{yE} L_b}{6 E I_b} \quad (3)$$

$$\text{زاویه دوران تسلیم ستون: } \theta_y = \frac{Z F_{yE} L_c}{6 E I_c} \left(1 - \frac{P}{P_{yE}}\right) \quad (4)$$

جدول ۱- معیار های پذیرش زاویه چرخش خمیری اعضای اصلی سازه

معیار های پذیرش زاویه چرخش خمیری (رادیان) اعضای اصلی			اجزا
CP	LS	IO	
تیرها - در خمش			
$8\theta_y$	$6\theta_y$	$\theta_y$	الف: $\frac{h}{t_w} \leq \frac{3185}{\sqrt{F_{ye}}} \text{ و } \frac{b_f}{2t_f} \leq \frac{420}{\sqrt{F_{ye}}}$
$3\theta_y$	$2\theta_y$	$0.25\theta_y$	ب: $\frac{h}{t_w} \geq \frac{5365}{\sqrt{F_{ye}}} \text{ و } \frac{b_f}{2t_f} \geq \frac{545}{\sqrt{F_{ye}}}$
ستون ها - در خمش			
برای $\frac{P}{P_{cl}} \leq 0.15$			
$8\theta_y$	$6\theta_y$	$\theta_y$	الف: $\frac{h}{t_w} \leq \frac{2500}{\sqrt{F_{ye}}} \text{ و } \frac{b_f}{2t_f} \leq \frac{420}{\sqrt{F_{ye}}}$
$3\theta_y$	$2\theta_y$	$0.25\theta_y$	ب: $\frac{h}{t_w} \geq \frac{3850}{\sqrt{F_{ye}}} \text{ و } \frac{b_f}{2t_f} \geq \frac{545}{\sqrt{F_{ye}}}$
برای $0.15 < \frac{P}{P_{cl}} \leq 0.5$			
$10(1 - 1.7 \frac{P}{P_{cl}})\theta_y$	$7(1 - 1.7 \frac{P}{P_{cl}})\theta_y$	$0.25\theta_y$	الف: $\frac{h}{t_w} \leq \frac{2170}{\sqrt{F_{ye}}} \text{ و } \frac{b_f}{2t_f} \leq \frac{420}{\sqrt{F_{ye}}}$
$0.8\theta_y$	$0.5\theta_y$	$0.25\theta_y$	ب: $\frac{h}{t_w} \geq \frac{3185}{\sqrt{F_{ye}}} \text{ و } \frac{b_f}{2t_f} \geq \frac{545}{\sqrt{F_{ye}}}$

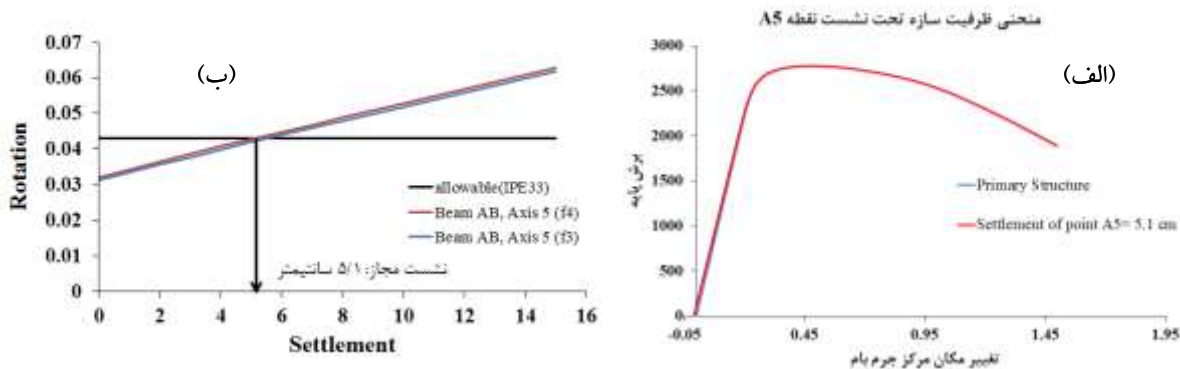
برای اینکه سازه جواب گوی سطح عملکرد مورد نظر باشد، باید در تغییر مکان هدف هیچ یک از مفاصل سازه در محدوده تغییر شکل های فراتر از معیارهای پذیرش سطح عملکردی انتخاب شده قرار نگیرد. در این تحقیق با بررسی کامل زاویه چرخش خمیری تمام اعضای اصلی سازه و برای تمام حالت های نشست تفاضلی مقادیر بحرانی در زیر آمده است.

## ۷. نمودارها و جداول و تفسیر آنها

انواع حالت های نشست را به سازه مدل شده در نرم افزار اجزای محدود اعمال می کنیم تا بحرانی ترین حالت نشست را به عنوان نشست مجاز سازه تعیین کنیم. نشست های اعمال شده از نوع نشست تک ستون، نشست یک محور از ستون ها، نشست یک بلوک از پای ستون ها می باشند که بعد از بررسی تمام حالات ها، بحرانی ترین حالت ها در نتایج آورده شده است.

با توجه به شکل (۲-ب) سازه تحت نشست تک ستون A5 در پلان عریض قرار گرفته و مفصل پلاستیک تیر AB محوره در طبقه چهارم دارای تغییر شکل فرار تجمعی بعد از نشست ۵/۱ سانتیمتر نسبت به سطح عملکرد ایمنی جان می باشد و اولین مفصلی از سازه است که از مقدار مجاز عبور می کند و در آستانه فروریزش قرار می گیرد. بنابراین نشست مجاز سازه تحت نشست تک ستون A5 در پلان عریض ۵/۱ سانتیمتر می باشد. نشست تک ستون A5 به عنوان ستون گوشه، بحرانی ترین حالت نشست بین ستون های دیگر می باشد. با توجه به فرمول ۳ و جدول ۱ داریم:

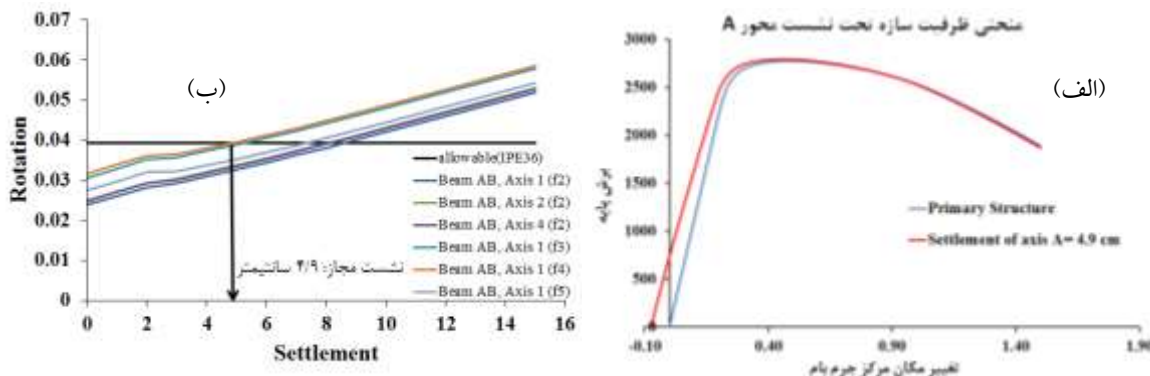
$Rotation\ IPE33 = 0.007156$ , (بر اساس ردیف الف)  $LS = 6\theta_y = 0.042936$



شکل ۲- نشست تک ستون A5 در پلان عریض الف) نمودار ظرفیت سازه بدون اعمال نشست و سازه تحت نشست تا سطح عملکرد ایمنی جان ب) بحرانی ترین حالت چرخش خمیری اعضای سازه

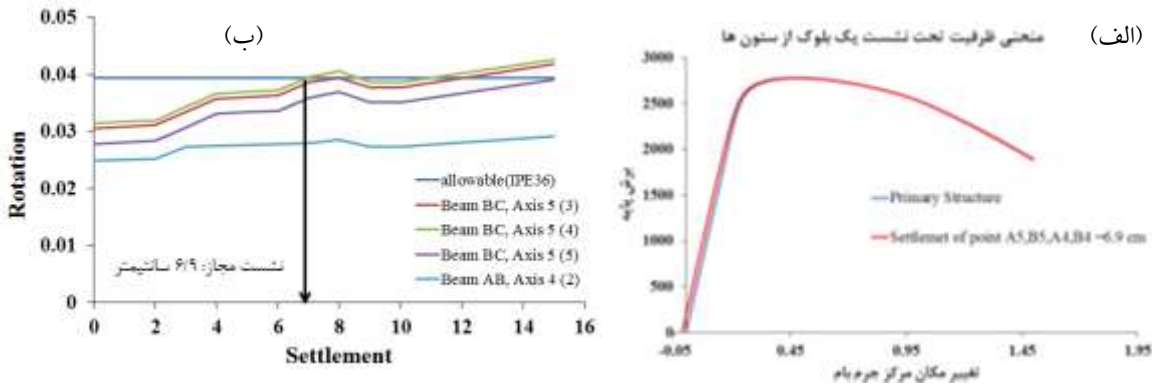
در شکل (۳-ب) سازه تحت نشست ستون‌های محور A در پلان عریض قرار گرفته و در نتیجه مفصل پلاستیک تیر AB محورا ۱ در طبقه چهارم اولین مفصلی از سازه است که از مقدار مجاز عبور می‌کند و دارای تغییرشکل فرار تجمعی بعد از نشست ۴/۹ سانتیمتر به بعد نسبت به سطح عملکرد ایمنی جان می‌باشد. نشست ستون‌های محور A به عنوان محور کناری، بحرانی ترین حالت نشست بین محوره‌های دیگر می‌باشد.

$Rotation\ IPE36 = 0.006561$ , (بر اساس ردیف الف)  $LS = 6\theta_y = 0.039366$



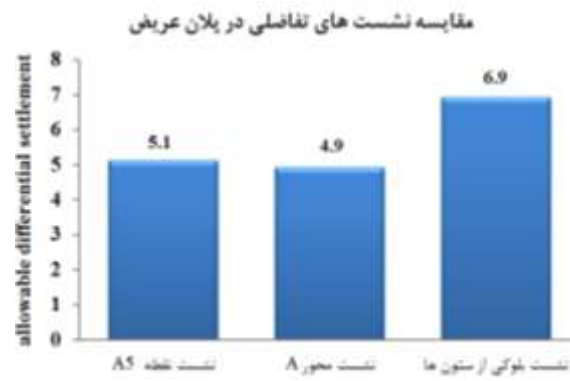
شکل ۳- نشست ستون‌های محور A در پلان عریض الف) نمودار ظرفیت سازه بدون اعمال نشست و سازه تحت نشست تا سطح عملکرد ایمنی جان ب) بحرانی ترین حالت چرخش خمیری اعضای سازه

در شکل (۴-ب) سازه تحت نشست بلوکی از ستون‌ها (به نقاط A5, B5, A4, B4) در پلان عریض قرار گرفته و در نتیجه مفصل پلاستیک تیر BC محوره ۵ در طبقه چهارم اولین مفصلی از سازه است که از مقدار مجاز عبور می‌کند و دارای تغییرشکل فرار تجمعی بعد از نشست ۶/۹ سانتیمتر به بعد نسبت به سطح عملکرد ایمنی جان می‌باشد.



شکل ۴- نشست بلوکی از ستون‌ها (به نقاط A1,B1,A2,B2) در پلان عریض الف) نمودار ظرفیت سازه بدون اعمال نشست و سازه تحت نشست تا سطح عملکرد ایمنی جان ب) بحرانی ترین حالت چرخش خمیری اعضای سازه

با بررسی پارامترهای مورد مطالعه مشاهده می‌شود که دوران خمیری تیرهای سازه زودتر از ستون‌ها وارد تغییرات فرار تجماعی نسبت به سطح عملکرد ایمنی جان می‌شوند که به علت طراحی بر اساس تیر ضعیف و ستون قوی می‌باشد.



شکل ۸- مقایسه نشست های تفاضلی در پلان عریض

## ۸. نتیجه گیری

با توجه به نتایج بدست آمده دیده می‌شود که بررسی اثرات اندرکنش خاک - سازه (اثر نشست سازه) بر نتایج حاصل از تحلیل سازه بسیار مهم است و باید در طراحی لحاظ گردد. محاسبه نشست غیر یکنواخت بدون منظور کردن سختی سازه ممکن است به پیش بینی مقادیر غیرواقعی بیانجامد. برای ساختمانهای با اهمیت بالا، اندرکنش سازه و خاک را باید در تحلیل‌ها منظور کرد. با توجه به طراحی انجام شده و نتایج بدست آمده از تحلیل نشست اعمال شده به سازه‌ی ۱۰ طبقه در این تحقیق مشاهده می‌شود که نشست تفاضلی در پلان عریض ۴/۹ سانتیمتر می‌باشد. همچنین نشست یک ردیف ستون در سازه با پلان عریض بحرانی ترین حالت های نشست در بین حالت‌های دیگر می‌باشد. بررسی پارامترهای مورد مطالعه در سازه حکایت از آن دارد که حساسیت ستون‌های کناری و گوشه بوضوح قابل مشاهده است. راه حلی که جهت کنترل نشست های تفاضلی و در نتیجه کنترل اثرات اندرکنش خاک-سازه بر تحلیل سازه ارائه شده این است که با ایجاد یک زیرسازه صلب از اثرات اندرکنش بر روسازه و در نتیجه از ایجاد نشست های تفاضلی زیاد در سازه جلوگیری شود.

## ۹. مراجع

۱. امرایی، ا. رزاقی، ج. و کلاتری، ف. (۱۳۸۶)، "اترسختی قاب فضایی در نشست پی و باز توزیع نیروها در سازه"، مجموعه مقالات پنجمین کنفرانس بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، تهران، ایران، اردیبهشت، ۲۳-۲۶.
2. Boone, S. (1996). "Ground-Movement-Related Building Damage" J. Geotech. Engrg., **122** (11), pp 886- 896.
3. Burland, J. B., and Worth, C. P. (1975). "Settlement of buildings and associated damage," Proc. of the Conf. on Settlement of Structures, Cambridge Pentech Press, London, pp 611-654.
4. Skempton, A. W. and MacDonald, D. H. (1956), "The allowable settlement of Buildings," in Proc. Of Institute of Civil Engineers, 5, Part III, p 727.
5. D. E. Polshin, and Tokar, R. A. (1957), "Maximum Allowable Non-uniform Settlement of Structures," Proc. 4<sup>th</sup> International Conf. on Soil Mechanics and Foundation Engineering, London, pp 402-405.
6. Grant, R. J. Christian J. T. and Vanmarcke, E. H. (1974). "Differential Settlement of Buildings," Journal of the Geotechnical Engineering Division, American Society of Civil Engineers, **100** ( GT9), pp 973-991.
7. Federal Emergency Management Agency (FEMA) (2000), Prestandard and Commentary for the Rehabilitation of Buildings, FEMA-356.
۸. "دستوالعمل بهسازی ساختمانهای موجود"، (۱۳۸۵)، نشریه شماره ۳۶۰، معاونت امور فنی، دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله.
۹. تقی نژاد، ر. (۱۳۸۹)، "طراحی و بهسازی لرزه ای سازه ها براساس سطح عملکرد با استفاده از تحلیل پوش آور"، نشر کتاب دانشگاهی، چاپ دوم، ۱۶۰-۱۷۲.
۱۰. نیکنام، ا. پاریزی، ع.م. و پاک نیت، ش. (۱۳۹۱)، "بهسازی لرزه ای سازه های فولادی و تحلیل بار افزون"، انتشارات متفکران، تهران، چاپ اول