

# بررسی اثرات عامل‌های غایب مقاومت تسلیم و چیدمان میلگردها بر روی عامل‌های نمونه‌سازی ستون‌های مربعی شکل در استانداردهای موجود

حسن مقدم<sup>۱</sup>؛ محمد فلاح تفتی<sup>۲</sup>؛ میثم صمدی<sup>۳</sup>

## چکیده

منحنی غیرخطی نیرو-جابجایی ستون‌های مربعی شکل در استانداردهایی که برای بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود به کار می‌روند، توسط دو مقدار  $a$  و  $b$  که به ترتیب بیانگر کاهش ظرفیت جانبی و محوری هستند، تعریف میشوند. مقادیر این دو عامل در نشریه ۳۶۰ و فیما ۳۵۶ و همچنین ASCE41-06 تابعی از سطح بار محوری و همچنین نسبت ظرفیت برش ستون به برش قابل تحمل توسط بتن است در حالیکه در بازنگری آیین‌نامه ASCE41-06 این مقادیر تابعی از سطح بار محوری و همچنین نسبت حجمی تقویت‌های عرضی است. در این مقاله یک شاخص محصورسازی که به خوبی بیانگر اثرات آرایش آرماتورهای طولی و عرضی و همچنین مقاومت تسلیم است، پیشنهاد شده است. این شاخص در پیش‌بینی عامل  $a$  و  $b$  به ترتیب برای ۳۸ و ۱۳ نمونه ستون آزمایشگاهی به کار رفته و در ادامه جدولی از این شاخص محصورسازی ستون پیشنهاد می‌شود. شاخص محصورسازی و همچنین جدول پیشنهادی، نشان‌دهنده دقت بالاتری از پیش‌بینی مقادیر  $a$  و  $b$  است. بطوریکه نتایج حاصله علاوه بر حفظ ملاحظات موردنظر آیین‌نامه، بیشترین اختلاف بین مقادیر آزمایشگاهی و نتایج حاصله را از ۴/۷ برابر در نسخه بازنگری شده ASCE41-06 به ۳/۶ تقلیل داده است.

## لغات کلیدی

بهسازی لرزه‌ای، ستون بتن‌آرمه، محصورشدگی، زمین لرزه، آیین‌نامه

## *The Missing Effects Of Yield strength And Arrangement Of Transverse Rebars On The Modeling Parameters Of RC Columns In Current Standards*

H. Moghaddam; M. Fallah .T and M. Samadi

### ABSTRACT

The nonlinear force-displacement curve of RC columns are presented in the current standards for seismic rehabilitation of existing buildings (such as ASCE41) by two displacement-based values of “a” and “b” that correspond to the loss of lateral and axial capacities, respectively. The ASCE41 presents the values of these two parameters as a function of the volumetric ratio of transverse reinforcement. A confinement index is proposed in this paper that accounts for the yield strength and arrangement of the transverse reinforcements as well. This index was used to predict the parameters “a” of 38 tested RC columns and the parameters “b” of 13

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۸۹/۵/۲۶

تاریخ اصلاحات مقاله: ۱۳۹۰/۱/۲۷

<sup>۱</sup> استاد، دانشگاه صنعتی شریف، دانشکده مهندسی عمران: hsnmoghaddam@yahoo.com

<sup>۲</sup> نویسنده مسئول و دانشجوی فوق لیسانس، دانشگاه صنعتی شریف، دانشکده مهندسی عمران: mohammadtafty@gmail.com

<sup>۳</sup> استادیار، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد مشهد

other columns. A table is proposed that gives the values of these two parameters based on the values of the proposed confinement index of the columns. It is shown that the proposed confinement index and table predicts more accurate values of the parameters "a" and "b". Based on the results, maximum difference ratio to experimental values is reduced from 4.7 to 3.6 in comparison with those of update to ASCE41-06 while satisfying its specifications and regulations.

## KEYWORDS

Seismic rehabilitation, RC column, Confinement, Earthquake, Standard

## ۱- مقدمه

کلیدی مقاومت تسلیم آرماتورهای عرضی و چگونگی آرایش آرماتورهای طولی و عرضی در ستون است. از اینرو یک شاخص محصورشدگی جدیدی برای پیش‌بینی رفتار غیرخطی ستون‌های بتن آرمه در این مقاله ارائه می‌شود که اثرات دو عامل فوق را نیز می‌بیند و نشان داده شده که این شاخص می‌تواند با موفقیت در پیش‌بینی رفتار جانبی ستون‌های مورد آزمایش به‌کار رود. این موفقیت به‌گونه‌ای است که نتایج حاصل از جدول پیشنهادی، علاوه بر دارا بودن ضوابط و مقررات موردنظر آیین‌نامه (بطوریکه کمتر از ۲۰ درصد از نتایج آزمایش مربوط به عامل a از اعداد داده شده توسط جدول پیشنهادی و کمتر از ۱۰ درصد از نتایج مربوط به عامل b بوده است، که این دو مقدار در نسخه بازنگری شده ASCE41-06 به ترتیب ۳۵ و ۱۵ درصد هستند) نتایج آزمایش را تا حد مطلوب‌تری به نتایج حاصله از جدول نزدیک نموده است.

## ۲- بیان مسئله

حالت‌های کلی از رفتار نیروی جانبی - جابجایی، اعضای سازه‌ای با کنترل جابجایی، طبق تعریف آیین‌نامه ASCE41-06، در شکل (۱) نشان داده شده است. منحنی نوع ۱ که در شکل (۱) نماینده‌ای از رفتار اعضای شکل‌پذیر است که با یک ناحیه الاستیک (نقطه ۰ تا ۱ روی منحنی) شروع می‌شود و در ادامه با یک ناحیه پلاستیک (نقاط ۱ تا ۳)، همراه با مقاومت بسیار اندک جانبی ولی توانایی تحمل بارهای ثقیلی در نقطه ۳ ادامه می‌یابد. منحنی نوع ۲ در شکل (۱) است، نشان‌دهنده رفتار خمشی است که با ناحیه الاستیک (نقطه ۰ تا ۱ روی منحنی) شروع شده و با قسمت پلاستیک (نقاط ۱ تا ۲) ادامه می‌یابد که با کاهش مقاومت جانبی و ناتوانی در تحمل بار ثقیلی در نقطه ۲ همراه است. همان‌طور که در شکل (۱) نشان داده شده است، تعریف منحنی نوع ۲ در نسخه‌ی بازنگری شده ASCE41-06 تغییر یافته به صورتی - که در این آیین‌نامه، برای رفتار نوع ۲ فرض شده که در نقطه ۳ هنوز باربری ثقیلی حفظ می‌شود.

ارزیابی لرزه‌ای و طرح بهسازی برای ساختمان‌های موجود نیاز به بررسی و ارزیابی دقیقی از رفتار جانبی غیرخطی اعضای سازه‌ای دارد. ستون‌ها به عنوان یکی از اعضای اصلی در ساختمان‌های بتن آرمه هستند که بررسی توانایی آن‌ها در حفظ باربری ثقیلی تحت جابه‌جایی‌های جانبی وارده ناشی از زلزله، در تعیین سطح عملکرد واقعی سازه در زلزله‌های شدید، اهمیت ویژه‌ای دارد. بنابراین دقت در تعیین رفتار نیرو - جابجایی غیرخطی ستون‌های بتن آرمه مسئله‌ای مهم در بررسی و ارزیابی تحلیلی از عملکرد لرزه‌ای ساختمان‌های موجود است.

از بین ویژگی‌های مختلف رفتار غیرخطی ستون‌های بتن آرمه مانند سختی، مقاومت تسلیم، مقاومت نهایی و شکل‌پذیری، آخرین مورد یعنی شکل‌پذیری، بیش‌ترین اهمیت را در تعیین سطح عملکرد یک ستون در یک زلزله شدید دارد. تعریف شکل‌پذیری برای عضوهای سازه‌ای به تعریف نقطه نهایی از عملکردشان وابسته است. عموماً دو نقطه نهایی در رفتار جانبی یک عضو (ستون) در نظر گرفته می‌شود که عبارتند از نقطه "افت مقاومت جانبی" و "نقطه از دست رفتن باربری ثقیلی". در این مقاله، ابتدا عواملی که مورد استفاده نسخه‌های مختلف از آیین‌نامه‌های بهسازی لرزه‌ای (از جمله: نشریه ۳۶۰، فیما ۲۷۳، فیما ۳۵۶، ASCE41-06 و نسخه‌ی بازنگری شده ASCE41-06) قرار گرفته‌اند، برای تعیین نقاط نهایی ستون‌های مربعی که به صورت خمشی خراب شده‌اند، مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. سپس مقایسه‌ای میان نتایج آزمایشگاهی که بر روی ۵۱ ستون مربعی شکل و بزرگ مقیاس انجام شده با مقادیر پیش‌بینی شده توسط آیین‌نامه‌های مختلف برای این دو نقطه نهایی انجام شد. این مقایسه‌ها نشان می‌دهد که دلیل اصلی برای نامناسب بودن پیش‌بینی‌های انجام شده در شکل‌پذیری ستون‌های مربعی شکل و با حالت شکست خمشی، در مقایسه با نتایج آزمایشگاهی، نبود شاخصی مناسب برای تعیین میزان محصورشدگی ستون‌ها به صورت دقیق و مناسب است. دلیل ضعف شاخص‌های استفاده شده توسط آیین‌نامه‌های گفته شده، در نظر نگرفتن اثر دو عامل

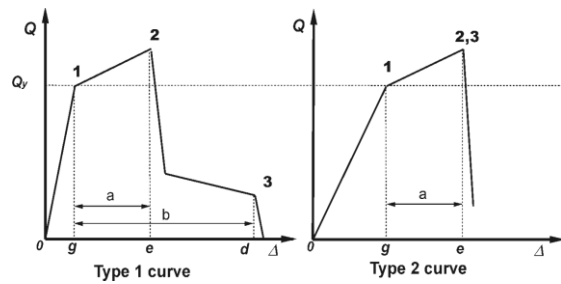
مقاومت تسلیم آرماتور عرضی و همچنین نحوه آرایش میلگرد- های عرضی و طولی که تعیین کننده میزان محصورشدگی هسته ستون‌های مربعی شکل هستند. در این تحقیق، تلاش شده است که این دو عامل در پیش‌بینی مقادیر عامل‌های  $a$  و  $b$  از ستون های مربعی شکل وارد شوند.

### ۳- استخراج مقادیر عامل‌های $a$ و $b$ از اطلاعات

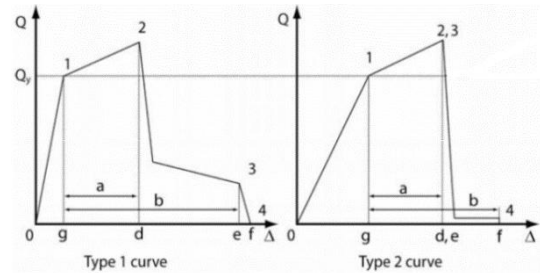
#### آزمایشگاهی

نتایج آزمایش‌هایی که توسط محققین مختلف بر روی ۳۸ نمونه ستون بتن آرمه انجام شده بود، برای بررسی مقادیر عامل  $a$  مورد استفاده قرار گرفتند. این نمونه ستون‌ها در جدول (۳) درج شده اند. از آنجا که نسبت محاسبه شده  $\frac{V_p}{V_n}$  برای این ستون‌ها بین ۰/۶ و ۱ بوده، جزئیات آنها با ضوابط آیین‌نامه ACI318 برابری دارد و همچنین این نمونه‌ها دارای تنگ‌هایی با بست ۱۳۵ درجه هستند؛ بر مبنای طبقه‌بندی نسخه‌ی بازنگری شده ASCE41-06، این ستون‌ها با حالت شکست خمشی (حالت i) محسوب می‌شوند. سامانه‌های آزمایش این ستون‌های مورد بررسی طوری طراحی شده‌اند که اثر  $p - \Delta$  را در آزمایش وارد نمایند.

از طرف دیگر، برای استخراج مقادیر عامل  $b$ ، نیاز به دانستن مقدار جابجایی جانبی که ستون در آن جابجایی، ظرفیت تحمل بار ثقیلی را از دست می‌دهد، است. تعداد بسیار کمی از مطالعات، این از دست رفتن بار ثقیلی را گزارش نموده‌اند. با این وجود نتایج ۱۳ نمونه ستون بتن آرمه جمع‌آوری شد که شرایط فوق را داشته‌اند و همچنین جابجایی که در آن باربری ثقیلی از دست‌رفته را گزارش نموده‌اند. برای این ۱۳ نمونه مقادیر عامل  $b$  محاسبه شده است. روند پیشنهادی در نسخه‌ی بازنگری شده ASCE41-06 برای بدست آوردن منحنی پوش، تفاوت‌هایی نسبت به نسخه‌ی قبلی (ASCE41-06) دارد. طبق نسخه‌ی بازنگری شده ASCE41-06، منحنی پوش بر روی هر نقطه از جابجایی بیشینه در طول دوره اول از هر نمو بارگذاری (یا تغییرشکل) رسم می‌شود در حالیکه در نشریه ۳۶۰، فیما ۲۷۳، فیما ۳۵۶ و ASCE41-06 منحنی پوش بر روی نقاط تقاطع اولین دوره منحنی از نمو تغییرشکل  $i$  ام با آخرین دوره منحنی از گام تغییرشکل (i-1) ام رسم می‌شود. این تفاوت در شکل (۲) برای یکی از ستون‌های مورد مطالعه، نشان داده شده است.



(الف)



(ب)

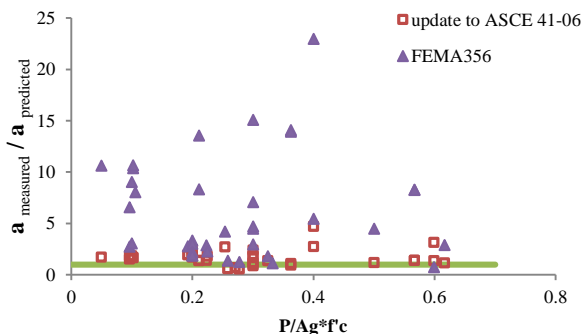
شکل (۱): مقایسه منحنی‌های نیرو - تغییر مکان آمده در (الف) ASCE41-06 [۹] و (ب) نسخه‌ی بازنگری شده ASCE41-06 [۲]

با توجه به شکل (۱) عوامل اصلی در تعیین رفتار جانبی ستون، مقادیر  $a$  و  $b$  هستند. در نشریه ۳۶۰، فیما ۲۷۳، فیما ۳۵۶ و ASCE41-06، ستون‌های مربعی شکل به ۴ گروه تقسیم می‌شوند که عبارتند از: کنترل‌شونده در خمش، کنترل‌شونده در برش، کنترل‌شونده در لغزش طول‌گیری یا وصله و ستون‌های تحت بار ثقیلی زیاد. این آیین‌نامه‌ها فرض می‌نمایند که مقادیر  $a$  و  $b$  وابسته به عوامل  $\frac{P}{A_g f_c}$  و  $\frac{V}{b_w d \sqrt{f_c}}$  و همچنین فاصله و جزئیات آرماتورهای عرضی می‌باشند. از طرف دیگر، در نسخه‌ی بازنگری شده ASCE41-06، رفتار ستون، به چهار حالت اصلی دیگر تقسیم می‌شود که عبارتند از: خمشی (حالت i)، خمشی - برشی (حالت ii)، برشی (حالت iii) و لغزش طول‌گیری یا وصله (حالت iv). این طبقه‌بندی بر اساس نسبت  $\frac{V_p}{V_n}$  (که در آن  $V_p$  برش طلب مانند ظرفیت خمشی مفصل پلاستیک و  $V_n$  مقاومت برشی اسمی هستند) بنا نهاده شده است. در ضوابط این بازنگری آیین‌نامه فرض می‌شود که مقادیر عامل‌های  $a$  و  $b$  برای هر کدام از این شرایط وابسته به سه عامل  $\rho = \frac{A_v}{b_w S}$ ،  $\frac{V}{b_w d \sqrt{f_c}}$ ،  $\frac{P}{A_g f_c}$  باشد. به نظر می‌رسد که دو عامل مهم و اساسی برای محاسبه، در تمام این موارد غائب هستند. این عامل‌های غائب عبارتند از:

روند فیما ۳۵۶ در محاسبه‌ی منحنی پوش بسیار محافظه-کارانه است، در نتیجه جابجایی نهایی را خیلی کمتر برآورد مینماید.

حاشیه‌ی امنیت بسیار بالایی برای پیش‌بینی مقادیر برای عامل  $a$  در این آیین‌نامه در نظر گرفته شده است. طبقه‌بندی نامناسب ستون‌ها و متغیرهای تعیین کننده برای این طبقه‌بندی.

از طرف دیگر مقادیر پیش‌بینی شده توسط نسخه‌ی بازنگری شده ASCE41-06، ارزیابی بهتری از عامل  $a$  را داده است، به طوری که، با توجه به شکل (۴) می‌توان دید که بیشتر نسبت مقدار محاسبه شده آزمایشگاهی عامل  $a$  به مقدار پیش‌بینی آن توسط نسخه‌ی بازنگری شده ASCE41-06،  $4/7$  است که نشان‌دهنده بهبود برآورد کم مقادیر در مقایسه با فیما ۳۵۶ است.

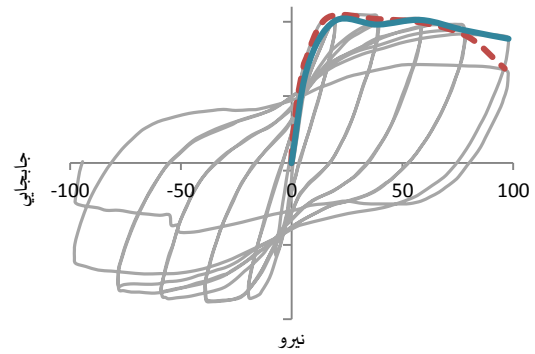


شکل (۴): مقایسه نسبت مقادیر اندازه گیری شده به مقادیر پیش-بینی شده از عامل  $a$  توسط فیما ۳۵۶ [۸] و نسخه ی بازنگری شده ASCE41-06 [۲] برای ۳۸ ستون آزمایشگاهی

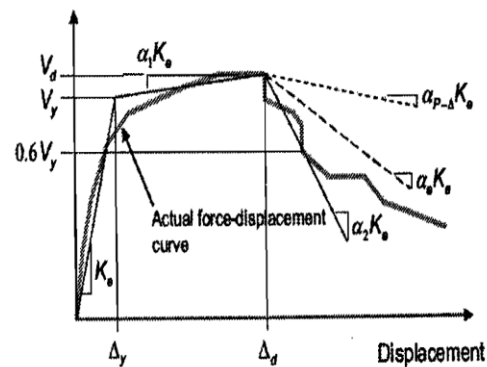
### ۱- بررسی جدول ارائه شده توسط نشریه ۳۶۰

همان‌طور که اشاره شد، نشریه ۳۶۰، جدولی را برای تعیین عامل‌های رفتاری ستون در نمودار نیروی جانبی - جابجایی با عنوان "عامل‌های نمونه‌سازی و معیارهای پذیرش برای روش-های غیرخطی - ستون‌های بتن مسلح" ارائه نموده است. تا حدودی می‌توان گفت که این جدول عیناً از جدول مشابه در فیما ۳۵۶ گرفته شده است. به طوری که تمام ضوابط و مقادیر موجود در این جدول عیناً همان ضوابط و مقادیری است که در جدول مشابه فیما ۳۵۶ آمده است. در اینجا نکته با دقت در این دو جدول و مقایسه‌ی این دو با هم است، به طوری که باید اعلام نمود که اقتباس کامل این جدول از جدول مشابه آن در فیما ۳۵۶، بدون تغییرات لازم و ضروری، باعث شده است که محاسبات مربوطه با استفاده از نشریه ۳۶۰ در بعضی موارد غلط و حتی منافی موارد دیگر ارائه شده در همین نشریه ۳۶۰ باشد.

در این نشریه برای تعیین مقادیر عامل‌های نمونه‌سازی  $a$  و  $b$ ، ستون‌ها از نظر سطح بار محوری، نسبت ظرفیت برش کل



شکل (۲): مقایسه نحوه بدست آوردن پوش منحنی میان نسخه‌ی بازنگری شده ASCE41-06 [۲] و نسخه‌های قبلی این آیین‌نامه در یکی از ستون‌های مورد مطالعه



شکل (۳): نمونه رفتار دوخطی نیرو - تغییر مکان

با استفاده از منحنی‌های هیسترتیک نیرو - جابجایی جانبی، دو منحنی پوش برای هر کدام از نمونه‌های مورد مطالعه (بر پایه دو رویه‌ای که در بالا اشاره شد) تعیین شد. منحنی‌های پوش بدست آمده به منحنی‌های چند خطی تبدیل و با توجه به شکل (۱) ، عامل های  $a$  و  $b$  برای این ستون‌ها تعیین شدند. برای یکسان-سازی تقریب چندخطی منحنی پوش ستون‌ها، از روند پیشنهادی در ASCE41-06 برای دوخطی نمودن منحنی نیرو - جابجایی سازه‌ها استفاده شد که در شکل (۳) نشان داده شده است.

روندهای اشاره شده در بالا برای محاسبه مقادیر عامل  $a$  نشریه ۳۶۰، فیما ۳۵۶ و نسخه‌ی بازنگری شده ASCE41-06 برای استخراج مقادیر عامل  $a$  (measured)، ۲۸ نمونه ستون اعمال شدند. در شکل (۴) نسبت‌های آزمایشگاهی بدست آمده برای عامل  $a$  به مقدار پیش‌بینی شده‌ی آنها توسط فیما ۳۵۶ و نسخه‌ی بازنگری شده ASCE41-06 نشان داده شده است. همان‌طور که از شکل مشخص می‌شود مقادیر پیش‌بینی شده توسط فیما ۳۵۶ بسیار محافظه‌کارانه است به طوری که حتی برای یکی از نمونه‌ها، نسبت مقدار بدست آمده‌ی آزمایشگاهی به مقدار  $a$  پیش‌بینی شده آن توسط این آیین‌نامه حدوداً ۲۳ برابر است. به نظر می‌رسد که این اختلاف بنا به دلایل زیر باشد:

عبارت  $\frac{V}{b_w d \sqrt{f_c}} = \frac{2V}{V_c}$  استفاده شود و اعداد مربوط به این عامل نیز از ۳ و ۶ به ترتیب به ۰/۳ و ۰/۶ تغییر نماید.

البته گفتنی است که با تغییرات و تصحیحات فوق مقادیر بدست آمده از جدول نشریه ۳۶۰ مانند مقادیر بدست آمده از فیما ۳۵۶ بسیار محافظه کارانه است و نیاز به بازنگری دارد. در شکل (۵) مقایسه‌ای میان مقادیر پیش‌بینی شده توسط جدول کنونی نشریه ۳۶۰ و مقادیر پیش‌بینی شده توسط جدول تصحیح شده از این نشریه با مقادیر آزمایشگاهی بدست آمده از ۲۸ نمونه مورد مطالعه برای تعیین عامل  $a$  دیده می‌شود و مقادیر دقیق این نتایج در جدول (۱) آورده شده است. در این شکل به وضوح دیده می‌شود که در جدول کنونی نشریه ۳۶۰ به دلیل اشتباه صورت گرفته، چنین استنباط می‌شود که مقاومت برشی قابل تحمل توسط بتن برابر با  $V_c = 2b_w d \sqrt{f_c}$  است در صورتی که مقدار اصلی آن به واحد SI حدودی برابر ۰/۱ این مقدار است. که این امر باعث می‌شود که با توجه به شروط آمده در نشریه ۳۶۰ در رابطه با تقسیم‌بندی ستون‌ها به ستون‌های با آرماتورهای عرضی واجد شرایط (C) و بدون شرایط (NC)، همگی نمونه ستون‌ها در قسمت بدون شرایط (NC) محسوب می‌شوند و در نتیجه مقادیر عامل‌های  $a$  و  $b$  آنها بسیار کم برآورد شود.

مقطع به ظرفیت برش قابل تحمل توسط بتن و همچنین از نظر واجد شرایط و یا بدون شرایط بودن آرماتورهای عرضی، دسته‌بندی می‌شوند. گفتنی است که در تقسیم‌بندی ستون‌ها از نظر نسبت ظرفیت برش قابل تحمل توسط بتن از رابطه (۱) استفاده شده است:

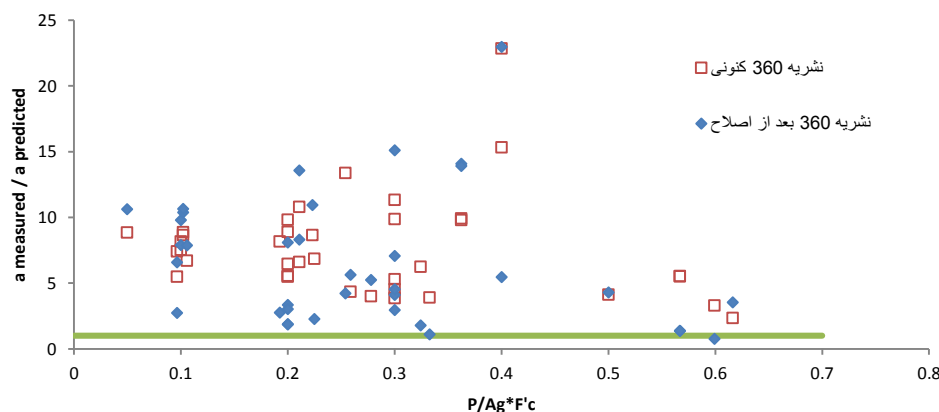
$$\frac{V}{b_w d \sqrt{f_c}} = \frac{2V}{V_c} \quad (1)$$

این عبارت همان عبارتی است که در فیما ۳۵۶ آمده و با عنایت به اینکه مقادیر متغیرها در فیما ۳۵۶ به واحد PSI هستند و در نشریه ۳۶۰ به واحد SI، بنابراین استفاده از این عبارت در نشریه ۳۶۰ بدون توجه به تبدیل واحدها نادرست است. گفتنی است که در فیما ۳۵۶ مقدار مقاومت برشی قابل تحمل توسط بتن ( $V_c$ ) با استفاده از واحدهای پوند و اینچ از رابطه  $V_c = 2b_w d \sqrt{f_c}$  تعیین می‌شود. حال آنکه بر اساس نشریه ۳۶۰، این مقدار باید با استفاده از رابطه ارائه شده در آیین‌نامه آبا در واحد SI تعیین شود ( $V_c = 0.2b_w d \sqrt{f_c}$ ) که منجر به متفاوت بودن مقادیر نسبت مندرج در رابطه (۱) می‌شود. برای تصحیح این نسبت در نشریه ۳۶۰ به یکی از دو روش زیر می‌توان عمل نمود:

۱. در تقسیم‌بندی، فقط از عبارت  $\frac{2V}{V_c}$  به جای عبارت

$$\frac{V}{b_w d \sqrt{f_c}} = \frac{2V}{V_c}$$

۲. در تقسیم‌بندی از عبارت  $\frac{V}{b_w d \sqrt{f_c}} = \frac{0.2V}{V_c}$  به جای



شکل ۵ - مقایسه میان نسبت مقادیر اندازه گیری شده به مقادیر پیش بینی شده از پارامتر  $a$  توسط نشریه ۳۶۰ کنونی [۱] و نشریه ۳۶۰ بعد از اصلاح پیشنهادی

جدول (۱): مقادیر اندازه گیری شده و مقادیر پیش بینی شده از پارامتر  $a$  توسط نشریه ۳۶۰ کنونی و نشریه ۳۶۰ بعد از اصلاح پیشنهادی

|                               |            | نشریه ۳۶۰<br>کنونی |             | نشریه ۳۶۰<br>بعد از اصلاح<br>پیشنهادی |            | نشریه ۳۶۰<br>کنونی |             | نشریه ۳۶۰<br>بعد از اصلاح<br>پیشنهادی |             |
|-------------------------------|------------|--------------------|-------------|---------------------------------------|------------|--------------------|-------------|---------------------------------------|-------------|
| نام نمونه                     | a measured | a predicted        | a predicted | نام نمونه                             | a measured | a predicted        | a predicted | a predicted                           | a predicted |
| Matamoros, 1999, C10-05S      | ۰/۰۵۳۲     | ۰/۰۰۶۰             | ۰/۰۰۵۰      | Xiao, 2002, FHC3-0.22                 | ۰/۰۲۲۶     | ۰/۰۰۴۸             | ۰/۰۱۴۳      |                                       |             |
| Xiao, 1998, HC4-8L16-T10-0.1P | ۰/۰۴۴۰     | ۰/۰۰۵۹             | ۰/۰۱۶۰      | Muguruma, 1989, BH-1                  | ۰/۰۵۸۹     | ۰/۰۰۴۴             | ۰/۰۱۳۹      |                                       |             |
| Xiao, 1998, HC4-8L16-T6-0.1P  | ۰/۰۳۲۹     | ۰/۰۰۶۰             | ۰/۰۰۵۰      | Atalay, 1975, n9                      | ۰/۰۱۹۲     | ۰/۰۰۴۴             | ۰/۰۰۳۴      |                                       |             |
| Soesianawati, 1986, n1        | ۰/۰۴۵۲     | ۰/۰۰۶۰             | ۰/۰۰۵۷      | Atalay, 1975, n11                     | ۰/۰۱۶۹     | ۰/۰۰۴۲             | ۰/۰۰۳۲      |                                       |             |
| Tanaka, 1990, n6              | ۰/۰۴۹۰     | ۰/۰۰۶۰             | ۰/۰۰۵۰      | Soesianawati, 1986, n3                | ۰/۰۱۵۴     | ۰/۰۰۴۰             | ۰/۰۰۳۸      |                                       |             |
| Matamoros, 1999, C10-10N      | ۰/۰۵۱۸     | ۰/۰۰۶۰             | ۰/۰۰۵۰      | Soesianawati, 1986, n4                | ۰/۰۱۸۲     | ۰/۰۰۴۰             | ۰/۰۰۴۰      |                                       |             |
| Matamoros, 1999, C10-10S      | ۰/۰۵۳۱     | ۰/۰۰۶۰             | ۰/۰۰۵۰      | Galeota, 1996, BB4                    | ۰/۰۴۵۳     | ۰/۰۰۴۰             | ۰/۰۰۳۰      |                                       |             |
| Kanda, 1988, 85STC-1          | ۰/۰۳۹۹     | ۰/۰۰۵۹             | ۰/۰۰۵۱      | Galeota, 1996, BB4B                   | ۰/۰۲۱۲     | ۰/۰۰۴۰             | ۰/۰۰۳۰      |                                       |             |
| Xiao, 1998, HC4-8L16-T10-0.2P | ۰/۰۴۰۹     | ۰/۰۰۵۰             | ۰/۰۱۴۸      | Galeota, 1996, CB3                    | ۰/۰۳۹۵     | ۰/۰۰۴۰             | ۰/۰۱۳۳      |                                       |             |
| Tanaka, 1990, n2              | ۰/۰۴۹۱     | ۰/۰۰۵۰             | ۰/۰۱۴۷      | Xiao, 2002, FHC4-0.33                 | ۰/۰۲۳۴     | ۰/۰۰۳۸             | ۰/۰۱۳۰      |                                       |             |
| Tanaka, 1990, n4              | ۰/۰۴۴۵     | ۰/۰۰۵۰             | ۰/۰۱۴۷      | Xiao, 2002, FHC2-0.34                 | ۰/۰۱۴۴     | ۰/۰۰۳۷             | ۰/۰۱۲۹      |                                       |             |
| Xiao, 2002, FHC6-0.2          | ۰/۰۳۲۴     | ۰/۰۰۵۰             | ۰/۰۰۴۰      | Matamoros, 1999, C5-40N               | ۰/۰۳۳۵     | ۰/۰۰۳۴             | ۰/۰۰۲۴      |                                       |             |
| Galeota, 1996, CB1            | ۰/۰۲۷۵     | ۰/۰۰۵۰             | ۰/۰۱۴۷      | Matamoros, 1999, C5-40S               | ۰/۰۳۳۱     | ۰/۰۰۳۴             | ۰/۰۰۲۴      |                                       |             |
| Galeota, 1996, CB2            | ۰/۰۲۷۹     | ۰/۰۰۵۰             | ۰/۰۱۴۷      | Muguruma, 1989, AL-1                  | ۰/۰۴۶۰     | ۰/۰۰۳۰             | ۰/۰۰۲۰      |                                       |             |
| Matamoros, 1999, C10-20N      | ۰/۰۳۲۴     | ۰/۰۰۴۹             | ۰/۰۰۳۹      | Muguruma, 1989, AH-1                  | ۰/۰۶۵۷     | ۰/۰۰۲۹             | ۰/۱۲۰       |                                       |             |
| Matamoros, 1999, C10-20S      | ۰/۰۵۲۹     | ۰/۰۰۴۹             | ۰/۰۰۳۹      | Watson, 1989, n6                      | ۰/۰۱۲۴     | ۰/۰۰۳۰             | ۰/۰۰۲۹      |                                       |             |
| Zahn, 1986, n7                | ۰/۰۴۱۳     | ۰/۰۰۴۸             | ۰/۰۰۳۸      |                                       |            |                    |             |                                       |             |

فواصل میان آرماتورهای طولی و عرضی وابسته است. در حقیقت، در اینجا دو ضریب اثر به صورت مجزا موجود است، یکی به علت اثر کمائی بین میلگردهای طولی و دیگری وابسته به ارتفاع میلگردهای عرضی در ستون‌های مربعی شکل است. بنابراین، ضریب اثر هندسه ستون محصول دو ضریب است:

$$K_{,section} = 1 - \frac{\sum w_i^2}{6D_x D_y} \quad \text{و} \quad k_{,height} = \left(1 - \frac{s'}{2d_c}\right)^2$$

در این تحقیق، از این شاخص محصورشدگی، به عنوان عاملی تعیین‌کننده برای پیش‌بینی عامل‌های  $a$  و  $b$  برای ستون‌های مورد بررسی استفاده شد. به نظر می‌رسد که این شاخص برآورد مناسب‌تری از سطح محصورشدگی را می‌دهد، به دلیل اینکه (به جای عامل  $\rho$  که در نسخه‌ی بازنگری شده -ASCE41-06 استفاده شده بود) این شاخص اثر مقاومت تسلیم آرماتور عرضی و نحوه چینش و آرایش آرماتورهای طولی و عرضی را نیز در خود می‌بیند و محاسبه می‌نماید. همان‌طور که در شکل (۶) دیده می‌شود، ارتباط دو عامل تعیین‌کننده‌ی  $\rho$  و  $\left(\frac{f_{le}}{f_{co}}\right)$  با مقادیر اندازه‌گیری شده از عامل  $a$  بر اساس سطح بار محوری اعمال شده در آزمایش ستون‌های مورد بررسی، به ۳ گروه تقسیم‌بندی شده و با هم مقایسه شده‌اند. شکل (۶) به وضوح

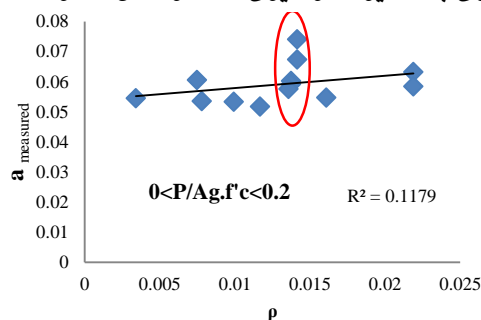
## ۲- شاخص تعیین‌کننده پیشنهادی برای ستون‌های با حالت خرابی خمشی (حالت i)

همان‌طور که گفته شد، به نظر می‌رسد که عامل  $\rho = \frac{A_v}{b_w s}$  (که برای تعیین مقادیر عامل‌های  $a$  و  $b$  از رفتار جانبی ستون‌های مربعی شکل در نسخه‌ی بازنگری شده ASCE41-06 به کار رفته است) قادر به پیش‌بینی مناسبی از میزان محصورشدگی (که عامل اساسی در پیش‌بینی رفتار ستون‌های کنترل شده توسط خمش می‌باشد) ستون‌های بتن آرمه نیست. به همین دلیل و برای بدست آوردن یک اندازه‌گیری بهتر از میزان محصورشدگی موجود در ستون‌های مربعی، شاخص محصورشدگی زیر به کار رفت:

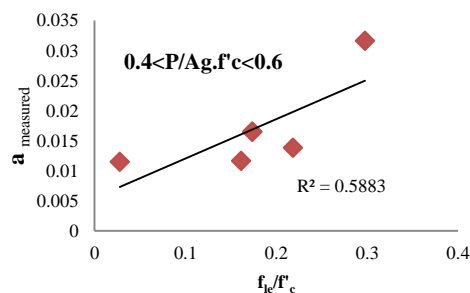
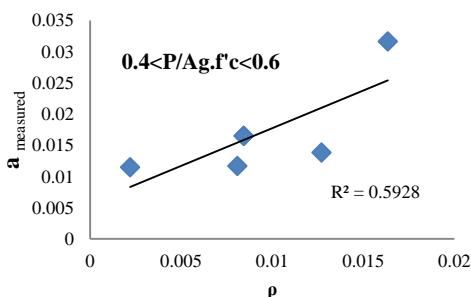
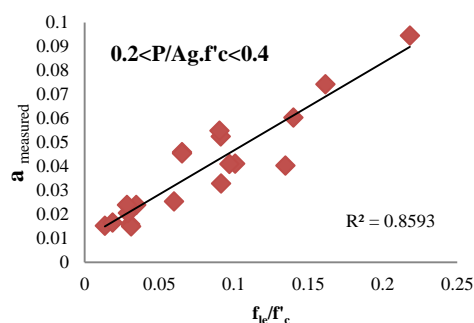
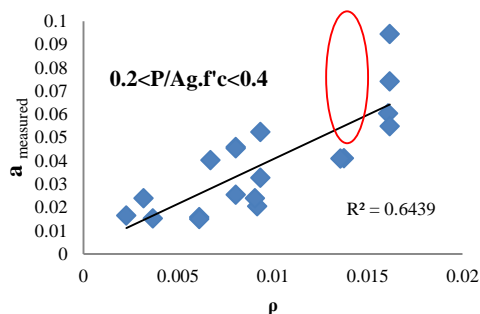
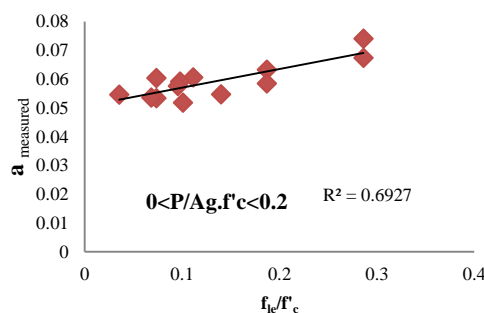
$$\frac{f_{le}}{f_{co}} = K_e \frac{\rho \cdot f_{yh}}{2f_{co}} \quad (2)$$

$K_e$ ، به عنوان ضریب اثر هندسی توسط شیخ و اوزومری در سال ۱۹۸۲، مندر و دیگران در سال ۱۹۸۸ و EC8 (آیین‌نامه اروپا) در سال ۱۹۹۸ معرفی و استفاده شده است و بیانگر نسبت بین سطح موثر محصورشده به سطح مقطع کل ستون است. این ضریب، اثر هندسه‌ی آرماتورهای طولی و عرضی را در محصورشدگی بتن نشان می‌دهد و به شکل مقطع، آرایش و

جدول شماره (۲) دید. تنها تفاوت میان این دو نمونه، در مقادیر مقاومت تسلیم آرماتورهای عرضی است که به ترتیب برای نمونه‌های AL-1 و AH-1 برابر  $۳۲۸/۴$  و  $۷۹۲/۴$  مگاپاسکال است. این مطلب روشن است که اگرچه نسبت حجمی  $\rho$  برای این دو نمونه یکسان است (و در نتیجه با استفاده از نسخه ی بازنگری شده ASCE41-06 برای عامل  $a$  مقدار یکسانی بدست خواهد آمد) اما ظرفیت جابجایی متفاوتی برای این نمونه‌ها در طول آزمایش ثبت شده است. این در حالی است که از مقایسه نقاط داده‌های شکل (۶-ب) در مقایسه با (۶-الف) مشخص است که شاخص محصورشدگی پیشنهادی توانسته به درستی تغییر مقادیر عامل  $a$  را برای این دو نمونه پیش‌بینی نماید. در شکل (۶) به وضوح دیده می‌شود که شاخص پیشنهادی رابطه خطی دقیق‌تری با مقادیر اندازه‌گیری شده از عامل  $a$  دارد.



نشان می‌دهد که مقادیر آزمایشگاهی بدست آمده از عامل  $a$  ارتباط بسیار قوی‌تری را با شاخص پیشنهادی  $(\frac{f_{le}}{f_{co}})$  نسبت به نسبت حجمی محصورکننده ( $\rho$ ) دارد. همچنین در این شکل به طور ویژه با بررسی تعدادی از نمونه‌ها که دارای آرماتورهای عرضی با حجم یکسانی هستند اما به دلیل تفاوت در مقدار مقاومت تسلیم آنها یا تفاوت در نحوه آرایش میلگردهای آنها در آزمایش، به مقادیر متفاوتی از عامل  $a$  دست یافته‌اند، ضعف شاخص محصورشدگی به کاررفته در آیین‌نامه‌های موجود نشان داده شده است. نقاط مربوط به داده‌های این نمونه‌ها در شکل (۶-الف) با بیضی محاط شده‌اند. به‌عنوان مثال، اثر مثبت این شاخص را می‌توان با مقایسه دو ستون مشابه آزمایش شده به وسیله موگوراما در سال ۱۹۸۹ در



(الف)

(ب)

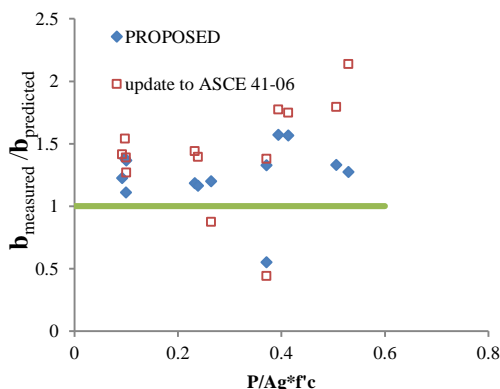
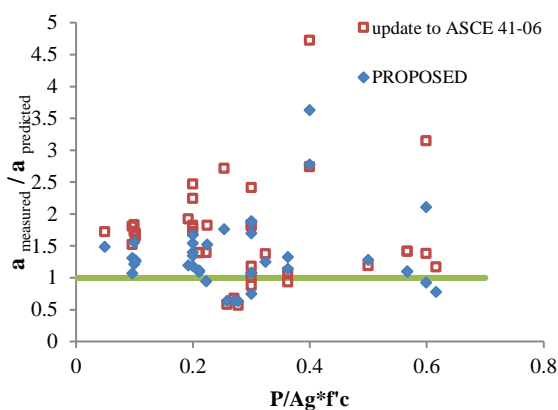
شکل (۶): مقایسه ارتباط بین مقادیر اندازه‌گیری شده از پارامتر  $a$  با (الف) نسبت حجمی محصورشدگی (پارامتر تعیین‌کننده در نسخه ی بازنگری شده ASCE41-06 [۲]) و (ب) شاخص موثر محصورشدگی (پارامتر تعیین‌کننده پیشنهادی)

### ۳- جدول پیشنهادی جایگزین برای آیین‌نامه ASCE-4106 برای تعیین عامل‌های $a$ و $b$

### در این تحقیق، شاخص محصورشدگی پیشنهادی به عنوان

استفاده از جدول پیشنهاد شده (جدول ۲) با مقادیر پیش‌بینی شده به وسیله نسخه‌ی بازنگری شده ASCE41-06 و نیز مقادیر حاصل از آزمایش‌ها در جدول (۴) مقایسه شده‌اند. همچنین، نسبت مقادیر بدست آمده آزمایشگاهی به مقادیر پیش‌بینی آنها به وسیله جدول پیشنهادی و نیز جدول مندرج در نسخه‌ی بازنگری شده ASCE41-06 برای عامل a (برای ۳۸ نمونه) و عامل b (برای ۱۳ نمونه) در شکل (۷) نشان داده شده است. همانطور که در شکل (۷) و جدول‌های (۳) و (۴) دیده می‌شود، جدول پیشنهادی (جدول ۲) در مقایسه با جدول نسخه‌ی بازنگری شده ASCE41-06، برآورد بسیار بهتری از مقادیر حاصل از آزمایش ارائه نموده است.

همچنین در جدول (۳) دیده می‌شود که بیش‌ترین نسبت مقدار اندازه‌گیری شده به مقدار پیش‌بینی شده توسط فیما ۳۵۶ برابر با ۲۳ و در نسخه‌ی بازنگری شده ASCE41-06 برای عامل a برابر با ۴/۷ است. در حالی‌که این نسبت برای جدول پیشنهادی ۲/۶ است، که این نشان‌دهنده‌ی کمتر بودن بیشینه خطای پیش‌بینی ظرفیت جابجایی ستون‌های مربعی شکل با حالت خرابی خمشی، در صورت استفاده از جدول پیشنهادی است.



شکل (۷): نسبت مقادیر پیش‌بینی شده از عامل a و b به مقادیر پیش‌بینی شده‌ی آنها توسط نسخه‌ی بازنگری شده ASCE41-06 [۲] و جدول پیشنهادی برای ستون‌های مورد مطالعه

عاملی تعیین‌کننده برای پیش‌بینی مقادیر ظرفیت جابجایی برای ستون‌های مربعی مورد مطالعه با حالت خرابی خمشی به کار گرفته شد. همانطور که در شکل (۶) نشان داده شده است، این شاخص، قابلیت مناسبی برای پیش‌بینی اثرات متغیرهای مختلف بر روی مقادیر عامل a از ستون‌های مورد مطالعه دارد. بنابراین، مقادیر عامل a از ۳۸ نمونه اشاره شده و همچنین مقادیر اندازه‌گیری شده عامل b از ۱۳ نمونه، مورد بررسی قرار گرفتند و مقادیر شاخص محصورشدگی پیشنهادی آنها محاسبه شده و بر اساس تغییرات مقادیر آن با مقادیر حاصل از آزمایش برای عامل‌های a و b و با طبقه‌بندی نمونه‌ها بر مبنای سطح بار محوری اعمالی، جدول (۲) تعیین شد. این جدول را می‌توان به-عنوان جایگزینی برای جدول‌های آیین‌نامه‌های موجود (که از عامل نسبت حجمی استفاده می‌نماید) برای برآورد مقادیر عامل‌های a و b به شمار آورد. مقادیر پیشنهاد شده در جدول (۲) بهترین انطباق را با داده‌های آزمایشگاهی برای ستون‌های مورد بررسی دارند. گفتنی است که مقادیر a و b ارائه شده در جدول زیر به نحوی تعیین شدند که علاوه بر پیش‌بینی دقیق از مقادیر حاصل از آزمایش، برای عامل a، احتمال گذر مقادیر پیش‌بینی شده نسبت به مقادیر بدست آمده آنها از آزمایش کمتر از ۲۰ درصد و برای عامل b، این احتمال کمتر از ۱۰ درصد باشد. احتمال گذر کمتر در نظر گرفته شده برای عامل b به دلیل ماهیت فاجعه بار از دست رفتن باربری ثقیلی است.

جدول (۲): جدول پیشنهادی برای پیش‌بینی عامل‌های نمونه-سازي "a" و "b"

| $\frac{P}{A_g f_c}$ | $\frac{f_{le}}{f_{co}}$ | a     | b     |
|---------------------|-------------------------|-------|-------|
| $\leq 0.1$          | $\geq 0.15$             | 0.059 | 0.075 |
| $\geq 0.5$          | $\geq 0.15$             | 0.115 | 0.03  |
| $\leq 0.1$          | $\leq 0.05$             | 0.035 | 0.04  |
| $\geq 0.5$          | $\leq 0.05$             | 0.009 | 0.02  |

#### ۴- مقایسه جدول پیشنهادی با جدول نسخه‌ی

##### بازنگری شده ASCE41-06:

جدول پیشنهاد شده در بالا، برای پیش‌بینی مقادیر عامل a از ۳۸ نمونه، مورد مطالعه قرار گرفت. این مقادیر پیشنهادی برای عامل a و همچنین مقادیر حاصل از نتایج آزمایش، در جدول (۳) خلاصه شده و با یکدیگر مقایسه شده‌اند. همچنین کار مشابهی با استفاده از جداول ارائه شده در نسخه‌ی بازنگری شده ASCE41-06 انجام شده است. به طور مشابه مقادیر پیش‌بینی شده از عامل b در ۱۳ نمونه ستون آزمایشگاهی (که جابجایی نظیر از دست رفتن باربری ثقیلی را گزارش کرده بودند) با



## ۸\_ نتیجه گیری

مقایسه با، شاخص نسبت حجمی محصورکننده (یعنی عامل تعیین کننده در نسخه‌ی بازنگری شده ASCE41-06) در تعداد زیادی از ستون‌های مورد مطالعه دیده شد. به ترتیب از نتایج ۳۸ و ۱۳ عدد نمونه ستون بزرگ مقیاس مربعی برای بدست آوردن عامل‌های  $a$  و  $b$  استفاده شد. مقایسه‌ی میان مقادیر بدست آمده از آزمایش با نتایج حاصل از شاخص محصورشدگی پیشنهادی نشان می‌دهد که علاوه بر حفظ سطح محافظه کاری مورد نظر آیین‌نامه بازنگری شده‌ی ASCE41-06 در شاخص پیشنهادی، جواب‌ها دقت بالاتری دارند. در پایان جدولی برای پیش‌بینی مقادیر این دو عامل بر مبنای شاخص محصورشدگی پیشنهادی و سطح بار محوری آورده شده است که نشان‌دهنده بیش‌ترین دقت برای پیش‌بینی عامل‌های  $a$  و  $b$  نسبت به جدول مشابه آن در فیما ۳۵۶ و نسخه‌ی بازنگری شده ASCE41-06 است.

رفتار غیرخطی نیروی جانبی - جابجایی ستون‌های بتن آرمه، توسط دو عامل که در آیین‌نامه‌های بهسازی،  $a$  و  $b$  نامیده می‌شوند تعریف شده است. طبق تعریف، این دو عامل عبارتند از مقادیر جابجایی جانبی که در آنها به ترتیب ظرفیت جانبی و ظرفیت ثقلی ستون‌ها از دست می‌رود. مقادیر پیشنهادی در آیین‌نامه‌های موجود برای این عامل‌ها و برای ستون‌هایی که دارای حالت خرابی به صورت خمشی هستند به نسبت حجمی محصورشدگی در آنها وابسته است. در این مقاله یک شاخص محصورشدگی قوی‌تر که مقاومت تسلیم آرماتورهای عرضی و نیز نحوه آرایش میلگرد‌های طولی و عرضی را نیز در خود می‌بیند، پیشنهاد شده است. ارتباطی مناسب بین مقادیر حاصل از آزمایش‌ها برای عامل  $a$  با شاخص محصورشدگی پیشنهادی در

## ۹\_ مراجع

- [۱] Elwood, K. J. et al. (2009), Update to ASCE/SEI 41 Concrete Provisions., Peer report.
- [۲] Sheikh, S. A. and Uzumeri, S. M. (1982). Analytical Model For Concrete Confinement In Tied Columns., ASCE Journal Of Structural Engineering 108:5, 2703-2723.
- [۳] Mander, B. J., Priestley J. N. M. And Park R. (1988). Theoretical Stress-Strain Model For Confined Concrete., ASCE Journal Of Structural Engineering, 144:8, 1804-1826.
- [۴] Eurocode 8 (1995), Design Provisions for Earthquake Resistance of Structures., commission of the European communities.
- [۵] Muguruma, H., Watanabe, F., and Komuro, T.,(1989). Applicability of High Strength Concrete to Reinforced Concrete Ductile Column., Transactions of the Japan Concrete Institute, 11, 309-316.
- [۶] FEMA 273, (1997), NEHRP guidelines for the Seismic rehabilitation of buildings, Federal emergency management agency.
- [۷] FEMA 356, (2000), Prestandard and commentary for the Seismic rehabilitation of buildings, Federal emergency management agency.
- [۸] ASCE/SEI 41-06, (2007), Seismic rehabilitation of existing buildings., American Society of Civil Engineers.

## ۱۰\_ نشانه ها

P: بار محوری اعمال شده

$A_g$ : مساحت مقطع کل ستون

d: عمق مقطع کل ستون

$V_p$ : مقاومت برشی طلب نظیر ظرفیت خمشی مفصل پلاستیک

$A_v$ : مساحت آرماتورهای عرضی

$f_{co}$ : مقاومت بتن محصورنشده

V: نیروی جانبی اعمال شده

$b_w$ : عرض مقطع ستون

$f'_c$ : مقاومت فشاری بتن

$V_n$ : ظرفیت برشی اسمی مقطع

S: فاصله‌ی مابین آرماتورهای عرضی

$K_e$ : ضریب تاثیر هندسی

فشار جانبی موثر ناشی از محصور شدگی در نقطه تنش ماکزیمم بتن محصور شده :  $f_{le}$

جدول (۳): مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده از عامل "a" برای نمونه‌های مورد مطالعه

| نام نمونه                   | $\frac{P}{A_g F_c}$ | $\frac{A_v}{b_w S}$ | $\frac{f_{le}}{f_{co}}$ | FEMA356    | Update to ASCE 41-06 | FEMA356     | Update to ASCE 41-06 | PROPOSED    | FEMA356                            | Update to ASCE 41-06               | PROPOSED                           |
|-----------------------------|---------------------|---------------------|-------------------------|------------|----------------------|-------------|----------------------|-------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
|                             |                     |                     |                         | a measured | a measured           | a predicted | a predicted          | a predicted | $\frac{a(measured)}{a(predicted)}$ | $\frac{a(measured)}{a(predicted)}$ | $\frac{a(measured)}{a(predicted)}$ |
| Matamoros,1999,C10-05S      | ۰/۰۴۹۵              | ۰/۰۱۳۷              | ۰/۰۷۳۵                  | ۰/۰۵۳۲     | ۰/۰۶۰۳               | ۰/۰۰۵۰      | ۰/۰۳۵۰               | ۰/۰۴۰۶      | ۱۰/۶۳۴۱                            | ۱/۷۲۳۹                             | ۱/۴۸۴۹                             |
| Xiao,1998,HC4-8L16-T10-0.1P | ۰/۰۹۶۲              | ۰/۰۲۱۹              | ۰/۱۸۷۰                  | ۰/۰۴۴۰     | ۰/۰۶۳۳               | ۰/۰۱۶۰      | ۰/۰۳۵۰               | ۰/۰۵۹۰      | ۲/۷۴۷۳                             | ۱/۸۰۸۸                             | ۱/۰۷۳۰                             |
| Xiao,1998,HC4-8L16-T6-0.1P  | ۰/۰۹۶۲              | ۰/۰۰۹۹              | ۰/۰۷۳۵                  | ۰/۰۳۲۹     | ۰/۰۵۳۴               | ۰/۰۰۵۰      | ۰/۰۳۵۰               | ۰/۰۴۰۶      | ۶/۵۸۱۵                             | ۱/۵۲۴۶                             | ۱/۳۱۲۹                             |
| Soesianawati,1986,n1        | ۰/۱۰۰۰              | ۰/۰۰۳۴              | ۰/۰۳۷۵                  | ۰/۰۴۵۲     | ۰/۰۵۴۶               | ۰/۰۰۵۰      | ۰/۰۲۹۸               | ۰/۰۳۵۰      | ۹/۰۴۹۰                             | ۱/۸۳۱۴                             | ۱/۵۵۸۸                             |
| Tanaka,1990,n6              | ۰/۱۰۰۰              | ۰/۰۰۷۵              | ۰/۱۱۱۳                  | ۰/۰۴۹۰     | ۰/۰۶۰۶               | ۰/۰۱۶۰      | ۰/۰۳۵۰               | ۰/۰۴۹۷      | ۳/۰۶۰۸                             | ۱/۷۳۰۹                             | ۱/۲۱۸۴                             |
| Matamoros,1999,C10-10N      | ۰/۱۰۲۰              | ۰/۰۱۳۷              | ۰/۰۹۸۰                  | ۰/۰۵۱۸     | ۰/۰۵۹۲               | ۰/۰۰۵۰      | ۰/۰۳۴۹               | ۰/۰۴۶۳      | ۱۰/۳۹۴۱                            | ۱/۶۹۶۴                             | ۱/۲۷۷۷                             |
| Matamoros,1999,C10-10S      | ۰/۱۰۲۰              | ۰/۰۱۳۶              | ۰/۰۹۵۷                  | ۰/۰۵۳۱     | ۰/۰۵۷۶               | ۰/۰۰۵۰      | ۰/۰۳۴۹               | ۰/۰۴۵۸      | ۱۰/۶۵۵۹                            | ۱/۶۵۱۲                             | ۱/۲۵۸۶                             |
| Kanda,1988,85STC-1          | ۰/۱۰۵۵              | ۰/۰۰۳۸              | ۰/۰۳۷۳                  | ۰/۰۳۹۹     |                      | ۰/۰۰۴۹      | ۰/۰۳۰۳               | ۰/۰۳۴۶      | ۸/۰۶۲۶                             |                                    |                                    |
| Xiao,1998,HC4-8L16-T10-0.2P | ۰/۱۹۲۵              | ۰/۰۲۱۹              | ۰/۱۸۷۰                  | ۰/۰۴۰۹     | ۰/۰۵۸۵               | ۰/۰۱۴۸      | ۰/۰۳۰۴               | ۰/۰۴۸۸      | ۲/۷۷۱۷                             | ۱/۹۲۵۲                             | ۱/۱۹۷۷                             |
| Tanaka,1990,n2              | ۰/۲۰۰۰              | ۰/۰۱۴۱              | ۰/۲۸۶۴                  | ۰/۰۴۹۱     | ۰/۰۷۴۱               | ۰/۰۱۴۷      | ۰/۰۳۰۰               | ۰/۰۴۸۰      | ۳/۳۴۹۷                             | ۲/۴۶۹۶                             | ۱/۵۴۳۴                             |
| Tanaka,1990,n4              | ۰/۲۰۰۰              | ۰/۰۱۴۱              | ۰/۲۸۶۴                  | ۰/۰۴۴۵     | ۰/۰۶۷۴               | ۰/۰۱۴۷      | ۰/۰۳۰۰               | ۰/۰۴۸۰      | ۳/۰۳۵۱                             | ۲/۴۴۶۰                             | ۱/۴۰۳۷                             |
| Xiao,2002,FHC1-0.2          | ۰/۲۰۰۰              | ۰/۰۱۱۷              | ۰/۱۰۱۰                  |            | ۰/۰۵۱۸               |             | ۰/۰۳۰۰               | ۰/۰۳۸۴      |                                    | ۱/۷۲۶۷                             | ۱/۳۴۷۶                             |
| Xiao,2002,FHC6-0.2          | ۰/۲۰۰۰              | ۰/۰۰۷۸              | ۰/۰۶۸۳                  | ۰/۰۳۲۴     | ۰/۰۵۳۶               | ۰/۰۱۴۷      | ۰/۰۳۰۰               | ۰/۰۳۲۱      | ۲/۲۰۹۷                             | ۱/۷۸۷۴                             | ۱/۶۷۲۳                             |
| Galeota,1996,CB1            | ۰/۲۰۰۰              | ۰/۰۱۶۱              | ۰/۱۴۰۱                  | ۰/۰۲۷۵     | ۰/۰۵۴۷               | ۰/۰۱۴۷      | ۰/۰۳۰۰               | ۰/۰۴۶۱      | ۱/۸۷۳۹                             | ۱/۸۲۴۶                             | ۱/۱۸۸۳                             |
| Galeota,1996,CB2            | ۰/۲۰۰۰              | ۰/۰۱۶۱              | ۰/۱۴۰۱                  | ۰/۰۲۷۹     |                      | ۰/۰۱۴۷      | ۰/۰۳۰۰               | ۰/۰۴۶۱      | ۱/۸۹۹۲                             |                                    |                                    |
| Matamoros,1999,C10-20N      | ۰/۲۱۰۸              | ۰/۰۱۳۷              | ۰/۱۰۰۸                  | ۰/۰۳۲۴     | ۰/۰۴۱۱               | ۰/۰۰۳۹      | ۰/۰۲۹۵               | ۰/۰۳۷۵      | ۸/۳۲۷۴                             | ۱/۳۹۶۲                             | ۱/۰۹۷۹                             |
| Matamoros,1999,C10-20S      | ۰/۲۱۰۸              | ۰/۰۱۳۶              | ۰/۰۹۷۰                  | ۰/۰۵۲۹     | ۰/۰۴۱۰               | ۰/۰۰۳۹      | ۰/۰۲۹۵               | ۰/۰۳۶۷      | ۱۳/۵۸۴۱                            | ۱/۳۹۰۱                             | ۱/۱۱۴۹                             |
| Zahn,1986,n7                | ۰/۲۲۳۱              | ۰/۰۰۶۷              | ۰/۱۳۴۶                  | ۰/۰۴۱۳     | ۰/۰۴۰۲               | ۰/۰۱۴۴      | ۰/۰۲۸۸               | ۰/۰۴۲۶      | ۲/۸۷۶۸                             | ۱/۳۹۵۳                             | ۰/۹۴۴۴                             |
| Xiao,2002,FHC3-0.22         | ۰/۲۲۴۷              | ۰/۰۰۹۳              | ۰/۰۹۱۲                  | ۰/۰۳۲۶     | ۰/۰۵۲۴               | ۰/۰۱۴۳      | ۰/۰۲۸۸               | ۰/۰۳۴۵      | ۲/۲۷۶۱                             | ۱/۸۲۲۲                             | ۱/۵۲۰۳                             |
| Muguruma,1989,BH-1          | ۰/۲۵۳۹              | ۰/۰۱۶۲              | ۰/۱۶۱۵                  | ۰/۰۵۸۹     | ۰/۰۷۴۲               | ۰/۰۱۳۹      | ۰/۰۲۷۳               | ۰/۰۴۲۱      | ۴/۲۲۲۸                             | ۲/۷۱۵۶                             | ۱/۷۱۲۴                             |
| Atalay,1975,n9              | ۰/۲۵۸۶              | ۰/۰۰۶۱              | ۰/۰۳۰۴                  | ۰/۰۱۹۲     | ۰/۰۱۵۸               | ۰/۰۱۳۹      | ۰/۰۲۷۱               | ۰/۰۲۴۷      | ۱/۳۸۴۹                             | ۰/۵۸۴۷                             | ۰/۶۴۱۰                             |
| Atalay,1975,n12             | ۰/۲۷۰۸              | ۰/۰۰۳۷              | ۰/۰۱۳۴                  |            | ۰/۰۱۵۲               |             | ۰/۰۲۲۴               | ۰/۰۲۳۹      |                                    | ۰/۶۸۰۴                             | ۰/۶۳۷۱                             |
| Atalay,1975,n11             | ۰/۲۷۷۸              | ۰/۰۰۶۱              | ۰/۰۳۱۰                  | ۰/۰۱۶۹     | ۰/۰۱۴۹               | ۰/۰۱۳۶      | ۰/۰۲۶۱               | ۰/۰۲۳۴      | ۱/۲۴۰۶                             | ۰/۵۷۰۱                             | ۰/۶۳۴۹                             |
| Soesianawati,1986,n3        | ۰/۳۰۰۰              | ۰/۰۰۳۲              | ۰/۰۳۴۵                  | ۰/۰۱۵۴     | ۰/۰۲۳۸               | ۰/۰۰۳۴      | ۰/۰۲۰۲               | ۰/۰۲۲۰      | ۴/۴۸۶۵                             | ۱/۱۷۹۶                             | ۱/۰۸۲۶                             |
| Soesianawati,1986,n4        | ۰/۳۰۰۰              | ۰/۰۰۲۳              | ۰/۰۱۸۷                  | ۰/۰۱۸۲     | ۰/۰۱۶۴               | ۰/۰۰۳۹      | ۰/۰۱۸۶               | ۰/۰۲۲۰      | ۴/۷۱۰۷                             | ۰/۸۸۲۴                             | ۰/۷۴۷۴                             |
| Galeota,1996.BA2            | ۰/۳۰۰۰              | ۰/۰۰۸۰              | ۰/۰۵۹۹                  |            | ۰/۰۲۵۴               |             | ۰/۰۲۵۰               | ۰/۰۲۳۵      |                                    | ۱/۰۱۴۲                             | ۱/۰۷۹۷                             |

|                      |        |        |        |        |        |        |        |        |         |        |        |
|----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|--------|--------|
| Galeota,1996.BB4     | -.۳۰۰  | -.۰۰۸۰ | -.۰۶۵۳ | -.۰۴۵۳ | -.۰۴۵۹ | -.۰۰۳۰ | -.۰۲۵۰ | -.۰۲۴۳ | ۱۵/۱۱۱  | ۱/۸۳۵۱ | ۱/۸۸۸۲ |
| Galeota,1996.BB4B    | -.۳۰۰  | -.۰۰۸۰ | -.۰۶۵۳ | -.۰۲۱۲ | -.۰۴۵۴ | -.۰۰۳۰ | -.۰۲۵۰ | -.۰۲۴۳ | ۷/۰۷۹۵  | ۱/۸۱۴۰ | ۱/۸۶۶۶ |
| Galeota,1996.CB3     | -.۳۰۰  | -.۰۱۶۱ | -.۱۴۰۱ | -.۰۲۹۵ | -.۰۶۰۴ | -.۰۱۳۳ | -.۰۲۵۰ | -.۰۳۵۵ | ۲/۹۶۳۰  | ۲/۴۱۴۲ | ۱/۶۹۹۷ |
| Xiao,2002,FHC4-0.33  | -.۳۲۴۴ | -.۰۰۹۳ | -.۰۹۱۴ | -.۰۲۳۴ | -.۰۳۲۸ | -.۰۱۳۰ | -.۰۲۳۸ | -.۰۲۶۲ | ۱/۸۰۱۳  | ۱/۳۷۷۶ | ۱/۲۵۱۷ |
| Xiao,2002,FHC2-0.34  | -.۳۳۲۶ | -.۰۱۱۷ | -.۱۰۴۲ | -.۰۱۴۴ |        | -.۰۱۲۹ | -.۰۲۳۴ | -.۰۲۷۲ | ۱/۱۱۵۰  |        |        |
| Matamoros,1999,C5-   | -.۳۶۲۴ | -.۰۰۹۲ | -.۰۲۹۰ | -.۰۲۳۵ | -.۰۲۰۵ | -.۰۰۲۴ | -.۰۲۱۹ | -.۰۱۷۹ | ۱۴/۱۰۳۱ | ۰/۹۳۷۳ | ۱/۱۴۲۹ |
| Matamoros,1999,C5-   | -.۳۶۲۴ | -.۰۰۹۰ | -.۰۲۸۴ | -.۰۲۳۱ | -.۰۲۳۸ | -.۰۰۲۴ | -.۰۲۱۹ | -.۰۱۷۹ | ۱۳/۹۲۸۶ | ۱/۰۸۹۹ | ۱/۳۲۹۰ |
| Muguruma,1989,AL-1   | -.۳۹۹۹ | -.۰۱۶۲ | -.۰۹۰۵ | -.۰۴۶۰ | -.۰۵۴۹ | -.۰۰۲۰ | -.۰۲۰۰ | -.۰۱۹۸ | ۲۲/۹۹۰۳ | ۲/۷۴۳۶ | ۲/۷۷۸۴ |
| Muguruma,1989,AH-1   | -.۳۹۹۹ | -.۰۱۶۲ | -.۲۱۸۲ | -.۰۶۵۷ | -.۰۹۴۵ | -.۰۱۲۰ | -.۰۲۰۰ | -.۰۲۶۰ | ۵/۴۷۲۵  | ۴/۷۲۳۸ | ۳/۶۳۳۳ |
| Watson,1989,n6       | -.۵۰۰۰ | -.۰۰۲۲ | -.۰۳۶۶ | -.۰۲۲۴ | -.۰۱۱۵ | -.۰۰۲۸ | -.۰۰۹۷ | -.۰۰۹۰ | ۴/۴۸۰۲  | ۱/۱۸۹۵ | ۱/۲۸۱۰ |
| Bechtoula,2002,L1D60 | -.۵۶۶۹ | -.۰۰۸۴ | -.۱۷۳۷ | -.۰۱۶۶ | -.۰۱۶۵ | -.۰۰۲۰ | -.۰۱۱۷ | -.۰۱۵۰ | ۸/۳۰۲۹  | ۱/۴۱۹۱ | ۱/۱۰۲۷ |
| Bechtoula,2002,L1N60 | -.۵۶۶۹ | -.۰۰۸۴ | -.۱۷۳۷ | -.۰۱۶۶ | -.۰۱۶۵ | -.۰۰۲۰ | -.۰۱۱۷ | -.۰۱۵۰ | ۸/۳۷۵۴  | ۱/۴۱۹۱ | ۱/۱۰۲۶ |
| Sugano,1996,UC15H    | -.۵۹۹۱ | -.۰۱۲۷ | -.۲۱۸۲ | -.۰۰۹۱ | -.۰۱۳۹ | -.۰۱۲۰ | -.۰۱۰۰ | -.۰۱۵۰ | ۰/۷۶۲۴  | ۱/۳۸۰۲ | ۰/۹۲۴۱ |
| Sugano,1996,UC20H    | -.۵۹۹۱ | -.۰۱۶۳ | -.۲۹۷۶ |        | -.۰۲۱۶ |        | -.۰۱۰۰ | -.۰۱۵۰ |         | ۳/۱۴۹۵ | ۲/۱۰۸۹ |
| Ono,1989,CA060C      | -.۶۱۶۳ | -.۰۰۸۱ | -.۱۶۱۱ | -.۰۰۷۱ | -.۰۱۱۷ | -.۰۰۳۴ | -.۰۱۰۰ | -.۰۱۵۰ | ۲/۹۰۲۶  | ۱/۱۶۹۳ | ۰/۷۷۹۶ |

جدول (۴): مقادیر اندازه گیری شده و پیش بینی شده از عامل "b" برای نمونه‌های مورد مطالعه

| نام نمونه                                     | $\frac{P}{A_g f'_c}$ | $\frac{A_w}{b_w S}$ | $\frac{f_{le}}{f'_{co}}$ | b measured | b predicted | Update to ASCE 41-06 | PROPOSED    | Update to ASCE 41-06               | PROPOSED                           |
|---|----------------------|---------------------|--------------------------|------------|-------------|----------------------|-------------|------------------------------------|------------------------------------|
|   |                      |                     |                          |            |             |                      | b predicted | $\frac{b(measured)}{b(predicted)}$ | $\frac{b(measured)}{b(predicted)}$ |
| Wehbe et al., 1998, B1                        | -.۰۹۲۳               | -.۰۰۳۶              | -.۰۸۲۰                   | -.۰۶۲۷     | -.۰۴۴۳      | -.۰۵۱۲               | -.۰۵۱۲      | ۱/۴۱۴۲                             | ۱/۲۲۳۹                             |
| Wehbe et al., 1998, A1                        | -.۰۹۷۵               | -.۰۰۲۷              | -.۰۵۸۷                   | -.۰۵۹۴     | -.۰۳۸۶      | -.۰۴۳۰               | -.۰۴۳۰      | ۱/۵۳۹۴                             | ۱/۳۸۰۲                             |
| Xiao and Martirosyan, 1998, HC4-8L19-T10.0.1P | -.۰۹۹۷               | -.۰۲۱۹              | -.۲۴۲۳                   | -.۰۸۳۳     | -.۰۶۰۰      | -.۰۷۵۰               | -.۰۷۵۰      | ۱/۳۸۸۱                             | ۱/۱۱۰۵                             |
| Soesianawati et al., 1986, No. 1              | -.۱۰۰۰               | -.۰۰۳۴              | -.۰۳۷۹                   | -.۰۵۴۷     | -.۰۴۳۱      | -.۰۴۰۰               | -.۰۴۰۰      | ۱/۲۶۸۸                             | ۱/۳۶۶۳                             |
| Wehbe et al., 1998, B2                        | -.۲۲۲۴               | -.۰۰۳۶              | -.۰۸۲۰                   | -.۰۴۹۶     | -.۰۳۴۴      | -.۰۴۱۹               | -.۰۴۱۹      | ۱/۴۴۱۳                             | ۱/۱۸۲۳                             |
| Wehbe et al., 1998, A2                        | -.۲۲۸۷               | -.۰۰۲۷              | -.۰۵۸۷                   | -.۰۴۱۱     | -.۰۲۹۵      | -.۰۳۵۳               | -.۰۳۵۳      | ۱/۳۹۳۰                             | ۱/۱۶۳۱                             |
| Paultre & Legeron, 2000, No. 10013025         | -.۲۶۴۱               | -.۰۰۷۶              | -.۰۳۲۷                   | -.۰۳۸۱     | -.۰۴۳۶      | -.۰۳۱۸               | -.۰۳۱۸      | ۰/۸۷۴۹                             | ۱/۱۹۹۵                             |
| Paultre & Legeron, 2000, No. 10013040         | -.۳۷۱۰               | -.۰۰۷۶              | -.۰۳۲۸                   | -.۰۱۴۶     | -.۰۳۲۹      | -.۰۲۶۴               | -.۰۲۶۴      | ۰/۴۴۲۳                             | ۰/۵۰۰۱                             |
| Paultre et al., 2001, No. 1008040             | -.۳۷۱۴               | -.۰۰۸۷              | -.۰۹۲۷                   | -.۰۴۵۳     | -.۰۳۲۹      | -.۰۳۴۱               | -.۰۳۴۱      | ۱/۳۷۸۶                             | ۱/۳۲۶۹                             |
| Paultre & Legeron., 2000, No. 1006040         | -.۳۹۴۱               | -.۰۱۶۴              | -.۱۰۵۷                   | -.۰۵۴۳     | -.۰۳۰۶      | -.۰۳۴۵               | -.۰۳۴۵      | ۱/۷۷۳۴                             | ۱/۵۷۰۲                             |
| Paultre et al., 2001, No. 1206040             | -.۴۱۳۵               | -.۰۱۶۴              | -.۰۹۹۶                   | -.۰۵۰۰     | -.۰۲۸۷      | -.۰۳۲۰               | -.۰۳۲۰      | ۱/۷۴۶۵                             | ۱/۵۶۵۵                             |
| Paultre et al., 2001, No. 1006052             | -.۵۰۶۰               | -.۰۱۶۴              | -.۱۱۱۷                   | -.۰۳۴۸     | -.۰۱۹۴      | -.۰۲۶۲               | -.۰۲۶۲      | ۱/۷۹۳۰                             | ۱/۳۲۹۱                             |
| Paultre et al., 2001, No. 1005552             | -.۵۲۹۸               | -.۰۱۲۷              | -.۱۳۵۶                   | -.۰۳۶۴     | -.۰۱۷۰      | -.۰۲۸۶               | -.۰۲۸۶      | ۲/۱۳۶۰                             | ۱/۲۷۲۹                             |