

تحلیل غیر خطی دیوارهای برشی بتن مسلح تحت بارهای چرخه ای به کمک نرم افزار اجزا محدود

ناهید عسکری زاده^{۱*}، محمدرضا محمدی زاده

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بندرعباس، دانشکده فنی و مهندسی، nahid.askarizadeh@yahoo.com
۲- استادیار، دانشگاه هرمزگان، دانشکده فنی و مهندسی، mrzmohammadizadeh@yahoo.com

M

چکیده

هدف از این تحقیق تحلیل عددی دیوارهای برشی بتن مسلح تحت بارهای چرخه ای و بررسی رفتار این دیوارها می باشد. برای مطالعه عددی کلیه ی شرایط از قبیل: ابعاد و مشخصات مصالح مربوط به چندین تحقیق آزمایشگاهی موجود در ادبیات فنی در نظر گرفته می شود. آنالیزها به کمک نرم افزار اجزا محدود آباکوس انجام و سپس با نتایج آزمایشگاهی کالیبره می شود. در این مطالعه، دیوارها با ساده ترین شکل ممکن مدل سازی می شوند. بار وارده به دیوارها به صورت کنترل جابجایی است و تحلیل از نوع غیر خطی می باشد. در این تحقیق، دیوارهای برشی بتن مسلح تحت بارگذاری های مختلف چرخه ای قرار گرفته و سپس نمودار های بار-جابجایی دیوارهای مذکور ترسیم و مورد بررسی قرار می گیرد. نهایتاً نتایج عددی بدست آمده با نتایج موجود آزمایشگاهی مقایسه می شود. نتایج بدست آمده از تحلیل عددی در اکثر حالات نشان می دهد که روش عددی تطابق بسیار خوبی با نتایج آزمایشگاهی دارد. لذا می توان این روش را در کاربردهای طراحی با اطمینان بالا استفاده نمود.

کلمات کلیدی: آباکوس، اجزا محدود، بارگذاری چرخه ای، تحلیل استاتیکی غیر خطی، دیوار برشی بتن مسلح

۱. مقدمه

دیوارهای برشی بتن مسلح رایج ترین سیستم مقاوم در برابر بارهای جانبی در سازه های بلند مرتبه هستند. این دیوارها نه تنها باید مقاومت کافی را در سازه ایجاد نمایند بلکه باید شکل پذیری کافی به منظور اجتناب از شکست ترد به خصوص تحت بارهای قوی لرزه ای را فراهم آورند [۸]. در سال های اخیر روش های طرح لرزه ای توجه بیشتری بر محدود کردن جابجایی سازه در زلزله دارد. سختی درون صفحه بسیار زیاد این المانها و نقش آنها در باز توزیع نیروها از ستون به دیوار باعث کنترل جابجایی بسیار مناسب در سازه می گردد. با توجه به اینکه بتن یکی از مصالح اساسی دیوار برشی بتن مسلح میباشد، لذا تعریف دقیق رفتار این ماده برای استفاده در تحلیل های عددی از اهمیت بسزایی برخوردار می باشد. بتن ماده ایست که رفتار غیر خطی از خود نشان می دهد و شبیه سازی عددی این ماده با توجه به رفتار غیر خطی با مشکلات عدیده ای همراه است. از دیگر مشکلات موجود در شبیه سازی این ماده، رفتار متفاوت آن در بارگذاری های کششی و فشاری می باشد. به طور کلی این ماده مقاومت بسیار کمتری در تنش های کششی نسبت به تنش های فشاری از خود نشان می دهد. مدل های پلاستیسیته تنها قادر به نشان دادن کرنش های برگشت پذیر و برگشت ناپذیر و محاسبه تنش ها بر اساس آن می باشند و نمی توانند ضعف و نقص ناشی از بارگذاری را مدلسازی نمایند. از طرفی مدل های خرابی تنها خرابی در مصالح را ارزیابی نموده و قادر به نشان دادن خواص خمیری و کرنش های پلاستیک نمی باشند. در مطالعه حاضر از ترکیب مدل پلاستیسیته و مدل های خرابی با نام مدل پلاستیسیته آسیب بتن^۱ برای شبیه سازی رفتار مصالح بتنی استفاده شده است.

^۱ - concrete damage plasticity

۲. تئوری و پیشینه تحقیق

در سال ۲۰۰۲ هیدالگو^۲ و همکاران به بررسی رفتار دیوار برشی بتن مسلح پرداختند. رفتار دیوار برشی بتن مسلح نشان دهنده ی شکست برشی است. در این مطالعه ۲۶ نمونه دیوار برشی با مقیاس کامل در معرض جابه جایی افقی چرخه ای قرار گرفته است. نتایج شامل: مقاومت برشی ترک خوردگی، حداکثر مقاومت برشی و جابجایی های مربوط به یک محدوده فروپاشی برای هر یک از نمونه ها تست شده است [۵]. در سال ۲۰۰۲ یانگ هو^۳ و همکاران به بررسی تاثیر المان های مرزی بر روی ظرفیت تغییر شکل دیوارهای برشی بتن آرمه پرداختند. سازه های دیوار در نظر گرفته شده در این مطالعه دارای سطح مقطع متفاوت و دارای آرماتورهای مختلف در مرزها می باشد. چهار نمونه دیوار برشی بتن آرمه به ارتفاع ۳۰۰، طول ۱۵۰۰ و ضخامت ۲۰۰ میلیمتر انتخاب شده است. سه نمونه دارای مقطع مستطیلی شکل و یک نمونه دارای المان مرزی اصطلاحا ستونی می باشد. در این مطالعه متغیر اصلی برای نمونه های مستطیلی، آرماتور عرضی در محدوده ی المان مرزی دیوار برشی بتن آرمه انتخاب شده است. نمونه های دارای المان مرزی ستونی شکل با دیگر نمونه های دارای مقطع مستطیلی مورد مقایسه قرار گرفته است. نتایج آزمایش نشان داده که ظرفیت تغییر شکل دیوار، نسبت جابجایی، تغییر شکل و ظرفیت اتلاف انرژی تحت تاثیر المان مرزی می باشند [۶]. در سال ۲۰۰۵ گریفنهانگن^۴ و همکاران به بررسی مقاومت و ظرفیت تغییر شکل دیوارهای برشی بتن مسلح که برای زلزله طراحی نشده بودند، پرداخته اند. در این آزمایش چهار نمونه دیوار برشی بتن آرمه در مقیاس یک سوم نسبت به نمونه واقعی مورد بررسی قرار گرفته است که آرماتورهای افقی و نیروی محوری و مقاومت فشاری بتن متغیر است. شکست برشی ترد برای نمونه پیش بینی شده بود ولی مشاهده شد که دیوارهای برشی تقویت شده میتوانند تغییر شکل قابل توجهی داشته باشند که در آن نسبت آرماتورهای افقی تحت تاثیر قرار نگرفته است [۴]. در سال ۲۰۰۷ سو^۵ و همکاران به مطالعه ی آزمایشگاهی بر روی سه نمونه دیوار برشی بتن مسلح که تحت اثر بار محوری و نیروی زلزله قرار گرفته پرداخته اند. نسبت ارتفاع به طول دیوارها چهار در نظر گرفته شده است و تاثیر بار محوری و ظرفیت شکل پذیری و کاهش مقاومت مورد آزمایش قرار گرفته است [۱۳]. در سال ۲۰۱۳ موسورکا^۶ و همکاران به آنالیز شکست دیوارهای برشی با باز شو تحت بارهای لرزه ای پرداخته اند. در این مطالعه باز شوها به صورت شطرنجی قرار گرفته اند. دیوار برشی با باز شو مانند دو دیوار برشی است که با تیرهایی به هم متصل شده است و به گونه ای طراحی میشوند که مفصل پلاستیک در دو انتهای تیر تشکیل شود. تحقیق حاضر نتیجه حاصل از آزمایش های آزمایشگاهی روی مدهای شکست سه نمونه دیوار برشی بتن مسلح با باز شو می باشد. این مطالعات به بررسی کاهش سختی و شکل پذیری و اثر نیروهای لرزه ای بر شکل پذیری و بررسی سازه و تعداد باز شوها پرداخته است [۱۱]. در سال ۲۰۱۰ جلیلی^۷ و همکاران به بررسی رفتار غیر خطی دیوارهای برشی بتن مسلح با استفاده از مدل های ماکروسکوپی و میکروسکوپی پرداخته اند. این مدلها شامل رفتار برشی و خمشی المانهای غیرخطی است. سپس دیوارها در برنامه اجزا محدود مدل سازی شده و نتایج تجربی و تحلیلی برای دیوارهای برشی با یکدیگر مقایسه شده اند. نتایج نشان داد که توافق خوبی بین نتایج عددی با نتایج آزمایشگاهی وجود دارد [۷]. در سال ۲۰۰۹ مارینی^۸ و همکاران در این مطالعه به بررسی یک روش جدید برای مقاوم سازی دیوار های برشی با اجرای ژاکت های لاغر بتنی مسلح پرداختند. ژاکت های

^۲-Hidalgo

^۳-Yong-hun

^۴-Greifenhagen

^۵-R.K.L. Su

^۶-Mosoarca

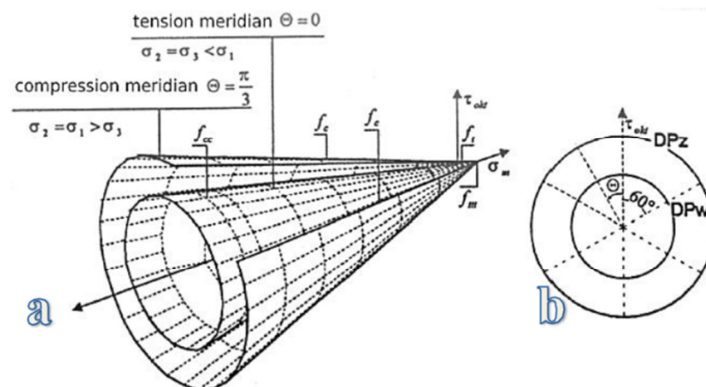
^۷-Jalili

^۸-Marini

تقویتی از بتن با مقاومت بالاتر از 150MP ساخته شده و در داخل بتن آرماتورهایی قرار داده شده است. مطالعات آزمایشگاهی بر روی دیوارهایی با مقیاس یک سوم انجام شده و ضخامت ژاکت ها 150 میلیمتر انتخاب شده است. این دیوارها تحت بارگذاری چرخه ای قرار گرفته و سپس نتایج آزمایشگاهی با نتایج عددی مقایسه شده است. نتایج نشان داد که پیشنهاد استفاده از ژاکت های بتنی باعث افزایش مقاومت، ظرفیت و توانایی شکل پذیری سازه شده است [۱۰]. در سال 2012 مستوفی نژاد^۹ و همکاران تمرکز اصلی را بر روی المانهای مرزی دیوارهای برشی بتن مسلح لاغر با مصالح FRP قرار دادند. دیوارهای برشی تحت بارهای دینامیکی قرار گرفته است. در این تحقیق در مورد المانهای مرزی دیوارهای برشی با کامپوزیت های FRP و تاثیر آن بر رفتار خمشی دیوارهای برشی بتن مسلح لاغر بحث شده است. دو نمونه دیوار تحت آنالیز غیر خطی قرار گرفته است و در این مطالعات مصالح FRP باعث شکل پذیری بهتر دیوارهای برشی شده است [۱۲].

۳. مدل پلاستیسته آسیب بتن

مدل پلاستیسته آسیب بتن، تعمیم یافته ی معیار شکست دراگر-پراگر^{۱۰} می باشد. این معیار یک سطح شکست مخروطی مطابق شکل ۱، دارد و یکی از تئوری های قوی در مدلسازی شکست بتن مسلح می باشد [۹]. این مدل با استفاده از مفاهیم الاستیک آسیب دیده ایزوتروپیک و پلاستیک کششی و فشاری، رفتار غیر خطی بتن را بیان می کند. این مدل قابلیت استفاده در محاسبات استاتیکی و دینامیکی را داراست و شامل فرضیات زیر می باشد: ۱- قابلیت مدلسازی بتن در انواع مختلف سیستم های سازه ای مانند: المان تیر، خرپایی، پوسته و سه بعدی. ۲- قابلیت کاربرد در بتن مسلح و غیر مسلح. ۳- قابلیت استفاده تحت بارگذاری های یکنواخت، نوسانی و دینامیکی. ۴- در نظر گرفتن حساسیت نمونه به نرخ کرنش. ۵- در نظر گرفتن تاثیرات بازیابی سختی الاستیک در بارگذاری های دوره ای. ۶- قابلیت استفاده از ویسکوالاستیک در معادلات اساسی برای رسیدن به همگرایی بهتر در بخش نرم شوندگی.



شکل ۱: سطوح مرزی معیار دراگر-پراگر، (a) شکل کلی، (b) صفحه دوپاتوریک [۹]

۴. رابطه تنش-کرنش برای تعریف بتن در فشار

تنش های فشاری به صورت تابعی از کرنش های غیر الاستیک ϵ_c^{in} قابل تعریف هستند. منحنی تنش-کرنش در ناحیه نرم شوندگی کرنش (بعد از تنش نهایی) قابل تعریف اند. مقادیر سخت شدگی به جای کرنش پلاستیک ϵ_c^{pl} ، به صورت کرنش

^۹ -Mostofinejad

^{۱۰} - Drucker-Pruger

غیر الاستیک^{۱۱} ε_c^{in} داده می شوند. کرنش غیر الاستیک فشاری بصورت تفاضل کرنش الاستیک مربوط به بتن آسیب ندیده از کرنش کل تعریف می شود [۱۶].

$$\varepsilon_c^{in} = \varepsilon_c - \varepsilon_c^{el} \quad (۱)$$

$$\varepsilon_c^{el} = \frac{\sigma_c}{E} \quad (۲)$$

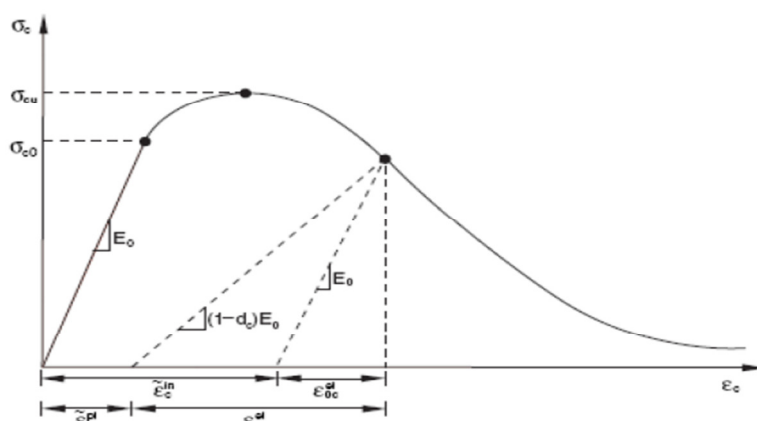
ε_c^{in} : کرنش غیر الاستیک فشاری، ε_c^{el} : کرنش الاستیک بتن آسیب ندیده، ε_c : کرنش کل، E : مدول الاستیسیته اولیه بتن، σ_c : تنش حداکثر فشاری

نرم افزار آباکوس بصورت خودکار با استفاده از رابطه زیر، مقادیر کرنش غیر الاستیک را به مقادیر کرنش پلاستیک تبدیل می کند [۳].

$$\varepsilon_c^{pl} = \varepsilon_c^{in} - \frac{d_c}{(1-d_c)} \frac{\sigma_c}{E} \quad (۳)$$

ε_c^{pl} : کرنش پلاستیک، d_c : پارامتر آسیب بتن در فشار.

نرم افزار آباکوس در صورت منفی بودن مقادیر کرنش پلاستیک و یا کاهش آن با افزایش کرنش غیر الاستیک، پیغام خطا خواهد داد که نشان دهنده نادرست بودن منحنی های آسیب فشاری می باشد. در شکل ۲، نمودار تنش بر حسب کرنش غیر الاستیک نشان داده شده است.



شکل ۲: تعریف کرنش فشاری غیر الاستیک برای بیان سخت شدگی فشاری [۳]

همانطور که در شکل فوق دیده می شود در اثر باربرداری از نمونه در قسمت نرم شوندگی، شیب منحنی باربرداری کمتر از شیب منحنی الاستیک است که نشان دهنده آسیب دیدگی نمونه می باشد. در واقع در منحنی های تنش-کرنش تک محوره، آسیب بتن توسط دو متغیر d_c و d_t مشخص می شود [۳]. این متغیر های آسیب به صورت زیر بیان می شود:

$$E = (1 - d_{t,c}) E \quad (۴)$$

E : مدول الاستیسیته بتن آسیب دیده، d_t : پارامتر آسیب بتن در کشش، d_c : پارامتر آسیب بتن در فشار، E : مدول اولیه (آسیب ندیده) بتن.

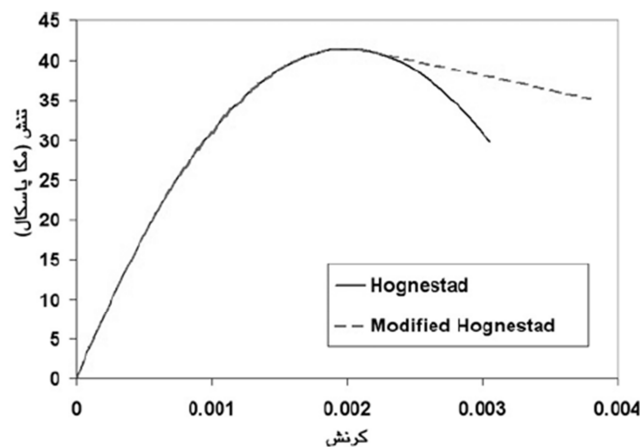
۵. رابطه تنش-کرنش برای تعریف بتن در فشار به کمک منحنی هاگنستاد

^{۱۱} -inelastic strain

در این مطالعه از نرم افزار آنالیز اجزا محدود ABAQUS و مدل پلاسیسته آسیب بتن استفاده شده است. معرفی رابطه ی تنش - کرنش تک محوری بتن در فشار و کشش از پارامترهای مهم در معرفی مدل پلاسیسته آسیب بتن به نرم افزار می باشند. برای معرفی رابطه ی تنش - کرنش فشاری تک محوره بتن به نرم افزار، از رابطه ی هاگنستاد^{۱۲} اصلاح شده در شکل ۳، استفاده شده است. از روابط (۵) و (۶) به منظور معرفی تنش فشاری بتن بر حسب کرنش فشاری به نرم افزار استفاده می گردد. در این روابط ε_c کرنش نظیر تنش حداکثر است. در تحقیق حاضر برای نمونه هایی که اطلاعی از مقدار ε_c آنها در دست نبوده و از مقدار 0.002 استفاده شده است که مقداری منطقی برای بتن های معمولی است [۲]. در رابطه ی (۶) f_c'' تنش حداکثر در عضو بتنی است. ضریب k_s را میتوان برای بتن های با مقاومت فشاری استوانه ای $15, 20, 25, 30$ و مساوی بزرگتر از 35 مگاپاسکال به ترتیب برابر $1, 0.97, 0.95, 0.93, 0.92$ در نظر گرفت. شاخه نزولی منحنی هاگنستاد اصلاح شده به صورت خطی است که از نقطه ی (ε_c, f_c'') تا نقطه ی $(\varepsilon_{ul}, 0.85f_c'')$ امتداد دارد. مقدار ε_{ul} متناظر با کرنش نهایی نظیر شکست فشاری بتن است، که برای انواع بتن از 0.003 تا بالاتر از 0.005 گزارش شده و در این مقاله مقدار آن برابر با 0.0038 در نظر گرفته شده است.

$$f_c = f_c'' \left[\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_c} - \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_c} \right)^2 \right] \quad (5)$$

$$f_c'' = k_s f_c' \quad (6)$$



شکل ۳: منحنی هاگنستاد و هاگنستاد اصلاح شده بتن در فشار [۲]

۶. زاویه ی اتساع^{۱۳}

یکی از پارامترهای مهم در همگرایی، زاویه ی اتساع است که زاویه ی بین تنش انحرافی میسز و فشار هیدرواستاتیک در تنش محصور شدگی بالا می باشد. برای بتن مسلح مقدار این پارامتر بین 20 تا 40 می باشد. هر چه مقدار زاویه اتساع کوچکتر باشد رفتار مصالح ترد و هر چه این زاویه بزرگتر باشد ماده از خود رفتاری مانند مواد شکل پذیر نشان می دهد [۱]. در مطالعه حاضر برای نمونه های به کار رفته مقادیر 36 و 40 در نظر گرفته شده است

۷. معرفی رابطه ی تنش - کرنش بتن در کشش برای استفاده در آباکوس

^{۱۲} -Hognestad

^{۱۳} -Dilation Angle

بطور کلی مشخص کردن رفتار پس از شکست کششی در بتن و بیان تنش های بعد از شکست بصورت تابعی از کرنش ترک خورده ε_t^{ck} می باشد. کرنش ترک خورده^{۱۴} بصورت کرنش کل منهای کرنش الاستیک بتن آسیب ندیده تعریف می شود [۱۶]

$$\varepsilon_t^{ck} = \varepsilon_t - \varepsilon_t^{el} \quad (7)$$

$$\varepsilon_t^{el} = \frac{\sigma_t}{E} \quad (8)$$

ε_t^{ck} : کرنش شکست یا کرنش ترک خورده، ε_t : کرنش کل، ε_t^{el} : کرنش الاستیک بتن آسیب ندیده، σ_t : حداکثر تنش کششی، E : مدول الاستیسیته اولیه بتن.

این برنامه به طور خودکار مقادیر کرنش ترک خورده را به مقادیر کرنش پلاستیک تبدیل می کند [۳].

$$\varepsilon_t^{pl} = \varepsilon_t^{in} - \frac{d_t}{(1-d_t)} \frac{\sigma_t}{E} \quad (9)$$

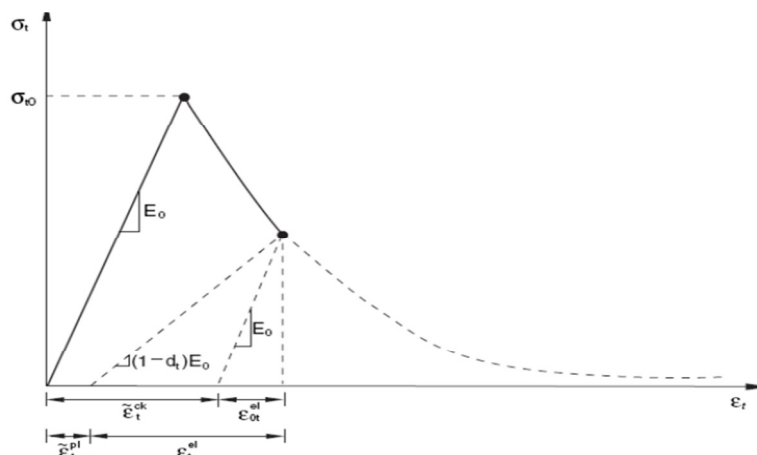
ε_t^{pl} : کرنش پلاستیک، d_t : پارامتر آسیب بتن در کشش.

نرم افزار آباکوس در صورت منفی بودن مقادیر کرنش پلاستیک و یا کاهش آن با افزایش کرنش غیر الاستیک، پیغام خطا خواهد داد که نشان دهنده نادرست بودن منحنی های کششی است و برنامه آباکوس پیغام خطا صادر می کند. اگر نتایج آزمایشگاهی حاصل از آزمایش شکافت استوانه و یا کشش مستقیم در دسترس نباشد، برای بدست آوردن ماکزیمم تنش کششی می توان از رابطه ی زیر استفاده کرد [۹].

$$\sigma_t = 0.3 \sigma_c \quad (10)$$

σ_c : حداکثر تنش فشاری، σ_t : حداکثر تنش کششی.

در شکل ۴، نمودار تنش بر حسب کرنش ترک خورده نشان داده شده است.

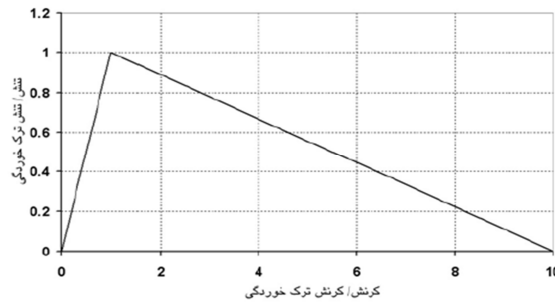


شکل ۴: تعریف کرنش ترک خورده برای بیان سخت شدگی کششی [۳]

۸. معرفی رابطه ی تنش - کرنش بتن در کشش برای استفاده در آباکوس

^{۱۴} -cracking strain

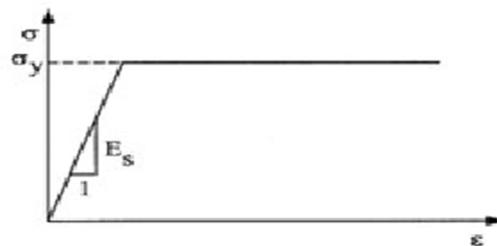
معرفی رابطه ی تنش - کرنش بتن در کشش تنها به اثرات بعد از ترک خوردگی که در واقع معرف اثرات سخت شدگی است، اختصاص دارد. اثر سخت شدگی کششی بیانگر این مطلب است که سختی ماده پس از ترک خوردن ناگهان صفر نمی شود بلکه در اثر درگیری دانه ها و عمل فولادها، ماده قابلیت انتقال بار را از طریق فضای بین ترک ها دارا می باشد. در مدلسازی انجام شده در این مطالعه برای منحنی تنش - کرنش بتن بعد از ترک خوردگی، از رابطه ی توصیه شده توسط دستورالعمل نرم افزار استفاده شده است. این مدل رابطه ی تنش - کرنش بتن بعد از ترک خوردگی را به صورت خطی فرض می نماید که تا کرنش نهایی ۱۰ برابر کرنش ترک خوردگی ادامه دارد. شکل ۵، رابطه ی تنش - کرنش بتن در کشش تک محوره را معرفی می نماید.



شکل ۵: پاسخ بتن در کشش تک محوره توصیه شده در نرم افزار اجزا محدود [۳]

۹. رابطه ی تنش - کرنش آرماتورها

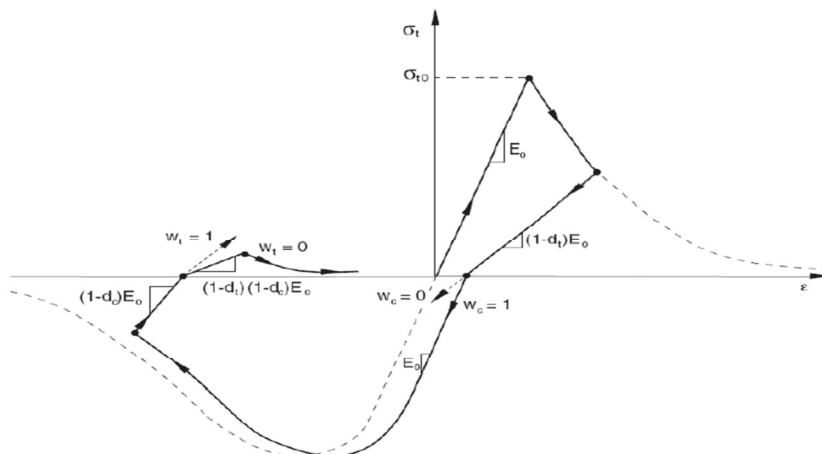
مدل های تنش - کرنش زیادی در برنامه اجزا محدود وجود دارد که در این تحقیق برای مدلسازی آرماتور از مدل دو خطی الاستوپلاستیک مطابق شکل ۶، استفاده شده است. در برنامه آباکوس آرماتورهای طولی و عرضی با المان دوگره‌ای خرپایی T3D2 مدلسازی می شود و فقط قابلیت تحمل نیروی محوری را دارا بوده و به صورت مجزا از بتن عمل می کند. از اثرات لغزش پیوستگی بین بتن و آرماتور نیز صرف نظر می شود.



شکل ۶: مدل الاستیک - پلاستیک کامل فولاد [۳]

۱۰. بازیابی سختی در آباکوس

بازیابی سختی، مبحث مهمی در پاسخ مکانیکی بتن در بارگذاری تناوبی می باشد در برنامه آباکوس کاربر به طور مستقیم می تواند فاکتورهای بازیابی سختی w_t ، w_c را معرفی کند. نتایج آزمایشگاهی در اکثر مواد شبه ترد مانند بتن، حاکی از بهبود سختی فشاری در اثر بسته شدن ترک در حین تغییر بارگذاری از کشش به فشار است. از طرف دیگر سختی کششی با تغییر بارگذاری از فشار به کشش پس از تشکیل میکرو ترک های در حالت خرد شونده بتن، بازیابی نمی شود. این رفتار که مربوط به حالت $w_t=0$ و $w_c=1$ است، پیش فرض برنامه آباکوس می باشد که در شکل زیر نشان داده شده است.



شکل ۷: چرخه بار محوری با فرض مقادیر پیش فرض برای بازایی سختی [۳]

۱.۱. دیوارهای مورد تحلیل

۶ دیوار برشی بتن مسلح با شکل های گوناگون، چیدمان آرماتور گذاری متفاوت؛ و مقاومت مشخصه فشاری بتن و بارگذاری های متفاوت که در آزمایشگاه تحت بارگذاری قرار گرفته اند و با استفاده از نرم افزار آباکوس مدل سازی می شوند. دیوارهای برشی بتن مسلح با نام های SHW_۱، SHW_۲، SHW_۳ و SHW_۴ مربوط به آزمایش تسنیمی^{۱۵} دارای طول ۵۰۰، عرض ۵۰ و ارتفاع ۱۵۰۰ میلیمتر می باشد که تحت بارگذاری چرخه ای از نوع کنترل جابه جایی در فاصله ی یک سوم از بالای دیوار قرار گرفته اند. مقاومت فشاری ۲۸ روزه سیلندری آمریکا برای نمونه های مذکور به ترتیب ۲۱/۶، ۲۱/۶، ۲۲/۴۵ و ۲۳/۴۵ مگاپاسکال می باشد. همچنین برای آرماتورها از میلگردهای با قطر ۳ میلیمتر ($f_y = 216 \text{ MPa}$, $f_u = 317 \text{ MPa}$) و میلگرد با قطر ۶ میلیمتر ($f_y = 276 \text{ MPa}$ و $f_u = 475 \text{ MPa}$) استفاده شده است [۱۴]. دیوارهای برشی بتن مسلح دیگر با نام های RW_۱ و RW_۲ مربوط به کار تحقیقاتی تامسون و همکاران^{۱۶} به منظور بررسی دیوارهای برشی بتن مسلح تحت اثر بار جانبی و بار محوری فشاری به صورت همزمان می باشد. این دیوارها دارای طول ۱۲۱۹، عرض ۱۰۲ و ارتفاع ۳۶۰۰ میلیمتر می باشند. مقاومت فشاری دیوارهای برشی به ترتیب ۳۱/۶ و ۳۴ مگاپاسکال می باشد [۱۵]. مقاومت تسلیم و نهایی آرماتورهای مورد استفاده ($f_y = 420 \text{ MPa}$ و $f_u = 600 \text{ MPa}$) می باشد. مقاطع دیوارهای مورد استفاده در این مطالعه در اشکال ۸ و ۹ نشان داده شده است.

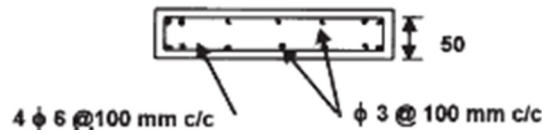
جدول ۱: بار محوری فشاری وارد شده به دیوار تامسون و همکاران

| نام دیوار | RW _۱ | RW _۲ |
|-----------------|-----------------|-----------------|
| بار محوری فشاری | $0.1 A_g f'_c$ | $0.07 A_g f'_c$ |

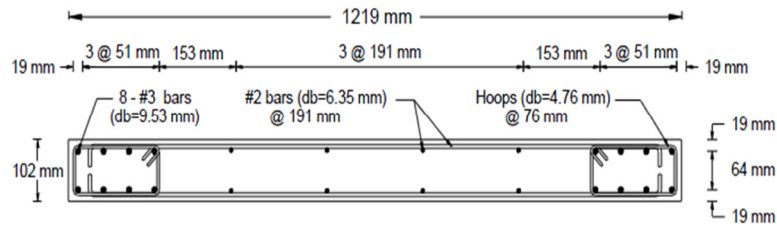
A_g : مساحت سطح مقطع دیوار به میلیمتر، f'_c : مقاومت ۲۸ روزه سیلندری بر حسب مگاپاسکال

^{۱۵} -tasnimi

^{۱۶} -John H. Thomson and JhonW. Wallace



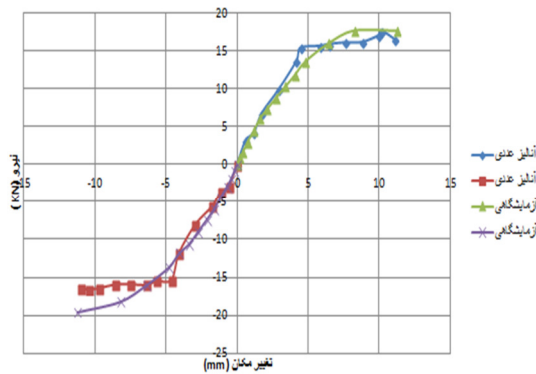
شکل ۸: مقطع دیوار تسیمی [۱۴]



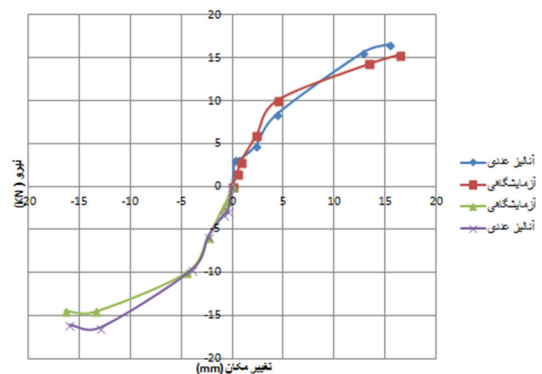
شکل ۹: دیوار تامسون و همکاران (RW۲، RW۱) [۱۵]

۱۲. نتایج

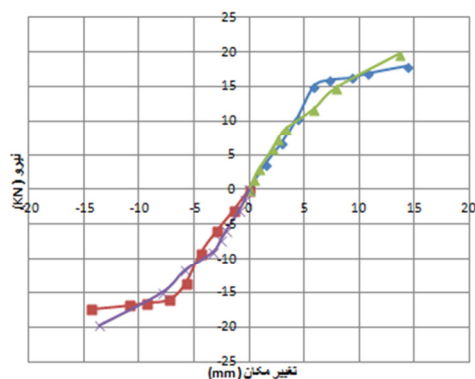
۶ دیوار برشی بتن مسلح که مشخصات آنها در بخش قبل ذکر شد، توسط نرم افزار اجزا محدود ABAQUS مدلسازی و مورد تحلیل استاتیکی غیر خطی قرار گرفته اند. در ۴ دیوار برشی بتن مسلح با نام های SHW۱، SHW۲، SHW۳ و SHW۴ از لحاظ ابعاد و مقدار آرماتورهای مسلح کننده با یکدیگر مشابه هستند با استفاده از ۳۰۰ المان در بتن و ۱۵۴ المان در میلگرد مسلح کننده مورد مش بندی قرار گرفت و ۲ دیوار برشی باقیمانده با نام های RW۱ و RW۲ توسط ۸۶۷ المان در بتن و ۶۱۲ المان در میلگردهای مسلح کننده مورد مش بندی قرار گرفت. همچنین جهت جلوگیری از تمرکز تنش ناشی از اعمال بار متمرکز از مدلسازی یک صفحه فولادی صلب که در زیر بار تغییر شکل نداشته باشد، استفاده شده است. در مرحله بعد جهت بررسی صحت سنجی، پس از استخراج نتایج، مقایسه ای بین نمودارهای بار- تغییر مکان حاصل از تحلیل عددی و نتایج آزمایشگاهی انجام گردید. نمودارهای نیرو- تغییر مکان دیوارهای برشی مدلسازی شده از نمودارهای ABAQUS استخراج گردیده و سپس این نتایج با نتایج آزمایشگاهی مورد مقایسه قرار گرفت.



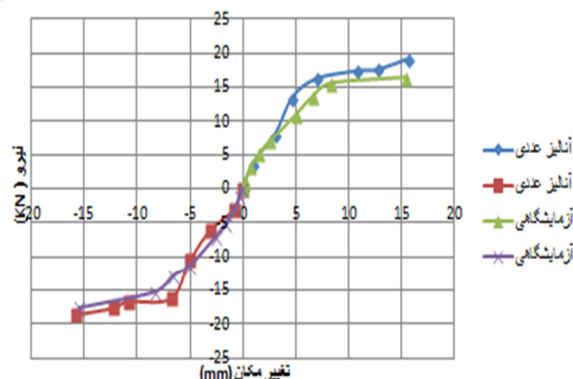
شکل ۱۱: مقایسه پوش منحنی های نیرو- جابجایی تحت بار چرخه ای حاصل از آزمایش و تحلیل عددی (SHW۲)



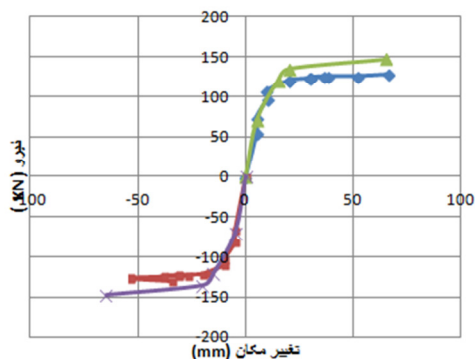
شکل ۱۰: مقایسه پوش منحنی های نیرو- جابجایی تحت بار چرخه ای حاصل از آزمایش و تحلیل عددی (SHW۱)



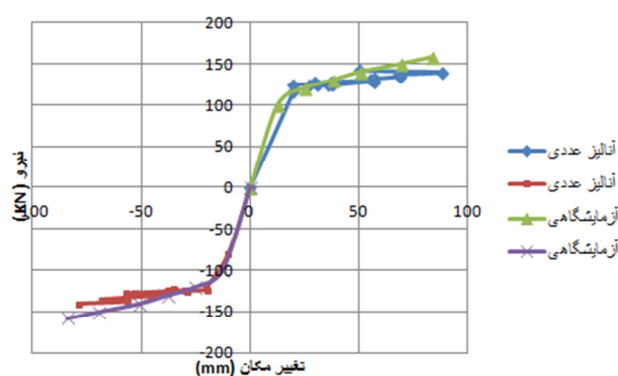
شکل ۱۳: مقایسه پوش منحنی های نیرو-جابجایی تحت بار چرخه ای حاصل از آزمایش و تحلیل عددی (SHW۴)



شکل ۱۲: مقایسه پوش منحنی های نیرو-جابجایی تحت بار چرخه ای حاصل از آزمایش و تحلیل عددی (SHW۳)



شکل ۱۵: مقایسه پوش منحنی های نیرو-جابجایی تحت بار چرخه ای حاصل از آزمایش و تحلیل عددی (RW۲)



شکل ۱۴: مقایسه پوش منحنی های نیرو-جابجایی تحت بار چرخه ای حاصل از آزمایش و تحلیل عددی (RW۱)

۱۳. نتیجه گیری

۱. نتایج نشان میدهد، جابجایی های نهایی حاصل از تحلیل عددی نسبت به نتایج آزمایشگاهی دارای تطابق بسیار خوبی می باشد.
۲. نتایج عددی همانند نتایج آزمایشگاهی در نمونه های RW۱ و RW۲ نشان داد که با افزایش بار محوری، جابجایی حاصل از بارگذاری چرخه ای کاهش می یابد.
۳. نتایج نشان میدهد که در بارهای نهایی بدست آمده از تحلیل عددی نسبت به نتایج آزمایشگاهی دارای درصد خطای میانگین کمتر از ۹.۴ درصد در نمونه های RW۱ و RW۲ و درصد خطای کمتر از ۱۲.۲ درصد در نمونه های SHW۱، SHW۲، SHW۳ و SHW۴ در بارگذاری چرخه ای می باشد.
۴. مقایسه نتایج بدست آمده از تحلیل عددی آزمایشگاهی نشان میدهد که در اکثر نمونه ها، روش تحلیل عددی تطابق بسیار خوبی با نتایج آزمایشگاهی دارد. لذا این روش می تواند در کاربردهای طراحی با اطمینان بالا مورد استفاده قرار گیرد.

۱۴. فهرست منابع

۱. فنایی، ن.، سروش نیا، س. (۱۳۹۱). "کاملترین مرجع کاربردی *ABAQUS*"، انتشارات نگارنده دانش، جلد دوم، چاپ دوم، صفحه ۲۹۲ تا ۲۹۶.
۲. مستوفی نژاد، د. (۱۳۸۸). "سازه های بتن آرمه"، انتشارات ارکان دانش، جلد اول، چاپ دوازدهم، صفحه ۳۹ تا ۴۲.
۳. ABAQUS Inc., Abaqus/Theory User Manual Version ۶.۱۰.
۴. Greifenhagen, C., (۲۰۰۵). "Static Cyclic Tests on Lightly Reinforced Concrete Shear Walls", Earthquake Engineering Structures, ۲۷:۱۷۰۳-۱۷۱۲.
۵. Hidalgo, P., (۲۰۰۲). "Seismic Behavior of Squat Reinforced Concrete Shear Walls", Earthquake Engineering Research Institute, ۱۸: ۲۸۷-۳۰۸.
۶. Hun Oh, Y., (۲۰۰۲). "Effect of Boundary Element Details on the Seismic Deformation Capacity of Structural Walls", Earthquake Engineering and Structural Dynamics, ۳۱:۱۵۸۳-۱۶۰۲.
۷. Jalili, A. and Dashti, F., (۲۰۱۰). "Nonlinear Behavior of Reinforced Concrete Shear Walls Using Macroscopic and Microscopic Models", Engineering Structures, ۳۲: ۲۹۵۹-۲۹۶۸.
۸. Kheroddin, A. and Naderpour, H., (۲۰۱۴). "Nonlinear Finite Element Analysis of R/C Shear Walls Retrofitted Using Externally Bonded Steel Plate and FRP Sheets". International Structural Specialty Conference, May ۲۳-۲۶.
۹. Kmiecik, P., (۲۰۱۱). "Modelling of Reinforced Concrete Structures and Composite Structures with Concrete Strength Degradation Taken into Consideration", Archives of Civil and Mechanical Engineering, XI (۳).
۱۰. Marini, A. and Meda, A., (۲۰۰۹). "Retrofitting of R/C Shear Walls by Means of High Performance Jackets", Engineering Structures, ۳۱: ۳۰۵۹-۳۰۶۴.
۱۱. Mosoarca, M., (۲۰۱۳). "Failure Analysis of RC Shear Walls with Staggered Openings Under Seismic Loads", Engineering Failure Analysis.
۱۲. Mostofinejad, D. and Mohammadi, M., (۲۰۱۲). "Effect of Confining of Boundary Elements of Slender RC Shear Wall by FRP Composites and Stirrups", Engineering Structures, ۴۱: ۱-۱۳.
۱۳. Su, R.K.L., (۲۰۰۷). "Seismic Behaviour of Slender Reinforced Concrete Shear Walls Under High Axial Load Ratio", Engineering Structures, ۲۹:۱۹۵۷-۱۹۶۵.
۱۴. Tasnimi, A., (۲۰۰۰). "Strength and Deformation of Mid-rise Shear Walls Under Load Reversal", Engineering Structures, ۲۲: ۳۱۱-۳۲۲.
۱۵. Thomsen, J., (۲۰۰۰). "Displacement Based Design of Slender Reinforced Concrete Structural Walls- Experimental Verification", Engineering Structures, ۱۳۰: ۶۱۸-۶۳۰.
۱۶. Wahalathantri, B.L. and Thambiratnam, D. P., (۲۰۱۱). "A Material Model for Flexural Crack Simulation in Reinforced Concrete Element Using ABAQUS", In Proceeding of the First International Conference



on Engineering, Designing and Developing the Built Environment for Sustainable Wellbeing,
Queensland University of Technology, Brisbane, ۲۶۰-۲۶۴.



دانشگاه هرمزگان

آدرس ایمیل دبیرخانه: pgicsc@gmail.com

شماره تماس: ۰۹۳۰۸۴۹۷۴۷۰



نمایشگاه های بین المللی بندرعباس