

بسمه تعالی

تخمین مساحت دیوار های برشی مورد نیاز در ساختمان های بتنی

تالیف :

دکتر علی خیرالدین

(استادیار گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی سمنان و عضو انجمن بتن ایران)

مهندس علیرضا مرتضائی

(عضو هیئت علمی گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد سمنان)

چکیده:

در ساختمان های بلند، تامین مقاومت، سختی و شکل پذیری کافی برای مقابله با نیروهای جانبی اهمیت ویژه ای دارد.

دیوار برشی به عنوان یک عضو ضروری برای ساختمان های بلند محسوب می شود. که به همراه قاب خمشی تشکیل یک سیستم دو گانه را میدهد، در بیشتر موارد دیوارهای برشی قسمت اعظم بارهای لرزه ای را تحمل کرده و سبب افزایش شدید سختی سازه می شود که منجر به کاهش اثرات مرتبه دوم و افزایش ضریب اطمینان در سازه و همچنین کاهش درجه خرابی اعضای غیر سازه ای می شود.

در ساختمان های بتن آرمه با سیستم دیوار برشی، عملکرد لرزه ای اعم از تغییر مکان نسبی طبقات، سختی و مقاومت ارتباط مستقیم با رفتارهای دیوار برشی دارد که این عملکرد ارتباط مستقیم با مساحت دیوار برشی موجود در پلان ساختمان دارد.

لذا در این مقاله به کمک روش های تحلیل خطی و غیر خطی دیوارهای برشی و استفاده از یک برنامه غیر خطی المان محدود لایه ای و تامین ملزومات آیین نامه آبا اعم از مقاومت، سختی، تغییر مکان نسبی طبقات، درصد جذب نیروی زلزله و نوع مکانیزم شکست، معادله جدیدی ارائه شده که به کمک آن میتوان با توجه به ارتفاع و پلان ساختمان حداقل نسبت سطح دیوارهای برشی نسبت به مساحت پلان یک طبقه را به طور تقریبی تخمین زد.

مقدمه:

در طراحی ساختمان های بتنی بلند مرتبه، یکی از روشهای متداول مقابله با نیروهای جانبی استفاده از سیستم دیوارهای برشی می باشد. این سیستم سازه ای دارای مزایا و معایبی می باشد که در مورد مزایای آن می توان به سختی زیاد و تغییر مکان کم، کاهش اثرات $P-\Delta$ و در بعضی موارد اقتصادی بودن طرح اشاره نمود.

مشاهدات عملکرد ساختمان های دارای دیوار برشی در زلزله های اخیر، نشان دهنده رفتار مطمئن این نوع ساختمان ها در مقابل نیروی زلزله می باشد. عملکرد این ساختمان ها هم از نظر ایمنی و هم از نظر کنترل خسارت مورد تایید بوده است.

به حد اقل رساندن تلفات جانبی و خسارات مادی در یک زلزله بزرگ، باعث شده تمام توجهات به عملکرد بهتر عناصر مقاوم با سختی زیاد (دیوارهای برشی) در ساختمان های بلند مقاوم در برابر زلزله متمرکز شود.

امتیاز دیگر دیوارهای برشی این است که برخلاف ستون ها حتی پس از شکست خوردگی های زیاد قادر به تحمل بارهانی قائم میباشند.

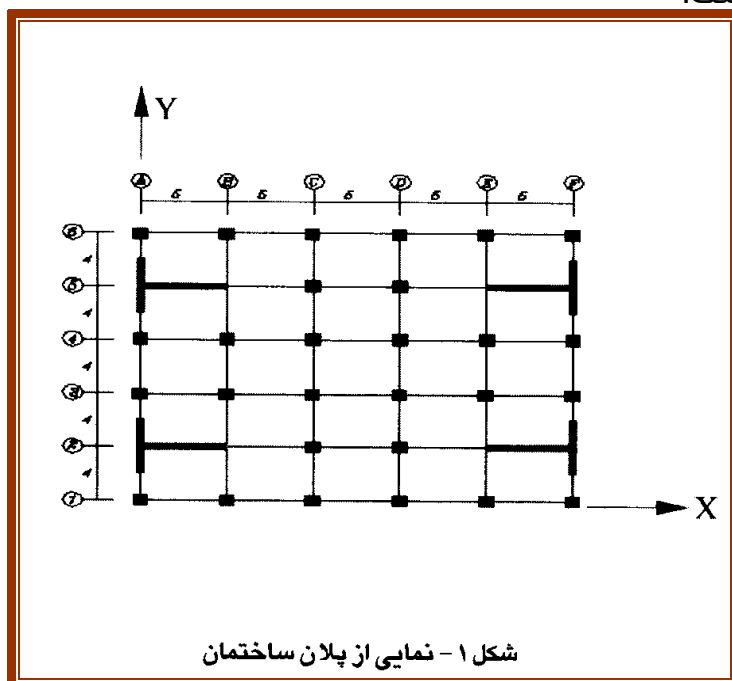
تمام مزایایی که در بالا اشاره شد زمانی است که دیوار در زلزله رفتار مناسبی از خود نشان دهد. این امر مستلزم آن است که تعداد و توزیع دیوار برشی در پلان ساختمان به گونه ای باشد که باعث کاهش تغییر مکان جانبی، نیروی بالا رانش و افزایش شکل پذیری گردیده و در یک زلزله شدید تمام دیوارهای برشی وارد محدوده غیر خطی و غیر ارتجاعی شده که به سبب آن نه تنها اجازه تامین ظرفیت خمشی خیلی زیاد به سازه داده می شود، بلکه مقاومت برشی و شکل پذیری آن نیز افزایش می یابد.

در مورد معایب دیوار برشی میتوان به امکان شکست برشی در صورت عدم طراحی مناسب، ایجاد نیروی بالا رانش (Uplift) در صورت عدم تخمین صحیح تعداد دیوارها و قرار گیری نا مناسب آن ها اشاره نمود. به عنوان مثال در ساختمان هایی با پلان باریک و طویل اگر مقاومت در برابر زلزله فقط از طریق دیوار های انتهائی تامین شود و یا دیوارهای برشی با فاصله زیاد از هم قرار گیرند یا فراگم های کف ممکن است حالتی به اسم کنش کمائی از خود نشان دهند. کنش کمائی باعث میشود که دیوارهای انتهائی تحت تنش ها و تغییر شکل های پیچشی قرار گیرند، همچنین اگر تعداد و مساحت دیوارهای برشی در پلان به درستی محاسبه نشود، باعث افزایش بعد پی و همچنین فولاد گذاری فشرده در دیوار ها می شود. لذا تعیین دیوارهای مورد نیاز در یک طبقه بیش از پیش مورد نیاز می باشد.

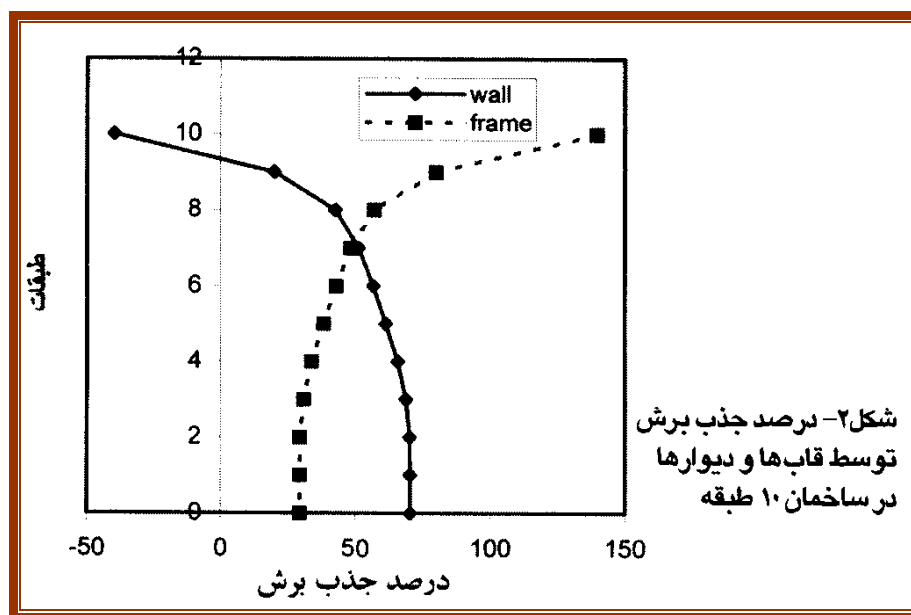
در سال 1995 والاس بر اساس نتایج حاصل از تحلیل غیر خطی تعدادی از ساختمان ها که سیستم مقاوم در برابر بار جانبی آنها قاب خمشی به همراه دیوار برشی T شکل بود، معادله ای را برای تخمین مساحت مورد نیاز این دیوارها بر اساس آئین نامه UBC ارائه داد. در این مقاله جهت دستیابی به یک معادله برای تخمین مساحت مورد نیاز برای دیوار برشی بر اساس ضوابط آئین نامه های معتبر (2800 و آبا)، به کمک تحلیل های خطی و غیر خطی، تعدادی از ساختمان های بتن آرمه مورد بررسی قرار گرفته است و با توجه به نتایج حاصله، معادله جدیدی ارائه شده است که به کمک آن میتوان حد اقل نسبت سطح دیوار های برشی به مساحت یک طبقه را به صورت تخمینی محاسبه نمود.

بررسی رفتار خطی

در تحلیل خطی، از یک پلان متعارف به ابعاد 20×20 متر مربع که دارای 5 دهانه در هر جهت می باشد (شکل 1) استفاده شده است. نوع سقف تیرچه بلوک بوده و جهت قرار گیری تیرچه ها محور Y (عمود بر راستای قرار گیری محور دیوار های برشی) بار مرده طبقات 600 kg/m^2 و بار مرده بام 650 kg/m^2 می باشد. نوع کاربری ساختمان مسکونی و بار زنده برابر 200 kg/m^2 می باشد. مقدار نیروی زلزله وارد به ساختمان بر اساس آئین نامه 2800 ایران ویرایش دوم محاسبه شده و ابعاد ستون ها و دیوار برشی به گونه ای تعیین شده است که تغییر مکان سازه از مقدار مجاز بیشتر نشود و همچنین در صد جذب برش در طبقه هم کف توسط دیوار برشی حدود 75 در صد و در صد جذب برش توسط قاب ها حدود 25 در صد می باشد. برای عمومیت بخشیدن به معادله اثر بالها در رفتار خطی و غیر خطی دیوارها منظور نگردیده است.



ساختمان های مورد بررسی دارای طبقات 5 و 10 و 15 و 20 و 25 بوده و در طراحی آن ها از آیین نامه بتن ایران استفاده شده است به عنوان نمونه در شکل 2، در صد جذب برش توسط قابها و دیوارهای برشی نشان داده شده است.



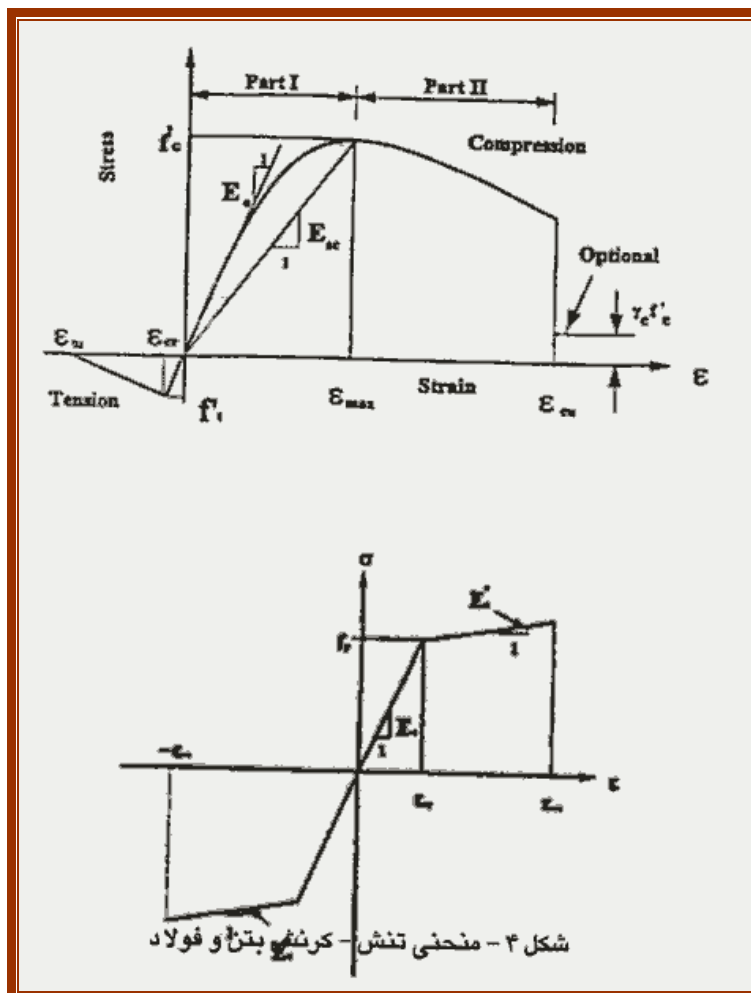
برنامه غیر خطی المان لایه ای غیر محدود

برای بررسی رفتار سازه های بتن آرمه، اگرچه استفاده از برنامه های خطی الاستیک می تواند کمک زیادی بکند، ولی برای به دست آوردن اطلاعات دقیقتر تعیین ترک خوردگی سازه، شکل پذیری، نحوه انهدام و ظرفیت نهائی سازه نیاز به روش های آزمایشگاهی و روشهای عددی می باشد.

با توجه به هزینه های زیاد و صرف وقت زیاد در روش های آزمایشگاهی، روش های عددی به خصوص روش المان محدود به عنوان موثرترین روش مورد استفاده قرار می گیرد. استفاده از روش المان محدود بعد از سالهای 1960 رواج یافته و همین امر باعث گسترش نرم افزارهای قوی در این زمینه شده است.

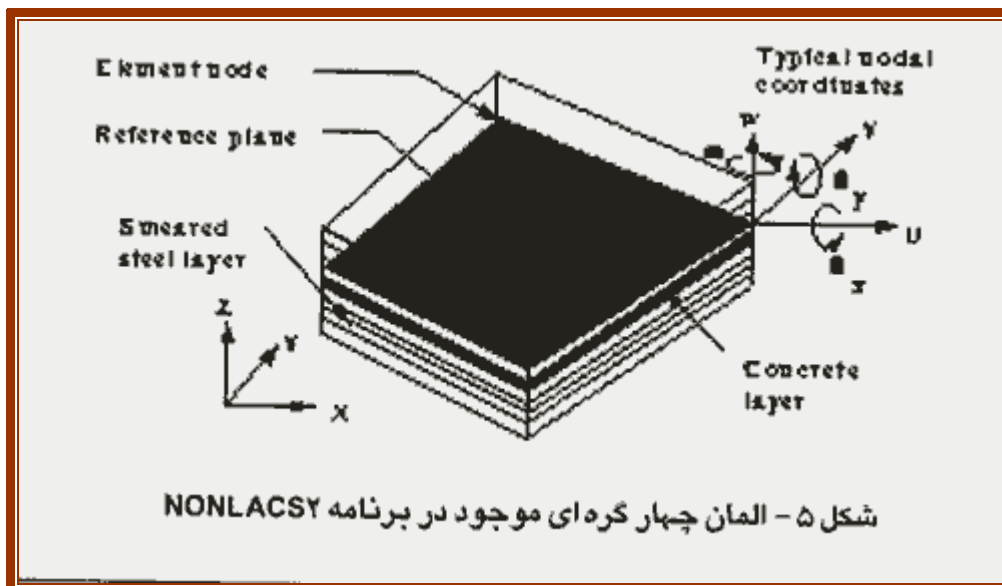
جهت تحلیل از یک برنامه المان محدود به نام NONLACS2 :

(Nonlinear Analysis of concrete and steel structures) استفاده شده است. این برنامه که توسط **دکتر خیرالدین** توسعه داده شده است، در ادامه برنامه NONLACS می باشد که توسط نوفال در سال 1998 ارائه گردیده است. این برنامه قابلیت آنالیز غیر خطی سازه های بتن آرمه و فولادی و پیش تنیده را دارد و میتواند برای بتن های معمولی و بتن های با مقاومت بالا مورد استفاده قرار گیرد. این برنامه به طور کامل یک سازه بتن آرمه را همراه بتن، فولادهای اصلی و خاموت ها مدل کرده و از بار صفر تا مرحله انهدام، نحوه عملکرد سازه را مشخص می نماید. منحنی تنش و کرنش بتن و فولاد که در این برنامه مورد استفاده قرار می گیرد، در شکل 4 مشاهده می شود.

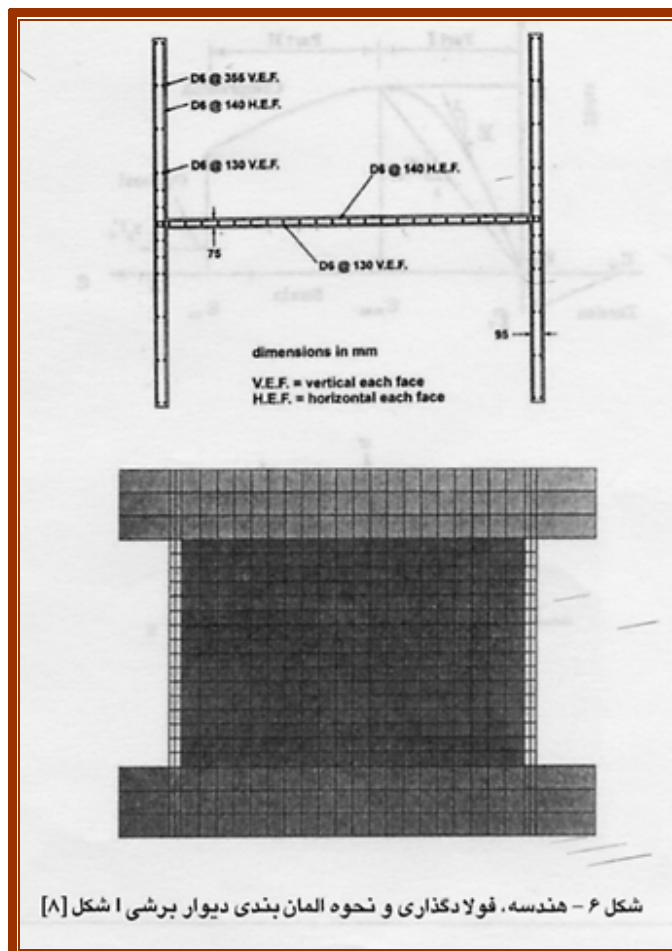


شکل ۴ - منحنی تنش - کرنش بتن و فولاد

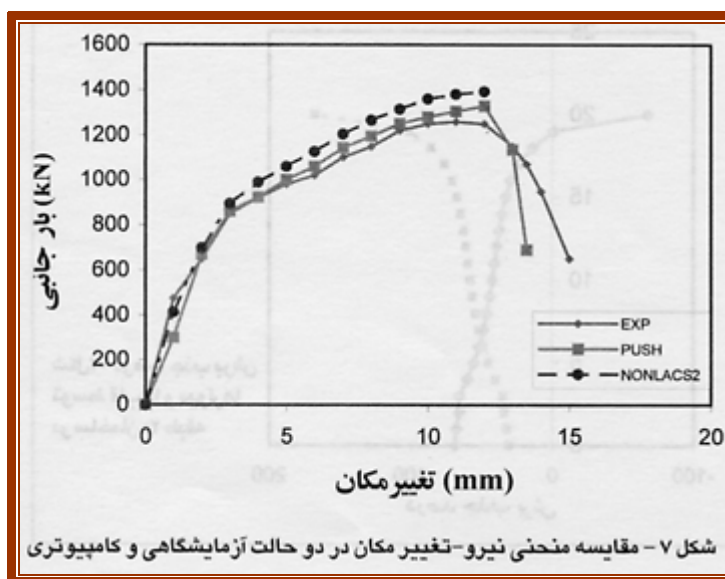
المان های پوسته ای و غشائی ، خمش صفحه ای ، کرنش صفحه ای ، المان یک بعدی و المان مرزی فنری به عنوان مجموعه ای از المان های این برنامه هستند. در این برنامه ، سازه از یکسری المان صفحه ای با ضخامت ثابت در نظر گرفته می شود و هر المان به یکسری لایه تقسیم می شود (شکل 5) . نیروی کل به 30 بار کوچکتر تقسیم شده و تغییرات ماتریس سختی مصالح تحت بارگذاری ، یک روند حل نموی را ایجاد می کند. این برنامه بر اساس روش نیوتن-رافسون اصلاح شده ، آنالیز غیر خطی را انجام می دهد. معیار های همگرایی برای توقف تکرار ها در هر مرحله بارگذاری بر اساس تغییر مکان یا نیرو می باشد. معیار واگرایی در این برنامه به این صورت می باشد که اگر هر یک از نرم های بردار های تغییر مکان یا نیروهای نا متعادل از مقدار ماکزیمم بیشتر شود، عملیات به علت بزرگی بیش از اندازه این مقادیر متوقف می شود .



به منظور کنترل دقت و صحت برنامه NONLACS2 یک دیوار برشی I شکل که تحت بارهای ثقلی و جانبی قرار گرفته و توسط Vecchio و Palermo در سال 2002 در آزمایشگاه تست شده است مجدداً با روش المان محدود با 540 المان چهار گره‌ای Shell نوع RQUAD4 مورد بررسی قرار گرفت (شکل 6).

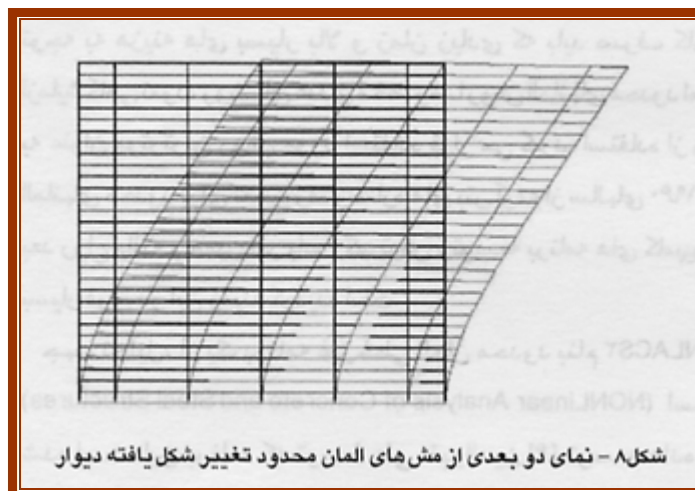


منحنی بار- تغییر مکان برای این دیوار در دو حالت کامپیوتری و آزمایشگاهی در شکل 7 هم مقایسه شده است. در این شکل نتایج آزمایشگاهی به همراه نتیجه آنالیز کامپیوتری (Push-Over) دیوار توسط Vecchio و Palermo و همچنین نتیجه آنالیز کامپیوتری توسط نرم افزار NONLACS2 موجود می باشد. همانگونه که دیده می شود برنامه NONLACS2 از دقت بالایی برخوردار است. به عنوان مثال بار نهائی در حالت آزمایشگاهی 1298 کیلو نیوتن می باشد. در حالیکه بار نهائی در حالت توسط Vecchio و Palermo برابر 1369 کیلو نیوتن و توسط برنامه NONLACS2 برابر 1390 کیلو نیوتن می باشد. که حاکی از حدود 75 درصد خطا نسبت به نتیجه آنالیز کامپیوتری (Push-Over) و 6.6 درصد خطا نسبت به نتیجه آزمایشگاهی می باشد.



بررسی رفتار غیر خطی دیوار برشی :

در این قسمت مدل المان محدود غیر خطی سه بعدی به کمک برنامه NONLACS2 تولید و مش بندی گردید. شکل 8 نمای دو بعدی از مش های تغییر شکل یافته را نشان می دهد. برای مدل نمودن دیوار برشی در برنامه فوق از المان های چهار گرهی shell نوع RQUAD4 استفاده شده است. بسته به ارتفاع و پلان ساختمان، جان دیوار طولی برابر 3000، 4500 و 6000 میلیمتر دارد. ارتفاع دیوار نسبت به ارتفاع ساختمان متغییر می باشد که دیوار 10 طبقه ارتفاع 30000 میلیمتر، دیوار 20 طبقه ارتفاع 60000 میلیمتر و دیوار 25 طبقه 75000 میلیمتر را دارا می باشد.



این دیوارها کلا 360 المان و 403 گره دارند ، که این المان ها ابعادی برابر 1000x500 میلیمتر و 1000x1000 میلیمتر دارند.

بارهای زلزله به صورت گسترده و در 30 مرحله به سازه اعمال می شود. فولاد ها به صورت گسترده یا Smeard layer بکار رفته اند . کلا 4 لایه فولاد در نواحی مختلف به کار برده شده است. از آنجائی که تنش های خارج صفحه کوچک بوده و می توان اثرات آنها را نادیده گرفت ، از المان های با رفتار پوسته ای استفاده نشده است. نتایج حاصل از آنالیز غیر خطی دیوار برشی که شامل بار و تغییر مکان حد ترک خوردگی ، بار و تغییر مکان حد تسلیم دیوارهای برشی و بار و تغییر مکان نهائی دیوار ها می باشد به عنوان نمونه دیوار های برشی 10 طبقه در جدول 1 نشان داده شده است . در این جدول اعدادی که پس از عدد 10 آورده شده نشان دهنده طول دیوار است :

جدول ۱- نتایج حاصل از آنالیز دیوارهای برشی ۱۰ طبقه

نام	Δ_{cr} (mm)	Δ_y (mm)	Δ_u (mm)	P_{cr} (kN)	P_y (kN)	P_u (kN)
SW10-3	۲۱,۸۹	۱۲۱,۲۱	۱۱۲۶,۷	۳۰۰	۷۰۰	۱۴۰۰
SW10-4.5	۲۵,۹۱	۱۲۹,۳۶	۱۲۶۳,۱	۳۲۰	۷۶۰	۱۵۰۰
SW10-6	۲۹,۸۱	۱۴۶,۱۹	۱۲۸۹,۸۹	۳۴۵	۸۹۰	۱۶۷۰
SW10-9	۳۸,۵۴	۱۷۱,۸۸	۱۳۲۸,۰۸	۳۸۰	۹۳۵	۱۹۴۰

Δ_{pu} با رنهائی دیوار

Δ_{py} بار حد تسلیم دیوار

Δ_{pcr} بار حد ترک خوردگی

Δ_u تغییر مکان نهائی دیوار

Δ_y تغییر مکان حد تسلیم دیوار

Δ_{cr} تغییر مکان حد ترک خوردگی دیوار می باشد

معادله پیشنهادی :

بر اساس نتایج حاصل از تحلیل خطی و غیر خطی سازه های فوق الذکر و توسعه منحنی های اندر کنش بار محوری - لنگر برای این دیوارها و در نظر گرفتن معیارهای آئین نامه بتن ایران ، معادله زیر جهت تخمین حداقل مساحت دیوار های برشی مورد نیاز در یک ساختمان بتن آرمه با دیوار های متقارن و سطح مقطع مستطیل پیشنهاد میشود:

$$\rho_{min} = \frac{\left(\frac{h_w}{l_w}\right)^2}{835 + 205 \frac{h_w}{l_w}} \quad (1)$$

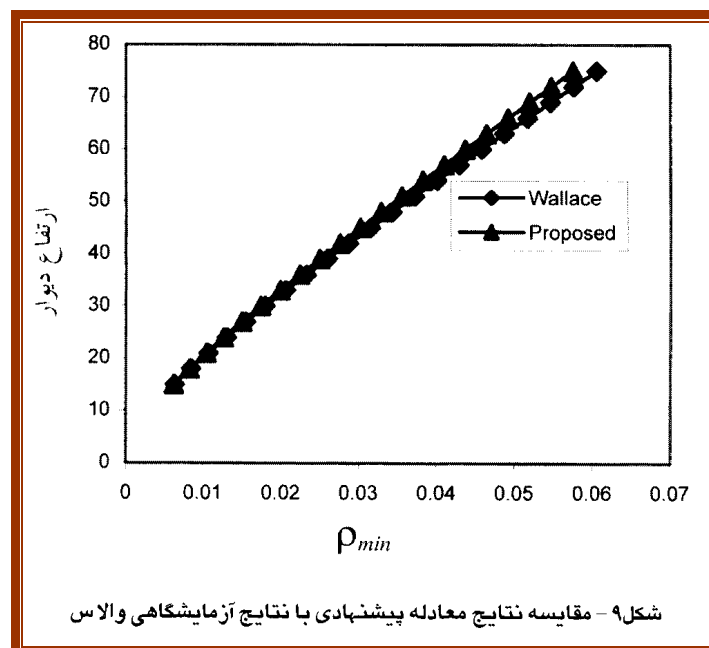
که در آن :

ρ_{min} نسبت مساحت دیوار به مساحت طبقه

hw ارتفاع کل دیوار

LW طول دیوار (متوسط طول دیوار های برشی موجود در پلان ساختمان)

جهت محاسبه معادله فوق از برنامه Table curve استفاده شده و از بین 95 معادله پیشنهادی معادله فوق که دارای دقت بالاتری بود انتخاب گردیده است. ضمناً برای بررسی صحت و دقت این معادله نتایج حاصل با نتایج آزمایشگاهی و عددی والاس مقایسه گردیده است که در شکل 9 به صورت منحنی نشان داده شده است:



خلاصه و نتیجه گیری :

در این مقاله رفتار خطی و غیر خطی ساختمان های بتن آرمه که سیستم مقاوم در برابر بار های جانبی آنها، دیوار برشی به همراه قاب خمشی بود، مورد بررسی قرار گرفت. هدف از این بررسی تعیین حد اقل میزان دیوار برشی مورد نیاز در یک ساختمان می باشد. در تعیین ضخامت دیوار برشی کلیه ملزومات آئین نامه بتن ایران و آئین نامه های طراحی ساختمان در برابر زلزله (2800) اعم از تغییر مکان نسبی طبقات و در صد جذب نیروی زلزله توسط عناصر مقاوم تامین گردید. لذا با توجه به نتایج حاصل از رفتار خطی و غیر خطی دیوار های برشی معادله ای پیشنهاد گردید که به کمک آن می توان حداقل مساحت دیوار های برشی مورد نیاز در یک ساختمان را تخمین زد. از آنجائی که در آئین نامه بتن ایران مقدار مشخصی برای تخمین مقدار دیوارهای برشی ارائه نگردیده است معادله 1 به عنوان معادله پیشنهادی این مقاله توصیه می گردد. اگر چه معادله پیشنهادی به عنوان یک مقدار تقریبی جهت تخمین مساحت دیوارها مناسب می باشد و کمکی زیادی به مهندسین محاسب می نماید، اما مطالعات عددی و آزمایشگاهی زیادی به منظور تایید این معادله نیاز می باشد ضمناً شرط استفاده از این معادله آن است که طراح با قضاوت مهندسی بتواند محل مناسب قرار گیری و تعداد دیوارهای برشی را با مساحت به دست آمده از معادله 1 به درستی تعیین نماید.

از سری مقالات نشریات
انجمن بتن ایران

با تشکر

www.AmeriCivil.com