

بررسی پارامترهای مؤثر در تعیین عرض مؤثر بال دیوارهای برشی بتن آرمه بالدار*

علی خیرالدین^(۱)

علیرضا مرتضایی^(۲)

چکیده همانگونه که نیاز به طراحی لرزه‌ای سازه‌های مقاوم در برابر زلزله روز به روز افزایش می‌یابد، مطالعات آزمایشگاهی و عددی فراوانی نیز برای تخمین و برآورد پاسخ غیرخطی این نوع سازه‌ها انجام می‌پذیرد. دیوارهای برشی بالدار (Flanged shear walls)، یک سیستم مقاوم در برابر بارهای جانبی است که به دلیل رفتار و مزایای مناسب، اعم از عملکرد مناسب در دو جهت متعامد، شکل پذیری زیاد، قابلیت جذب انرژی زیاد و همچنین مقاومت و سختی زیاد، که منجر به کاهش اثرات مرتبه دوم و افزایش ضریب اطمینان سازه در مقابل فروریزی و کاهش درجه خرابی اعضا غیرسازه‌ای می‌شود، مورد توجه قرار گرفته است. با وجود این، روش‌هایی که توسط آیین نامه‌های طراحی ذکر می‌گردد، همیشه تخمین دقیقی از ظرفیت اینگونه دیوارها نمی‌باشد. آیین نامه بتن ایران (آبا)، برای تخمین عرض مؤثر بال (Flange effective width) در دیوارهای برشی بالدار (دیوارهای با مقطع T ، U و L)، عبارت ساده‌ای را که تابعی از ارتفاع کل دیوار می‌باشد، پیشنهاد می‌کند. متغیرهای مؤثر دیگر از قبیل تغییرمکان نسبی طبقه، عرض دیوار و مقدار بار محوری در این عبارت آیین نامه مورد توجه قرار نگرفته است. در این مقاله به منظور بررسی تأثیر این پارامترها بر روی عرض مؤثر بال که در فشار و یا در کشش قرار می‌گیرد، تعدادی از دیوارهای برشی بالدار بتن آرمه به کمک یک برنامه غیرخطی المان محدود لایه‌ای (NONLACS2) مورد تحلیل قرار گرفتند. نتایج به دست آمده از طریق مقایسه با نتایج آزمایشگاهی ارزیابی شده و به صورت جداگانه و نمودارهایی ارائه گردیده است. نتایج تحلیل نشان می‌دهد که عرض مؤثر بال وابستگی زیادی به پارامترهای مورد بررسی اعم از تغییرمکان نسبی طبقات، عرض دیوار و مقدار بار محوری دارد. براساس نتایج تحلیل غیرخطی، ضوابطی برای تخمین عرض مؤثر بال در دیوارهای برشی بالدار ارائه شده است که جهت درج در آیین‌نامه بتن ایران (آبا) پیشنهاد می‌گردد. این ضوابط به قرار زیر می‌باشند: هنگامی که دیوار تحت کشش قرار می‌گیرد، بدون توجه به ابعاد و بال دیوار، کل عرض بال مؤثر در نظر گرفته می‌شود. در موقعیتی که دیوار تحت اثر خمش خالص قرار دارد با توجه به سطح تغییرمکان نسبی می‌توان عرض مؤثر بال را تعیین نمود؛ بدین صورت که در تغییرمکان ۰/۵ درصد، عرض مؤثر بال برابر ۰/۸۵L، در تغییرمکان نسبی ۱ درصد، عرض مؤثر بال برابر ۱/۳۵L و در تغییرمکان نسبی ۲ درصد، عرض مؤثر بال برابر ۱/۹L پیشنهاد می‌گردد. همچنین هنگامی که دیوار تحت فشار ثقلی قرار دارد، عرض مؤثر بال به صورت زیر توصیه می‌گردد: در تغییرمکان ۰/۵ درصد، عرض مؤثر بال برابر ۰/۵L، در تغییرمکان نسبی ۱ درصد، عرض مؤثر بال برابر ۰/۹۵L و در تغییرمکان نسبی ۲ درصد، عرض مؤثر بال برابر ۱/۱L پیشنهاد می‌گردد.

واژه‌های کلیدی دیوار برشی بالدار، المان محدود، رفتار غیرخطی، بار محوری، عرض مؤثر بال.

Investigation of Influential Variables in Flange Effective Width of Reinforced Concrete Shear Walls

A. Kheyroddin

A. Mortezaei

Abstract The Iranian Concrete Code (ICC) specification suggests a simple expression that is a function of story height for estimating tension flange effective width in flanged reinforced concrete (RC) shear walls. Other influential variables such as drift level, wall width, and the level of axial load are not addressed in the ICC expression. A detailed finite element model is used to investigate the effect of these parameters on the tension flange effective width. The finite element accounts for nonlinear concrete behavior and is validated through comparisons to test data. The analytical results show that the tension flange effective width is strongly dependent on all the variables investigated. Implications of the presented data regarding existing guidelines are discussed and provisions are suggested that are suitable for implementation in performance-based design criteria.

Key Words Flange Effective width, Flanged Shear Walls, Nonlinear Analysis, Finite Element.

* نسخه اولیه مقاله در تاریخ ۸۳/۱۲/۷ و نسخه نهایی آن در تاریخ ۸۵/۶/۱۵ به دفتر نشریه رسیده است.

(۱) دانشیار، گروه عمران دانشکده مهندسی دانشگاه سمنان

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

مقدمه

(۱/۴) ارتفاع دیوار پیشنهاد کرد که متعاقب آن در ACI 318-99 [4] در بخش ضوابط لرزه‌ای پذیرفته شد. پارامترهای اصلی که عرض مؤثر بال دیوارهای برشی را تحت تأثیر قرار می‌دهند شامل تغییر مکان نسبی طبقات، هندسه و شکل دیوارهای برشی بالدار و بارمحوری می‌باشد. از این سه پارامتر، دو مورد اول (تغییر مکان نسبی طبقات و هندسه و شکل دیوارهای برشی بالدار) مورد مطالعه قرار گرفته و به عنوان نتیجه‌ای از رفتار دیوارهای برشی با مقطع T شکل توسعه داده شده‌اند. نتایج حاصل از این مطالعات در بخش‌های بعدی آورده شده است. پارامتر سوم (بارمحوری) مورد مطالعه قرار نگرفته است. از این رو، هدف این مقاله، استفاده از روش المان محدود غیرخطی برای مشخص نمودن اثر بارمحوری به همراه دیگر پارامترها بر روی عرض مؤثر بال دیوارهای برشی بالدار و بحث در مورد ضوابط عرض مؤثر در آیین نامه بتن ایران می‌باشد.

عرض مؤثر بال

توزیع غیرخطی تنش‌های موجود در بال دیوارهای برشی در اثر پدیده‌ای به نام "تاخیر برشی" (Shear lag) می‌باشد که در آن، تنش‌های حداکثر در تقاطع بین بال و جان دیوار متمرکز شده و مقادیر تنش‌ها با دور شدن از محل تقاطع جان و بال کاهش می‌یابد. تأثیر پدیده تاخیر برشی در سیستم‌های ارتجاعی خطی ساده با استفاده از تئوری الاستیسته بررسی شده است (Timoshenko & Goodier 1970) [5]. تئوری‌های مورد استفاده در بررسی ارتجاعی مسائل "تاخیر برشی" در حد تئوری بوده و برای تخمین عرض مؤثر در مسائل مهندسی بسیار پیچیده می‌باشد. از طرفی ثابت شده است که محاسبات تجربی که جهت تخمین عرض مؤثر بال برای مقاصد طراحی مورد استفاده قرار گرفته، موفقیت آمیز بوده‌اند. به عنوان مثال، براساس مشاهدات تجربی، ریزنر (Reisner 1964) محاسبات عرض مؤثر

یکی از مهمترین پارامترهایی که رفتار، تحلیل و طراحی دیوارهای برشی بتن آرمه بالدار را تحت تأثیر قرار می‌دهد، توزیع کرنش در عرض و در ارتفاع بال دیوار می‌باشد. بزرگی و نحوه توزیع کرنش نقش مهمی در رفتار حالت سرویس و مقاومت نهایی دیوار ایفا می‌کند. از آنجا که توزیع کرنش در عرض بال دیوار غیرخطی می‌باشد، توزیع تنش منطبق با آن نیز غیرخطی خواهد بود که به طور قابل ملاحظه‌ای تحلیل و طراحی این نوع دیوارها را پیچیده می‌کند. به منظور پرهیز از اعمال مستقیم توزیع تنش و کرنش غیرخطی در عرض دیوار، آیین‌نامه‌ها از ایده "عرض مؤثر بال" استفاده می‌کنند که در آن فقط بخش مؤثری از بال که دارای تنش یکنواخت است، برای رفتار سازه‌ای دیوار مدنظر قرار می‌گیرد. طول عرض مؤثر بال به گونه‌ای محاسبه می‌گردد که رفتار یک دیوار فرضی که در آن فقط بخش مؤثر بال حضور دارد معادل با دیوار بالدار اصلی باشد [۱]. مشکلی که در مشخص نمودن یک "عرض ثابت" برای دیوارهای برشی بالدار وجود دارد آن است که عرض مؤثر تابعی از پارامترهای مختلف می‌باشد. اعضای کمیته تدوین آیین‌نامه نسبت به اهمیت نظریه "عرض مؤثر بال" آگاهی کامل داشته، اما کوشیده‌اند یک مقدار محافظه کارانه‌ای را مشخص کنند که برای یک محدوده وسیعی از شرایط طراحی حاکم باشد.

آیین نامه بتن ایران عرض مؤثر بال، اندازه گیری شده از برجان در هر سمت دیوار را برابر حداقل دو مقدار نصف فاصله بین جان دیوار تا جان دیوار مجاور و ده درصد ارتفاع کل دیوار تعیین می‌کند [۲]. والاس (Wallace ۱۹۹۵) [3] نشان داد که اگر چه یک عرض مؤثر کم، مقاومت خمشی دیوار را در حد پائینی تخمین می‌زند، اما این موضوع لزوماً محافظه کارانه نبوده و می‌تواند منجر به محاسبه نامناسب و ناکافی آرماتورهای طولی و آرماتورهای برشی جان دیوار شود. والاس (Wallace ۱۹۹۵) [3] عرض مؤثر بال دیوار را ۲۵ درصد

جانبی (Displacement control) می‌باشد که با افزایش دوران پلاستیک سازه، درصد تأثیر بال نیز افزایش می‌یابد.

دیدگاه‌های آئین نامه بتن ایران (آبا)

مقایسه دیدگاه‌های آئین نامه بتن ایران (آبا) برای عرض مؤثر بال در تیرها و دیوارها حائز اهمیت می‌باشد. درحالت تیرهای T شکل، در بخش ۷-۴، عرض مؤثر بال بدین صورت مشخص می‌شود که باید حداقل سه مقدار یک چهارم طول دهانه آزاد تیر برای تیرهای یکسره و دو پنجم طول دهانه آزاد تیر برای تیرهای ساده، فاصله مرکز تا مرکز تیرها و ۱۶ برابر ضخامت دال به علاوه عرض تیر انتخاب شود [۲]. درحالت دیوارها، در بخش ۲۰-۵-۳-۱، میزان عرض مؤثر بال (اندازه‌گیری شده از برجان در هر سمت) برابر حداقل دو مقدار نصف فاصله بین جان دیوار تا جان دیوار مجاور و ده درصد ارتفاع کل دیوار پیشنهاد می‌شود، مگر آنکه با تحلیل دقیق‌تر بتوان مقدار آن را تعیین کرد [۲]. آنچه که در این بخش به طور مشخص بیان نشده، عرض مؤثر بال کششی و فشاری می‌باشد. مهمترین وجه تمایز تیرها و دیوارهای برشی حضور بارمحوری می‌باشد. از این رو، مطالعه حاضر به بررسی اثر بارمحوری، همانند دیگر پارامترها بر روی عرض مؤثر بال در کشش و فشار، اختصاص دارد.

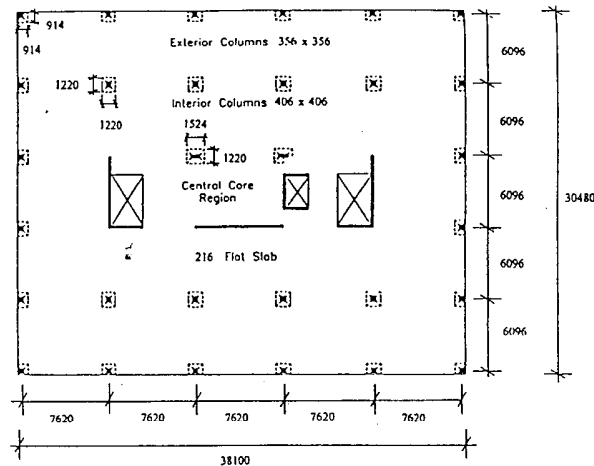
مطالعه پارامتریک (Parametric study)

دیوارهای برشی مورد استفاده در این مطالعه براساس الگوی یک ساختمان ۵ طبقه با سیستم مختلط (قاب خمشی به همراه دیوار برشی) که در مراجع Ngwenya [14] و Manatakos [15] درباره آن بحث شده، می‌باشد. سیستم سازه شامل یک هسته بتن آرمه متشکل از دو دیوار برشی L شکل، یک دیوار C شکل و یک دیوار مستطیل شکل می‌باشد. نمایی از پلان سازه در شکل (۱) نشان داده شده است.

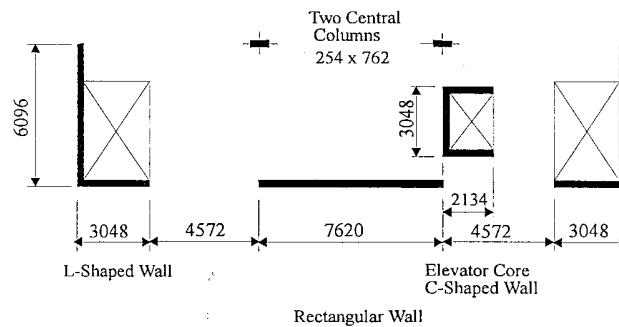
بال را با این فرض انجام داد که توزیع تنش‌های نرمال خمشی بال را می‌توان به صورت یک منحنی درجه ۲ (سه‌می شکل) تخمین زد [6]. دیگر بررسی‌های مهمی که در زمینه ساده سازی محاسبات مربوط به عرض مؤثر ارتجاعی انجام گرفته، توسط فن وهینس (Fan & Heins 1974) [7] و سانگ واسکوردلیس (Song & Scordelis 1990) [8] بوده است.

زمانی که رفتار مواد وارد محدوده غیرخطی می‌شود، عرض مؤثر را دقیقاً نمی‌توان براساس روش‌های ارتجاعی محاسبه نمود. دیوارهای برشی بتن آرمه نیز تحت اثر بارهای وارده رفتار غیرخطی از خود بروز می‌دهند که این حالت به دلیل رفتار غیرخطی بتن در فشار، ترک خوردگی بتن، جاری شدن فولاد، لغزش آرماتورها و اثر زبانه‌ای می‌باشد. بیشتر بررسی‌های اخیر بر روی عرض مؤثر بال مقاطع T شکل بتن آرمه تحت خمش خالص متمرکز شده که این حالت نمی‌تواند مبین رفتار دیوارهای برشی بالدار تحت اثر نیروی محوری به همراه لنگر خمشی باشد. نتایج اصلی تحقیق بر روی تیرهای T شکل تحت خمش خالص که به وسیله محققان مختلفی مانند Moehle & Pantazopoulou 1992 [9]، Pantazopoulou & Shahrooz 1992 [10]، Hosoyama و همکاران [12]، French & Pantazopoulou 2001 [13] گزارش شده است را می‌توان به طور مختصر ذیلاً اشاره نمود:

- ۱) افزایش میزان تأثیر بال در ناحیه کششی، سختی و مقاومت مقطع را به طور همزمان افزایش می‌دهد.
- ۲) افزایش ارتفاع تیر، ناحیه بیشتری از بال را تحت تأثیر قرار می‌دهد که به دنبال آن عرض مؤثر بال افزایش می‌یابد. از آنجا که عمق تیر تابعی از دهانه آن می‌باشد، منطقی است که عرض مؤثر به عنوان نسبتی از دهانه تیر نیز تعریف شود.
- ۳) میزان تأثیر بال یک مسئله با کنترل تغییر مکان



(a) Floor Plan



شکل ۱ نمایی از پلان ساختمان مورد بررسی [15]

دیوار از مقدار اسمی ۳۰۰۰ میلیمتر تا ۱۰۰۰۰ میلیمتر متغیر است. دیگر پارامترها مانند مقدار آرماتور در واحد طول ثابت فرض می‌شود. مقادیر بارهای محوری براساس تحلیل‌های سیستم سازه ۵ طبقه که به وسیله Ngwenya [14] و Manatakos [15] گزارش شده، به گونه‌ای انتخاب شده که کلیه سطوح بارگذاری محتمل در یک زلزله شدید، را پوشش دهد. چهار سطح بارمحوری در نظر گرفته شده به قرار زیر می‌باشد: (۱) بار محوری کششی که نشان دهنده نیروی بالارانش در دیوار می‌باشد؛ (۲) بارمحوری صفر که نشان دهنده

سازه در دو جهت طولی و عرضی دارای ابعاد ۳۸۱۰۰ میلیمتر و ۳۰۴۸۰ میلیمتر می‌باشد. کل ارتفاع سازه ۲۳۱۶۰ میلیمتر است که ارتفاع هر طبقه ۳۸۶۰ میلیمتر می‌باشد. سیستم سازه براساس معیارهای آئین نامه بتن ایران (آبا) طراحی شده است. مقاومت بتن برابر $41/37 \text{ MPa}$ و مقاومت آرماتورها برابر $413/7 \text{ MPa}$ می‌باشد.

ابتدا دیوار C شکل مورد بحث قرار می‌گیرد. تحلیل‌های اضافی با تغییر پارامترهای زیر انجام می‌گیرد: عرض بال، ارتفاع دیوار و مقدار بارمحوری. عرض بال

ظرفیت دیوار در زلزله‌های شدید و انهدام سازه در حالت کامپیوتری می‌باشد.

معرفی برنامه غیر خطی المان محدود لایه‌ای (NONLACS2)

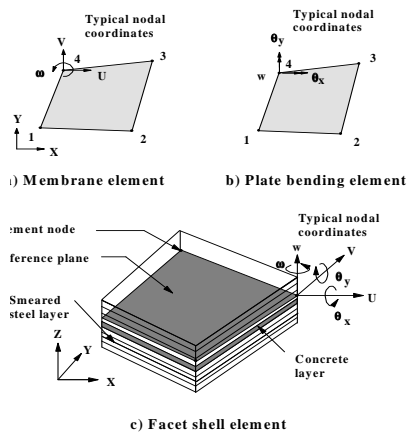
برای تحلیل، از یک برنامه غیرخطی لایه‌ای المان محدود به نام NONLACS2 (NONLinear Analysis of Concrete and Steel Structures) استفاده شده است. این برنامه که توسط علی خیرالدین [16] توسعه داده شده، در ادامه برنامه NONLACS می‌باشد که توسط Nofal در سال ۱۹۸۸ ارائه شده است. این برنامه قابلیت تحلیل غیرخطی سازه‌های بتن آرمه، فولادی و پیش تنیده را دارا می‌باشد و می‌تواند برای بتن‌های معمولی و مقاومت بالا مورد استفاده قرار گیرد. منحنی تنش - کرنش بتن و فولاد در شکل (۲) مشاهده می‌شود.

خمش خالص می‌باشد؛ (۳) بار محوری فشاری که باعث تنش فشاری $0.05 f_c A_g$ می‌شود؛ (۴) بار محوری فشاری که باعث تنش فشاری $0.1 f_c A_g$ می‌شود. دیوارهای برشی تحلیل شده به صورت ۵ طبقه و ۱۰ طبقه می‌باشند. دیوارهای ۵ طبقه با حذف ۵ طبقه بالای دیوارهای ۱۰ طبقه به دست می‌آیند. از طرفی به منظور اجتناب از تغییر بیشتر از یک پارامتر در یک زمان، مقدار فولاد ثابت در نظر گرفته شده است.

کلاً ۳۲ مدل که مشخصات آنها در جدول (۱) آورده شده، مورد تحلیل قرار گرفتند. هر دیوار تحت اثر یک بار جانبی گسترده قرار گرفت و اجازه تغییر مکان تا سطوح تغییر مکان نسبی نیم، یک و دو درصد به دیوارها داده شد. با توجه به نتایجی که توسط French و Pantazopoulou [13] به دست آمده، آخرین سطح تغییر مکان نسبی (۲ درصد) تقریباً نشان دهنده

جدول ۱ مشخصات دیوارهای مورد بررسی

نام دیوار	عرض بال (cm)	تعداد طبقات	حالات مختلف بارگذاری			
			بار محوری کششی	بار محوری صفر (خمش خالص)	بار محوری فشاری $P=0.05 f_c A_g$	بار محوری فشاری $P=0.1 f_c A_g$
I300-5	۳۰۰	۵	✓	✓	✓	✓
I450-5	۴۵۰	۵	✓	✓	✓	✓
I600-5	۶۰۰	۵	✓	✓	✓	✓
I800-5	۸۰۰	۵	✓	✓		
I1000-5	۱۰۰۰	۵	✓	✓		
I300-10	۳۰۰	۱۰	✓	✓	✓	✓
I450-10	۴۵۰	۱۰	✓	✓	✓	✓
I600-10	۶۰۰	۱۰	✓	✓	✓	✓
I800-10	۸۰۰	۱۰	✓	✓		
I1000-10	۱۰۰۰	۱۰	✓	✓		

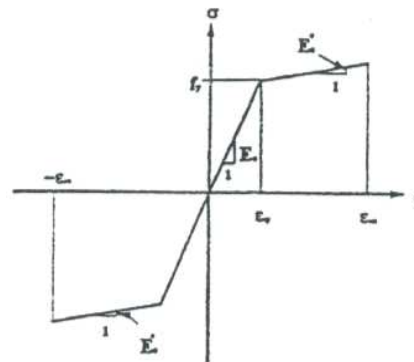
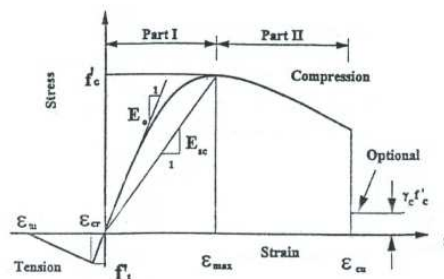


شکل ۳ مجموعه المان‌های برنامه [16] NONLACS2

مدل المان محدود

مدل المان محدود غیر خطی سه بعدی به کمک برنامه کامپیوتری NONLACS2 تولید و مش بندی گردید. شکل (۴) نمای دوبعدی از مش‌های المان محدود تغییرشکل یافته دیوار را نشان می‌دهد. دیوارهای برشی به کمک المان‌های ایزوپارامتریک ۴ نقطه‌ای نوع RQUAD4 با رفتار غشایی مدل شدند. از آنجا که تنش‌های خارج از صفحه کوچک بوده و می‌توان اثرات آن را نادیده گرفت، از المان‌های با رفتار پوسته‌ای استفاده نشد. دیوارها دارای طول ۳۰۴۸ میلیمتر و ضخامت ۲۵۰ میلیمتر بوده و ارتفاع آنها بسته به ارتفاع ساختمان متغیر می‌باشد. برای مدل نمودن آرماتورهای جان از مدل آرماتور پخش شده (Smeared layer) استفاده شد. در حالی که به منظور مدل نمودن آرماتورهای خمشی اصلی از مدل آرماتور مجزا استفاده شد. لغزش بین آرماتور و بتن اطراف آن بسیار ناچیز فرض شده، لذا گره‌های المان فولاد به طور صلب به گره‌های المان بتن متصل شده است. دیوارهای طره‌ای در مقابل دوران پایه کاملاً محدود شده اند. بارهای زلزله بر اساس استاندارد ۲۸۰۰ ایران تعیین و در ۳۰ مرحله به سازه اعمال شده است.

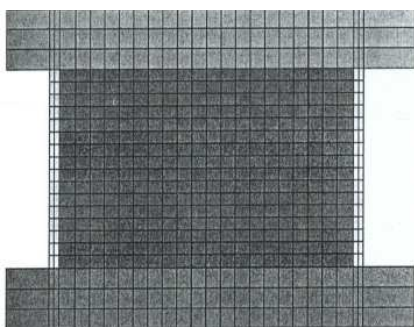
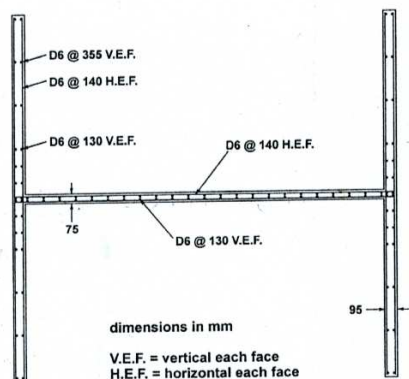
المان‌های پوسته‌ای و غشایی، خمش صفحه‌ای، کرنش صفحه‌ای، المان یک بعدی و المان مرزی فیزی به عنوان مجموعه‌ای از المان‌های این برنامه اند. در این برنامه، سازه از یکسری المان صفحه‌ای با ضخامت ثابت در نظر گرفته می‌شود و هر المان به یکسری لایه تقسیم می‌شود، (شکل ۳). نیروی کل به ۳۰ بار کوچکتر تقسیم شده و تغییرات ماتریس سختی مصالح تحت بارگذاری، یک روند حل نموی را ایجاد می‌کند. این برنامه براساس روش نیوتن - رافسون اصلاح شده، تحلیل غیرخطی را انجام می‌دهد.



شکل ۲ منحنی تنش - کرنش بتن و فولاد [16]

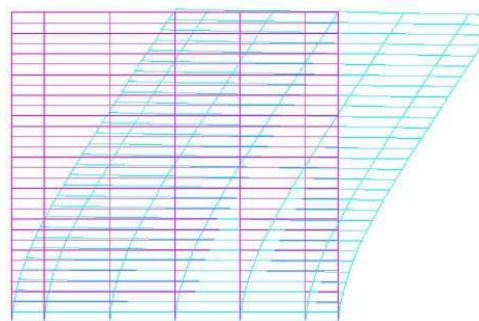
معیار همگرایی برای توقف تکرارها در هر مرحله بارگذاری بر اساس تغییر مکان یا نیرو می‌باشد. معیار واگرایی در این برنامه بدین صورت می‌باشد که اگر هر یک از نرم‌های بردارهای تغییر مکان یا نیروهای نامتعادل از مقدار حداکثر بیشتر شود، عملیات به علت بزرگی بیش از اندازه این مقادیر متوقف می‌شود.

با روش المان محدود با ۵۴۰ المان بررسی گردید، (شکل ۵).



شکل ۵ هندسه، فولاد گذاری و نحوه المان بندی دیوار برشی I شکل [18]

نمونه با یک دال سخت در بالا (۶۴۰×۴۰۰×۴۴۱۵ میلیمتر) که عمل پخش بارهای افقی و عمودی را انجام می‌داد و یک دال سخت در پایین (۶۲۰×۴۰۰×۴۴۱۵ میلیمتر) که به کف قوی آزمایشگاه همچون یک فونداسیون صلب متصل بود، ساخته شد. دال‌ها با آرماتور NO. 30 که به فاصله ۳۵۰ میلیمتر در هر جهت و در لایه بالا و پایین قرار گرفتند، مسلح شدند. جان دیوار به طول ۲۸۸۵ میلیمتر، ارتفاع ۲۰۲۰ میلیمتر و ضخامت ۷۵ میلیمتر بوده و با آرماتورهای D6 که به فواصل ۱۴۰ میلیمتر به طور افقی و ۱۳۰ میلیمتر به طور قائم در دو لایه موازی قرار گرفته‌اند، مسلح شده است.



شکل ۴ نمای دوبعدی از مش‌های المان محدود تغییر شکل یافته دیوار

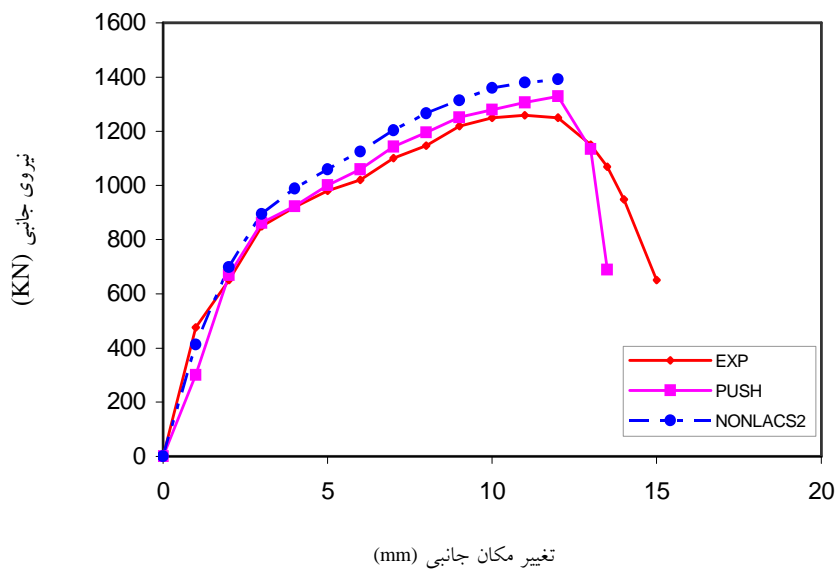
تأیید مدل به کمک نتایج آزمایشگاهی گذشته

به منظور کنترل دقت برنامه NONLACS2 و تأیید دقت مدل‌ها دو نمونه تحلیل انجام گرفت. نمونه‌های اول تحلیل به منظور تعیین تعداد و لایه بندی المان‌های مورد نیاز برای تولید نتایج منطقی انجام گرفت. سپس برای اینکه مشخص شود آیا مدل قادر به ارائه رفتار مناسب می‌باشد، نتایج تحلیل دیوارهای برشی با نتایج آزمایشگاهی وکیو و پالرمو (Vecchio & 2002) مقایسه شد. در هر حالت، فرم‌های مختلف نتایج خروجی استخراج شد و به منظور تأیید ابعاد کلیدی (Key aspects) مدل نتایج تحلیلی با نتایج آزمایشگاهی مقایسه شد. این مقایسه نشان می‌دهد که انطباق قابل قبولی بین مدل‌های تحلیلی و آزمایشگاهی برقرار است. برای اختصار فقط مطالعات مربوط به وکیو و پالرمو (Vecchio & palermo 2002) [18] و والاس (Wallace 1996) [۱۹] در اینجا آورده شده است.

دیوار I شکل palermo & vecchio (۲۰۰۲). یک دیوار برشی I شکل که تحت بارهای ثقلی و جانبی قرار داشته و توسط Vecchio و Palermo [18] در سال ۲۰۰۲ در آزمایشگاه مورد آزمایش قرار گرفت، مجدداً

جدول ۲ مشخصات دیوار برشی I شکل آزمایش شده توسط Palermo و Vecchio [18]

f'_c (MPa)	ϵ_{c0}	f_{sy} (MPa)	f_{su} (MPa)	ϵ_{sy}
۲۱٫۷	۰٫۰۰۲۰۴	۶۰۵	۶۵۲	۰٫۰۰۳۱۸

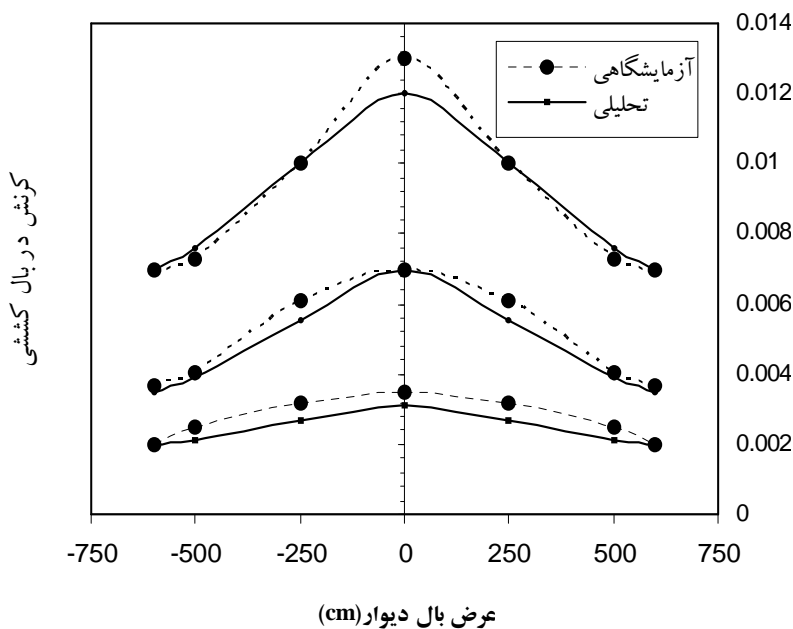


شکل ۶ مقایسه منحنی نیرو- تغییر مکان در دو حالت آزمایشگاهی و کامپیوتری

توسط Palermo و Vecchio و همچنین نتیجه تحلیل کامپیوتری توسط برنامه NONLACS2 آورده شده است. همان طوری که دیده می شود برنامه NONLACS2 از دقت بالایی برخوردار است. به عنوان مثال بار نهایی در حالت آزمایشگاهی ۱۲۹۸ کیلونیوتن می باشد، در حالی که بار نهایی در حالت کامپیوتری توسط Palermo و Vecchio برابر ۱۳۶۹ کیلو نیوتن و توسط برنامه NONLACS2 برابر ۱۳۹۰ کیلو نیوتن می باشد که حاکی از حدود ۱/۵ درصد خطا نسبت به نتیجه تحلیل کامپیوتری (Push-over) و ۶/۶ درصد خطا نسبت به نتیجه آزمایشگاهی می باشد.

دو بال دیوار دارای ۳۰۴۵ میلیمتر طول، ۲۰۲۰ میلیمتر ارتفاع و ۱۰۰ میلیمتر ضخامت می باشند. بالها همچنین با آرماتورهای D6 (به قطر ۷ میلیمتر) مسلح شدند که با فواصل ۱۴۰ میلیمتر به طور افقی و ۱۳۰ میلیمتر به طور قائم نزدیک جان و ۳۵۵ میلیمتر نزدیک به گوشه های بال قرار گرفته اند. مشخصات مدل در جدول (۲) آورده شده است.

منحنی بار- تغییر مکان برای این دیوار در دو حالت کامپیوتری و آزمایشگاهی در شکل (۶) با هم مقایسه شده اند. در این شکل نتایج آزمایشگاهی به همراه نتیجه تحلیل کامپیوتری (Push-over) دیوار



شکل ۷ کرنش اندازه گیری شده و محاسبه شده برای دیوار برای نمونه TW2

انطباق خوبی با نتایج آزمایشگاهی دارند.

نتایج تحلیل غیرخطی

بر اساس تحقیقاتی که توسط پژوهشگران مختلفی همچون Hosoyama و Pantazopoulou [11] Shahrooz و [20] Kwan انجام گرفته، به منظور همکاران [12] و [20] Kwan انجام گرفته، به منظور محاسبه عرض مؤثر بال دیوار رابطه زیر پیشنهاد گردیده که در مقاله حاضر نیز از آن استفاده شده است.

$$b_{\text{eff}} = \frac{\sum_{i=1}^n \sigma_i \cdot w_i}{\sigma_{\text{max}}} \quad (1)$$

σ_i تنش فولاد در المان i ، w_i عرض المان i و σ_{max} حداکثر تنش فولاد در محل تقاطع جان و بال می باشد. تنش ها در معادله (۱)، در مرکز المان های واقع در وسط ارتفاع طبقه اول نزدیک به مرکز مفصل

دیوار برشی T شکل Wallace (۱۹۹۶). والاس

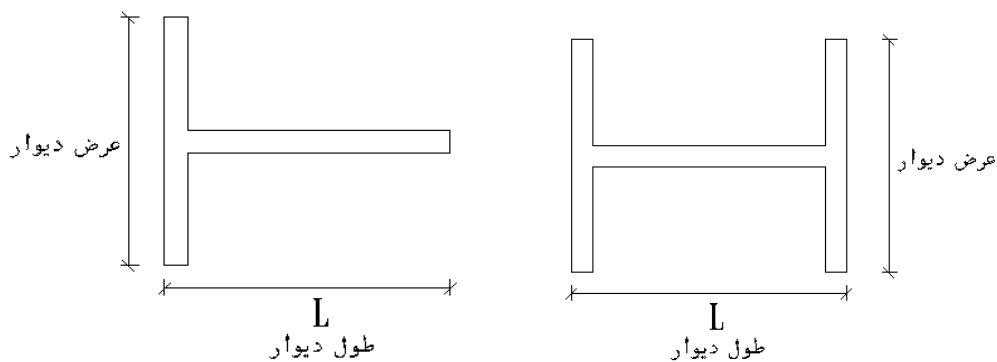
(Wallace) [19] در سال ۱۹۹۶ دیوارهای برشی T شکل را تحت بار فشاری و بارگذاری متناوب جانبی قرارداد. دیوارهای مزبور مجدداً با روش المان محدود مدل شدند و پاسخهای مونوتونیک (یکنوا) این دیوارها محاسبه و با نتایج آزمایش مقایسه شد. منحنی های بار- تغییر شکل محاسبه شده و اندازه گیری شده انطباق خوبی داشتند. چنانکه در شکل (۷) نشان داده شده، توزیع کرنش اندازه گیری شده در بال دیوار با کرنش های محاسبه شده برای سطوح مختلف تغییر مکان نسبی انطباق خوبی دارد. به عنوان مثال، کرنش حداکثر در حالت آزمایشگاهی برابر ۰/۰۱۳ می باشد در حالیکه کرنش حداکثر در حالت کامپیوتری ۰/۰۱۲ بوده که حاکی از حدود ۸ درصد خطا نسبت به نتایج آزمایشگاهی می باشد، که نشان می دهد نتایج عددی

ایجاد می‌کند. همان طوری که این تحلیل‌ها نشان دادند، ارتفاع دیوار پارامتر مهمی نمی‌باشد، از این رو، عرض مؤثر به عنوان تابعی از طول دیوار، L ، که در شکل (۸) نشان داده شده، محاسبه می‌شود.

نتایج تحلیل غیر خطی ۳۲ دیوار در جدول‌های (۳) و (۴) و شکل (۹) آورده شده است. در شکل (۹)، نتایج مربوط به دیوارهای برشی تحت اثر نیروی محوری فشاری $0.05 f_c Ag$ و $0.1 f_c Ag$ آورده شده است؛ به طوری که محور قائم نشان دهنده نسبت عرض مؤثر دیوار به طول دیوار (Be/L) و محور افقی نمایانگر تغییر مکان جانبی نسبی دیوار (به درصد) می‌باشد. در نمودارهای این شکل، منحنی‌های با خطوط ممتد مربوط به دیوار برشی تحت نیروی فشاری $f_c Ag$ و 0.05 و منحنی خط چین مربوط به دیوار با نیروی محوری فشاری $0.1 f_c Ag$ می‌باشد. در کل این نمودارها، خط مستقیم مقداری است که توسط آیین نامه بتن ایران (آبا) مشخص می‌گردد.

نتایج زیر را می‌توان از شکل (۹) و جداول (۳) و (۴) استخراج نمود.

پلاستیک دیوار اندازه‌گیری می‌شوند. دیوارها را تحت تحلیل غیرخطی قرار داده و توزیع تنش در فولاد در طول بال هر یک از دیوارها استخراج می‌شود. چیزی که از نتایج به وضوح دیده می‌شود آن است که با افزایش تغییر مکان نسبی، بال‌ها مؤثرتر شده و با افزایش بارمحوری، بال‌ها کم‌اثرتر می‌شوند. به منظور بررسی تأثیر ارتفاع دیوار بر روی عرض مؤثر بال دیوار تحت خمش خالص، تعدادی آنالیز ارتجاعی انجام شد که به علت محدودیت فضا به ذکر نتایج اکتفا می‌شود. نتایج نشان دادند که عرض مؤثر بال برای دیوارهای با بال $4/5$ متر و 9 متر همزمان با افزایش ارتفاع دیوار از 6 طبقه به 12 طبقه تغییر زیادی نمی‌کند. به عنوان مثال، عرض مؤثر دیوارهای با بال $4/5$ متر، هنگامی که ارتفاع دیوار 2 برابر می‌شود 11 درصد افزایش می‌یابد. اگرچه به دلیل ترک‌خوردگی سریع بال‌ها، نتایج حاصل از تحلیل ارتجاعی با رفتار دیوارهای برشی بتن‌آرمه در محدوده غیر ارتجاعی تفاوت‌هایی دارد اما این تحلیل ارتجاعی بینش و دیدی را نسبت به تأثیر یک پارامتر مهم مانند ارتفاع دیوار



شکل ۸ پارامترهای مقطع دیوارهای بالدار

جدول ۳ عرض مؤثر بال برای دیوارهای ۵ طبقه

عرض بال	۳۰۰cm			۴۵۰ cm			۶۰۰ cm			
	تغییر مکان نسبی بار محوری	۰,۵ %	۱ %	۲ %	۰,۵ %	۱ %	۲ %	۰,۵ %	۱ %	۲ %
بار کششی	کاملاً مؤثر	کاملاً مؤثر	کاملاً مؤثر	کاملاً مؤثر	کاملاً مؤثر	کاملاً مؤثر	کاملاً مؤثر	کاملاً مؤثر	کاملاً مؤثر	کاملاً مؤثر
خمش خالص	کاملاً مؤثر	کاملاً مؤثر	کاملاً مؤثر	۰,۸۵L	کاملاً مؤثر	کاملاً مؤثر	کاملاً مؤثر	۰,۷۴L	کاملاً مؤثر	کاملاً مؤثر
$P = 0.05f'_c.A_g$	۰,۶۶L	کاملاً مؤثر	کاملاً مؤثر	۰,۴۵L	۰,۵۸L	۰,۶۲L	۰,۴L	۰,۵۴L	۰,۶۸L	۰,۷۸L
$P = 0.1f'_c.A_g$	۰,۴L	۰,۶۶L	کاملاً مؤثر	۰,۳۶L	۰,۵۵L	۰,۵۷L	۰,۳۵L	۰,۴۳L	۰,۴۶L	۰,۴۶L

L: طول دیوار

جدول ۴ عرض مؤثر بال برای دیوارهای ۱۰ طبقه

عرض بال	۳۰۰cm			۴۵۰ cm			۶۰۰ cm			
	تغییر مکان نسبی بار محوری	۰,۵ %	۱ %	۲ %	۰,۵ %	۱ %	۲ %	۰,۵ %	۱ %	۲ %
بار کششی	کاملاً مؤثر	کاملاً مؤثر	کاملاً مؤثر	کاملاً مؤثر	کاملاً مؤثر	کاملاً مؤثر	کاملاً مؤثر	کاملاً مؤثر	کاملاً مؤثر	کاملاً مؤثر
خمش خالص	کاملاً مؤثر	کاملاً مؤثر	کاملاً مؤثر	۰,۸۳L	کاملاً مؤثر	کاملاً مؤثر	کاملاً مؤثر	۰,۷۶L	کاملاً مؤثر	کاملاً مؤثر
$P = 0.05f'_c.A_g$	۰,۶L	۱/۱۳L	کاملاً مؤثر	۰,۶L	۰,۹۸L	۱/۱۴L	۰,۴۹L	۰,۹۷L	۱/۰۸L	۱/۰۸L
$P = 0.1f'_c.A_g$	۰,۳۸L	۱/۰۲L	۱/۰۵L	۰,۴۵L	۰,۸۸L	۱/۱L	۰,۴۲L	۰,۸۱L	۱/۰۳L	۱/۰۳L

L: طول دیوار

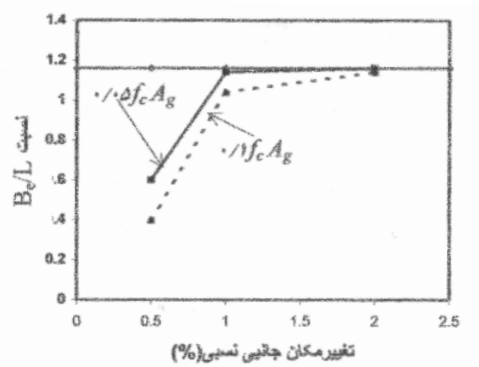
از تغییر مکان نسبی یک تا دو درصد نیز عرض مؤثر افزایش می‌یابد ولی این افزایش نسبت به تغییر مکان نسبی قبلی (۰/۵ تا یک) آرام تر می‌باشد.

مقایسه نتایج دیوارهای مشابه ۵ طبقه و ۱۰ طبقه در شکل (۹) نشان می‌دهد که با افزایش ارتفاع، میزان انحراف نتایج ناشی از تحلیل غیرخطی نسبت به مقدار آیین نامه بیشتر می‌شود. به عنوان مثال، در دیوار برشی با بال ۴/۵ متر در تغییر مکان نسبی ۰/۵ درصد، عرض مؤثر بال دیوار ۵ طبقه ۰/۴۵L و عرض مؤثر بال دیوار ۱۰ طبقه ۰/۶L می‌باشد که نسبت به مقدار آیین نامه، دیوار برشی ۵ طبقه انحراف ۲۲ درصدی و دیوار برشی ۱۰ طبقه انحراف ۴۸ درصدی را دارا می‌باشد. به عبارت دیگر می‌توان گفت با افزایش ارتفاع ساختمان (دیوار) از مقدار محافظه کارانه‌ای که توسط آیین نامه تعیین می‌گردد کاسته شده، به طوری که مقادیر محاسبه شده نسبت به مقادیر آیین نامه در حد پایین تری قرار می‌گیرند.

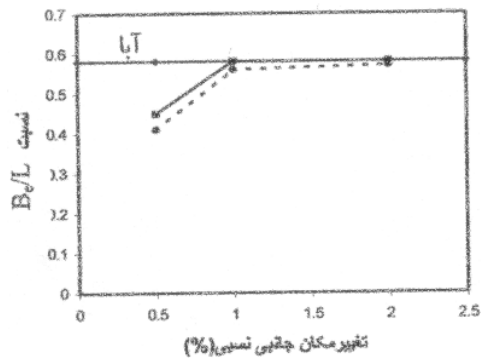
ارتفاع دیوار: شبیه آنچه که در تحلیل‌های ارتجاعی مشاهده شد، دو برابر شدن ارتفاع دیوار تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر روی عرض مؤثر بال ندارد.

بار محوری: بار محوری شدیداً عرض مؤثر بال را تحت تأثیر قرار می‌دهد. بال تمامی دیوارهای تحت کشش و بیشتر دیوارهای تحت خمش خالص، کاملاً مؤثر بودند. همان طوری که سطوح بار محوری از صفر (خمش خالص) تا $P = 0.05f'_c.A_g$ افزایش می‌یابد، تأثیر بال‌ها کمتر می‌شود. افزایش بار تا میزان $P = 0.1f'_c.A_g$ به طور قابل ملاحظه‌ای تغییر در میزان تأثیر بال ندارد.

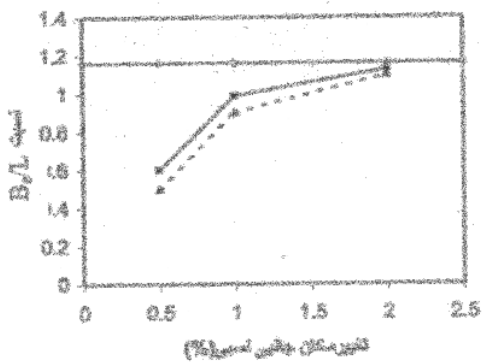
تغییر مکان نسبی: عرض مؤثر شدیداً تابعی از تغییر مکان نسبی دیوار می‌باشد. افزایش تغییر مکان نسبی از ۰/۵ تا یک درصد سریعاً عرض مؤثر را افزایش داده و



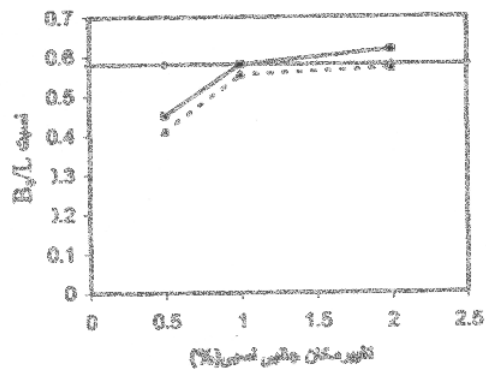
(ب) دیوار ۱۰ طبقه با بال ۳ متری



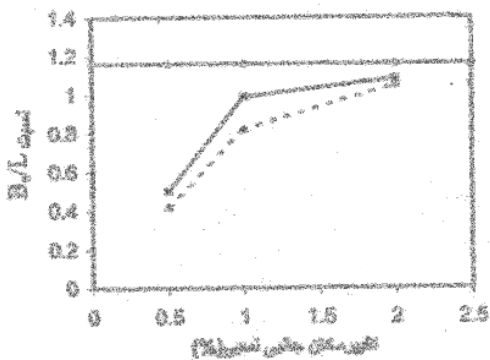
(الف) دیوار ۵ طبقه با بال ۳ متری



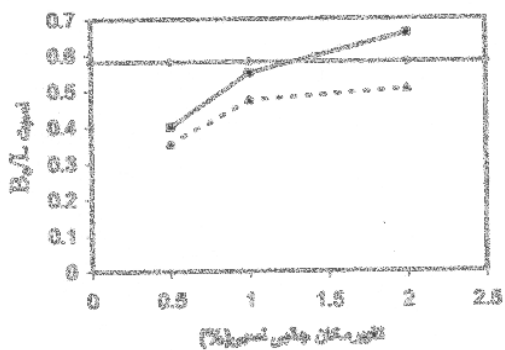
(د) دیوار ۱۰ طبقه با بال ۴/۵ متری



(ج) دیوار ۵ طبقه با بال ۴/۵ متری



(و) دیوار ۱۰ طبقه با بال ۶ متری



(ه) دیوار ۵ طبقه با بال ۶ متری

شکل ۹ عرض مؤثر بال دیوارهای برشی در مقابل نسبت تغییر مکان نسبی و سطوح بارمحوری

ثقلی باشد. در این حالت پیشنهاد می‌شود بدون توجه به ابعاد و بال آن، کل عرض بال مؤثر در نظر گرفته شود.

دیوار تحت اثر خمش خالص: چنین حالتی زمانی اتفاق می‌افتد که نیروی کششی بوجود آمده در دیوار برابر با نیروی ثقلی دیوار باشد. نتایج ارائه شده در جدول‌های (۳ و ۴) پیشنهاد می‌کند که در بیشتر حالات، کل بال مؤثر می‌باشد. از آنجا که بزرگترین عرض بال موجود در جدول (۳)، ۶ متر می‌باشد، دو تحلیل دیگر برای دیوارهایی با بال ۸ متر و ۱۰ متر تحت خمش خالص انجام شد. بر اساس نتایج تحلیل مقادیر پیشنهادی برای عرض مؤثر بال بر اساس جدول (۵) می‌باشد.

جدول ۵ مقادیر پیشنهادی برای عرض مؤثر بال دیوارهای تحت اثر خمش خالص

تغییر مکان نسبی (%)	عرض مؤثر بال
۰/۵	۰/۸۵L
۱	۱/۳۵L
۲	۱/۹L

دیوار تحت فشار ثقلی: برای سطوح مختلف بار فشاری که در این مقاله آورده شده است، مقادیر پیشنهادی برای عرض مؤثر بال بر اساس جدول (۶) می‌باشد.

جدول ۶ مقادیر پیشنهادی برای عرض مؤثر بال دیوارهای تحت فشار ثقلی

تغییر مکان نسبی (%)	عرض مؤثر بال
۰/۵	۰/۵L
۱	۰/۹۵L
۲	۱/۱L

پیشنهادات

از شکل (۹) به وضوح مشاهده می‌شود که آئین نامه بتن ایران (آبا)، دقیقاً عرض مؤثر بال را پیش بینی نمی‌کند، مخصوصاً زمانی که بال تحت بار محوری فشاری قرار می‌گیرد. در دیوارهای ۵ طبقه، بویژه برای تغییر مکان‌های نسبی بالاتر، آئین نامه بتن ایران (آبا) عرض مؤثر بال را در حد پائینی تخمین می‌زند. از سوی دیگر آئین‌نامه در بیشتر دیوارهای ۱۰ طبقه با بار فشاری، عرض مؤثر را در حد بالایی تخمین می‌زند. به عنوان مثال، در دیوار ۱۰ طبقه با بال ۶ متر، آئین نامه پیشنهاد می‌کند که کل بال مؤثر می‌باشد در صورتی که تحلیل نشان می‌دهد فقط بخشی از آن مؤثر است (برای بار محوری $P = 0.05f_c A_g$ ، $1/0.8L$ یا 77% درصد بال و برای بار محوری $P = 0.1f_c A_g$ ، $1/0.3L$ یا 73% درصد در تغییر مکان نسبی ۲ درصد).

موضوع دیگر در ارتباط با آئین نامه بتن ایران، این است که عرض مؤثر به ارتفاع دیوار محدود شده است نه به طول دیوار؛ در صورتی که نتایج ارائه شده در این مقاله نشان می‌دهد که طول دیوار پارامتر مؤثرتری بوده و می‌توان با توجه به سطوح تغییر مکان نسبی عرض مؤثر را تعیین نمود. به عنوان مثال در دیوارهای ۱۰ طبقه تحت فشار با بال‌های ۶ متری، عرض مؤثر همزمان با افزایش سطح تغییر مکان نسبی از ۰/۵ تا ۲ درصد به اندازه ۱۶۰ درصد افزایش می‌یابد، (شکل ۹). بنابراین ارزیابی دقیق رفتار سازه در یک سطح عملکرد خاص مشکل می‌باشد، مگر آنکه عرض مؤثر بر اساس تغییر شکل پذیرفته شود.

بر اساس مطالعات انجام شده در این مقاله، پیشنهادات زیر ارائه می‌گردد:

دیوار تحت کشش: چنین حالتی زمانی اتفاق می‌افتد که در دیوار، نیروی کششی بوجود آمده بزرگتر از نیروی

قرار زیر می‌باشند: هنگامی که دیوار تحت کشش قرار می‌گیرد، بدون توجه به ابعاد و بال دیوار، کل عرض بال مؤثر در نظر گرفته می‌شود. در موقعیتی که دیوار تحت اثر خمش خالص قرار دارد با توجه به سطح تغییرمکان نسبی می‌توان عرض مؤثر بال را تعیین نمود؛ بدین صورت که در تغییرمکان ۰/۵ درصد، عرض مؤثر بال برابر ۰/۸۵L، در تغییرمکان نسبی ۱ درصد، عرض مؤثر بال برابر ۱/۳۵L و در تغییرمکان نسبی ۲ درصد، عرض مؤثر بال برابر ۱/۹L پیشنهاد می‌گردد. همچنین هنگامی که دیوار تحت فشار ثقلی قرار دارد، عرض مؤثر بال به صورت زیر توصیه می‌گردد: در تغییرمکان ۰/۵ درصد، عرض مؤثر بال برابر ۰/۵L، در تغییرمکان نسبی ۱ درصد، عرض مؤثر بال برابر ۰/۹۵L و در تغییرمکان نسبی ۲ درصد، عرض مؤثر بال برابر ۱/۱L پیشنهاد می‌گردد. اگرچه روش پیشنهادی نسبت به آئین نامه بتن ایران (آبا) پیچیده‌تر می‌باشد، اما این روش در محاسبه پارامترهای مهم، منطقی‌تر است.

فهرست نشانه‌ها

f_c : مقاومت فشاری بتن (نمونه استوانه‌ای ۲۸ روزه).

ε_{co} : حداکثر کرنش فشاری بتن.

f_{su} : تنش نهایی فولاد.

f_{sy} : تنش تسلیم فولاد.

ε_{sy} : کرنش حد تسلیم فولاد.

این مقادیر با انتخاب بزرگترین اعداد در ستونهای مربوطه از جدول‌های (۳ و ۴) به دست آورده شده و سپس اصلاح شده‌اند.

نتیجه گیری

تأثیر تعدادی از پارامترهای مؤثر در عرض بال دیوارهای برشی بتن‌آرمه بالدار به کمک تحلیل‌های المان محدود بررسی شد. مدل تحلیل مورد استفاده، رفتار غیرخطی بتن و فولاد را در نظر گرفته و این حالت از طریق مقایسه با داده‌های آزمایشگاهی تأیید شد. نتایج تحلیل نشان می‌دهد، اگرچه عرض مؤثر بال دیوار به طور قابل ملاحظه‌ای به عنوان تابعی از ارتفاع دیوار تغییر نمی‌کند، اما شدیداً به سطح تغییرمکان نسبی، سطح بارمحوری و طول دیوار وابسته می‌باشد.

مقایسه بین نتایج عددی و ضوابط آئین نامه بتن ایران (آبا) نشان می‌دهد که آئین نامه، خصوصاً در زمان حضور بار محوری فشاری، عرض مؤثر بال دیوار را به طور دقیق تعیین نمی‌کند. موضوع دیگر در ارتباط با دیدگاه‌های آئین‌نامه این است که عرض مؤثر بال محدود به ارتفاع دیوار می‌شود، اگر چه طول دیوار متغیر مؤثرتری می‌باشد.

معیارهای طراحی که تابعی از طول دیوار، تغییرمکان نسبی دیوار و سطح نیروی محوری می‌باشد، برای محاسبه عرض مؤثر بال دیوار پیشنهاد شدند که به

مراجع

- Englekirk, R.E., "Seismic Design of Reinforced and Precast Concrete Buildings", John Wiley and Sons, Inc., USA, (2003).
- "آئین نامه بتن ایران «آبا»"، نشریه شماره ۱۲۰، تجدید نظر اول، سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، چاپ چهارم، ۱۳۸۲.
- Wallace, J.W., "Seismic Design of RC Structural Walls", *ASCE Journal of Structural Engineering*, Vol.121, No.1, pp. 88-101, January, (1995).

4. ACI Committee 318, "Building Code Requirements for Reinforced Concrete (ACI 318-99)", American Concrete Institute, Detroit, (1999).
5. Timoshenko, S. P., and Goodier, J. N., "Theory of Elasticity", 3rd Edition, McGraw-Hill, N.Y., 567 pp, (1970).
6. Reisner, E., "Analysis of Shear Lag in Box Beams by Principle of Minimum Potential Energy", *Journal of Mechanics and Applied Mathematics*, V. 4, No. 3, pp. 268-278, (1964).
7. Fan, H. M., and Heins C. P., "Effective Slab Width of Simple Span Steel I-Beam Composite Bridges at Ultimate Load" *Journal of Mechanics and Applied Mathematics*, V. 12, No. 2, pp 128-139, (1989).
8. Song, Q. G., and Scordelis, A. C., "Formulation for Shear Lag Effect of T-, I-, and Box Beams, " *Journal of Structural Engineering*, ASCE, V. 116, No. 5, pp. 1306-1318, May (1990).
9. Pantazopoulou, S. J., and Moehle J. P., "Identification of Effect of Slabs on Flexural Behavior of Beams" *Journal of Structural Engineering*, ASCE, V. 116, No. 1, pp. 91-104, Jan (1990).
10. Qi, X., and Pantazopoulou, S. J., "Response of RC Frames under Lateral Loads", *Journal of Structural Engineering*, ASCE, V. 117, No. 4, pp. 1167-1188, (1991).
11. Shahrooz, B. M., and Pantazopoulou, S. J., "Modeling Slab Contribution in Frame Connections", *Journal of Structural Engineering*, ASCE, V. 118, No. 9, pp. 2475-2492, (1992).
12. Hosoyama, H.; Abe, I.; Kitagawa, Y.; and Okada, T., "Shaking Table Tests of Three-Dimensional Scale Models of Reinforced Concrete High-Rise Frame Structures with Wall Columns", *ACI Structural Journal*, V. 92, No. 6, pp. 765-780, Non.-Dec (1995).
13. Pantazopoulou, S. J., and French, C. W., "Slab Participation in Practical Earthquake Design of Reinforced Concrete Frames", *ACI Structural Journal*, V. 98, No. 7, pp. 479-489, July-Aug (2001).
14. Ngwenya, B., "Nonlinear Analysis of High-Rise Structural Walls", *M. Sc. Thesis*, Department of Civil Engineering and Applied Mechanics, McGill University, Montreal, Canada, (1996).
15. Manatakos, K., "Analysis of Low- and Medium-Rise Buildings", *M. Sc. Thesis*, Department of Civil Engineering and Applied Mechanics, McGill University, Montreal, Canada, (1989).
16. Kheyroddin, A., "Nonlinear Finite Element Analysis of Flexure-Dominant Reinforced Concrete Structures", *Ph.D. Thesis*, Department of Civil Engineering and Applied Mechanics, McGill University, Montreal, Canada, 290p, March (1996).
17. Nofal, M.E., "Inelastic Load Distribution of Composite Concrete- Steel Slab on Girder Bridge", *M.Eng. Thesis*, Dept. of Civil Eng., Carleton University, Canada, (1988).
18. Vecchio, F.J., Palermo, D., "Behavior of Three Dimensional Reinforced Concrete Shear Walls", *ACI Structural Journal*, V. 99, No. 1, Jan.-Feb. (2002).
19. Wallace, J.W., Thomsen, J.H. "Seismic Design of RC Structural Walls", *ASCE Journal of Structural Engineering*, Vol.121, No.1, pp. 88-101, January (1995).

20. Kwan, A. K. H., "Shear Lag in Shear/Core Walls", *Journal of Structural Engineering*, ASCE , V. 122, No. 9, pp. 1097-1104, Sep (1996).