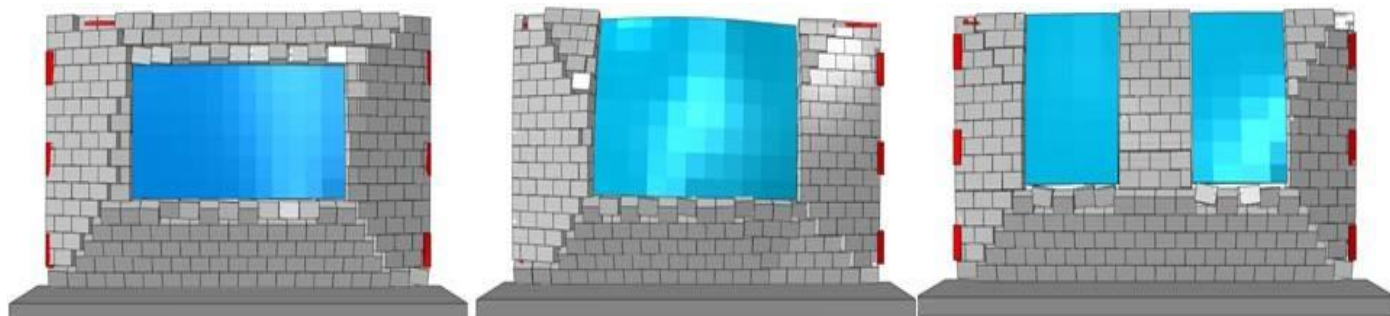


CODE-729
COMMENTARY
VERIFICATION REPORT
DESIGN EXAMPLES

تفسیر، صحت سنجی و نمونه محاسبات طراحی دیوارهای بنایی غیرسازه ای مطابق ضابطه ۷۲۹

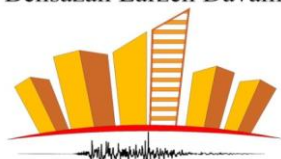
سید امین موسوی – مولف ضابطه ۷۲۹



تهیه شده توسط
شرکت بهسازان لרزه دوام

به سفارش
شرکت فراسازان آویژه

Behsazan Larzeh Davam



فراسازان
آویژه
Farasazan Avijeh

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه

فصل دوم: معرفی ضابطه ۷۲۹

فصل سوم: رفتار دیوارهای بنایی غیرسازه ای

فصل چهارم: مدول گسیختگی

فصل پنجم: ملات

فصل ششم: محاسبه ظرفیت (مقاومت خمشی) دیوار

فصل هفتم: محاسبه تقاضای (لنگر خمشی) وارده بر دیوار

فصل هشتم: اتصالات دیوار و نعل درگاه بازشوها

فصل نهم: اپلیکیشن تحت اکسل طراحی دیوارهای بنایی غیرسازه ای

فصل دهم: مقایسه نتایج ضابطه ۷۲۹ با نتایج آزمایشگاهی

فصل یازدهم: نمونه محاسبات مشروح

فصل دوازدهم: طراحی دیوارهای غیرسازه ای یک ساختمان مسکونی

فصل سیزدهم: جمع بندی

فصل چهاردهم: مراجع

فصل اول - مقدمه

سالیان درازی است که در بسیاری از کشورها از جمله ایران، دیوارهای غیرسازه ای از جمله دیوارهای داخلی و پیرامونی ساختمان از جنس دیوارهای بنایی (عمدتا بلوک های سفالی و یا سیمانی) ساخته می شوند. با این وجود دیوارهای غیرسازه ای معمولا توسط طراحان سازه نادیده گرفته شده و سازمانها و نهادهای مسئول نیز آن طور که باید به این امر توجه نداشته اند. به منظور تهیه مرجعی منسجم به منظور طراحی دیوارهای بنایی غیرسازه ای، ضابطه ۷۲۹ (۱۳۹۵) تحت عنوان "راهنمای طراحی لرزه ای دیوارهای بنایی غیرسازه ای مسلح به میلگرد بستر" چندین ماه قبل از وقوع زلزله سرپل ذهاب و در اواخر سال ۱۳۹۵ توسط سازمان برنامه و بودجه کشور منتشر گردید. پس از زلزله سرپل ذهاب توجه مهندسين به اهمیت اجزای غیرسازه ای بیش از پیش معطوف گردید و می توان اظهار داشت اهمیت طراحی دیوارهای غیرسازه ای دیگر برکسی پوشیده نیست. متن حاضر تفسیری از الزامات و روند طراحی بر اساس ضابطه ۷۲۹ را ارائه می دهد. همچنین با استفاده از داده های آزمایشگاهی حاصل از ۷۲ نمونه دیوار بنایی با مقیاس کامل، صحت ضابطه ۷۲۹ در تخمین ظرفیت دیوار بررسی شده است. انتها در قالب مثالهای متعددی، روند طراحی دیوارهای بنایی غیرسازه ای مطابق ضابطه ۷۲۹ ارائه شده است.

فصل دوم - معرفی ضابطه ۷۲۹

یکی از کامل ترین مراجع در خصوص طراحی دیوارهای بنایی غیرسازه ای، ضابطه ۷۲۹ می باشد که روند طراحی در آن کاملا به شکل مهندسی و با استفاده از مقایسه ظرفیت دیوار و تقاضای وارده بر دیوار صورت می گیرد. به بیان دیگر در این ضابطه دهانه یا ارتفاع دیوار به شکل تجویزی به مقدار خاصی محدود نشده و شرط پذیرش یک طرح برای دیوار صرفا کافی بودن ظرفیت دیوار در مقایسه با تقاضای وارده بر آن می باشد. مهمترین موارد مطرح شده در ضابطه ۷۲۹ را می توان به صورت زیر فهرست نمود.

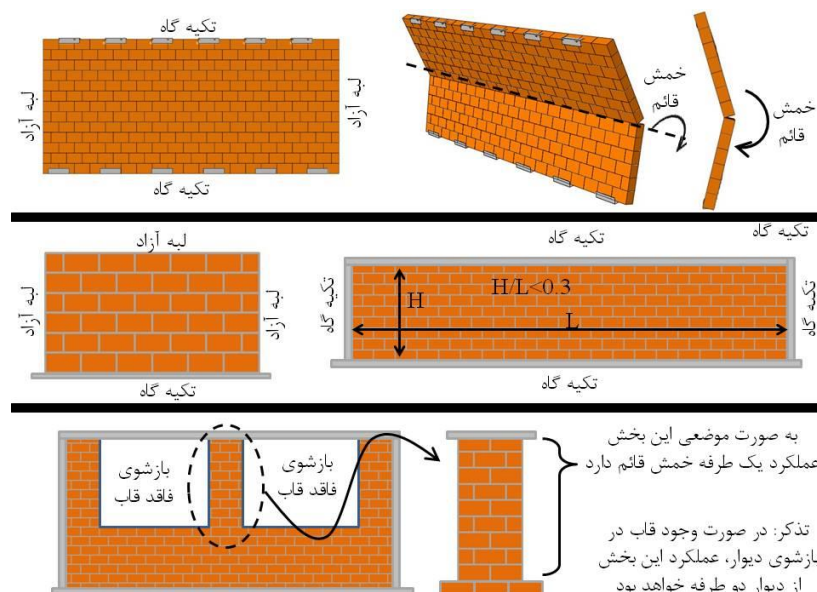
- ضابطه ۷۲۹ بر اساس آیین نامه های (2011) ACI 530 و (2005) Eurocode 6 و نیز نتایج آزمایشگاهی و عددی تهیه و تدوین شده است.
- ضابطه ۷۲۹ در خصوص دیوارهای ساخته شده با آجر و بلوک های رسی، سفالی، سیمانی و AAC دارای روند طراحی مهندسی می باشد. لیکن در خصوص دیوارهای ساخته شده با بلوک های شیشه ای این ضابطه از طراحی تجویزی (فاقد محاسبه) استفاده می کند.
- عوامل موثر در مقاومت دیوار تنها ابعاد و ضخامت دیوار نبوده بلکه نوع ملات بکار رفته در ساخت دیوار و نیز شرایط مرزی دیوار و وجود یا عدم وجود بازشو در دیوار بسیار در ظرفیت خارج از صفحه آن موثر است.
- در ضابطه ۷۲۹ استفاده از "والپست" مجاز نمی باشد چرا که این المان در آیین نامه های بین المللی نیز وجود نداشته و اصولا آزمایش جامعی در خصوص عملکرد لرزه ای آن وجود ندارد. نتایج عددی انجام شده توسط نگارنده این متن نیز حاکی از عملکرد ضعیف والپست به عنوان تکیه گاه برای دیوار می باشد.
- در روند طراحی مهندسی معرفی شده در ضابطه ۷۲۹ نیروی وارد بر دیوار ناشی از باد و زلزله و نیز ظرفیت خمش خارج از صفحه دیوار بر مبنای اصول مهندسی محاسبه می گردند.
- به منظور تسهیل در طراحی دیوارهای بنایی غیرسازه ای منطبق با ضابطه ۷۲۹، نرم افزار طراحی تحت اکسل تهیه شده است که با استفاده از آن طراح قادر است با وارد نمودن مشخصات دیوار، کفایت دیوار در تحمل بارهای وارده را کنترل نماید. صحت نتایج بدست آمده توسط این نرم افزار با استفاده از نتایج آزمایشگاهی، عددی و محاسبات دستی به اثبات رسیده است.
- در ضابطه ۷۲۹ فرض بر این است که دیوار در امتداد داخل صفحه از سازه جدا بوده لذا در هنگام باد و یا زلزله تنها نیروهای خارج از صفحه به دیوار اعمال می شود.

- در ضابطه ۷۲۹ هیچ کنترلی بر روی ظرفیت برشی و یا محوری دیوار انجام نمی شود. چرا که در خصوص دیوارهای غیرسازه ای جدا شده از سازه تنها تقاضای بحرانی، خمشی خارج از صفحه دیوار می باشد.
 - دیوارهای بنایی غیرسازه ای دارای رفتاری غیرایزوتروپیک و عمدتاً دو طرفه هستند که هر دو اثر مذکور در ضابطه ۷۲۹ لحاظ شده است.
 - جزئیات اتصال دیوار به سازه و محاسبات مربوط به اتصالات دیوار در ضابطه موجود می باشد.
 - مطابق ضابطه ۷۲۹ دیوارهای بنایی غیرسازه ای در تمام مناطق ایران باید حداقل در یک امتداد (افقی یا قائم) مسلح باشند. ساده ترین روش برای دستیابی به این امر استفاده از میلگرد بستر است.
- متن حاضر بر اساس پیش نویس ویرایش جدید ضابطه ۷۲۹ تدوین شده است لذا در مقایسه با ضابطه ۷۲۹ (۱۳۹۵) تفاوتی وجود دارد.

فصل سوم - رفتار دیوارهای بنایی غیرسازه ای

دیوارهای بنایی غیرسازه ای بسته به شرایط تکیه گاهی خود می توانند دارای رفتار یک طرفه یا دو طرفه باشند. رفتار یک طرفه نیز خود به دو دسته دهانه قائم و دهانه افقی تقسیم می شود. رفتار دیوار را می توان به شکل زیر دسته بندی نمود:

– یک طرفه-خمش قائم: منظور از خمش قائم، خمشی است که منجر به ایجاد کشش در بند بستر دیوار می شود. این خمش حول محور افقی دیوار رخ داده و منجر به ترک های افقی در دیوار (در ملات بستر) می شود. این حالت در دیوارهایی رخ می دهد که تنها در دو لبه فوقانی و تحتانی خود دارای قید خارج از صفحه (تکیه گاه) می باشند. همچنین در صورتی که لبه فوقانی دیوار آزاد باشد و تنها لبه تحتانی دیوار دارای تکیه گاه باشد، در این حالت نیز خمش قائم یک طرفه در دیوار رخ می دهد. به علاوه در صورتی که نسبت ارتفاع دیوار به طول آن از 0.3 کوچکتر باشد، در روند طراحی می توان رفتار دیوار را صرفنظر از شرایط تکیه گاهی به صورت یکطرفه تحت خمش قائم در نظر گرفت. شکل (۳-۱) نمونه هایی از دیوارهای با رفتار یک طرفه تحت خمش قائم را نشان می دهد. مقاومت دیوار در این حالت به چسبندگی مابین ملات و واحدهای بنایی بستگی دارد. این پارامتر با مدول گسیختگی نشان داده می شود که در بخش بعد شرح داده شده است.

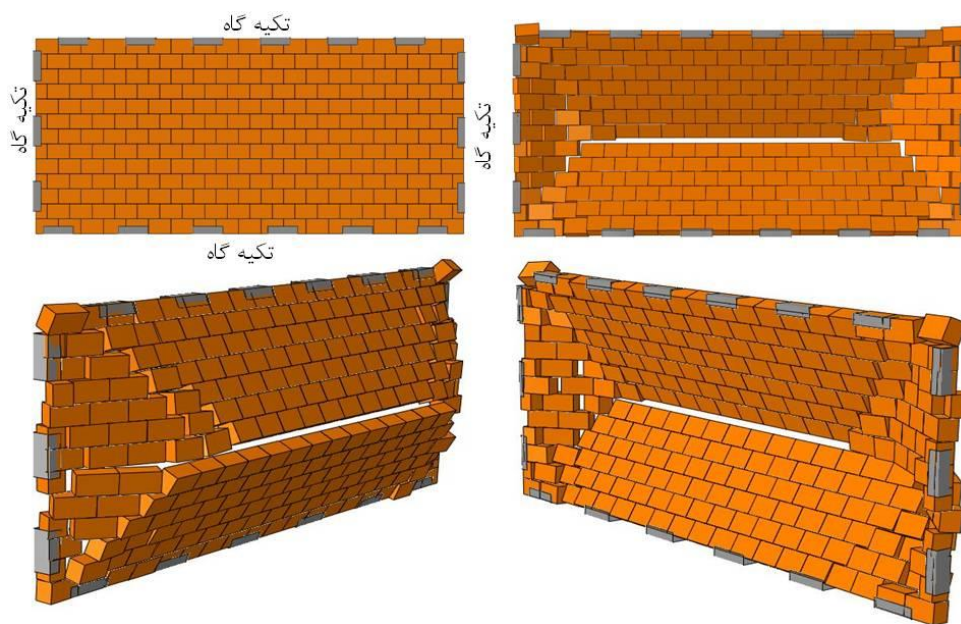


شکل ۳-۱. نمونه هایی از دیوارهای بنایی با عملکرد یک طرفه خمش قائم

- یک طرفه - خمش افقی: خمشی افقی خمشی است که حول محور قائم اعمال می شود و میل به ایجاد ترکهایی قائم (عمود بر بند بستر) در دیوار دارد. در این حالت دیوار تنها در دو لبه قائم خود دارای تکیه گاه بوده و لبه فوقانی و تحتانی آن در امتداد خارج از صفحه آزاد هستند. همچنین در صورتی که دیوار در سه یا چهار لبه دارای تکیه گاه بوده اما نسبت ارتفاع به طول دیوار بیش از ۲ باشد، عملکرد دیوار را می توان به صورت یک طرفه با خمش افقی در نظر گرفت. نمونه هایی از خمشی افقی در شکل (۳-۲) نشان داده شده است. بر خلاف خمش قائم، در خمش افقی چیزی که در برابر خمش مقاومت می کند، مقاومت برشی ناشی از پیچش در ملات بند بستر (بند افقی) و نیز چسبندگی ملات بند قائم (در صورت وجود) به واحدهای بنایی می باشد. نتایج آزمایشات (Willis, 2004) نشان داده است که در مقایسه با مقاومت تامین شده توسط عملکرد برشی ملات در بند بستر، مقاومت ناشی از مدول گسیختگی ملات بند قائم مقدار کمتری بوده و اساساً این دو مقاومت هم زمان در دیوار بسیج نمی شوند. لذا وجود و یا عدم وجود ملات در بند قائم از نظر سازه ای تاثیر اندکی در مقاومت خارج از صفحه دیوار خواهد داشت. بدیهی است در صورت حضور میلگرد بستر در دیوار، عملکرد اصلی میلگرد بستر پس از عملکرد برشی ملات بند بستر رخ می دهد. ترتیب بسیج شدن مقاومت دیوار تحت خمش افقی به صورت زیر می باشد (شکل ۳-۳):

مرحله اول: رسیدن ملات موجود در بند قائم (در صورت وجود) به مدول گسیختگی خود و بروز ترک در آن
مرحله دوم: رسیدن ملات موجود در بند بستر به ظرفیت برشی ناشی از پیچش و بروز ترک در آن
مرحله سوم: تسلیم مفتول کششی میلگرد بستر (در صورت وجود) و ایجاد فشار در وجه دیگر دیوار تا بروز گسیختگی در مفتول کششی میلگرد بستر یا جداسازی میلگرد بستر از ملات بند بستر
لازم است تاکید شود سه مرحله فوق به صورت همزمان رخ نداده و مقاومت های ناشی از سه مکانیزم فوق نباید با یکدیگر جمع شوند. در دیوارهای غیرمسلح، مقاومت تحت خمش افقی برابر مقاومت تامین شده در مراحل اول و دوم می باشد و در دیوارهای مسلح به میلگرد بستر، مقاومت دیوار تحت خمش افقی برابر مقاومت مرحله سوم است. بنابراین در دیوارهای مسلح به میلگرد بستر، وجود ملات در بندهای قائم از نظر سازه ای ضرورتی ندارد. لیکن وجود ملات در بندهای قائم از سایر جنبه ها اثرات مفید دارد (عایق صوت، حرارت، عدم نفوذ رطوبت و ..). لذا وجود ملات در بندهای قائم امری قابل توصیه می باشد. اگرچه روند ساخت بلوک چینی در کشور به نحوی است که معمولاً در بندهای قائم ملات قرار نمی گیرد. از نظر ضابطه ۷۲۹ این روش مردود نمی باشد.

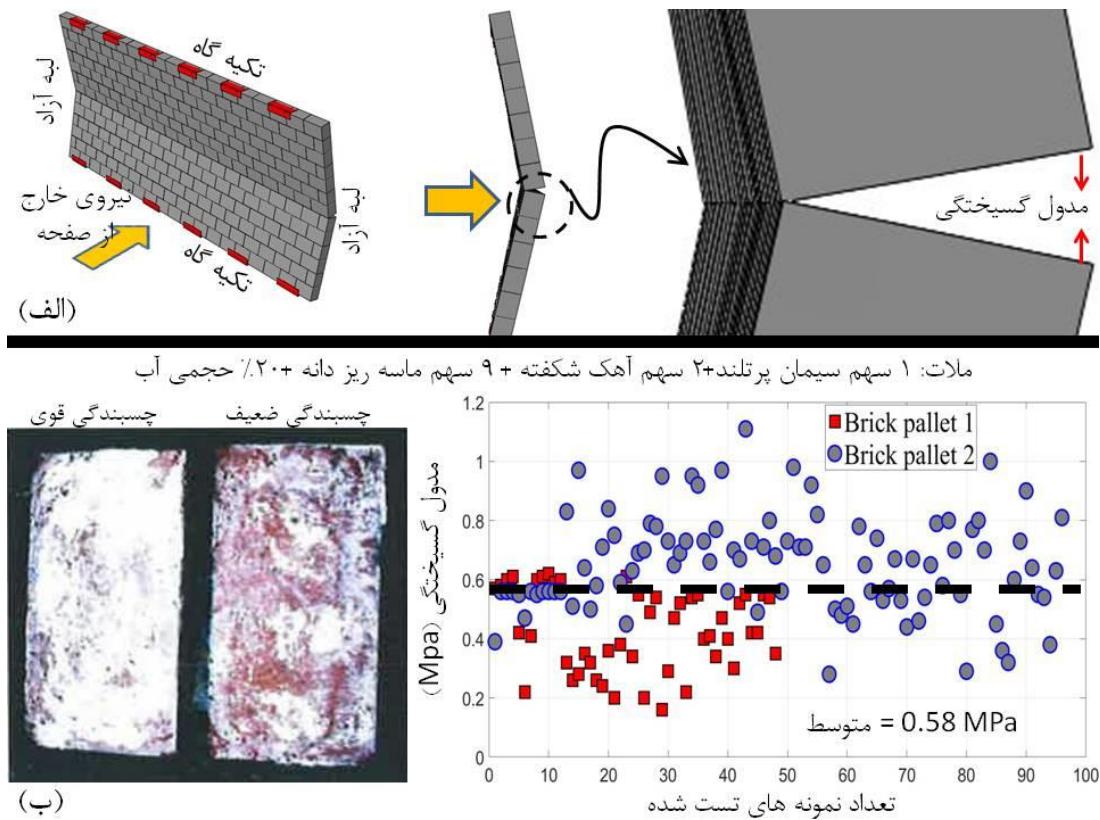
- دوطرفه: این حالت زمانی رخ می دهد که حداقل دو لبه مجاور یکدیگر در دیوار مقید شده باشند. به عنوان مثال دیوارهایی که سه لبه و یا هر چهار لبه آن دارای تکیه گاه است دارای رفتاری دوطرفه خواهد بود. در اکثر موارد رفتار دیوارهای بنایی غیرسازه ای به صورت دوطرفه می باشند. شکل (۳-۴) نمونه ای از یک دیوار بنایی با عملکرد دو طرفه به همراه الگوی ترکها و نحوه فروریزش آن را نشان می دهد. با توجه به اینکه دیوار در خمش افقی و قائم دو مقاومت متفاوت دارد، لذا رفتار آن غیر ایزوتروپیک بوده و شبیه سازی دقیق رفتار یک دیوار بنایی با عملکرد دو طرفه تحت بارهای خارج از صفحه کار ساده ای نبوده و نیازمند استفاده از تحلیل های خاص و نسبتا زمان بر خواهد بود که برای طراحی های روزمره مهندسی مناسب نمی باشد. برای حل این چالش، روش های ساده شده ای به منظور تحلیل دیوارهای بنایی تحت خمش خارج از صفحه ارائه شده است که از آن جمله می توان به روش کار مجازی و روش خطوط تسلیم اشاره نمود. روش کار مجازی در آیین نامه های مختلفی از جمله آیین نامه طراحی مصالح بنایی استرالیا (2001) AS 3700 مطرح شده است در مقابل آیین نامه هایی همچون Eurocode 6 (2005) از روش خطوط تسلیم برای تحلیل عملکرد دوطرفه دیوار استفاده می کنند. برخی از آیین نامه ها نیز همانند (2013) ACI 530 اساسا در این خصوص سکوت کرده و روش مشخصی را پیشنهاد نداده اند. در ضابطه ۷۲۹ روند تحلیل عملکرد دوطرفه دیوار بر اساس خطوط تسلیم می باشد که در بخش های بعد بدان اشاره خواهد شد.



شکل ۳-۴. نمونه عملکرد دوطرفه دیوار و الگوی ترکها و نحوه فروریزش آن

فصل چهارم - مدول گسیختگی

مدول گسیختگی در واقع همان مقاومت چسبندگی مابین واحد بنایی (آجر یا بلوک) و ملات می باشد. به عنوان مثال مقاومت یک دیوار بنایی فاقد بار محوری تحت خمش قائم مطابق شکل (۴-۱-الف) به مدول گسیختگی بستگی داشته و در این شرایط به نوعی تنش مجاز دیوار بنایی برابر مدول گسیختگی آن خواهد بود. لازم به ذکر است در صورتی که دیوار دارای بار محوری فشاری باشد، علاوه بر مدول گسیختگی، مقاومت دیوار از طریق بار محوری نیز تامین می شود. لیکن با توجه به جزئیات دیوارهای بنایی غیرسازه ای (ایجاد فاصله ای کوچک مابین لبه فوقانی دیوار و سقف)، در روند طراحی فرض بر این است که دیوار فاقد بار محوری می باشد.



شکل ۴-۱. الف) نقش مدول گسیختگی دیوار بنایی در تامین مقاومت خارج از صفحه تحت خمش قائم. ب) نمونه ای از نتایج بدست آمده برای مدول گسیختگی بر اساس تست های انجام شده توسط Willis (2004).

مدول گسیختگی به عواملی از جمله نوع ملات، میزان جذب آب واحدهای بنایی، مهارت بنا، شرایط محیطی و ... بستگی دارد. حتی در کنترل شده ترین شرایط نیز، مقاومت چسبندگی را نمی توان با دقت بالا تخمین زد. شکل (۴-۱-ب) نتایج آزمایشگاهی مدول گسیختگی بدست آمده از ۱۴۴ نمونه را نشان می دهد. در کلیه نمونه ها تقریبا از یک نوع ملات با طرح اختلاط یکسان استفاده شده است، لیکن آجرها از دو منبع مختلف تهیه شده اند. مطابق شکل (۴-۱-ب) در برخی از تست ها گسیختگی در خود ملات رخ داده و نه در فصل مشترک بین ملات و آجر لذا پس از تست بر روی آجر همچنان ملات چسبیده است که نشان دهنده چسبندگی قوی مابین ملات و آجر می باشد. در مقابل در برخی دیگر از تست ها گسیختگی در فصل مشترک بین ملات و آجر رخ داده و پس از تست تقریبا آجر فاقد ملات می باشد و سطح تمیزی دارد که این امر نشان از ضعیف بودن چسبندگی مابین ملات و آجر است. بر اساس نتایج مشخص است که عدم قطعیت در تخمین مدول گسیختگی بسیار بالا بوده لذا در روند تخمین مدول گسیختگی لازم است محافظه کارانه عمل شود. لازم به ذکر است آیین نامه های مختلف بین المللی مقادیر بسیار متفاوتی از مدول گسیختگی را توصیه نموده اند که این خود حاکی از عدم قطعیت در تخمین این پارامتر است. لیکن یکی از کامل ترین مراجع در خصوص تعیین مدول گسیختگی مصالح بنایی، آیین نامه ACI 530-13 می باشد.

مطابق جدول (۴-۱)، در ضابطه ۷۲۹ مدول گسیختگی بر اساس آیین نامه ACI 530-13 تعریف شده است که مقدار آن به نوع ملات و نیز شرایط واحد بنایی (تو پر یا تو خالی یا دارای دوغاب) بستگی دارد. در طراحی دیوارهای مسلح به میلگرد بستر تنها به مدول گسیختگی در امتداد عمود بر بند بستر نیاز می باشد چرا که در خمش افقی میلگرد بستر تامین کننده مقاومت خواهد بود. با این وجود برای اطمینان از تامین مقدار میلگرد بستر حداقل، لازم است مدول گسیختگی موازی بند بستر نیز مشخص باشد. چراکه میلگرد بستر باید حداقل به قدری باشد که لنگر مقاوم حاصل از آن از $\frac{1}{3}$ برابر ظرفیت خمش افقی دیوار کمتر نشود. لذا در روند طراحی به مقاومت خمش افقی دیوار و متعاقبا مدول گسیختگی موازی بند بستر نیز نیاز است.

همانطور که ملاحظه می شود، نوع ملات تاثیر قابل توجهی در مدول گسیختگی و متعاقبا ظرفیت خمش قائم دیوار دارد. لذا لازم است نوع ملات مصرفی در دیوار در مرحله طراحی مشخص شود. طرح اختلاط ملات ها مختلف در جدول ۴-۲ ارائه شده است.

جدول (۴-۱). مدول گسیختگی دیوارهای بنایی (بر حسب MPa یا N/mm^2) - برگرفته از ضابطه ۷۲۹

ملات ساخته شده با سیمان بنایی		ملات ساخته شده با ترکیب سیمان پورتلند و آهک			
ملات نوع S	ملات نوع N	ملات نوع S	ملات نوع N		
۰/۵۵	۰/۳۵	۰/۹۲	۰/۶۹	واحد توپر	در امتداد عمود بر بند بستر
۰/۳۵	۰/۲۱	۰/۵۸	۰/۴۴	واحد توخالی فاقد دوغاب	
۱/۰۵	۱	۱/۱۲	۱/۰۹	واحد توخالی پر شده با دوغاب	
۱/۱۰	۰/۶۹	۱/۸۴	۱/۳۸	واحد توپر	در امتداد موازی بند بستر در دیوارهای با پیوند ممتد
۰/۶۹	۰/۴۴	۱/۱۵	۰/۸۷	واحد توخالی فاقد دوغاب	
۱/۱۰	۰/۶۹	۱/۸۴	۱/۳۸	واحد توخالی پر شده با دوغاب*	
۲/۳۱	۲/۳۱	۲/۳۱	۲/۳۱	مقطع پر شده با دوغاب در امتداد بند بستر به صورت یکپارچه**	در امتداد موازی بند بستر در دیوارهای با پیوند غیرممتد
صفر	صفر	صفر	صفر	سایر موارد	

* در صورتی که تنها بخشی از حفره ها با دوغاب پر شده باشد، می توان بر اساس درصد حفره های پر شده با دوغاب مدول گسیختگی را از درون یابی بین حالت فاقد دوغاب و پر شده با دوغاب بدست آورد.

** تنها بخشی از دیوار که با دوغاب در امتداد موازی بند بستر به طور پیوسته پر شده در تحمل خمش موثر است.

فصل پنجم - ملات

پس از قرار دادن ملات بر روی واحد بنایی (آجر یا بلوک)، بخشی از آب ملات توسط واحد بنایی جذب می شود. لذا گیرش ملات به شکل کامل اتفاق نخواهد افتاد. برای به حداقل رساندن این اثر لازم است اولاً ملات قابلیت نگهداری آب بالایی داشته باشد و ثانياً واحد بنایی جذب آب کمی داشته باشد. به همین دلیل لازم است واحدهای بنایی رسی یا سفالی زنجاب شوند. برای این کار می توان به مدت حدود نیم ساعت آجر را در داخل آب قرار داد. در این صورت پس از خارج کردن واحدهای بنایی از آب و پیش از قرار دادن ملات بر روی آنها باید سطح واحد بنایی خشک شده و خیس نباشد. زنجاب کردن برای واحدهای بنایی سیمانی یا بتنی یا AAC نباید انجام شود چراکه این واحدها در معرض آب منبسط می شوند و پس از قرار گرفتن در دیوار خشک شده و دچار جمع شدگی می شوند و می توانند منجر به ایجاد ترک در دیوار شوند. همچنین واحدهای رسی یا سفالی که جذب آب آن ها (طبق استاندارد ASTM C67) کمتر از 0.0031 گرم در دقیقه در میلیمتر مربع می باشد نیاز به زنجاب شدن ندارند.

به منظور تهیه ملاتی با قابلیت حفظ آب بالا، در کارهای بنایی نمی توان از ملات با سیمان پرتلند به تنهایی استفاده نمود چراکه این ملات نگهداری آب کمی داشته و ملات حاصل از آن کارایی لازم را ندارد. همچنین ملات ساخته شده از سیمان پرتلند به تنهایی جمع شدگی زیادی خواهد داشت. لذا لازم است حتما ماده چسباننده در ملات یکی از دو حالت زیر باشد:

- سیمان بنایی: در سیمان بنایی مقداری آهک وجود دارد که باعث می شود ملات کارایی لازم و حفظ آب خوبی داشته باشد.
 - ترکیب سیمان پرتلند و آهک شکفته (هیدراته): این نوع چسباننده بهترین عملکرد را در کارهایی بنایی خواهد داشت و در آن نسبت ترکیب سیمان به آهک نیز قابل تنظیم می باشد.
- نکته دیگری که باید در ساخت ملات بدان توجه شود بخش سنگدانه یا ماسه می باشد. ماسه به کار رفته در ملات با ماسه بکار رفته در بتن متفاوت است به طوری که در ملات باید از ماسه ریزدانه استفاده شود تا بدین ترتیب ملات حاصله خشن نبوده و کارایی لازم را داشته باشد. به طور کلی حداکثر اندازه ماسه در ملات نباید از ۵ میلیمتر بیشتر باشد و توصیه می شود حداکثر اندازه ماسه از حدود ۳ میلیمتر تجاوز نکند. دانه بندی

پیشنهادی برای ماسه به کار رفته در ملات مطابق جدول (۵-۱) می باشد. این جدول برگرفته از استاندارد ASTM C144 است.

جدول (۵-۱). دانه بندی ماسه مصرفی در ملات

شماره الک	اندازه سوراخ الک (mm)	حداقل و حداکثر درصد عبوری از الک	درصد عبوری از الک در حالت ایده آل
۴	۴/۷۵	%۱۰۰	%۱۰۰
۸	۲/۳۶	%۱۰۰-%۹۵	%۹۸
۱۶	۱/۱۸	%۱۰۰-%۷۰	%۸۵
۳۰	۰/۶۰	%۷۵-%۴۰	%۶۰
۵۰	۰/۳۰	%۳۵-%۱۰	%۲۵
۱۰۰	۰/۱۵	%۱۵-%۲	%۱۰
۲۰۰	۰/۰۷	%۵-۰	%۳

بسته به نوع ملات می توان از طرح اختلاط پیشنهادی در جدول (۵-۲) استفاده نمود. این طرح اختلاط مطابق استاندارد ASTM C270 می باشد.

جدول (۵-۲). طرح اختلاط حجمی ملات های نوع N و S

میانگین مقاومت فشاری ۲۸ روزه	سیمان بنایی -		سیمان بنایی -	آهک	سیمان پورتلند	نوع ملات	
	۱۲/۵ مگاپاسگال	۱۲/۵ مگاپاسگال	۵ مگاپاسگال				
۵ مگاپاسگال	۶	-	-	۱	۱	N	ملات با ترکیب سیمان پورتلند و آهک
۱۲/۵ مگاپاسگال	۴/۵	-	-	۰/۵	۱	S	ملات با سیمان بنایی
۵ مگاپاسگال	۳	-	۱	-	-	N	
۱۲/۵ مگاپاسگال	۳	۱	-	-	-	S	

*مقدار آب بر اساس تجربه بنا، میزان کارآیی لازم و شرایط محیطی بدست می آید.

لازم است ملات در دستگاه همزن بین ۳ تا ۵ دقیقه مخلوط شود. ساخت ملات به صورت دستی تنها با تایید مهندس ناظر مجاز می باشد. در صورتی که امکان نظارت کافی بر نحوه ساخت ملات وجود ندارد، توصیه می شود مهندس طراح در طراحی دیوار فرض را بر استفاده از ملات با سیمان بنایی نوع N (ضعیف ترین ملات) قرار

دهد. شایان ذکر است ملاتی که بیش از ۲/۵ ساعت از ترکیب آن گذشته است نباید در ساخت دیوار استفاده شود.

مطابق شکل (۱-۵) یک ملات بنایی مناسب باید همگن و اصطلاحاً خامه ای باشد. چنین ملاتی دارای اسلامپ بسیار پایینی بوده و این امر منجر به افزایش کارآیی آن می شود.



شکل ۱-۵. شکل ظاهری ملات خامه ای مناسب برای کارهای بنایی

فصل ششم - محاسبه ظرفیت (مقاومت خمشی) دیوار

۶-۱- دیوارهای بنایی غیر مسلح

مقاومت خمشی اسمی دیوارهای بنایی غیر سازه ای غیر مسلح (شامل دیوارهای با بلوک رسی، سیمانی و AAC) با استفاده از رابطه (۶-۱) بدست می آید.

$$M_n = f_r S \quad (۶-۱)$$

که در آن

$$S = \frac{I_g}{c'} \quad (۶-۲)$$

M_n = مقاومت خمشی اسمی دیوار (N.mm)

f_r = مدول گسیختگی دیوار (MPa یا N/mm²)

I_g = ممان اینرسی مقطع موثر ترک نخورده دیوار در جهت خارج از صفحه (mm⁴)

c' = فاصله مرکز سطح مقطع موثر دیوار تا دورترین تار کششی (mm)

برای دیواری ساخته شده از بلوک های توخالی و فاقد دوغاب، می توان مقاومت خمشی اسمی در واحد طول برای ۱ متر از طول) یا واحد ارتفاع (برای ۱ متر از ارتفاع) دیوار را به صورت زیر بدست آورد.

$$M_n = \frac{1000 f_r t_s (h - t_s)^2}{h} \left(N \cdot \frac{mm}{m} \right) \quad (۶-۳)$$

h = ضخامت دیوار (mm)

t_s = ضخامت پوسته واحدهای بنایی (mm) - به صورت پیشفرض این مقدار برای بلکوهای سفالی ۱۵ میلیمتر و برای بلوکهای سیمانی ۲۰ میلیمتر می باشد.

با ضرب مقاومت اسمی در ضریب کاهش مقاومت، مقاومت طراحی مطابق زیر بدست می آید.

$$M_d = \phi M_n \quad (4-6)$$

مقاومت خمشی طراحی با M_d و ضریب کاهش مقاومت با ϕ نشان داده شده است که مقدار آن برای دیوارهای بنایی غیرمسلح برابر ۰/۶ است.

تبصره: در صورتی که بندهای قائم دیوار از ملات پر نشده باشند، لازم است ظرفیت خمش افقی دیوار غیرمسلح به میزان ۳۰٪ کاهش یابد. این میزان کاهش بر اساس مطالعات آزمایشگاهی گذشته در خصوص تاثیر ملات در بندهای قائم بدست آمده است (Willis, 2004 و Maheri et al., 2011).

۶-۲- دیوارهای بنایی مسلح به میلگرد بستر

در دیوارهای مسلح به میلگرد بستر، مقاومت خمش افقی اسمی در واحد ارتفاع (۱ متر از ارتفاع دیوار) به صورت زیر می باشد.

$$M_n = \frac{1000 A_s f_y}{B} \left(d - \frac{A_s f_y}{2\beta f'_m B} \right) \left(N \cdot \frac{mm}{m} \right) \quad (5-6)$$

توجه داشته باشید که مقاومت اسمی بدست آمده از رابطه فوق مقاومت خمشی اسمی دیوار در واحد طول (یک متر از ارتفاع دیوار) می باشد. در رابطه فوق فاصله میلگردهای بستر در ارتفاع دیوار با B نشان داده شده و نیز A_s سطح مقطع یکی از مفتول های طولی میلگرد بستر است. مقاومت تسلیم فولاد مصرفی در میلگرد بستر با f_y نشان داده شده و نیز f'_m مقاومت فشاری دیوار بنایی (بر مبنای مقطع موثر) می باشد. پارامتر β برای دیوارهای ساخته شده از بلوکهای سفالی یا رسی یا سیمانی برابر ۰/۸ بوده و برای دیوارهای ساخته شده از بلوکهای AAC برابر ۰/۸۵ می باشد. در قیاب نتایج آزمایشگاهی، مقاومت فشاری دیوار بنایی (بر مبنای مقطع موثر) را می توان برابر 10 MPa برای دیوارهای ساخته شده از بلوکهای سفالی یا رسی یا سیمانی در نظر گرفت. این مقدار برای دیوارهای AAC برابر 2 MPa می باشد (در صورت عدم وجود نتایج آزمایشگاهی).

با ضرب مقاومت اسمی در ضریب کاهش مقاومت، مقاومت طراحی بدست می آید.

$$M_d = \phi M_n \quad (6-6)$$

ضریب کاهش مقاومت با ϕ نشان داده شده است که مقدار آن برای دیوارهای بنایی غیرسازه ای مسلح برابر ۰/۹ می باشد.

فصل هفتم - محاسبه تقاضای (لنگر خمشی) وارده بر دیوار

۷-۱- دیوارهای با عملکرد یکطرفه - خمش قائم

در این حالت، تقاضای خمشی نهایی (M_u) وارده در هر متر از طول دیوار برابر است با:

$$M_u = \alpha w_u H^2 \quad (۱-۷)$$

برای دهانه دو سر ساده مقدار α برابر ۰/۱۲۵ و برای دهانه دو سر گیردار مقدار آن را می توان برابر ۰/۰۸۳ در نظر گرفت. همچنین H برابر ارتفاع خالص دیوار مابین دو تکیه گاه و w_u فشاری طراحی دیوار است. دستیابی به اتصال کاملاً گیردار در دیوارهای بنایی کار دشواری است لذا توصیه می شود در جهت اطمینان اتصالات دیوارهای بنایی به صورت مفصلی در نظر گرفته شود.

۷-۲- دیوارهای با عملکرد یکطرفه - خمش افقی

در این حالت، تقاضای خمشی نهایی وارده در هر متر از ارتفاع دیوار برابر است با:

$$M_u = \alpha w_u L^2 \quad (۲-۷)$$

که برای دهانه دو سر ساده مقدار α برابر ۰/۱۲۵ و برای دهانه دو سر گیردار در صورتی که دیوار مسلح به میلگرد بستر باشد مقدار آن برابر ۰/۰۶۳ و در صورتی که دیوار غیرمسلح باشد مقدار آن برابر ۰/۰۸۳ می باشد. بعلاوه L برابر طول مابین دو تکیه گاه دیوار و w_u فشاری طراحی دیوار است.

۷-۳- دیوارهای با عملکرد دوطرفه

دیوارهای با عملکرد دوطرفه اکثر قریب به اتفاق دیوارهای بنایی غیرسازه ای را شامل می شوند. در این حالت تقاضای خمشی نهایی در واحد طول در هر جهت به صورت زیر بدست می آید:

$$M_{u2} = \alpha_2 w_u L^2 \quad (۳-۷)$$

$$M_{u1} = \mu M_{u2} \quad (۴-۷)$$

که

$$M_{u2} = \text{تقاضای خمشی افقی}$$

$$M_{u1} = \text{تقاضای خمشی قائم}$$

L = طول دیوار یا طول پانل معادل دیوار (در خصوص دیوارهای دارای بازشو)

α_2 = ضریب خمشی افقی مطابق جداول موجود در ضابطه ۷۲۹ (این ضریب به نسبت ارتفاع به طول دیوار و نیز شرایط مرزی دیوار بستگی دارد)

w_u = فشار خارج از صفحه طراحی دیوار (ناشی از باد یا زلزله)

μ = نسبت اورتوگنال مطابق رابطه (۵-۷)

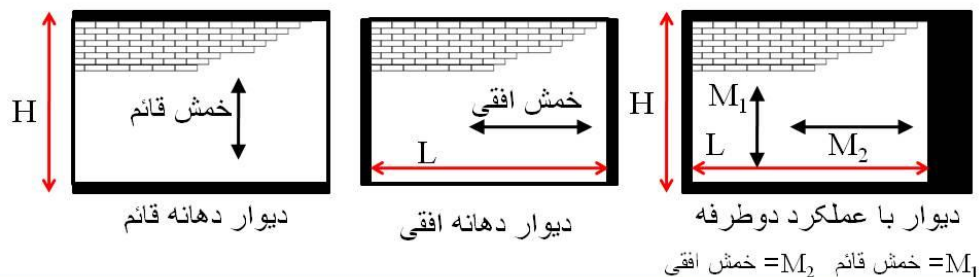
$$\mu = \frac{M_{d1}}{M_{d2}} \quad (۵-۷)$$

M_{d1} = ظرفیت خمشی طراحی دیوار در جهت قائم (در واحد طول)

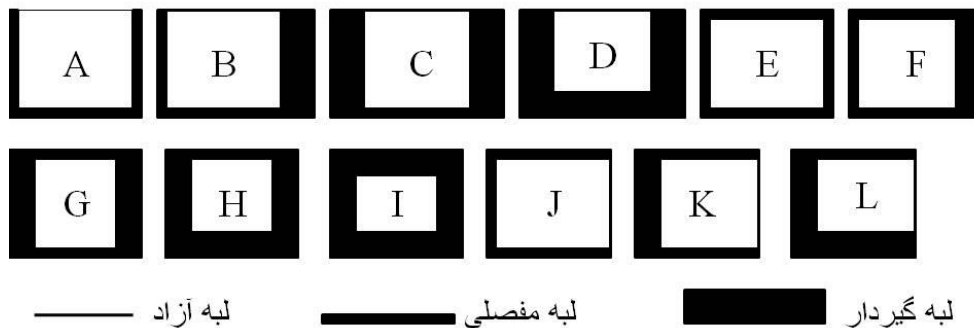
M_{d2} = ظرفیت خمشی طراحی دیوار در جهت افقی (در واحد ارتفاع)

در خصوص دیوارهای مسلح به میلگرد بستر، M_{d1} بر اساس بخش ۶-۱ (ظرفیت دیوارهای غیرمسلح) بدست می آید چراکه دیوار در امتداد خمشی قائم غیرمسلح می باشد. در امتداد خمشی افقی دیوار مسلح است و ظرفیت خمشی افقی آن مطابق بخش ۶-۲ (ظرفیت دیوارهای مسلح) بدست می آید. در صورتی که مقدار میلگرد بستر از حدی کوچکتر باشد، ممکن است مقاومت خود دیوار در خمشی افقی از مقاومت تامین شده توسط میلگرد بستر بیشتر باشد، لذا حداقل میلگرد بستر باید به نحوی باشد که مقاومت خمشی افقی دیوار مسلح از $1/3$ برابر

مقاومت خمش افقی دیوار غیرمسلح کمتر نباشد. مقدار ضریب α_2 برای سه شرط مرزی متداول در جداول (۱-۷) تا (۳-۷) ارائه شده است. برای اطلاع از مقدار این ضریب در سایر شرایط مرزی به ضابطه ۷۲۹ رجوع شود. همچنین شرایط مرزی مختلف موجود در ضابطه ۷۲۹ برای دیوارهای با عملکرد دوطرفه در شکل (۱-۷) نشان داده شده است.

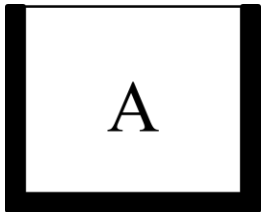


دسته بندی دیوارهای با عملکرد دوطرفه برحسب شرایط مرزی لبه ها




شکل ۱-۷. شرایط مرزی مختلف برای دیوارهای با عملکرد دوطرفه


جدول (۱-۷). ضریب خمش افقی (α_2) برای دیوار با شرایط مرزی نوع A (لبه های قائم و تحتانی مفصل و لبه فوقانی آزاد) - برگرفته از ضابطه ۷۲۹

شرایط مرزی دیوار	μ	H/L							
		۰/۳۰	۰/۵۰	۰/۷۵	۱/۰۰	۱/۲۵	۱/۵۰	۱/۷۵	۲/۰۰
	۰/۵۰	۰/۰۴۰	۰/۰۵۶	۰/۰۷۳	۰/۰۸۳	۰/۰۹۰	۰/۰۹۵	۰/۰۹۹	۰/۱۰۲
	۰/۴۰	۰/۰۴۳	۰/۰۶۱	۰/۰۷۷	۰/۰۸۷	۰/۰۹۳	۰/۰۹۸	۰/۱۰۱	۰/۱۰۴
	۰/۳۵	۰/۰۴۵	۰/۰۶۴	۰/۰۸۰	۰/۰۸۹	۰/۰۹۵	۰/۱۰۰	۰/۱۰۳	۰/۱۰۵
	۰/۳۰	۰/۰۴۸	۰/۰۶۷	۰/۰۸۲	۰/۰۹۱	۰/۰۹۷	۰/۱۰۱	۰/۱۰۴	۰/۱۰۷
	۰/۲۵	۰/۰۵۰	۰/۰۷۱	۰/۰۸۵	۰/۰۹۴	۰/۰۹۹	۰/۱۰۳	۰/۱۰۶	۰/۱۰۹
	۰/۲۰	۰/۰۵۴	۰/۰۷۵	۰/۰۸۹	۰/۰۹۷	۰/۱۰۲	۰/۱۰۵	۰/۱۰۸	۰/۱۱۱
	۰/۱۵	۰/۰۶۰	۰/۰۸۰	۰/۰۹۳	۰/۱۰۰	۰/۱۰۴	۰/۱۰۸	۰/۱۱۰	۰/۱۱۳
	۰/۱۰	۰/۰۶۹	۰/۰۸۷	۰/۰۹۸	۰/۱۰۴	۰/۱۰۸	۰/۱۱۱	۰/۱۱۳	۰/۱۱۵

جدول (۷-۲). ضریب خمشی افقی (α_2) برای دیوار با شرایط مرزی نوع E (هر چهار لبه دیوار مفصل) - برگرفته از ضابطه ۷۲۹

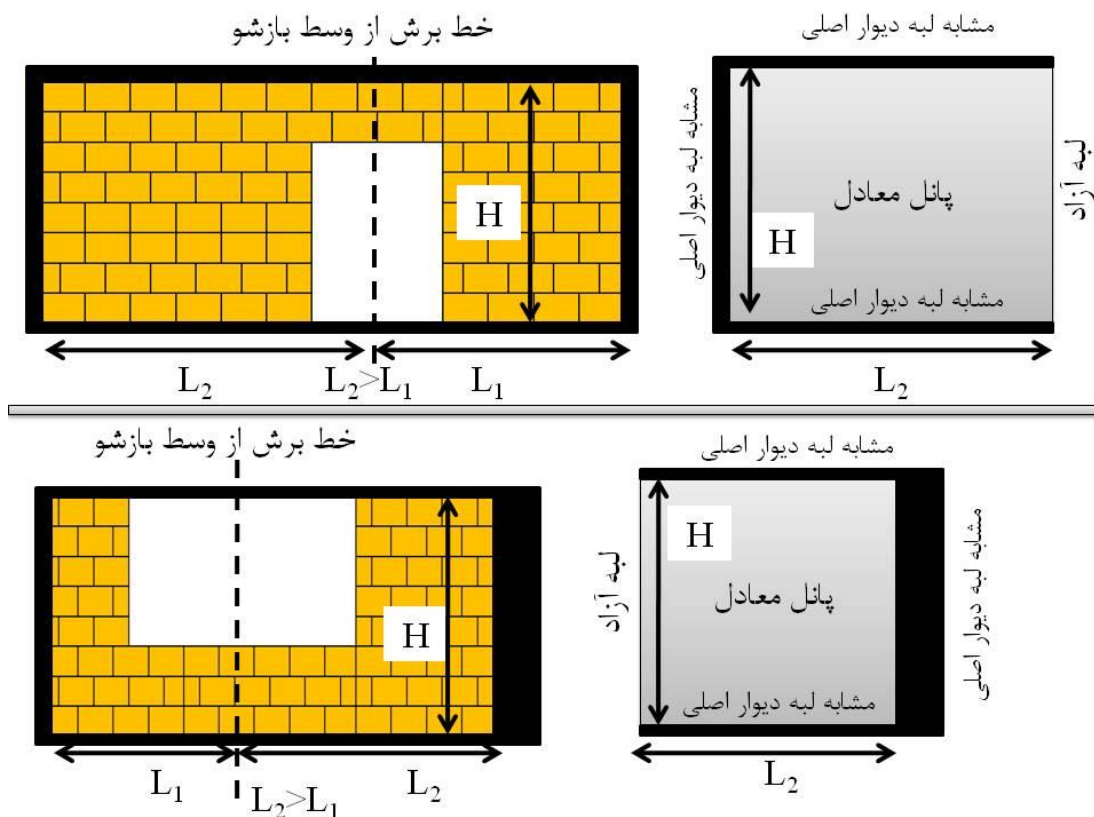
شرایط مرزی دیوار	μ	H/L							
		۰/۳۰	۰/۵۰	۰/۷۵	۱/۰۰	۱/۲۵	۱/۵۰	۱/۷۵	۲/۰۰
	۰/۵۰	۰/۰۱۴	۰/۰۲۸	۰/۰۴۴	۰/۰۵۷	۰/۰۶۶	۰/۰۷۴	۰/۰۸۰	۰/۰۸۵
	۰/۴۰	۰/۰۱۷	۰/۰۳۲	۰/۰۴۹	۰/۰۶۲	۰/۰۷۱	۰/۰۷۸	۰/۰۸۴	۰/۰۸۸
	۰/۳۵	۰/۰۱۸	۰/۰۳۵	۰/۰۵۲	۰/۰۶۴	۰/۰۷۴	۰/۰۸۱	۰/۰۸۶	۰/۰۹۰
	۰/۳۰	۰/۰۲۰	۰/۰۳۸	۰/۰۵۵	۰/۰۶۸	۰/۰۷۷	۰/۰۸۳	۰/۰۸۹	۰/۰۹۳
	۰/۲۵	۰/۰۲۳	۰/۰۴۲	۰/۰۵۹	۰/۰۷۱	۰/۰۸۰	۰/۰۸۷	۰/۰۹۱	۰/۰۹۶
	۰/۲۰	۰/۰۲۶	۰/۰۴۶	۰/۰۶۴	۰/۰۷۶	۰/۰۸۴	۰/۰۹۰	۰/۰۹۵	۰/۰۹۹
	۰/۱۵	۰/۰۳۲	۰/۰۵۳	۰/۰۷۰	۰/۰۸۱	۰/۰۸۹	۰/۰۹۴	۰/۰۹۸	۰/۱۰۳
	۰/۱۰	۰/۰۳۹	۰/۰۶۲	۰/۰۷۸	۰/۰۸۸	۰/۰۹۵	۰/۱۰۰	۰/۱۰۳	۰/۱۰۶

جدول (۷-۳). ضریب خمشی افقی (α_2) برای دیوار با شرایط مرزی نوع J (لبه های فوقانی و تحتانی و یکی از لبه های قائم مفصل و لبه قائم دیگر آزاد) - برگرفته از ضابطه ۷۲۹

شرایط مرزی دیوار	μ	H/L							
		۰/۳۰	۰/۵۰	۰/۷۵	۱/۰۰	۱/۲۵	۱/۵۰	۱/۷۵	۲/۰۰
	۰/۵۰	۰/۰۱۸	۰/۰۴۲	۰/۰۷۷	۰/۱۱۳	۰/۱۵۳	۰/۱۹۵	۰/۲۳۷	۰/۲۸۰
	۰/۴۰	۰/۰۲۱	۰/۰۵۰	۰/۰۹۰	۰/۱۳۱	۰/۱۷۷	۰/۲۲۵	۰/۲۷۲	۰/۳۲۱
	۰/۳۵	۰/۰۲۴	۰/۰۵۵	۰/۰۹۸	۰/۱۴۴	۰/۱۹۴	۰/۲۴۴	۰/۲۹۶	۰/۳۴۷
	۰/۳۰	۰/۰۲۷	۰/۰۶۲	۰/۱۰۸	۰/۱۶۰	۰/۲۱۴	۰/۲۶۹	۰/۳۲۵	۰/۳۸۱
	۰/۲۵	۰/۰۳۲	۰/۰۷۱	۰/۱۲۲	۰/۱۸۰	۰/۲۴۰	۰/۳۰۰	۰/۳۶۲	۰/۴۲۸
	۰/۲۰	۰/۰۳۸	۰/۰۸۳	۰/۱۴۲	۰/۲۰۸	۰/۲۷۶	۰/۳۴۴	۰/۴۱۳	۰/۴۸۸
	۰/۱۵	۰/۰۴۸	۰/۱۰۰	۰/۱۷۳	۰/۲۵۰	۰/۳۲۹	۰/۴۰۸	۰/۴۸۸	۰/۵۷۰
	۰/۱۰	۰/۰۶۵	۰/۱۳۱	۰/۲۲۴	۰/۳۲۱	۰/۴۱۸	۰/۵۱۵	۰/۶۱۳	۰/۶۹۸

۷-۴- اثر بازشو

در خصوص دیوارهای با عملکرد دوطرفه دارای بازشو، روند کار مشابه دیوارهای بدون بازشو می باشد با این تفاوت که لازم است پانل معادلی از دیوار ساخته شود. این پانل معادل خود فاقد بازشو بوده، لیکن ابعاد آن و شرایط مرزی آن به نحوی می باشد که ظرفیت خارج از صفحه آن تا حد ممکن مشابه دیوار اصلی باشد. به عبارت دیگر انتظار می رود ظرفیت نهایی خارج از صفحه دیوار دارای بازشو و پانل معادل آن با یکدیگر برابر باشند. روش ساختن پانل معادل برای دیوارهای با بازشوهایی مختلف در شکل های (۷-۲) و (۷-۳) ارائه شده است.

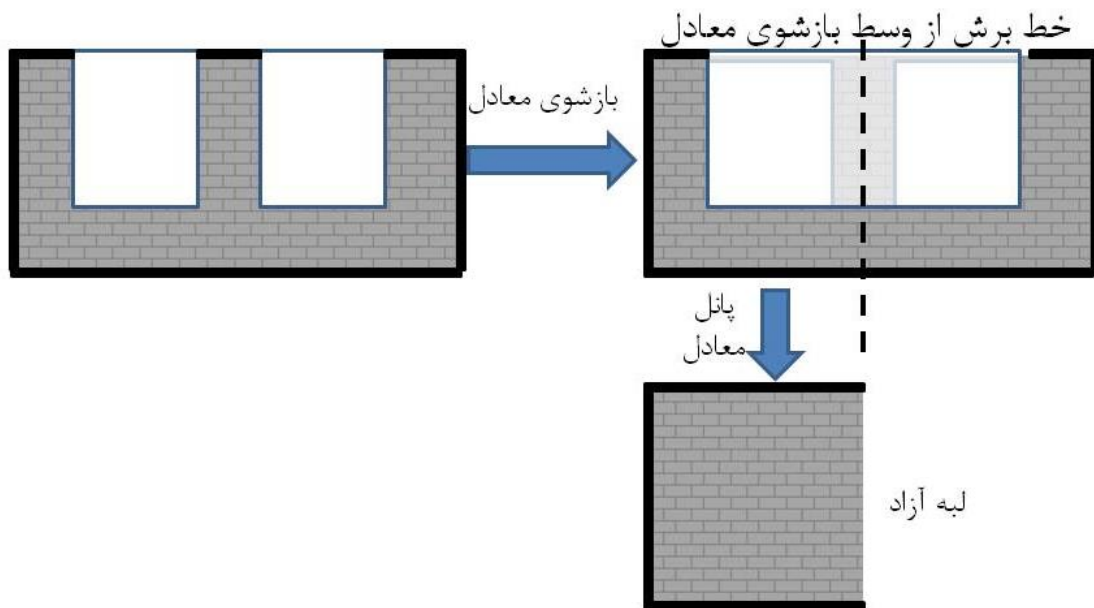


شکل ۲-۷. نحوه ساختن پانل معادل دیوارهای دارای بازشوی درب و پنجره

مطابق شکل (۲-۷) ابتدا یک خط برش عمودی از وسط بازشو عبور داده و دیوار را از این خط به دو قسمت تقسیم کنید. از بین دو پانل بدست آمده پانلی را انتخاب کنید که دارای طول بزرگتر است. بدین ترتیب پانل معادل دیوار اصلی دارای بازشو ساخته می شود. در پانل معادل، همواره لبه ای که در واقع معرف خط برش وسط بازشو بوده است به صورت آزاد در نظر گرفته می شود.

توصیه می شود از استفاده از بیش از یک بازشو در طول آزاد دیوار (یک دیوار مستقل) پرهیز شود. لیکن در صورتی که دیوار دارای بیش از یک بازشو باشد، به منظور ساخت پانل معادل ابتدا لازم است یک بازشوی معادل تعریف شود. بازشوی معادل حداقل بازشویی می باشد که تمام بازشوهایی موجود در دیوار را در برگیرد. روند ساخت پانل معادل مطابق شکل ۳-۷ می تواند اتخاذ شود. در خصوص دیوارهای دارای بیش از یک بازشو نتایج آزمایشگاهی اندکی وجود داشته و این نوع دیوارها می توانند به صورت موضعی نیز دچار آسیب شوند. لذا استفاده از این نوع دیوارها (دیوار با بیش از یک بازشو) توصیه نمی شود. در صورتی که مابین دو بازشو دیوار

دیگری بر دیوار عمود شده و به آن متصل شده باشد، در واقع دیوار با دو بازشو به دو دیوار تقسیم می شود که هر یک دارای یک بازشو هستند.



شکل ۷-۳. نحوی ساختن پانل معادل دیوارهای دارای بیش از یک بازشوی پنجره

در صورتی که در یک دیوار هم بازشوی درب و هم بازشوی پنجره وجود داشته باشد (این حالت در عمل کمتر رخ می دهد)، از حضور بازشوی پنجره صرف نظر شده و تنها با فرض حضور بازشوی درب، پانل معادل مطابق شکل (۷-۲) ساخته شده و دیوار طراحی می شود. نتایج آزمایشگاهی و عددی ارائه شده در این متن حاکی از آن است که اثر بازشو تنها به طور محدودی منجر به کاهش ظرفیت دیوار می شود و در برخی موارد اثر بازشو قابل چشم پوشی است.

فصل هشتم - اتصالات دیوار و نعل درگاه بازوها

۸-۱ - قطعات اتصالات دیوار

اتصالات دیوارهای غیرسازه ای به سازه اصلی باید به نحوی باشد که تغییرشکل های سازه در حین زلزله و یا باد در امتداد داخل صفحه دیوار به آن اعمال نشده و به اصلاح دیوار در امتداد داخل صفحه خود از سازه اصلی جدا باشد. هم زمان لازم است دیوار در امتداد خارج از صفحه به سازه اصلی متصل باشد. در صورتی که دریافت طبقه در امتداد داخل صفحه به دیوار غیرسازه ای منتقل گردد، دیوار دچار آسیب شده و ظرفیت های ارائه شده در ضابطه ۷۲۹ و نیز سایر آیین نامه های بین المللی فاقد اعتبار خواهند بود چراکه ظرفیت های ارائه شده برای یک دیوار بنایی سالم و فاقد آسیب ارائه شده اند. نتایج آزمایشگاهی نشان داده است، دیوارهای بنایی در دریافت های داخل صفحه ای کوچکتر از 0.3% آسیب کمی می بینند. لذا مطابق ضابطه ۷۲۹ در محاسبه مقدار فاصله لازم مابین دیوار غیرسازه ای و ستون (یا دیوار برشی) میزان به میزان 0.3% از دریافت حداکثر طبقه کاست. جزئیات روش های مختلف به منظور رسیدن به این نوع از اتصالات در ضابطه ۷۲۹ موجود می باشد. به عنوان نمونه جزئیاتی از اتصالات کشویی دیوار به سقف و ستون در شکل (۸-۱) نشان داده شده است. در این روش اتصال می توان از یک ناودانی تک و یا از دوپل نبشی مطابق شکل (۸-۱) استفاده نمود. در سازه های بتنی این قطعات معمولاً با استفاده از انکر به بتن متصل می گردند. همچنین در صورتی که از قبل صفحاتی فلزی در بتن کار گذاشته شده باشد، این امکان وجود دارد که قطعات اتصال به این صفحات جوش شوند.

محل انکرهای اتصالات باید دو شرط زیر را داشته باشند:

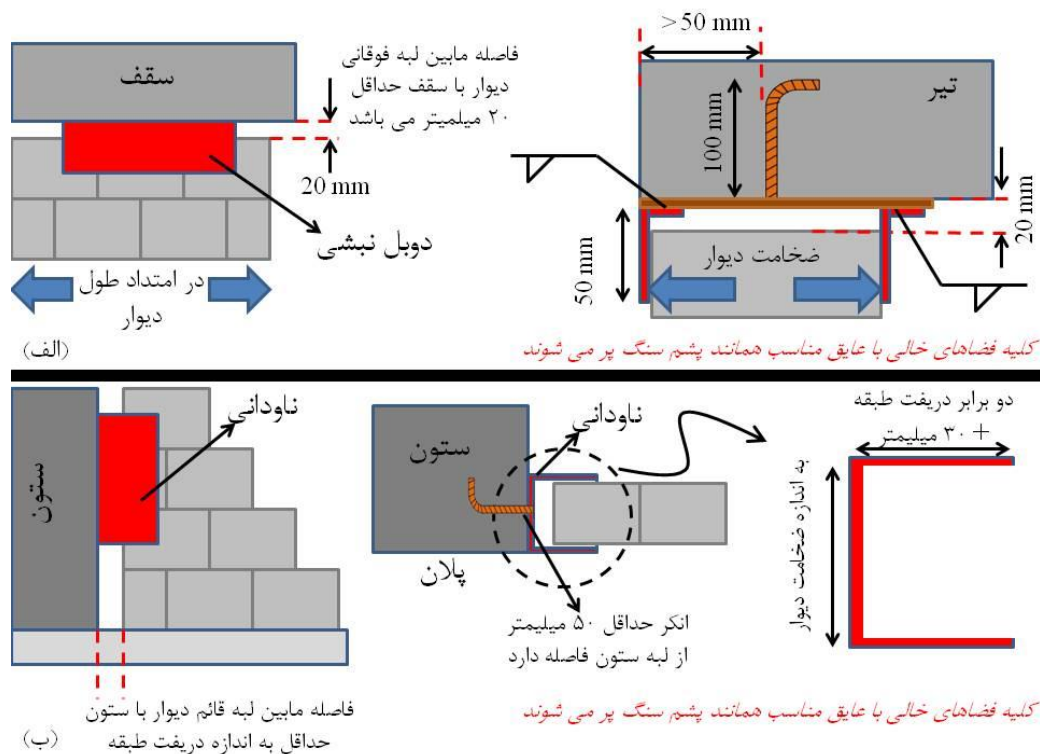
- حداقل به میزان 50 mm از لبه تیر یا ستون یا دیوار برشی فاصله داشته باشند.
- در صورتی که انکرها در نواحی مفاصل پلاستیک تیر یا ستون یا دیوار برشی قرار گرفته باشند، لازم است در محاسبه ظرفیت انکر به اندازه ضخامت کاور بتن از عمق نفوذ انکر کاسته شود. محدوده مفصل پلاستیک برای تیرها و ستون ها دو برابر عمق مقطع از بر اتصال می باشد.

ناودانی و دوپل نبشی های استفاده شده در اتصالات لازم نیست پروفیل های استاندارد باشند، بلکه بهتر است از ورق های نازک گالوانیزه خم شده با ضخامتی بین ۲ تا ۳ میلیمتر ساخته شده باشند. در این حالت ظرفیت هر متر از این اتصالات را می توان مطابق جدول (۸-۱) در نظر گرفت. این جدول بر اساس طول بال ناودانی یا نبشی

و ضخامت ورق بال تهیه شده است. این قطعات (ناودانی یا دوبل نبشی) می توانند به صورت غیر ممتد به ستون و یا سقف متصل شوند که در این صورت فاصله آزاد بین دو ناودانی یا دوبل نبشی نباید از ۱ متر تجاوز کند.

جدول (۸-۱) ظرفیت اتصالات کشویی ناودانی یا دوبل نبشی در یک متر طول

مقاومت (kN)	پهنای ورق بال (mm)	ضخامت ورق بال (mm)	مقاومت (kN)	پهنای ورق بال (mm)	ضخامت ورق بال (mm)
6.5	50	3	2.9	50	2
4.3	75	3	1.9	75	2
3.2	100	3	1.4	100	2
2.6	125	3	1.2	125	2
2.2	150	3	1.0	150	2
1.6	200	3	0.7	200	2
1.3	250	3	0.6	250	2
1.1	300	3	0.5	300	2



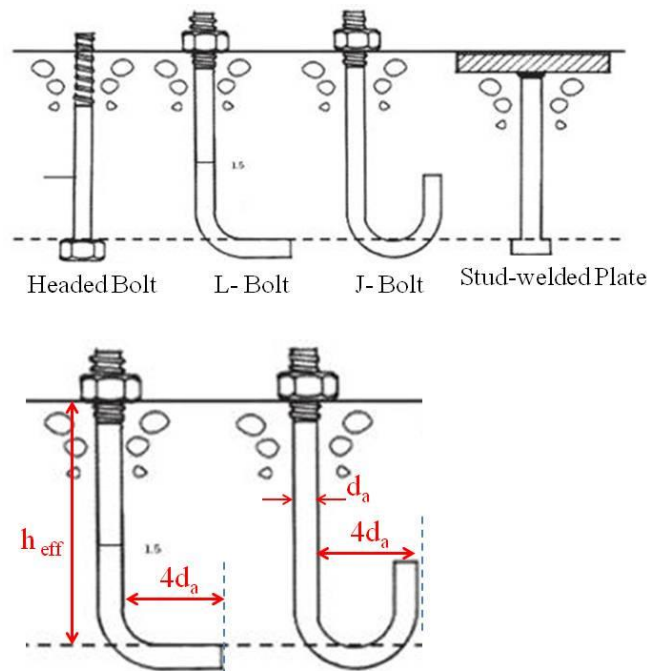
شکل ۸-۱. نمونه ای از اتصالات کشویی (الف) دیوار به سقف و (ب) دیوار به ستون

لازم به ذکر است برای اتصال دیوار به سقف استفاده از ناودانی ممکن است در چیدن رج آخر دیوار مشکلاتی ایجاد کند، لذا برای سهولت در اجرا پیشنهاد می شود در این اتصال از دوپل نبشی استفاده شود. بدین ترتیب که ابتدا نبشی پشتی نصب شده و نبشی دیگر پس از اتمام دیوایچینی نصب می شود.

۲-۸- انکرهای قطعات اتصال

در سازه های فولادی، ناودانی و دوپل نبشی های اتصال کشویی به ستون یا تیر سقف جوش می شوند و در سازه های بتنی این کار با استفاده از انکرهای متداول قابل انجام است. به طور کلی انکرها هم می توانند قبل از بتن ریزی سازه در قفس آرماتورها قرار گرفته شوند (Cast-in anchors) و هم می توانند پس از اجرا و سفت شدن بتن به بتن متصل شوند (Post-installed anchors). در ادامه انکرهای مختلف تشریح شده اند:

- **انکرهای درجا:** مطابق شکل (۲-۸) این انکرها می توانند به صورت گل میخ و یا بولت های L شکل یا J شکل باشند. خصوصیت این انکرها آن است که قبل از بتن ریزی سازه باید در قفس آرماتوربندی و در محل مناسب خود قرار گیرند.



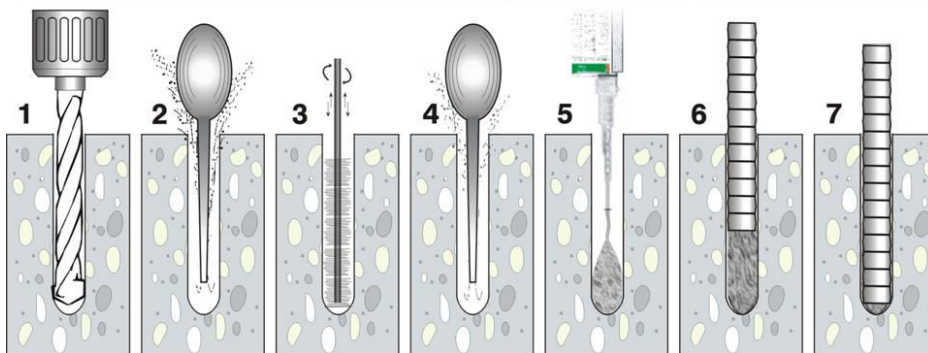
شکل ۲-۸. نمونه ای از انکرهای درجا

طراحی این انکرها براساس آیین نامه های مختلفی از جمله آیین نامه ACI 318 قابل انجام است. در قیاب محاسبات دقیق تر، ظرفیت کششی و برشی برخی از انکر های L شکل و J شکل در جدول (۸-۲) ارائه شده است. مقادیر ارائه شده بر اساس فصل ۱۷ آیین نامه ACI 318-14 به صورت محافظه کارانه بدست آمده اند و در آن ها ضرایب کاهش مقاومت نیز لحاظ شده است.

جدول (۸-۲) نمونه ظرفیت های انکرهای L شکل و J شکل - مقاومت فولاد 400 MPa در نظر گرفته شده و بتن به صورت ترک خورده فرض شده است - کمترین فاصله انکر تا لبه بتن با C_{a1} و قطر و عمق موثر انکر به ترتیب با d_a و h_{eff} نشان داده شده است.

بتن با مقاومت فشاری 30 MPa		بتن با مقاومت فشاری 20 MPa		مشخصات L-bolt یا J-bolt
ظرفیت برشی (kN)	ظرفیت کششی (kN)	ظرفیت برشی (kN)	ظرفیت کششی (kN)	
5.7	10.9	4.7	7.2	$d_a = 12 \text{ mm}$ $c_{a1} = 50 \text{ mm}$ $h_{eff} = 100 \text{ mm}$
5.4	7.6	4.4	5	$d_a = 10 \text{ mm}$ $c_{a1} = 50 \text{ mm}$ $h_{eff} = 100 \text{ mm}$
5.1	4.8	4.2	3.2	$d_a = 8 \text{ mm}$ $c_{a1} = 50 \text{ mm}$ $h_{eff} = 50 \text{ mm}$
4.7	2.7	3.8	1.8	$d_a = 6 \text{ mm}$ $c_{a1} = 50 \text{ mm}$ $h_{eff} = 100 \text{ mm}$

- **انکرهای چسبی:** انکرهای چسبی پس از سفت شدن بتن به بتن متصل می گردند. مطابق شکل (۸-۳) ابتدا بتن سوراخ شده به طوری که قطر سوراخ از $1/5$ برابر قطر انکر بیشتر نباشد. سپس سوراخ تمیز شده و چسب مخصوص داخل آن ریخته می شود و در نهایت انکر که می تواند یک میلگرد باشد در داخل سوراخ قرار می گیرد. بدیهی است تنها پس از گیرش نهایی چسب، انکر قابلیت تحمل نیرو دارد. ظرفیت قابل تحمل این انکر بر اساس آیین نامه های مربوطه همانند فصل ۱۷ آیین نامه ACI 318-14 قابل تخمین می باشد. در قیاب محاسبات دقیق تر، جدول (۸-۳) ظرفیت برخی از انکرهای چسبی را بر اساس ACI 318-14 ارائه می دهد.



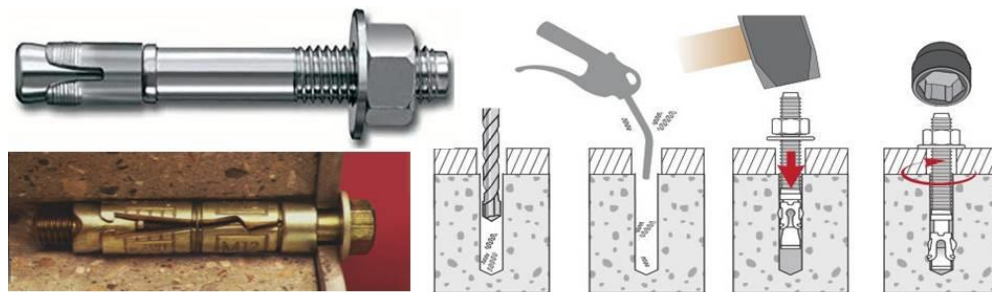
شکل ۸-۳. انکرهای چسبی و روند اجرای آنها.

جدول (۳-۸) نمونه ظرفیت های انکرهای چسبی - مقاومت فولاد 400 MPa در نظر گرفته شده و بتن به صورت ترک خورده فرض شده است - کمترین فاصله انکر تا لبه بتن با C_{a1} و قطر و عمق موثر انکر به ترتیب با d_a و h_{eff} نشان داده شده است - مقاومت چسبندگی چسب برابر کمترین مقدار ACI 318 و برابر 1.4 MPa در نظر گرفته شده است.

بتن با مقاومت فشاری 30 MPa		بتن با مقاومت فشاری 20 MPa		مشخصات انکر چسبی
ظرفیت برشی (kN)	ظرفیت کششی (kN)	ظرفیت برشی (kN)	ظرفیت کششی (kN)	
2.4	2.4	2.4	2.4	$d_a = 12 \text{ mm}$ $c_{a1} = 50 \text{ mm}$ $h_{eff} = 100 \text{ mm}$
2.0	2.0	2.0	2.0	$d_a = 10 \text{ mm}$ $c_{a1} = 50 \text{ mm}$ $h_{eff} = 100 \text{ mm}$
1.6	1.6	1.6	1.6	$d_a = 8 \text{ mm}$ $c_{a1} = 50 \text{ mm}$ $h_{eff} = 100 \text{ mm}$
1.2	1.2	1.2	1.2	$d_a = 6 \text{ mm}$ $c_{a1} = 50 \text{ mm}$ $h_{eff} = 100 \text{ mm}$

- **انکرهای مکانیکی:** انکرهای مکانیکی طیف وسیعی از انواع رول بولت ها، میخ های بتن و پیچ های بتن را شامل می شوند. شکل (۸-۴) برخی از انکرهای مکانیکی را نشان می دهد. ظرفیت طراحی این انکرها توسط آیین نامه ها مشخص نشده است، لیکن آیین نامه ها استفاده از آنها را رد نکرده اند. بر اساس ضابطه ۷۲۹، استفاده از این انکرها در نواحی مفاصل پلاستیک تیر یا ستون یا دیوار برشی مجاز نمی باشد. دلیل این محدودیت آن است که این قطعات معمولا طول نفوذ کمی داشته (کمتر از ضخامت بتن کاور) و در صورتی که در بتنی که احتمال ترک خوردگی آن بالا است (محل تشکیل مفاصل پلاستیک) استفاده شوند، می توانند از جای خود خارج شوند. قسمت های خارج از نواحی مفاصل پلاستیک و تیرچه های سقف و دال سقف در حین زلزله عمدتا به شکل الاستیک باقی مانده و انتظار بروز ترکهای شدید در آنها وجود ندارد. طول مفاصل پلاستیک در تیرها و ستون ها دو برابر عمق مقطع باید در نظر گرفته شود. برای دیوارهای برشی لاغر (کنترل شونده توسط خمش) طول مفصل پلاستیک برابر کل ارتفاع طبقه اول می تواند در نظر گرفته شود. لذا در سایر طبقات انتظار می رود رفتار دیوار برشی لاغر تقریبا الاستیک باشد و استفاده از انکرهای مکانیکی در سایر طبقات دیوار برشی بلامانع است. در خصوص دیوارهای کنترل شونده توسط برش (دیوارهای برشی با طول زیاد) انتظار می رود رفتاری الاستیک از خود نشان دهند. لذا در این دیوارها در تمام طبقات استفاده از انکرهای مکانیکی بلامانع است. شکل (۸-۵) محل های غیرمجاز برای انکرهای مکانیکی را نشان می دهد. لازم به توضیح است خود قطعات اتصال می توانند تا این نواحی ادامه داشته باشند، لیکن انکر آنها باید خارج از این نواحی باشد. توصیه می شود از استفاده از انکرهای مکانیکی با عمق نفوذ کمتر از ۳۰ میلیمتر پرهیز شود.

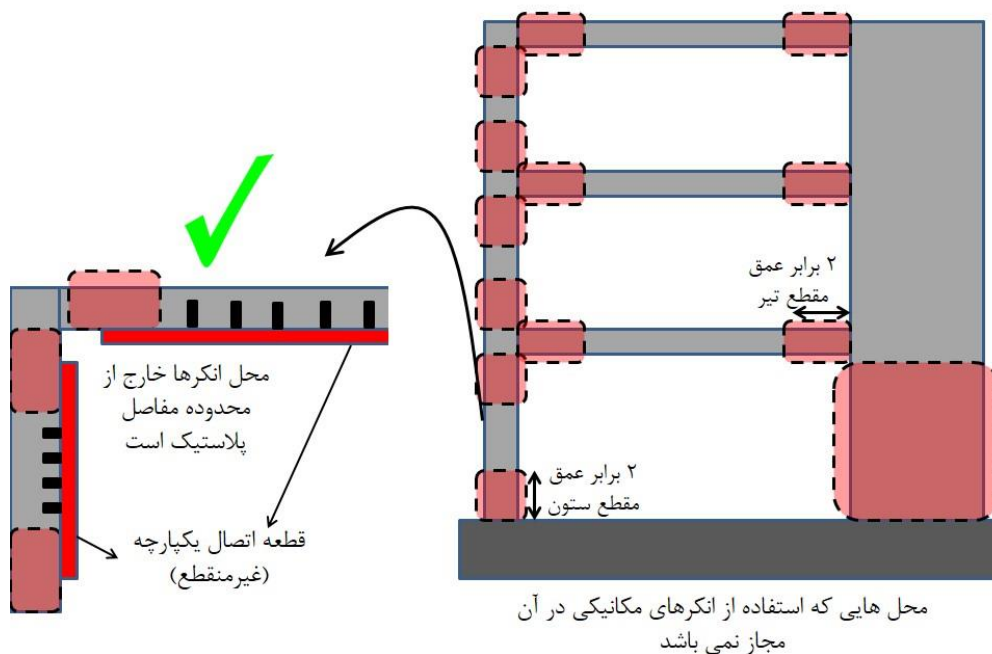
در صورت استفاده از انکرهای مکانیکی، ظرفیت های برشی و کششی آنها بر اساس تست های انجام شده توسط شرکت های سازنده مشخص می گردد. نمونه ای از ظرفیت های کششی و برشی میخ های بتن در شکل (۸-۶) نشان داده شده است. ظرفیت برشی و کششی میخ های بتنی (که معمولا با تفنگ میخ کوب نصب می شوند) تحت هیچ شرایطی نباید از 0.4 kN بیشتر در نظر گرفته شوند.



انکر بولت غلافی یا انبساطی



شکل ۸-۴. انکرهای مکانیکی



محل هایی که استفاده از انکرهای مکانیکی در آن مجاز نمی باشد

شکل ۸-۵. محل های مجاز و غیرمجاز انکرهای مکانیکی

PERFORMANCE DATA

Allowable Load Capacities for Powder Actuated Fasteners in Normal-Weight Concrete^{1,2,3,4,5}

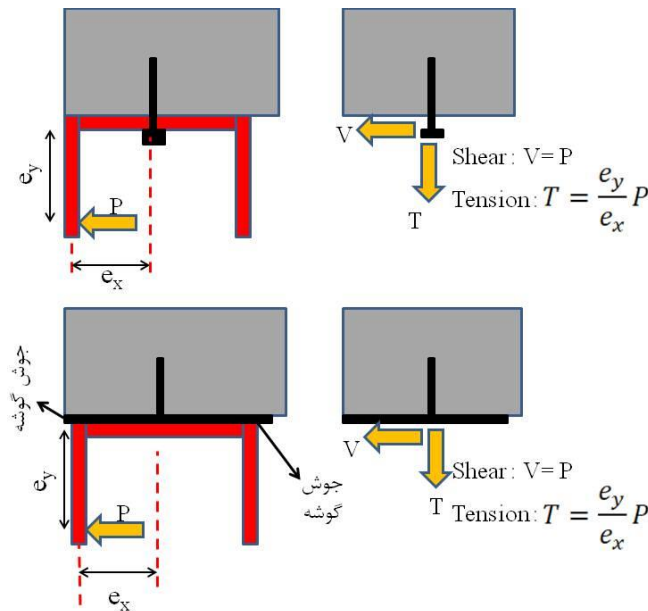
Pin Description	Minimum Embedment Depth h _e in. (mm)	Minimum Concrete Compressive Strength (f'c)											
		2,000psi		2,500psi		3,000psi		4,000psi		4,500psi		5,000psi	
		Tension lbs. (kN)	Shear lbs. (kN)	Tension lbs. (kN)	Shear lbs. (kN)	Tension lbs. (kN)	Shear lbs. (kN)	Tension lbs. (kN)	Shear lbs. (kN)	Tension lbs. (kN)	Shear lbs. (kN)	Tension lbs. (kN)	Shear lbs. (kN)
Ballistic Point Pin(0.150" Shank)	5/8 (15.9)	45 (0.2)	75 (0.3)	-	-	75 (0.3)	100 (0.4)	75 (0.3)	100 (0.4)	-	-	75 (0.3)	100 (0.4)
	3/4 (19.1)	60 (0.3)	95 (0.4)	-	-	85 (0.4)	120 (0.5)	85 (0.4)	125 (0.6)	-	-	90 (0.4)	130 (0.6)
Ballistic Point Pin (0.181"/0.150" Shank)	1 (25.4)	85 (0.4)	140 (0.6)	-	-	95 (0.4)	150 (0.7)	105 (0.5)	170 (0.8)	-	-	110 (0.5)	190 (0.8)
	1-1/4 (31.8)	100 (0.4)	185 (0.8)	-	-	140 (0.6)	185 (0.8)	175 (0.8)	210 (0.9)	-	-	205 (0.9)	240 (1.1)
	1-1/2 (38.1)	115 (0.5)	225 (1)	-	-	185 (0.8)	225 (1)	240 (1.1)	255 (1.1)	-	-	295 (1.3)	280 (1.2)
0.300" Head Drive Pin 8mm Head Drive Pin 1/4"-20 Threaded Stud (0.145" Shank)	5/8 (15.9)	25 (0.1)	45 (0.2)	-	-	60 (0.3)	95 (0.4)	45 (0.2)	95 (0.4)	-	-	25 (0.1)	95 (0.4)
	3/4 (19.1)	60 (0.3)	95 (0.4)	-	-	95 (0.4)	125 (0.6)	95 (0.4)	125 (0.6)	-	-	100 (0.4)	125 (0.6)
	1 (25.4)	100 (0.4)	140 (0.6)	-	-	130 (0.6)	155 (0.7)	155 (0.7)	155 (0.7)	-	-	180 (0.8)	200 (0.9)
	1-1/4 (31.8)	110 (0.5)	155 (0.7)	-	-	155 (0.7)	165 (0.7)	195 (0.9)	165 (0.7)	-	-	235 (1)	200 (0.9)
	1 1/2 (38.1)	115 (0.5)	175 (0.8)	-	-	180 (0.8)	175 (0.8)	235 (1)	175 (0.8)	-	-	290 (1.3)	200 (0.9)

شکل ۸-۶. ظرفیت کششی و برشی برخی از میخ های بتن بر اساس تست های انجام شده توسط شرکت سازنده

مطابق ضابطه ۷۲۹ انگرها باید به نحوی طراحی شوند که ظرفیتشان از ظرفیت نهایی پلاستیک قطعات اتصال کمتر نباشد. ظرفیت نهایی پلاستیک قطعات اتصال ارائه شده در جدول (۸-۱) را می توان ۲ برابر مقادیر ارائه شده در جدول در نظر گرفت. لازم به توضیح است مطابق شکل (۸-۷) انگرها به شکل همزمان تحت نیروهای کششی و برشی هستند. مطابق آیین نامه ACI 318-14 تعداد انگرها و مشخصات آنها باید به نحوی باشد که رابطه زیر برآورده شود.

$$\frac{T_{\text{demand}}}{T_{\text{capacity}}} + \frac{V_{\text{demand}}}{V_{\text{capacity}}} \leq 1.2 \quad (1-8)$$

تقاضای کششی (T_{demand}) و تقاضای برشی (V_{demand}) مطابق شکل (۸-۷) و با توجه به ۲ برابر ظرفیت قطعات اتصال (جدول ۸-۱) بدست می آیند. همچنین ظرفیت برشی (V_{capacity}) و ظرفیت کششی (T_{capacity}) انگر بر اساس ضوابط آیین نامه ACI 318 و یا نتایج تست های شرکت های سازنده بدست می آید. در قیاب محاسبات دقیق تر، می توان از مقادیر ارائه شده در جداول (۸-۲) و (۸-۳) استفاده نمود.



شکل ۸-۷. نحوه تخمین برش و کشش ایجاد شده در انکرهای مختلف با یا بدون ورق سر

تعداد انکرهای L شکل یا J شکل مورد نیاز برای برخی از قطعات اتصال پرکاربرد در جدول (۴-۸) ارائه شده است. جدول (۵-۸) به طور مشابه تعداد انکرهای چسبی مورد نیاز قطعات اتصال مختلف را نشان می دهد. در قیاب محاسبات دقیق تر، می توان تعداد انکرهای مورد نیاز را بر اساس جداول (۴-۸) و (۵-۸) انتخاب نمود. با توجه به اینکه تعداد انکرهای مورد نیاز در یک متر از طول اتصال ارائه شده اند، برای قطعات اتصال با طولی به جز یک متر لازم است این اعداد در طول قطعه اتصال ضرب شوند. به همین دلیل تعداد انکرهای ارائه شده در مواردی به صورت اعشاری هستند تا بدین ترتیب عمل رند کردن پس از ضرب تعداد انکر مورد نیاز در طول قطعه اتصال انجام شود. همچنین در مواردی که تعداد انکرها مشخص نشده است، تعداد انکرهای مورد نیاز بیش از ۵ عدد در یک متر شده است و منجر به اثرات گروه انکر می شوند. ظرفیت های انکرهای ارائه شده در جداول متن حاضر با این فرض است که فواصل انکرها به حد کافی زیاد است به طوری که اثرات گروه انکر قابل چشم پوشی می باشد. فواصل انکرها از یکدیگر نباید کمتر از ۱۵۰ میلیمتر یا ۵ برابر قطر انکر (هر کدام بیشتر باشد) در نظر گرفته شود.

جدول (۴-۸) تعداد انکرهای L شکل و J شکل مورد نیاز در یک متر از طول قطعات اتصال مختلف

بتن با مقاومت 30 MPa		بتن با مقاومت 20 MPa		پهنای ورق بال (mm)	ضخامت ورق بال (mm)
$d_a=8\text{ mm}$ $h_{eff}=100\text{ mm}$	$d_a=6\text{ mm}$ $h_{eff}=100\text{ mm}$	$d_a=8\text{ mm}$ $h_{eff}=100\text{ mm}$	$d_a=6\text{ mm}$ $h_{eff}=100\text{ mm}$		
عدد ۲	عدد ۳	عدد ۳	عدد ۴	50	2
عدد ۲	عدد ۲/۵	عدد ۲/۵	عدد ۳/۵	75	2
عدد ۱/۵	عدد ۲/۵	عدد ۲	عدد ۳/۵	100	2
عدد ۱/۵	عدد ۲/۵	عدد ۲	عدد ۳/۵	125	2
عدد ۴/۵	-	-	-	50	3
عدد ۳/۵	-	-	-	75	3
عدد ۳/۵	-	عدد ۴/۵	-	100	3
عدد ۳	-	عدد ۴/۵	-	125	3

جدول (۵-۸) تعداد انکرهای چسبی مورد نیاز در یک متر از طول قطعات اتصال مختلف

بتن با مقاومت 20 MPa تا 30 MPa		پهنای ورق بال (mm)	ضخامت ورق بال (mm)
$d_a=12\text{ mm}$ $h_{eff}=100\text{ mm}$	$d_a=8\text{ mm}$ $h_{eff}=100\text{ mm}$		
عدد ۴	-	50	2
عدد ۳/۵	-	75	2
عدد ۳	عدد ۴/۵	100	2
عدد ۳	عدد ۴/۵	125	2
-	-	50	3
-	-	75	3
-	-	100	3
-	-	125	3

۸-۳- نعل درگاه

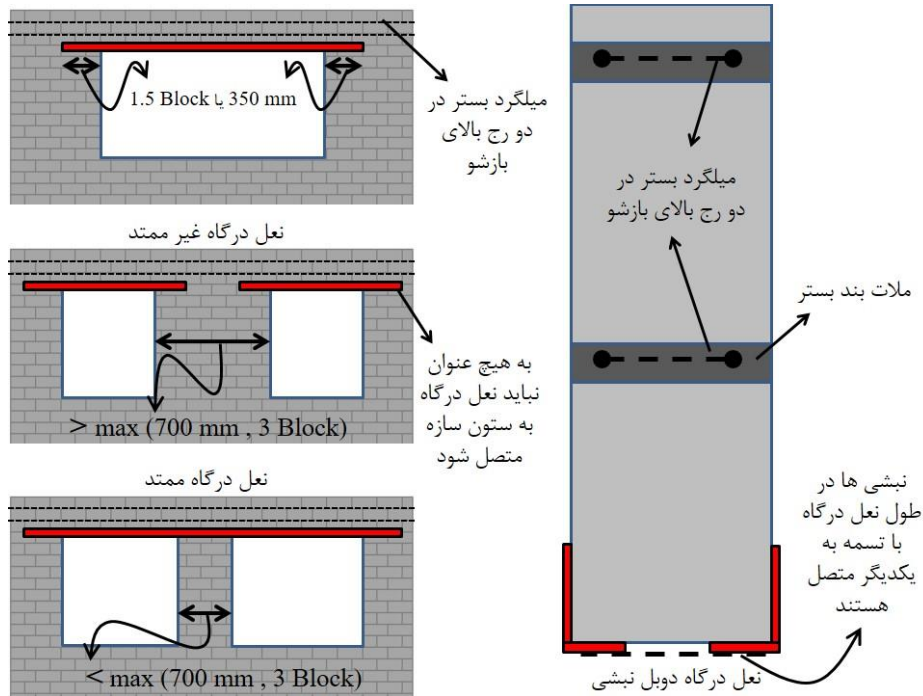
به طور سنتی در صورتی که بازشو تا سقف ادامه نداشته باشد، در بالای بازشوه‌های بنایی از نعل درگاه استفاده می شده است. در خصوص دیوارهای مسلح به میلگرد بستر خود دیوار به تنهایی قادر به حفظ پایداری خود خواهد بود. لیکن این اتفاق پس از گیرش ملات رخ خواهد داد. لذا لازم است در ساعت و روزهای اولیه، وزن دیوار در بالای بازشو توسط نعل درگاه تحمل شود. نعل درگاه می تواند بتن مسلح (پیش ساخته یا درجا) و یا فولادی باشد. توجه شود که استفاده از نعل درگاه بتنی در صورتی که عمق مقطع آن برابر ارتفاع واحدهای بنایی نباشد می تواند نظم واحدهای بنایی را برهم زند. برای جلوگیری از این حالت می توان ارتفاع مقطع نعل درگاه بتنی را برابر ارتفاع واحدهای بنایی در نظر گرفت.

طبق ضابطه ۷۲۹ نعل درگاه باید چهار شرط زیر را داشته باشد:

- پهنای نعل درگاه از ضخامت دیوار کمتر نباشد
 - طول نشیمن نعل درگاه از هر طرف باید حداقل ۳۵ سانتیمتر یا یک ونیم بلوک (هر کدام بیشتر بود) باشد
 - مقاومت نعل درگاه برای تحمل وزن دیوار بالای آن کافی باشد. این وزن به صورت گسترده و یکنواخت بر روی نعل درگاه اعمال می شود و استفاده از توزیع مثلثی (عملکرد قوسی) برای بارگذاری نعل درگاه مجاز نمی باشد. نعل درگاه به صورت یک تیر دو سر ساده باید در نظر گرفته شود.
 - سختی نعل درگاه باید به نحوی باشد که حداکثر خیز وسط دهانه آن از $1/600$ طول دهانه آن تجاوز نکند. نعل درگاه به صورت یک تیر دو سر ساده باید در نظر گرفته شود. معمولاً این معیار از معیار مقاومت بحرانی تر بوده و مقطع نعل درگاه بر اساس سختی مورد نیاز آن طراحی می شود.
- صرفنظر از محاسبات، لازم است در اولین و دومین رج بالای نعل درگاه میلگرد بستر قرار داده شود. در قیاب محاسبات دقیق تر، می توان از مقاطع موجود در جدول (۶-۸) برای نعل درگاه های فولادی دابل نبشی استفاده نمود. تقریباً در تمام موارد، معیار سختی لازم برای نعل درگاه تعیین کننده مقطع آن می باشد. جزئیات نعل درگاه در شکل (۸-۸) نشان داده شده است.

جدول (۸-۶). پروفیل های پیشنهادی برای نعل درگاه در حالات مختلف

3	2.5	2	1.5	1	طول آزاد نعل درگاه (m)
					بار وارده بر نعل درگاه (kN/m)
2 L80x40x5	2 L70x70x5	2 L60x60x4	2 L50x50x4	2 L30x30x3	0.5
2 L100x50x6	2 L70x70x5	2 L60x60x4	2 L50x50x4	2 L30x30x3	0.6
2 L100x50x6	2 L70x70x5	2 L60x60x4	2 L50x50x4	2 L30x30x3	0.7
2 L100x50x6	2 L80x40x5	2 L60x60x4	2 L50x50x4	2 L40x40x3	0.8
2 L100x50x6	2 L80x40x5	2 L70x70x5	2 L50x50x4	2 L40x40x3	0.9
2 L100x50x6	2 L80x40x5	2 L70x70x5	2 L50x50x4	2 L40x40x3	1
2 L100x50x6	2 L100x50x6	2 L70x70x5	2 L50x50x4	2 L40x40x3	1.1
2 L100x50x6	2 L100x50x6	2 L70x70x5	2 L60x60x4	2 L40x40x3	1.2
2 L120x60x8	2 L100x50x6	2 L70x70x5	2 L60x60x4	2 L40x40x3	1.3
2 L120x60x8	2 L100x50x6	2 L70x70x5	2 L60x60x4	2 L40x40x3	1.4
2 L120x60x8	2 L100x50x6	2 L70x70x5	2 L60x60x4	2 L40x40x3	1.5
2 L120x60x8	2 L100x50x6	2 L80x40x5	2 L60x60x4	2 L40x40x3	1.75
2 L120x60x8	2 L100x50x6	2 L80x40x5	2 L60x60x4	2 L50x50x4	2



شکل ۸-۸. جزئیات نعل درگاه

فصل نهم - اپلیکیشن تحت اکسل طراحی دیوارهای بنایی غیرسازه ای

به منظور تسهیل در روند طراحی دیوارهای بنایی غیرسازه ای، اپلیکیشنی تحت اکسل تهیه شده است که با استفاده از آن طراح می تواند به سادگی اقدام به طراحی دیوارهای بنایی غیرسازه ای مطابق با ضابطه ۷۲۹ نماید. صحت نتایج اپلیکیشن در فصل دهم با استفاده از نتایج آزمایشگاهی و در فصل یازدهم با استفاده از نتایج عددی و محاسبات دستی به اثبات رسیده است. شکل (۹-۱) تصویری از محیط این اپلیکیشن را نشان می دهد. ورودی های اپلیکیشن در جدول (۹-۱) آورده شده اند.

خروجی های اپلیکیشن شامل موارد زیر می شوند:

- مقاومت خمش قائم دیوار (ظرفیت قائم)
- مقاومت خمش افقی دیوار (ظرفیت افقی)
- فشار خارج از صفحه نهایی دیوار (آستانه فروریزش)
- مقدار فشار خارج از صفحه وارده بر دیوار ناشی از باد یا زلزله
- نسبت تقاضا به ظرفیت دیوار (در صورتی که این نسبت کمتر از ۱ باشد، دیوار جوابگوی نیروهای وارده می باشد)
- نیروهای ایجاد شده در تکیه گاه های دیوار (از این مقادیر به منظور طراحی اتصالات دیوار استفاده می شود)

توضیحات:

اپلیکیشن حاضر منطبق بر ضابطه ۷۲۹ می باشد که با استفاده از آن می توان دیوارهای بنایی غیرسازه ای مسلح به میلگرد بستر را طراحی نمود. در ویرایش ۱۳۹۸ اپلیکیشن قابلیت طراحی دیوارهای بنایی غیرمسلح نیز لحاظ شده است اگرچه براساس ضابطه ۷۲۹ استفاده از دیوار بنایی غیرمسلح در هیچ یک از مناطق ایران مجاز نمی باشد. ورودی ها تنها در خاله های مشکلی رنگ وارد شده و لازم است کاربر در این خانه ها ورودی های لازم را وارد کند (سایر خانه ها قفل می باشند). با استفاده از اپلیکیشن حاضر می توان دیوارهای بنایی ساخته شده با بلوک های رسی (سفالی)، سیمانی و یا AAC مسلح شده با میلگرد بستر را تحلیل و طراحی نمود. این اپلیکیشن مختص دیوارهای با عملکرد دو طرفه می باشد. گرچه در خصوص دیوارهای یکطرفه (دهانه آفتی و یا قائم) نیز می توان از ظرفیت های خمشی بدست آمده به منظور طراحی استفاده نمود. با توجه به سادگی تحلیل دیوارهای یکطرفه و نیز این واقعیت که اکثر دیوارهای غیرسازه ای عملکردی دو طرفه دارند، لذا در اپلیکیشن حاضر تنها دیوارهای دو طرفه در نظر گرفته شده اند. اپلیکیشن حاضر از روش خطوط تسلیم برای طراحی دیوارهای بنایی استفاده می کند که در آن رفتار غیرایزوتروپیک دیوار بنایی لحاظ می شود. صحت روند طراحی مطابق ضابطه ۷۲۹ و نیز نتایج این اپلیکیشن با استفاده از نتایج آزمایشگاهی ۷۲ نمونه دیوار بنایی ارزیابی شده است. این اپلیکیشن توسط شرکت بهسازان اوزده دوام و به سفارش شرکت فراسازان آویژه تهیه شده است.

ورودی		توضیحات		
مشخصات مربوط به سازه اصلی	ارتفاع کل ساختمان از سطح زمین (m)	18	ارتفاع بلک از سطح زمین	
	ضخات نمای زلزله (g)	0.35	پارامتر A مطابق محدث شده مقررات ملی ساختمان	
	خطریخوری لرزه ای	1.5	پارامتر S مطابق محدث شده مقررات ملی ساختمان	
	سرعت باد مبنا (km/h)	100	پارامتر V مطابق محدث شده مقررات ملی ساختمان	
	میزان بل بونین اطراف ساختمان	محیط متراکم	میزان تراکم محیط در محدوده فشار ناشی از باد نظر دارد	
		0	پارامتر مربوط به تراکم محیط	
مشخصات مربوط به دیوار غیرسازه ای مورد	دیوار داخلی یا بیرونی؟	دیوار بیرونی	پارامتر مربوط به محل دیوار (داخلی یا بیرونی)	
	ضریب اهمیت دیوار	1	ضریب اهمیت در دیوارهایی که بهسازی آن ها در حین زلزله اهمیت حیاتی دارد مانند دیوارهای باربر، دیوارهای دارای قفسه های حاوی مواد خطرناک و ... در اثر 1.5 می باشد. در سایر موارد این ضریب برابر 1 خواهد بود.	
	جنس واحد های بنایی	سفالی	پارامتر مربوط به جنس واحد بنایی	
	نوع واحد بنایی	توخالی	واحد بنایی می تواند به صورت توخالی، توخالی و یا توخالی نیمه پر شده یا توخالی باشد (مطرحه های پر شده یا توخالی باید در کنار ارتفاع دیوار پیوسته باشد).	
			0	پارامتر مربوط به نوع واحد بنایی
	ضخات دیوار (mm)	150	در دیوارهای بیرونی حداقل ضخامت 150 میلیمتر و در دیوارهای داخلی حداقل ضخامت 100 میلیمتر می باشد.	
	وزن دیوار مورد نظر (N/m ²)	2500	شکل وزن سفت کاری و تراکم کاری مشتمل به دیوار	
	ارتفاع حاصل پتل دیوار (m)	2.8	در صورتی که دیوار دارای بزشو می باشد، مشخصات پتل معادل وارد شود. نسبت ارتفاع به طول دیوار باید بین 0.3 تا 2 باشد.	
	طول حاصل پتل دیوار (m)	5.1	مقاومت فشاری دیوار (MPa)، با توجه به اینکه ظرفیت خمشی دیوار وابستگی بهمار کمی به مقاومت فشاری دیوار دارد، لذا برای دیوارهای ساخته شده با واحدهای بنایی رسی (سفالی) و یا سیمانی، مقاومت فشاری برابر 10 مگاپاسکال و نیز پارامتر برای واحدهای AAC برابر 2 مگاپاسکال در نظر گرفته شده است.	
	نوع ملات	1MC-12.5+3s	نسبت حجمی ملات (PC) = سیمان پورتلند، MC-5 = سیمان بنایی با مقاومت 28 روزه حداقل 5 مگاپاسکال، MC-12.5 = سیمان بنایی با مقاومت 28 روزه حداقل 12.5 مگاپاسکال، L = آهک، S = ماسه). در مورد دیوارهای AAC نوع ملات باید AAC انتخاب شود.	
		0.35	مدول کششندگی دیوار در جهت عمود بر بل بستر (MPa)	
		0.69	مدول کششندگی دیوار در جهت موازی بل بستر (MPa)	
	وجود ملات در بندهای قائم	خیر	در صورتی که بندهای قائم (بندهای قائم) به منظور کمک یا ملات پر شده اند عبارت "بله" و در غیر این صورت عبارت "خیر" را انتخاب کنید.	

شکل ۹-۱. تصویری از محیط اپلیکیشن تحت اکسل طراحی دیوارهای بنایی غیرسازه ای مطابق ضابطه ۷۲۹

جدول (۹-۱) ورودی های اپلیکیشن طراحی دیوار

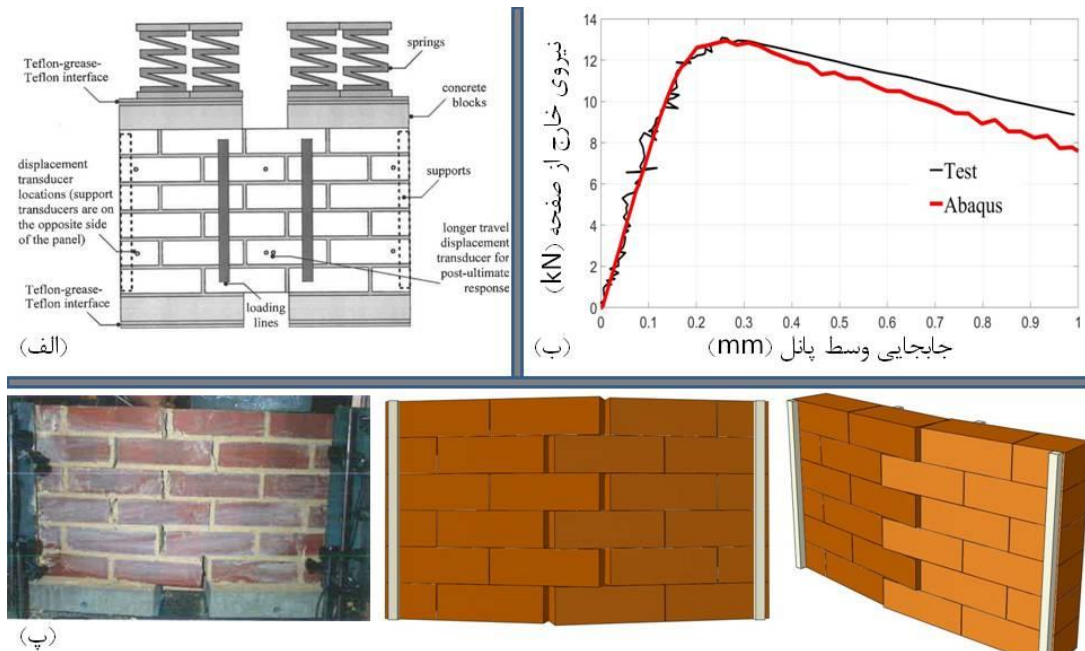
ورودی ها	توضیح
ارتفاع سازه	برای محاسبه نیروی وارده بر دیوار ناشی از باد
شتاب مبنای زلزله (A)	برای محاسبه نیروی وارده بر دیوار ناشی از زلزله
خطرپذیری لرزه ای (S)	برای محاسبه نیروی وارده بر دیوار ناشی از زلزله
سرعت مبنای باد	برای محاسبه نیروی وارده بر دیوار ناشی از باد
میزان باز بودن اطراف ساختمان	برای محاسبه نیروی وارده بر دیوار ناشی از باد
دیوار داخلی است یا پیرامونی؟	دیوار داخلی فقط برای زلزله و دیوار پیرامونی هم برای باد و هم برای زلزله طراحی می شود.
ضریب اهمیت دیوار	ضریبی که در نیروی لرزه ای وارده بر دیوار ضرب می شود.
جنس واحد بنایی	آجرها یا بلوک ها می توانند سفالی (رسی) یا سیمانی یا AAC باشند.
نوع واحد بنایی	واحد بنایی می تواند توپر (یا سوراخ دار)، توخالی و یا توخالی نیمه پر شده با دوغاب باشد.
ضخامت دیوار	بدون در نظر گرفتن نازک کاری و یا سیمان کاری
وزن دیوار	شامل وزن ناشی از نازک کاری، نما و یا سایر قطعات متصل به دیوار
ارتفاع پانل دیوار	در خصوص دیوارهای دارای بازشو، ارتفاع پانل معادل باید وارد شود.
طول پانل دیوار	در خصوص دیوارهای دارای بازشو، طول پانل معادل باید وارد شود.
نوع ملات	نوع ملات می توان از نوع N یا S و با استفاده از سیمان بنایی یا ترکیب سیمان پرتلند و آهک باشد. برای بلوک های AAC ملات مخصوص AAC استفاده می شود.
وجود ملات در بندهای قائم؟	عدم وجود ملات در بندهای قائم به میزان ۳۰٪ خمش افقی دیوار غیرمسلح را کاهش می دهد.
ضخامت پوسته	این مقدار ضخامت پوسته واحدهای بنایی توخالی (بلوک) است که تنها مختص دیوارهای ساخته شده با واحدهای بنایی توخالی یا پر شده با دوغاب است.
مجهز به میلگرد بستر؟	طبق ضابطه ۷۲۹ کلیه دیوارهای بنایی غیرسازه ای به جز دیوارهای AAC باید حتما مسلح باشند. با این وجود در اپلیکیشن قابلیت طراحی دیوارهای غیرمسلح نیز وجود دارد.
قطر مفتول طولی میلگرد بستر	
فاصل میلگردهای بستر	منظور فاصله در امتداد ارتفاع دیوار می باشد. این فاصله تنها می تواند ضریبی از ارتفاع واحدهای بنایی باشد.
پهنای میلگرد بستر	پهنای میلگرد بستر باید حداقل به میزان ۳۰ میلیمتر کمتر از ضخامت دیوار باشد.
مقاومت تسلیم فولاد میلگرد بستر	
شرایط تکیه گاهی دیوار	بسته به شرایط تکیه گاهی دیوار (یا پانل معادل دیوار)، یکی از ۱۲ حالت موجود در ضابطه ۷۲۹ انتخاب می شود.

فصل دهم - مقایسه نتایج ضابطه ۷۲۹ با نتایج آزمایشگاهی

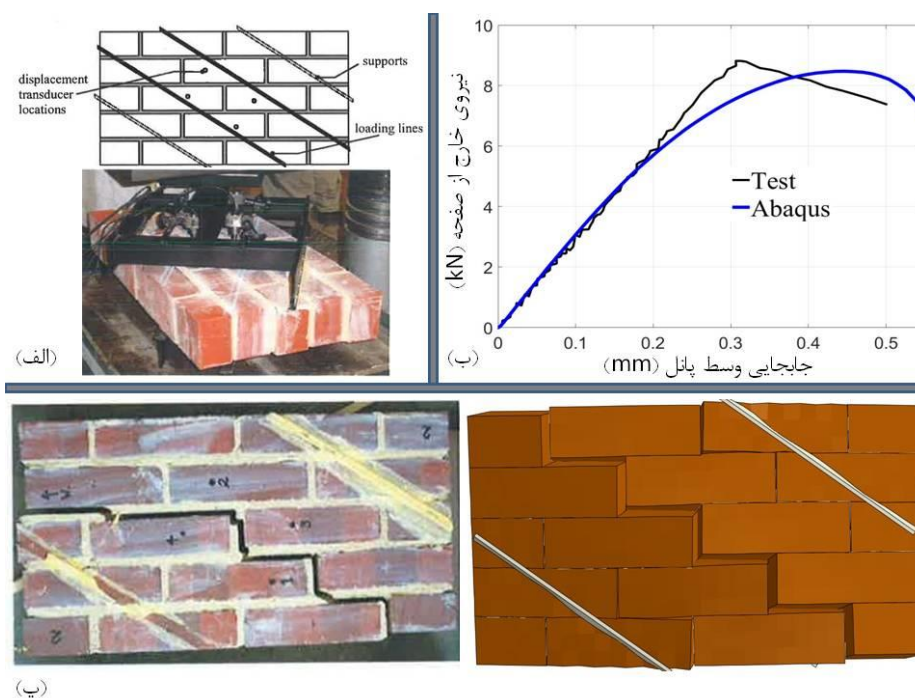
در این بخش با درنظر گرفتن نتایج آزمایشگاهی ۷۲ دیوار با مقیاس کامل، میزان دقت ضابطه ۷۲۹ در تخمین ظرفیت خارج از صفحه دیوار بررسی شده است. دیوارهای درنظر گرفته شده به منظور صحت سنجی طیف وسیعی از دیوارها (دیوارهای ساخته شده با آجرهای توپر، سوراخ دار و توخالی، دیوارهای با و بدون بازشو، دیوارهای با و بدون میلگرد بستر، دیوارهای با شرایط مرزی مختلف) را شامل می شوند. میانگین خطای ضابطه ۷۲۹ در تخمین ظرفیت نهایی خارج از صفحه دیوار ۲۰٪ بوده است که با توجه به عدم قطعیت های موجود در المان ها بنایی، دقت قابل قبولی می باشد. کلیه تخمین های بدست آمده از ضابطه ۷۲۹ بدون درنظر گرفتن ضرایب کاهش مقاومت می باشند. با توجه به اینکه در بخش های آینده از تحلیل های المان محدود نیز به منظور شبیه سازی رفتار دیوار استفاده خواهد شد، لذا در این بخش، صحت نتایج تحلیل های المان محدود نیز با نتایج آزمایشگاهی مورد ارزیابی قرار گرفته است.

۱-۱۰ - مقایسه با تست های (Willis 2004)

در این متن برخی از شبیه سازی رفتار دیوار علاوه بر روش موجود در ضابطه ۷۲۹ با استفاده از مدل های المان محدود در نرم افزار آباکوس نیز انجام شده است. لذا لازم است علاوه بر صحت سنجی روش موجود در ضابطه ۷۲۹، صحت نتایج مدل های المان محدود نیز بررسی شود. شکل های (۱-۱۰) و (۲-۱۰) نتایج حاصل از مدل آباکوس را با نتایج آزمایشگاهی به ترتیب برای رفتار خمش افقی و خمش مورب (خمش افقی و قائم) یک پانل بنایی مقایسه می کنند.



شکل ۱۰-۱. صحت سنجی مدل آباکوس دیوار در خمش افقی (الف) چیدمان تست Willis (2004). (ب) مقایسه منحنی نیرو-تغییر مکان اندازه گیری شده در تست و شبیه سازی شده در آباکوس. (پ). الگوی ترکهای مشاهده شده در تست و مدل آباکوس

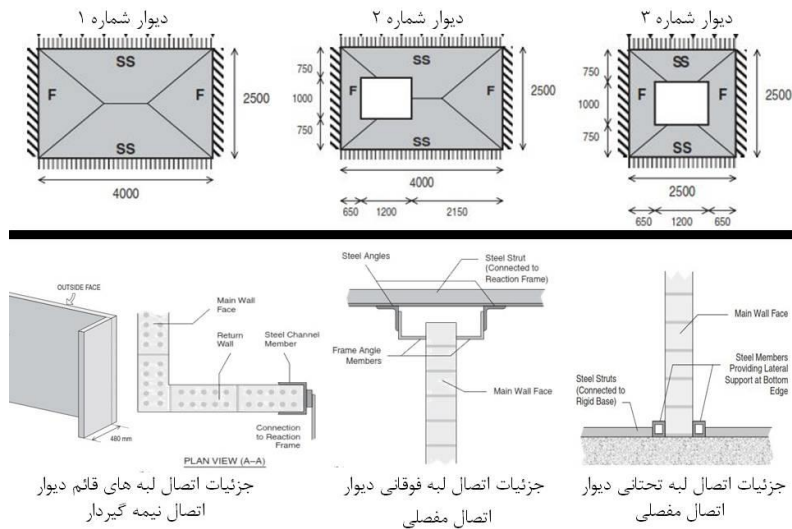


شکل ۱۰-۲. صحت سنجی مدل آباکوس دیوار در خمش مورب (الف) چیدمان تست Willis (2004). (ب) مقایسه منحنی نیرو-تغییر مکان اندازه گیری شده در تست و شبیه سازی شده در آباکوس. (پ). الگوی ترکهای مشاهده شده در تست و مدل آباکوس

مشخص است که مدل المان محدود می تواند با دقت قابل قبولی رفتار خارج از صفحه دیوار را شبیه سازی کند. لیکن این روش زمان بر و پرهزینه بوده و برای استفاده در طراحی های روزمره مهندسی مناسب نیست. لذا لازم است طراح قادر به شبیه سازی رفتار دیوار به شکل ساده تری باشد. برای پاسخ به این نیاز روش های ساده شده ای از جمله روش خطوط تسلیم توسعه داده شده اند که ضابطه ۷۲۹ نیز از همین روش به منظور طراحی دیوارهای با عملکرد دو طرفه استفاده می کند. در ادامه دقت ضابطه ۷۲۹ در تخمین ظرفیت خمش خارج از صفحه دیوارهای بنایی بررسی شده است. بسیاری از نتایج بدست آمده با استفاده از اپلیکیشن تحت اکسل معرفی شده در فصل نهم بدست آمده اند.

۱۰-۲- مقایسه با تست های (Griffith et al. (2007)

رفتار دیوارهای بنایی غیرمسلح با و بدون بازشو توسط (Griffith et al. (2007 به شکل آزمایشگاهی بررسی شده است. در این بخش یک دیوار بدون بازشو و دو دیوار با بازشو مطابق شکل (۱۰-۳) مدنظر قرار گرفته و نتایج حاصل از ضابطه ۷۲۹ و نیز مدل المان محدود با نتایج تست های (Griffith et al. (2007 مقایسه شده اند. لبه های قائم دیوار دارای اتصالات نیمه گیردار می باشند که این امر از طریق وجود دو دیوار عمود بر دیوار اصلی ایجاد شده است. طبق (Griffith et al. (2007 این اتصال از نظر دورانی لبه دیوار را به طور کامل مقید نمی کند و تنها اجازه می دهد ظرفیت خمشی دیوار در لبه های قائم نیز بسیج شوند. در تخمین ظرفیت دیوار با استفاده از روش ضابطه ۷۲۹، لبه های قائم دیوار مفصلی در نظر گرفته شده اند. هر سه دیوار فاقد بار محوری می باشند. ضخامت دیوارها ۱۱۰ میلیمتر بوده و با استفاده از آجرهای رسی سوراخ دار به ابعاد ۲۳۰ در ۱۱۰ در ۷۶ میلیمتر ساخته شده اند. در این نوع آجرها، سوراخ ها سطح کمی از سطح آجر را تشکیل میدهند (کمتر از ۳۵٪) و در محاسبات آجرها توپر در نظر گرفته می شوند.

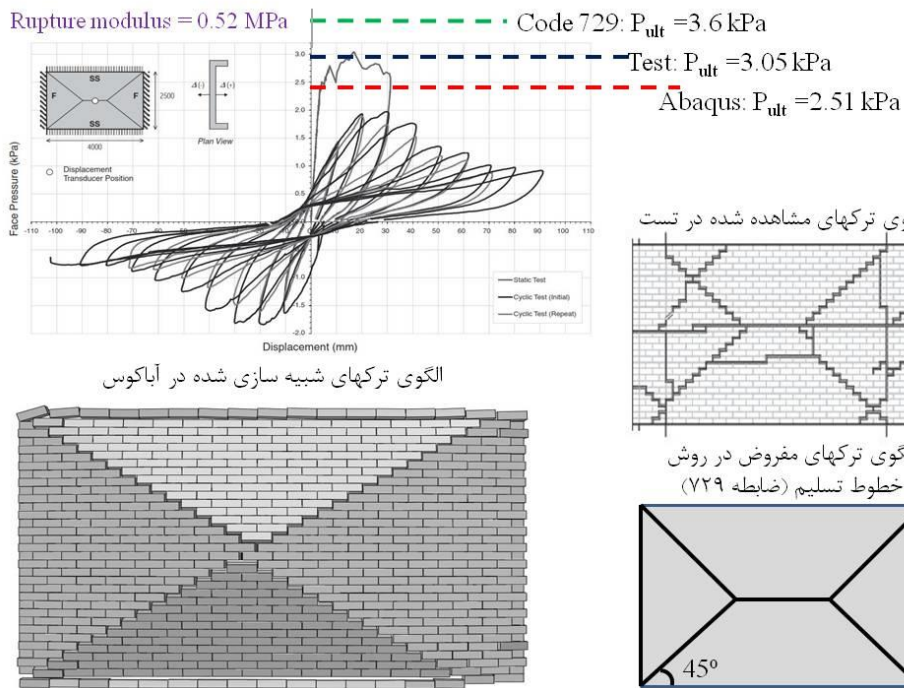


شکل ۱۰-۳. سه نمونه از دیوارهای تست شده توسط Griffith et al.(2007)

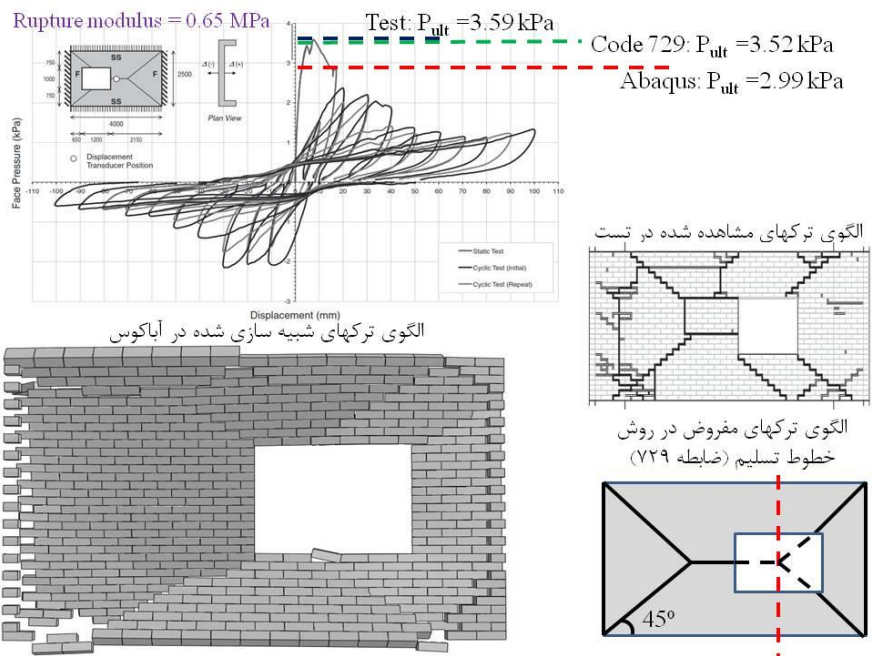
شکل (۱۰-۴) نتایج حاصل از دیوار شماره ۱ را از سه روش مختلف نشان می دهد. لازم به ذکر است که نتایج بدست آمده از ضابطه ۷۲۹ بدون در نظر گرفتن ضریب کاهش مقاومت (۰/۶) گزارش شده اند. نتایج دو دیوار دیگر در شکل های (۱۰-۵) و (۱۰-۶) ارائه شده اند. فشارهای خارج از صفحه متناظر با ظرفیت نهایی (آستانه فروریزش) دیوارهای در نظر گرفته شده در جدول (۱۰-۱) ارائه شده اند. بر اساس نتایج می توان اظهار داشت که ضابطه ۷۲۹ و نیز مدل های المان محدود می توانند با دقت مناسبی مقاومت نهایی خارج از صفحه دیوار را تخمین بزنند. باید توجه داشت که عدم قطعیت مشخصات مصالح به ویژه مدول گسیختگی در مصالح بنایی نسبت به سایر مصالح بسیار بالاتر می باشد لذا محدوده خطایی در حدود کمتر از ۳۰٪ برای تخمین مقاومت نهایی مصالح بنایی بسیار دقت مناسبی است.

جدول (۱۰-۱). فشار نهایی سه دیوار در نظر گرفته شده در این بخش بر اساس روش های مختلف

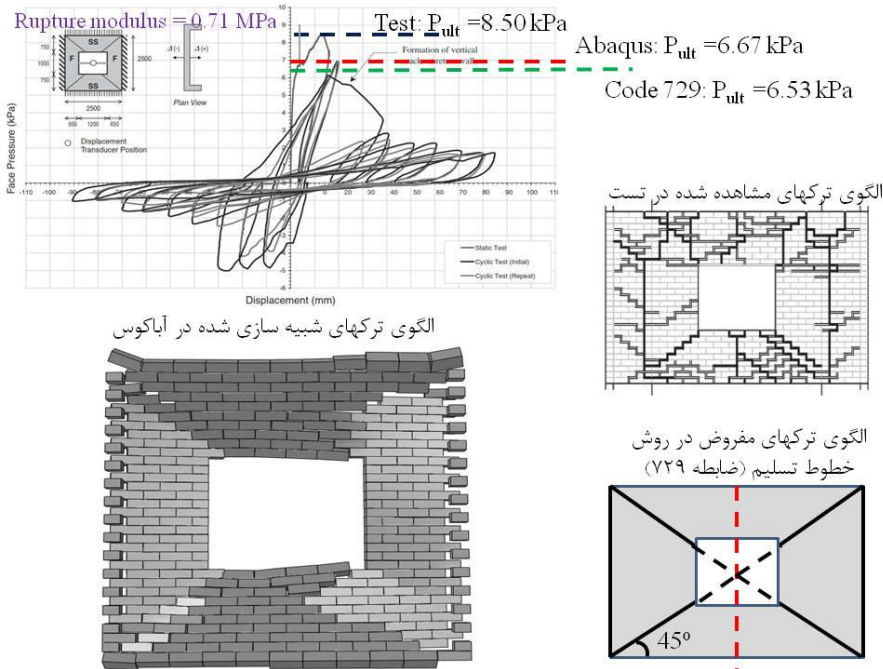
شماره دیوار	تست	مدل آباکوس	ضابطه ۷۲۹
۱	3.04 kPa	2.51 kPa	3.67 kPa
۲	3.59 kPa	2.99 kPa	3.52 kPa
۳	8.50 kPa	6.67 kPa	6.53 kPa



شکل ۱۰-۴. ظرفیت دیوار شماره ۱ از سه روش آزمایشگاهی، مدل المان محدود و ضابطه ۷۲۹ (بدون ضریب کاهش مقاومت).



شکل ۱۰-۵. ظرفیت دیوار شماره ۲ از سه روش آزمایشگاهی، مدل المان محدود و ضابطه ۷۲۹ (بدون ضریب کاهش مقاومت).



شکل ۱۰-۶. ظرفیت دیوار شماره ۳ از سه روش آزمایشگاهی، مدل المان محدود و ضابطه ۷۲۹ (بدون ضریب کاهش مقاومت).

در ادامه نتایج حاصل از ضابطه ۷۲۹ با تعداد بسیار زیادی از تست های گذشته مقایسه شده است.

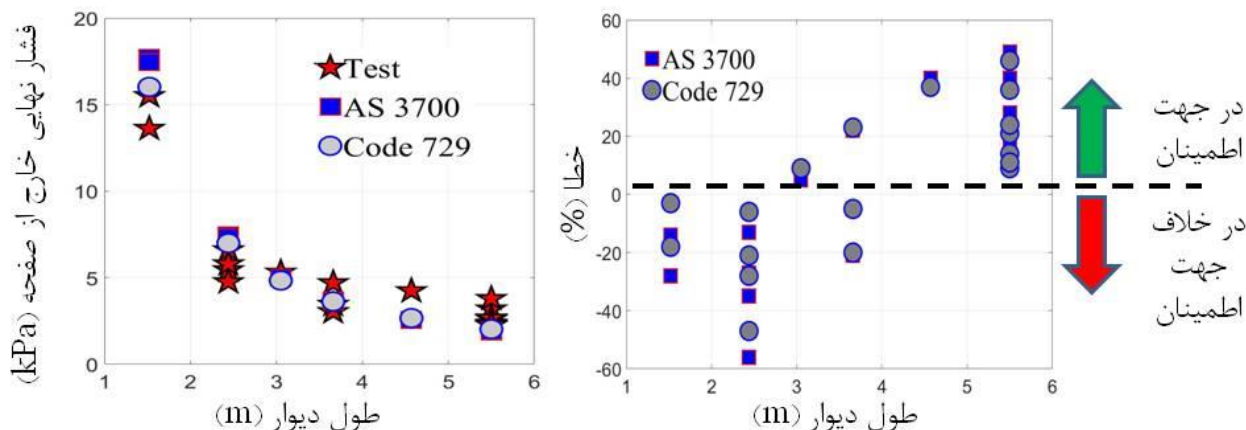
۱۰-۳- مقایسه با تست های (West et al. (1977)

تعداد ۱۸ عدد دیوار بنایی غیرمسلح با مقیاس کامل توسط (West et al. (1977) مورد آزمایش قرار گرفته و ظرفیت خمش خارج از صفحه آنها بدست آمده است. کلیه دیوارهای تست شده رفتاری دو طرفه داشته به این نحو که لبه تحتانی دارای اتصال مفصلی، لبه فوقانی آزاد و لبه های قائم دارای اتصال نیمه گیردار بوده اند. ظرفیت آزمایشگاهی دیوار به همراه تخمین ضابطه ۷۲۹ از ظرفیت دیوار در جدول (۱۰-۲) نشان داده شده است. به منظور مقایسه، نتایج تخمین آیین نامه استرالیا (AS 3700) که از روش کار مجازی استفاده می کند نیز در جدول (۱۰-۲) ارائه شده است. نتایج آزمایشگاهی و نیز نتایج آیین نامه استرالیا توسط (Willis (2004 جمع آوری شده اند. در کلیه دیوارهای تست شده مدول گسیختگی دیوار بنایی بین 0.71 MPa تا 0.73 MPa گزارش شده است. در تخمین صورت گرفته در این بخش این مقدار برای کلیه دیوارها برابر 0.72 MPa فرض شده است. لازم به توضیح است کلیه دیوارهای تست شده از آجر توپر بوده و فاقد بازشو می باشند. همچنین در تمام دیوارهای تست شده، ضخامت دیوار 103 mm است.

با توجه به این که لبه های قائم دیوارها به صورت نیمه گیردار می باشند، لذا در تخمین فشار نهایی دیوار طبق ضابطه ۷۲۹ یک بار لبه های قائم دیوار به شکل مفصل (شرایط مرزی A) و یک بار لبه های قائم دیوار به شکل گیردار (شرایط مرزی C) در نظر گرفته شده و میانگین نتایج این دو حالت در جدول (۱۰-۲) ارائه شده اند. مجددا تاکید می شود در نتایج حاصل از آیین نامه ها، ضرایب کاهش مقاومت لحاظ نمی شود تا بدین ترتیب مقایسه منطقی تری با نتایج آزمایشگاهی صورت گیرد. مشخص است که ضابطه ۷۲۹ حتی بهتر از آیین نامه مصالح بنایی استرالیا (AS 3700) قادر است ظرفیت نهایی دیوار را تخمین بزند. نتایج بدست آمده در شکل (۱۰-۷) نیز نمایش داده شده اند.

جدول (۱۰-۲). فشار نهایی خارج از صفحه ۱۸ نمونه دیوار با ارتفاع ۲/۶ متر و ضخامت ۱۰۳ میلیمتر و طول های متفاوت

شماره	طول (m)	تست	مقاومت (kPa)		درصد خطای مطلق	
			AS 3700	ضابطه ۷۲۹	AS 3700	ضابطه ۷۲۹
1	5.5	3.18	1.92	2.03	36	40
2	5.5	3.79	1.92	2.03	46	49
3	4.57	4.24	2.56	2.67	37	40
4	3.66	4.7	3.68	3.63	23	22
5	3.05	5.31	5.02	4.84	9	5
6	2.44	6.6	7.44	7	6	13
7	1.52	15.51	17.71	16.03	3	14
8	5.5	2.37	1.89	2.03	14	20
9	2.44	5.45	7.34	7	28	35
10	1.52	13.62	17.47	16.03	18	28
11	5.5	2.59	1.92	2.03	21	26
12	3.66	3.03	3.68	3.63	20	21
13	2.44	4.76	7.44	7	47	56
14	5.5	2.24	1.89	2.03	9	16
15	3.66	3.45	3.63	3.63	5	5
16	2.44	5.79	7.34	7	21	27
17	5.5	2.66	1.92	2.03	24	28
18	5.5	2.28	1.92	2.03	11	16
میانگین خطا					26%	21%



شکل ۱۰-۷. دقت آیین نامه AS 3700 و ضابطه ۷۲۹ در تخمین نتایج تست های (West et al. (1977)

شکل (۷-۱۰) نشان می دهد روش خطوط تسلیم (ضابطه ۷۲۹) و همچنین روش کار مجازی (آیین نامه AS 3700) در دیوارهای با طول کم (نسبت H/L بیشتر) مقاومت دیوار را قدری بیشتر از مقدار واقعی تخمین می زنند. این پدیده پیشتر توسط Chong (1993) نیز مشاهده شده بود. البته با توجه به اینکه اغلب دیوارهای غیرسازه ای دارای نسبت H/L کوچکتر از ۱ بوده و نیز ضرایب اطمینان قابل توجهی در آیین نامه ها لحاظ می گردد، این امر منجر به نگرانی نخواهد بود.

۱۰-۴- مقایسه با تست های Lawrence (1983)

تعداد ۳۲ دیوار تمام مقیاس غیرمسلح توسط Lawrence (1983) مورد تست خارج از صفحه قرار گرفته است. دیوارهای تست شده همگی فاقد بازشو لیکن دارای شرایط مرزی مختلفی بوده اند. جزئیات دیوارهای تست شده به همراه نتایج آزمایشگاهی و نتایج حاصل از ضابطه ۷۲۹ در جدول (۱۰-۳) ارائه شده اند. ضخامت کلیه دیوارها ۱۱۰ میلیمتر بوده است. لازم به توضیح است که Lawrence مقادیر بسیار بالایی برای مدول گسیختگی دیوارهای تست شده گزارش کرده است. نویسنده معتقد است مقادیر ذکر شده توسط Lawrence نمی تواند معرف مدول گسیختگی دیوار باشد، لذا در این بخش مدول گسیختگی برابر حداکثر مقدار مطابق ضابطه ۷۲۹ (0.92 MPa) در نظر گرفته شده است.

نتایج حاکی از قابلیت اطمینان ضابطه ۷۲۹ در تخمین فشار نهایی (آستانه فروریزش) دیوارهای تست شده با هندسه و شرایط مرزی متفاوت، می باشد.

جدول (۱۰-۳). فشار نهایی خارج از صفحه ۳۲ نمونه دیوار به ضخامت ۱۱۰ میلیمتر

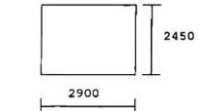
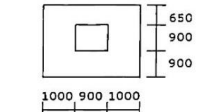
شماره دیوار	طول (m)	ارتفاع (m)	شرایط مرزی*	فشار نهایی دیوار (kPa)		خطا (%)
				تست	ضابطه ۷۲۹	
1	6	3	I	8	7.4	8
2	6	3	I	8.1	7.4	9
3	6	3	E	3.2	3.7	15
4	6	3	G	5.5	4.9	11
5	6	3	A	1.7	1.8	8
6	2.5	2.5	E	8.6	10.4	21
7	2.5	2.5	I	12.1	21.2	75
8	2.5	2.5	G	20	16.5	18
9	2.5	2.5	A	7.8	7.2	8
10	2.5	2.5	C	14	12.6	10
11	3.75	2.5	A	3.4	4	16
12	3.75	2.5	E	4.9	6.9	41
13	3.75	2.5	G	6.7	9.9	47
14	3.75	2.5	I	11.6	13.8	19
15	3.75	2.5	C	4	6.6	64
16	5	2.5	E	4.7	5.3	13
17	5	2.5	I	9.9	10.6	7
18	5	2.5	G	6.4	7.1	10
19	5	2.5	C	3.9	4.2	9
20	5	2.5	A	2.7	2.7	2
21	6	2.5	E	3.1	4.8	53
22	6	2.5	A	2.3	2.1	8
23	6	2.5	C	3.5	3.4	3
24	6	2.5	G	4.7	6.3	33
25	6	2.5	I	6.9	9.5	38
26	6	3	E	3.5	3.7	5
27	6	3	I	4.7	7.4	57
28	6	3	G	3.9	4.9	26
29	6	3	C	2.5	3	18
30	6	3	A	1.9	1.8	4
31	2.5	2.5	I	24	21.2	12
32	2.5	2.5	G	18.8	16.5	12
میانگین خطا						21%

* شرایط مرزی مطابق تعریف موجود در ضابطه ۷۲۹

۱۰-۵- مقایسه با تست های Chong (1993)

دیوارهای بنایی غیرمسلح دارای بازشو توسط Chong (1993) به صورت آزمایشگاهی و عددی مورد بررسی قرار گرفته اند. ۷ دیوار مختلف در این بخش مورد بررسی قرار گرفته است. مشخصات دیوارهای تست شده به همراه نتایج حاصله در جدول (۴-۱۰) نشان داده شده اند.

جدول (۴-۱۰). فشار نهایی خارج از صفحه ۷ نمونه دیوار به ضخامت ۱۰۲ میلیمتر

نام نمونه	ابعاد دیوار (mm)	شرایط تکیه گاهی لبه های دیوار			فشار نهایی دیوار (kPa)		خطای مطلق (%)
		قائم	تحتانی*	فوقانی	تست	ضابطه ۷۲۹	
SB01		مفصلی	گیردار	آزاد	2.8	2.1	25
SB05		مفصلی	مفصلی	آزاد	2.7	2.1	22
SB06		مفصلی	گیردار	مفصلی	7.5	7.9	5
SB07		مفصلی	گیردار	مفصلی	5.5	6.8	24
SB02		مفصلی	گیردار	آزاد	2.4	1.7	29
SB03		مفصلی	گیردار	آزاد	2.3	1.7	26
SB04		مفصلی	گیردار	آزاد	2.2	1.7	23
میانگین خطا							22%

* در تخمین فشار نهایی با استفاده از ضابطه ۷۲۹، اتصال لبه تحتانی دیوار مفصلی فرض شده است

مدول گسیختگی (در امتداد عمود بر بند بستر) دیوارها برابر 0.96 MPa گزارش شده است که اندکی بیش از حداکثر مدول گسیختگی مطابق ضابطه ۷۲۹ می باشد. در تخمین فشار نهایی دیوار از حداکثر مقدار ضابطه ۷۲۹ (0.92 MPa) برای مدول گسیختگی در امتداد عمود بر بند بستر استفاده شده است. همچنین در تخمین

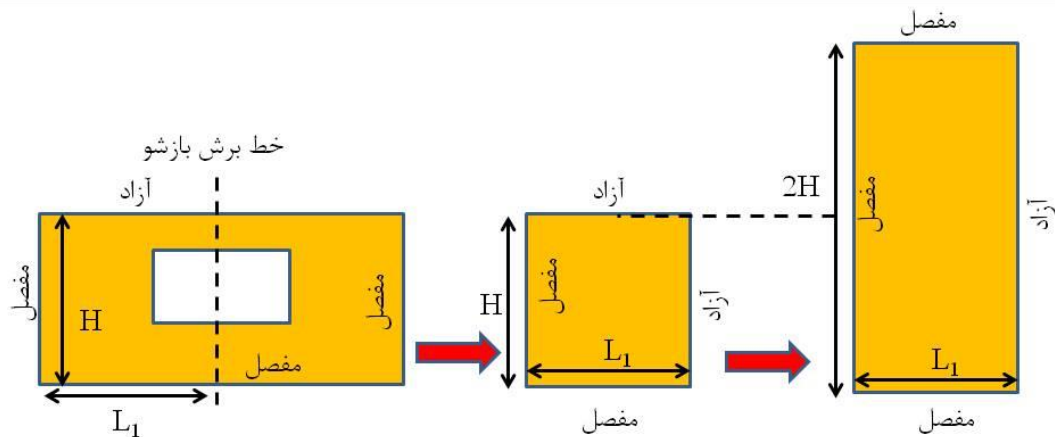
های انجام شده در تمامی موارد اتصال لبه تحتانی دیوارها به صورت مفصلی در نظر گرفته شده است چراکه مقایسه بین نتایج دیوارهای SB01 و SB05 نشان می دهد که عملاً در تست ها شرایط گیرداری کامل برای لبه تحتانی دیوار محقق نشده است. شکل (۸-۱۰) ترک های ایجاد شده در نمونه SB02 و نیز نحوه تشکیل پانل معادل طبق ضابطه ۷۲۹ برای این دیوار را نشان می دهد. لازم به یادآوری است هدف از ساخت پانل معادل، ایجاد پانلی فاقد بازشو اما با ظرفیت نهایی معادل دیوار دارای بازشو می باشد. همچنین در پانل معادل باید شرایط مرزی پانل منطبق بر یکی از شرایط مرزی موجود در ضابطه ۷۲۹ باشد. همچنین شکل (۹-۱۰) منحنی نیرو-تغییر مکان چهار نمونه از دیوارهای تست شده را نشان می دهد.



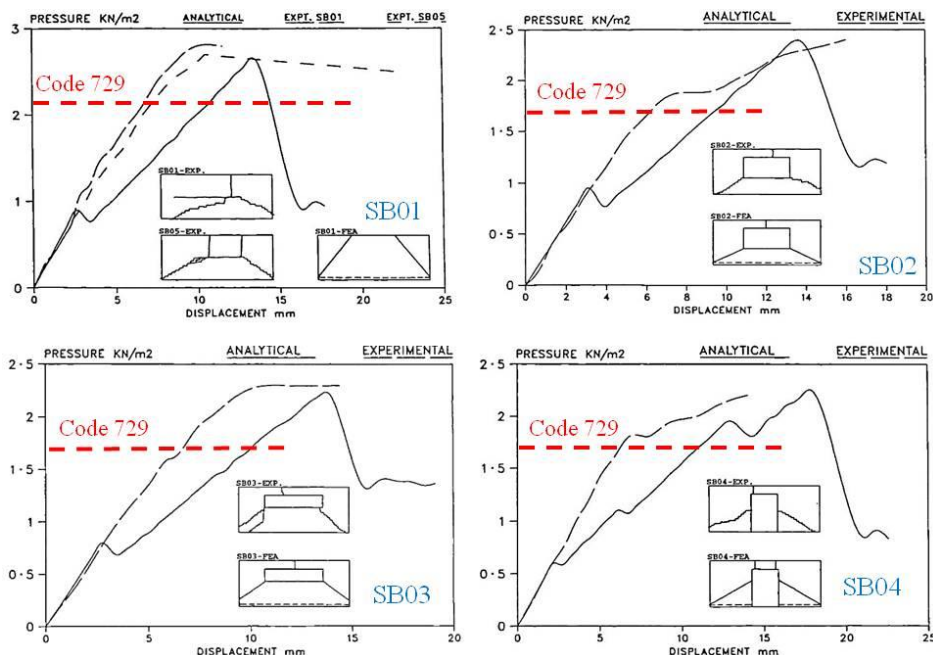
تصویر اصلی



تصویری که در آن خطوط ترک ها نشان داده شده اند



شکل ۸-۱۰. الگوی ترکهای دیوار SB02 دارای بازشو و لبه فوقانی آزاد و نحوه ساختن پانل معادل برای آن



شکل ۱۰-۹. رفتار چهار نمونه از دیوارهای تست شده به همراه تخمین ضابطه ۷۲۹ از مقاومت نهایی آنها (خطوط توپر نتایج آزمایشگاهی می باشند).

۱۰-۶- مقایسه با تست های (Drysdale and Essawy (1988)

تست های خارج از صفحه بر روی دیوارهای فاقد بازشو با مقیاس کامل توسط (Drysdale and Essawy (1988 انجام شده است. نمونه ها از جنس بلوکهای توخالی سیمانی بوده و به صورت یک رج درمیان مسلح به میلگرد بستر خرابایی می باشند. دیوارها فاقد بار محوری بوده و در شرایط مرزی مختلف تست شده اند. ملات به کار رفته دیوارها از نوع S ساخته شده با ترکیب سیمان پرتلند و آهک با طرح اختلاط زیر می باشد.

۱ حجم سیمان+ ۰/۲۱ حجم آهک+ ۴/۲۴ حجم ماسه+ ۰/۹ حجم آب

ضخامت کلیه دیوارها ۱۹۰ میلیمتر است. نتایج آزمایشگاهی و نیز تخمین صورت گرفته توسط ضابطه ۷۲۹ در جدول (۱۰-۵) با یکدیگر مقایسه شده اند. نتایج حاصله حاکی از آن است که ضابطه ۷۲۹ در خصوص دیوارهای ساخته شده از بلوک های توخالی و مسلح به میلگرد بستر نیز با دقت مناسبی ظرفیت نهایی دیوار را تخمین می زند.

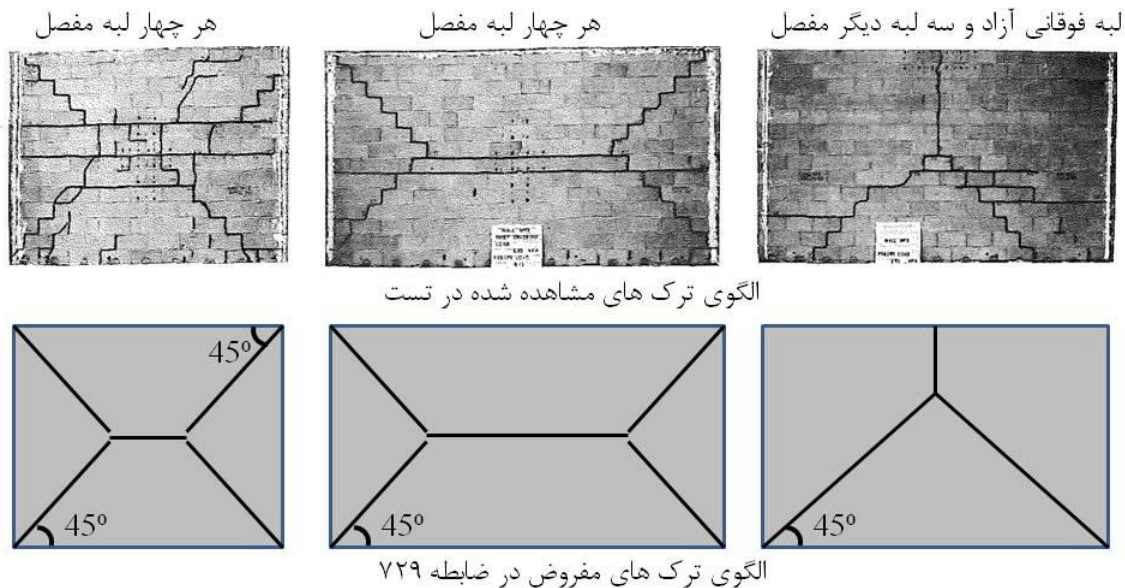
جدول (۱۰-۵). فشار نهایی خارج از صفحه ۱۲ نمونه دیوار با ضخامت ۱۹۰ میلیمتر و مسلح به میلگرد بستر

شماره دیوار	شرایط مرزی	ارتفاع (m)	طول (m)	فشار نهایی (kPa)		
				تست	ضابطه ۷۲۹	خطای مطلق (%)
1	E	2.8	3.4	11	8.5	23
2	E	2.8	3.4	10.9	8.5	22
3	E	2.8	3.4	8.63	8.5	2
4	E	2.8	5	6.67	5.9	12
5	E	2.8	5	6.73	5.9	12
6	E	2.8	5	7.06	5.9	16
7	E	2.8	5.8	5.3	5.25	1
8	E	2.8	5.8	4.3	5.25	22
9	E	2.8	5.8	4.7	5.25	12
10	A	2.8	5.2	3.97	2.98	25
11	A	2.8	5.2	3.79	2.98	21
12	A	2.8	5.2	3.95	2.98	24

میانگین خطا 16%

شرط مرزی E: هر چهار لبه دیوار مفصلی است- شرط مرزی A: لبه فوقانی دیوار آزاد بوده و سه لبه دیگر مفصلی است.

الگوی ترکهای مشاهده شده در دیوارها نیز در شکل (۱۰-۱۰) نشان داده شده است.



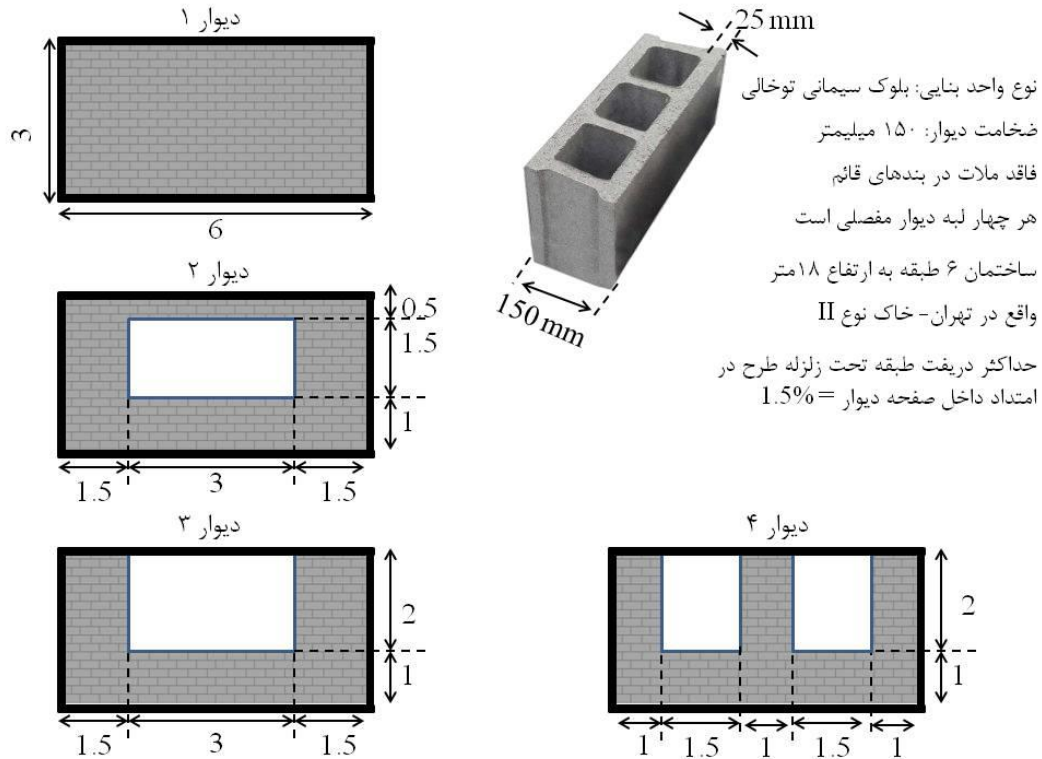
شکل ۱۰-۱۰. الگوی ترک های برخی از دیوارهای تست شده توسط Drysdale and Essawy (1988) و مقایسه آن با الگوی ترکهای مفروض در ضابطه ۷۲۹.

فصل یازدهم - نمونه محاسبات مشروح

در این بخش در قالب ۴ مثال مطابق شکل (۱۱-۱)، روند طراحی دیوارهای بنایی غیرسازه ای مطابق ضابطه ۷۲۹ به طور مشروح ارائه شده است. همچنین دیوارهای طراحی شده در این بخش به صورت مدلهای المان محدود در نرم افزار Abaqus شبیه سازی شده اند. بدین ترتیب می توان دید بهتری از رفتار دیوارهای طراحی شده مطابق ضابطه ۷۲۹ بدست آورد. فرمت ارائه و روند طراحی دیوارهای این بخش بسیار جامع می باشند و در دفترچه محاسبات های متداول نیازی به ارائه چنین سطحی از جزئیات نخواهد بود. روند طراحی مناسب برای ارائه در دفترچه محاسبات برای کارهای متداول مهندسی در فصل دوازدهم ارائه شده است. این فصل برای آن دسته از مهندسين ارائه می شود که مایلند دید جامع تری در خصوص رفتار دیوارهای بنایی غیرسازه ای کسب کنند.

دیوارهای مدنظر در این فصل همگی پیرامونی بوده و ضخامت آنها (بدون در نظر گرفتن سیمان کاری و نازک کاری) برابر ۱۵۰ میلیمتر می باشد. در ساخت دیوار از بلوکهای سیمانی استفاده شده است. دیوارها مربوط به یک ساختمان مسکونی ۶ طبقه به ارتفاع ۱۸ متر واقع در تهران می باشند که خاک منطقه نیز نوع II است. وزن دیوار به همراه نازک کاری و نما برابر ۲۰۰ کیلوگرم بر مترمربع (معادل 2000 N/m^2) است. یکی از اهداف این مثال بررسی تاثیر بازشوهای مختلف در ظرفیت دیوار می باشد.

لازم به توضیح است اگرچه اندوهای سیمانی بر روی دیوار منجر به بهبود مقاومت خارج از صفحه دیوار می شوند، لذا به دلیل عدم قطعیت در طرح اختلاط و شرایط ساخت و اجرای اندود، در جهت اطمینان از اثر اندود دیوار در محاسبات صرفنظر می شود.



شکل ۱-۱۱. دیوارهای در نظر گرفته شده در این فصل (ابعاد دیوار بر حسب متر می باشند).

۱-۱۱- طراحی دیوار شماره ۱

مرحله ۱: تعیین تقاضای نیروی وارده بر دیوار:

مطابق ضابطه ۷۲۹ با توجه به اینکه دیوار مدنظر پیرامونی می باشد لازم است نیروی ناشی از باد و زلزله بدست آمده و حداکثر مابین آن دو ملاک طراحی قرار گیرند. در تعیین نیروی زلزله ضریب اهمیت دیوار برابر ۱ (ساختمان مسکونی) و در تعیین نیروی باد فرض شده است که محیط اطراف ساختمان با تراکم بالا می باشد.

$$\text{نیروی زلزله: } W_{eq} = 0.48AI(1+S)W = 0.48 \times 0.35 \times 1 \times (1+1.5) \times 2000 = 840 \left(\frac{N}{m^2}\right) \approx 84 \left(\frac{kg}{m^2}\right)$$

$$\text{نیروی باد: } W_{win} = 0.11 \left(\frac{H_t}{10}\right)^{0.24} V^2 = 0.11 \times \left(\frac{18}{10}\right)^{0.24} 100^2 = 1266 \left(\frac{N}{m^2}\right) \approx 127 \left(\frac{kg}{m^2}\right)$$

با مشاهده نیروهای فوق مشخص است که نیروی باد حاکم می باشد و دیوار باید قادر به تحمل نیروی باد باشد. معمولاً برای دیوارهای پیرامونی با وزن دیوار متعارف، نیروی باد حاکم می شود.

بر اساس نتایج اپلیکیشن نیز نیروی زلزله و باد مشابه مقادیر فوق بدست می آید.

مرحله ۲: تعیین ظرفیت دیوار:

فرض می شود، در کارگاه شرایط مناسب جهت کنترل طرح اختلاط ملات وجود نداشته، لذا ضعیف ترین ملات (ملات نوع N با سیمان بنایی) در این مثال در نظر گرفته می شود. با توجه به اینکه واحدهای بنایی توخالی بوده و از ملات نوع N با سیمان بنایی برای ساخت دیوار استفاده شده است، مطابق ضابطه ۷۲۹ مدول گسیختگی در امتداد عمود بر بند بستر برابر 0.21 MPa و در امتداد موازی با بند بستر برابر 0.44 MPa بدست می آید. با توجه به ضابطه ۷۲۹، می توان ظرفیت خمشی دیوارهای ساخته شده از بلوک (واحد بنایی توخالی) را به شکل زیر بدست آورد.

مقاومت اسمی خمش قائم:

$$M_{n1} = \frac{1000f_r t_s (h-t_s)^2}{h} \left(N \cdot \frac{mm}{m} \right) = \frac{1000 \times 0.21 \times 25 \times (150-25)^2}{150} \times 10^{-3} = 547 \left(N \cdot \frac{m}{m} \right)$$

مقاومت طراحی خمش قائم:

$$M_{d1} = \phi M_{n1} = 0.6 \times 547 = 328 \left(N \cdot \frac{m}{m} \right)$$

مقدار به دست آمده خمش طراحی در امتداد قائم برای یک متر از طول دیوار می باشد. یادآور می شود خمش قائم خمشی است که منجر به ایجاد ترک های افقی در دیوار شده و در صورتی که دیوار تنها دارای تکیه گاه در لبه فوقانی و تحتانی خود باشد، تنها خمش قائم را تجربه خواهد نمود.

بر اساس نتایج اپلیکیشن نیز ظرفیت طراحی خمش قائم دیوار دقیقاً برابر مقدار فوق بدست می آید.

مقاومت اسمی خمش افقی خود دیوار (غیر مسلح):

$$M_{n2-unreinf} = \frac{1000f_r t_s (h-t_s)^2}{h} \left(N \cdot \frac{mm}{m} \right) = \frac{1000 \times 0.44 \times 25 \times (150-25)^2}{150} \times 10^{-3} = 1146 \left(N \cdot \frac{m}{m} \right)$$

با توجه به اینکه دیوار فاقد ملات در بندهای قائم خود می باشد، لازم است مقدار فوق به میزان ۳۰٪ کاهش یابد. در نتیجه:

$$M_{n2-unreinf} = 0.7 \times 1146 = 802 \left(N \cdot \frac{m}{m} \right)$$

مقاومت طراحی خمش افقی خود دیوار (غیر مسلح):

$$M_{d2-unrienf} = \phi M_{n2-unrein} = 0.6 \times 802 = 481 \left(N \cdot \frac{m}{m} \right)$$

مقدار به دست آمده خمش طراحی در امتداد افقی برای یک متر از ارتفاع دیوار است در حالتی که دیوار فاقد میلگرد بستر باشد. یادآور می شود خمش افقی خمشی است که منجر به ایجاد ترک های قائم در دیوار شده و در صورتی که دیوار تنها دارای تکیه گاه در لبه های قائم خود باشد، تنها خمش افقی را تجربه خواهد کرد.

بر اساس نتایج اپلیکیشن نیز ظرفیت طراحی خمش افقی خود دیوار (غیر مسلح) دقیقاً برابر مقدار فوق بدست می آید.

مقاومت اسمی خمش افقی دیوار مسلح:

به عنوان سعی اول فرض می شود میلگردهای بستر به صورت یک رج در میان در دیوار قرار داده شده اند، لذا فاصله آنها $B=400\text{mm}$ می باشد (ارتفاع بلوک ها ۲۰۰ میلیمتر است). قطر مفتول های میلگرد بستر ۴ میلیمتر بوده (مساحت هر مفتول $12/56$ میلیمتر مربع) و مقاومت تسلیم آن ۴۷۰ مگاپاسکال (۴۷۰۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع) می باشد.

$$M_{n2-reinf} = \frac{1000 A_s f_y}{B} \left(d - \frac{A_s f_y}{2 \beta f'_m B} \right) \left(N \cdot \frac{mm}{m} \right) = \frac{1000 \times 12.56 \times 470}{400} \left(102.5 - \frac{12.56 \times 470}{2 \times 0.8 \times 10 \times 400} \right) \times 10^{-3}$$

$$= 1499 \left(N \cdot \frac{m}{m} \right)$$

در رابطه فوق d برابر فاصله مفتول کششی میلگرد بستر تا دورترین تار فشاری مقطع است. در صورتی که میلگرد بستر در وسط پهنای دیوار قرار داده شود، مقدار d برابر خواهد بود با نصف ضخامت دیوار به اضافه نصف پهنای میلگرد بستر. همچنین مقاومت خمش افقی دیوار مسلح به مقدار مقاومت فشاری مصالح بنایی وابستگی کمی دارد و در قیاب نتایج آزمایشگاهی، می توان مقاومت فشاری مصالح بنایی را $f'_m=10 \text{ MPa}$ در نظر گرفت. این مقدار برای بلوک های AAC برابر ۲ MPa می باشد (در قیاب نتایج آزمایشگاهی).

مقاومت طراحی خمش افقی دیوار مسلح:

$$M_{d2-rienf} = \phi M_{n2-reinf} = 0.9 \times 1499 = 1349 \left(N \cdot \frac{m}{m} \right)$$

مقدار به دست آمده خمش طراحی در امتداد افقی برای یک متر از ارتفاع دیوار در حالتی است که دیوار دارای میلگرد بستر باشد.

بر اساس نتایج اپلیکیشن نیز ظرفیت طراحی خمش افقی دیوار مسلح به میلگرد بستر دقیقاً برابر مقدار فوق بدست می آید.

طبق ضابطه ۷۲۹، مقدار حداقل میلگرد بستر باید به نحوی باشد که :

$$M_{n2-rienf} > 1.3M_{n2-unrienf}$$

رابطه فوق در این مثال برقرار است. در صورتی که رابطه فوق برقرار نباشد، اپلیکیشن طراحی دیوار به کاربر اخطار داده و طراح باید نسبت به افزایش مقدار میلگرد بستر اقدام کند.

تعیین فشار خارج از صفحه متناظر با فروریزش دیوار:

در این مرحله ابتدا نسبت اورتوگونال به صورت زیر محاسبه می شود.

$$\mu = \frac{M_{d1}}{M_{d2}} = \frac{328}{1349} = 0.24$$

مقدار این نسبت همواره کوچکتر از ۱ می باشد.

سپس نسبت ارتفاع به طول دیوار محاسبه می شود. برای اینکه دیوار عملکرد دو طرفه داشته باشد این نسبت باید بین ۰/۳ تا ۲ باشد.

$$\frac{H}{L} = \frac{3}{6} = 0.5$$

در مرحله بعد با داشتن دو پارامتر فوق و نیز با توجه به شرایط تکیه گاهی دیوار، از روی جداول موجود در ضابطه ۷۲۹، ضریب خمش افقی (α_2) بدست می آید. دیوار مدنظر دارای شرایط تکیه گاهی از نوع E می باشد (چهار لبه مفصل)، لذا از روی جدول مربوطه خواهیم داشت:

$$\alpha_2 = 0.042$$

مطابق ضابطه ۷۲۹، خمش افقی تحت فشار خارج از صفحه w_u به صورت زیر بدست می آید،

$$M_{u2} = \alpha_2 w_u L^2$$

لذا می توان با قرار دادن ظرفیت خمش طراحی افقی دیوار در رابطه فوق، فشار آستانه فروریزش دیوار را تخمین زد.

$$W_{ult} = \frac{M_{dz}}{\alpha_2 L^2} = \frac{1349}{0.042 \times 6^2} = 892 \left(\frac{N}{m^2} \right) = 0.892 \text{ kPa} \approx 89.2 \left(\frac{kg}{m^2} \right)$$

بر اساس نتایج اپلیکیشن نیز ظرفیت فشار آستانه فروریزش دقیقا برابر مقدار فوق بدست می آید.

لازم به یادآوری است که در تعیین فشار فوق ضرایب کاهش مقاومت لحاظ شده است، لذا این فشار در واقعیت فشار آستانه فروریزش نیست لیکن در متن حاضر از این اصطلاح استفاده شده است.

مرحله ۳: مقایسه تقاضا با ظرفیت

بدیهی است برای اینکه دیوار قادر به تحمل بارهای وارده باشد، باید ظرفیت آن بیشتر از تقاضای وارده باشد. لذا نسبت تقاضا به ظرفیت بدست آمده و در صورتی که این نسبت کمتر از ۱ باشد، دیوار قادر به تحمل بارهای وارده می باشد و در غیراین صورت دیوار باید تقویت گردد.

بر اساس مرحله ۱ مقدار تقاضا برابر 1.266 kPa بدست آمد

بر اساس مرحله ۲ مقدار ظرفیت برابر 0.892 kPa بدست آمد

در نتیجه نسبت تقاضا به ظرفیت برابر 1.42 می باشد.

بر اساس نتایج اپلیکیشن نیز نسبت تقاضا به ظرفیت دیوار دقیقا برابر مقدار فوق بدست می آید.

با توجه به اینکه این مقدار بزرگتر از ۱ است، لذا دیوار باید تقویت گردد.

تقویت دیوار با روش های مختلفی قابل انجام است. که این روش ها در زیر فهرست شده اند.

- کاهش فواصل میلگرد بستر: این روش یکی از ساده ترین روشهای بهبود مقاومت دیوار است. در مثال فوق در صورتی که فاصله میلگردهای بستر از ۴۰۰ میلیمتر (یک رج درمیان) به ۲۰۰ میلیمتر (قرار دادن میلگرد بستر در تمام رج ها) کاهش یابد، نسبت تقاضا به ظرفیت برابر 0.97 شده فلذا دیوار جوابگوی بارهای وارده خواهد بود.

- افزایش پهناى ميلگرد بستر: اين روش همواره امكان پذير نمى باشد چراكه اولاً لازم است پهناى ميلگرد بستر حداقل ۳۰ ميليمتر كمتر از ضخامت ديوار باشد، ثانياً توليد كنندگان ميلگردهاى بستر اين محصول را تنها در چندين پهناى مشخص توليد مى كنند. در اين مثال در صورتى كه پهناى ميلگرد بستر از ۵۵ ميليمتر به ۱۱۰ ميليمتر افزايش يابد (با فرض قرار داشتن ميلگردهاى بستر به صورت يك رج در ميان)، نسبت تقاضا به ظرفيت برابر 1.22 بدست مى آيد كه همچنان بيشتري از ۱ است.
- افزايش قطر مفتول هاى ميلگرد بستر: اين روش معمولاً امكان پذير نمى باشد چراكه توليد كنندگان ميلگرد بستر از مفتول هاى با قطر مشخص براى توليد محصول استفاده مى كنند.
- بهبود ملات مصرفى: در صورتى كه شرايط نظارت در كارگاه و هنگام ساخت ملات محيا باشد، مى توان در طراحى ديوار، از ملات بهتري استفاده نمود. به عنوان مثال اگر به جاى ملات نوع N از ملات نوع S استفاده شود (ساخته شده با سيمان بنايى)، با ميلگرد بستر با پهناى ۵۵ ميليمتر و فواصل ۴۰۰ ميليمتر (يك رج در ميان)، نسبت تقاضا به ظرفيت از مقدار 1.42 به مقدار 1.07 کاهش مى يابد كه البته همچنان بزرگتر از ۱ است. حال اگر از ملات نوع N ساخته شده با سيمان پرتلند و آهك استفاده شود، نسبت تقاضا به ظرفيت برابر 0.94 مى شود. بهبود ملات يكي از موثرترين روش ها به منظور تقويت ديوارهاى بنايى مى باشد، ليكن بايد در نظر داشت بهبود كيفيت ملات نيازمند نظارت دقيق از مراحل ساخت ملات دارد. در صورتى كه طراح پيشبيني كند چنين شرايطى در هنگام ساخت وجود نخواهد داشت، اكيدا توصيه مى شود از در نظر گرفتن ملات هاى با كيفيت در مرحله طراحى صرف نظر شود.
- تغيير شرايط مرزى ديوار: يكي ديگر از روشهاى تقويت ديوار تغيير تكيه گاه هاى مفصلى به تكيه گاه هاى گيردار مى باشد. اين روش تنها به صورت ثئورى امكان پذير بوده و در عمل معمولاً اين كار امكان پذير نمى باشد.
- تزريق دوغاب: اين روش تنها مربوط به ديوارهاى ساخته شده با بلوك مى باشد. معمولاً در ديوارهاى با ابعاد متداول نياز به استفاده از اين روش نمى باشد. تزريق دوغاب منجر به افزايش مدول گسيختگى ديوار مى شود كه مقدار افزايش در ضابطه ۷۲۹ موجود مى باشد. بايد توجه داشت شرط افزايش مدول گسيختگى آن است كه دوغاب به صورت يكسره و ممتد در تمام طول يا ارتفاع ديوار ريخته شود كه اين امر مستلزم استفاده از بلوكهائى با شكل خاص مى باشد.

- افزایش ضخامت دیوار: این روش به عنوان آخرین روش پیشنهاد می شود. بدین معنی که در صورتی که هیچیک از روش های فوق جوابگوی تقاضای وارده نباشند، باید نسبت به افزایش ضخامت دیوار اقدام شود. این روش تنها در دیوارهای با طول و ارتفاع بسیار بالا مورد نیاز است و در اکثر موارد نیاز به افزایش ضخامت دیوار نمی باشد. توجه شود، افزایش ضخامت دیوار منجر به افزایش وزن آن و نیز افزایش بار مرده سازه و فشار لرزه ای وارده بر دیوار خواهد شد که این اثرات باید در محاسبات لحاظ شوند.

در این مثال، تصمیم نهایی مبنی بر کاهش فاصله میلگردهای بستر می باشد. لذا لازم است میلگردهای بستر در تمام رج های دیوار قرار داده شوند.

مرحله ۴: طراحی اتصالات دیوار

در ضابطه ۷۲۹ نیروهای عکس العملی که در لبه های دیوار ایجاد می شود به منظور طراحی اتصالات دیوار مورد استفاده قرار میگیرند. عکس العمل تکیه گاهی که یک نیروی برشی در امتداد خارج از صفحه دیوار می باشد، بر اساس الگوی ترک های مفروض برای دیوار بدست می آید. بدین ترتیب دیوار به چند بخش تقسیم می شود که بار روی هر بخش سهم عکس العمل تکیه گاه مربوط به آن بخش خواهد بود. مطابق شکل (۱۱-۲) مساحت سهم لبه افقی سمت چپ برابر 2.25 m^2 می باشد لذا با ضرب این مساحت در فشار طراحی وارده بر دیوار (در این مثال ناشی از باد) عکس العمل لبه سمت چپ برابر است با:

$$\text{به همین ترتیب عکس العمل تکیه گاهی لبه فوقانی دیوار نیز بدست می آید:}$$
$$2.25 (\text{m}^2) \times (1.27 \text{ kPa}) = 2.86 \text{ kN} \approx 286 \text{ kg}$$

با توجه به تقارن، عکس العمل لبه سمت راست دیوار نیز برابر 2.86 kN و عکس العمل لبه تحتانی دیوار برابر 8.57 kN است.

بر اساس نتایج اپلیکیشن نیز عکس العمل های تکیه گاهی دیوار دقیقاً برابر مقادیر فوق بدست می آید.

در صورتی که لبه تحتانی دیوار مفصلی فرض شده باشد (پیشنهاد می شود همواره چنین فرضی در نظر گرفته شود و از گیردار فرض کردن لبه های دیوار پرهیز شود)، عکس العمل لبه تحتانی دیوار توسط ملات موجود مابین اولین رج دیوار و کف تامین می شود و نیازی به کنترل ندارد چرا که همواره ظرفیت برشی تامین شده در لبه تحتانی برای تحمل بارهای وارده کافی می باشد. لذا تنها لازم است اتصالات لبه فوقانی و دو لبه جانبی دیوار

طراحی گردند. بر این اساس مطابق ضابطه ۷۲۹ از اتصالات کشویی استفاده می شود. برای اتصال دیوار به سقف از دوپل نبشی و برای اتصال دیوار به ستون از ناودانی استفاده می گردد.

دوبل نبشی اتصال دیوار به سقف: با توجه به اینکه لازم است حداقل 20 mm بین لبه فوقانی دیوار و سقف فاصله باشد و نیز بال نبشی باید حداقل به میزان 30 mm با دیوار در تماس باشد، لذا پهنای بال نبشی حداقل 50 mm خواهد بود. همچنین در صورتی که ضخامت بال 2 mm باشد، مقاومت یک متر طول از دوپل نبشی ها مطابق جدول (۸-۱) برابر 2.9 kN می باشد. با توجه به اینکه نیروی تکیه گاهی لبه فوقانی دیوار برابر 8.57 kN است، لذا حداقل طول لازم برای دوپل نبشی ها برابر 2.96 m بدست می آید.

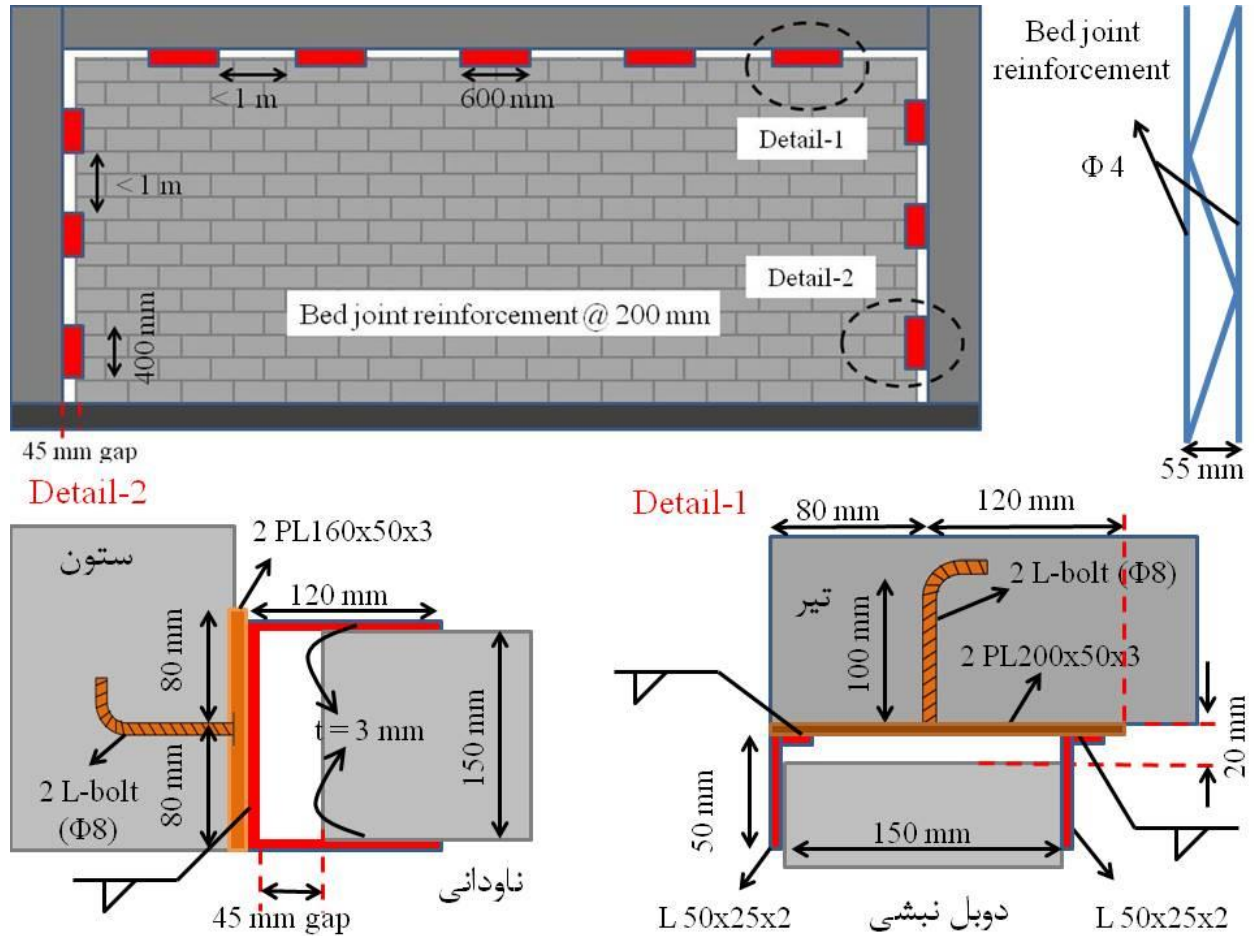
تصمیم گرفته می شود از ۵ عدد دوپل نبشی با طول 0.6 m استفاده شود. با فرض اینکه انکرهای اتصال پیش از بتن ریزی سازه در قفس آرماتورها قرار خواهند گرفت، از انکرهای L- شکل با قطر 8 mm استفاده می شود. اگر مقاومت بتن سازه 20 MPa فرض شود، مطابق جدول (۸-۴) برای هر متر از اتصال فوق (پهنای بال 50 mm و ضخامت 2 mm) به ۳ عدد انکر نیاز است. از آنجایی که طول هر یک از دوپل نبشی ها 1 m نبوده بلکه 0.6 m می باشد، لذا برای هر یک از قطعات دوپل نبشی به ۲ عدد انکر نیاز خواهد بود.

ناودانی اتصال دیوار به ستون: با توجه به اینکه دریفت طبقه 1.5% بوده و ارتفاع دیوار نیز 3 m می باشد، لذا دریفت طبقه (جابجایی نسبی طبقه) برابر 45 mm بدست می آید. پهنای بال ناودانی باید حداقل دو برابر دریفت طبقه به علاوه 30 mm باشد. لذا پهنای بال ناودانی برابر 120 mm انتخاب می شود. اگر ضخامت بال 2 mm در نظر گرفته شود، از جدول (۸-۱) مقاومت ناودانی به ازای هر متر طول برابر 1.25 kN بدست می آید. عکس العمل تکیه گاهی در لبه قائم دیوار برابر 2.86 kN بوده است، لذا در لبه های قائم دیوار باید اتصالات کشویی ناودانی به طول حداقل 2.29 m قرار داده شود. این مقدار طول زیادی بوده و بسیاری از سطح دیوار را می پوشاند. در صورت استفاده از این اتصال عملاً لازم است یک اتصال پیوسته و غیرمنقطع در لبه دیوار قرار گیرد. در صورتی که بخواهیم از اتصالات غیرپیوسته و منقطع استفاده نماییم باید برای ناودانی از ضخامت ورق 3 mm استفاده شود، در این صورت طبقه جدول (۸-۱) مقاومت هر متر طول ناودانی 2.7 kN بدست می آید و کل طول لازم برای ناودانی برابر 1.06 m خواهد بود. برای اتصال از سه عدد ناودانی (پهنای بال 120 mm و ضخامت بال 3mm) به طول 0.4 m استفاده می شود.

اگر برای قطعات ناودانی اتصال دیوار به ستون نیز از انکرهای درجای L- شکل به قطر 8 mm و عمق نفوذ 100 mm استفاده شود، مطابق جدول (۸-۴) برای هر متر از اتصال ناودانی (عرض ورق 120 mm و ضخامت 3 mm)

به ۴/۵ عدد انکر نیاز است. از آنجایی که هر یک از قطعات ناودانی اتصال دارای طول 0.4 m هستند، لذا برای هر یک از قطعات به ۲ عدد انکر نیاز است.

جزئیات نهایی دیوار شماره ۱ در شکل ۱۱-۲ نشان داده شده است. در صورت لزوم می توان در اتصال دیوار به سقف به جای دابل نبشی از دابل تسمه نیز استفاده کرد. به عبارت دیگر، بال کوچکتر نبشی ها در اتصال سقف را می توان حذف نمود.



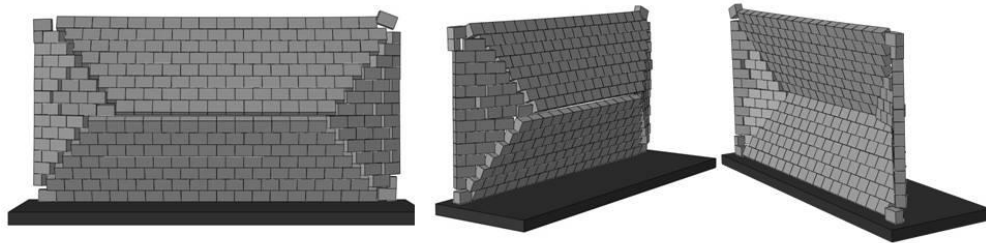
شکل ۱۱-۲. جزئیات نهایی دیوار شماره ۱

بررسی صحت طراحی دیوار شماره ۱ با استفاده از شبیه سازی المان محدود

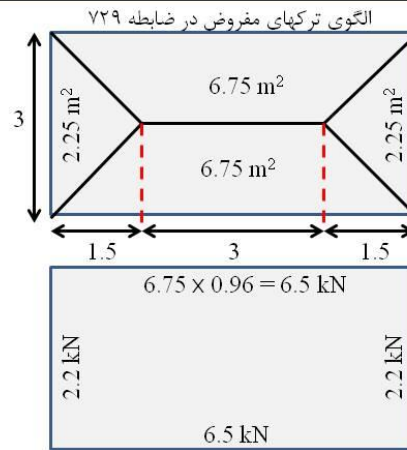
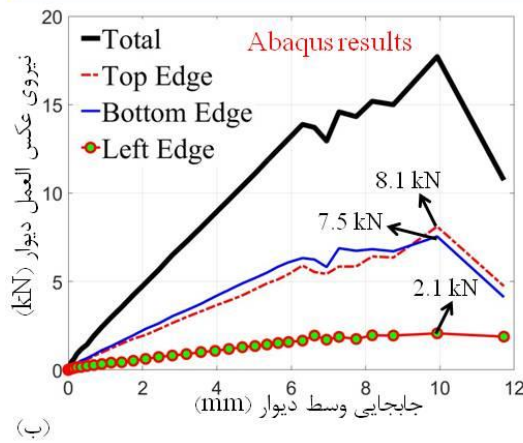
رفتار دیوار طراحی شده در نرم افزار آباکوس در دو حالت با و بدون میلگرد بستر شبیه سازی شده است. نتایج در جدول (۱-۱۱) و شکل های (۳-۱۱) و (۴-۱۱) ارائه شده اند. نتایج حاکی از تاثیر مثبت میلگرد بستر در بهبود مقاومت نهایی و نیز شکل پذیری دیوار می باشد. شکل (۴-۱۱) به خوبی نشان می دهد در مرحله اول بارگذاری، میلگردهای بستر تاثیر چندانی ندارند. لیکن پس از ترک خوردن دیوار، نقش اصلی میلگردهای بستر در تامین مقاومت شروع می شود. شکل (۵-۱۱) رفتار دیوار با و بدون میلگرد بستر را با یکدیگر مقایسه می کند. همچنین در این شکل تنش های ایجاد شده در میلگردهای بستر نشان داده شده اند. واضح است بیشترین تنش ها در محل ترک های دیوار می باشند چراکه در این محل ها میلگردهای بستر سعی در بسته نگه داشتن ترک ها دارند. لذا بیشترین تنشهای وارده بر میلگرد بستر در محل ترک های قطری دیوار خواهند بود.

جدول (۱-۱۱). فشار نهایی دیوار و عکس العمل های تکیه گاهی متناظر با فشار نهایی دیوار شماره ۱

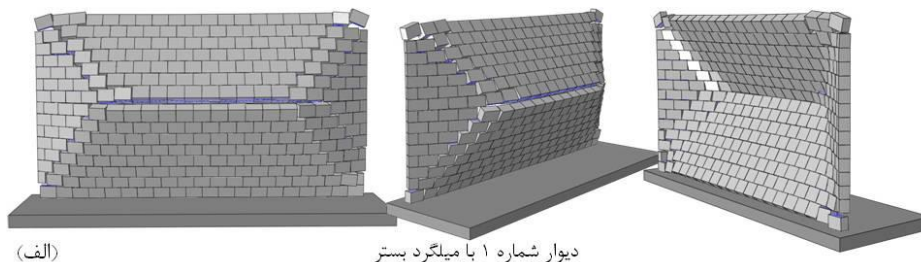
عکس العمل تکیه گاهی لبه قائم سمت چپ (kN)		عکس العمل تکیه گاهی لبه فوقانی (kN)		فشار نهایی دیوار بدون ضریب کاهش مقاومت (kPa)		
Abaqus	ضابطه ۷۲۹	Abaqus	ضابطه ۷۲۹	Abaqus	ضابطه ۷۲۹	
2.1	2.2	8.1	6.5	0.98	0.96	دیوار فاقد میلگرد بستر
3.2	3.3	9.3	9.9	1.72	1.46	دیوار دارای میلگرد بستر (در تمام رجهای دیوار)



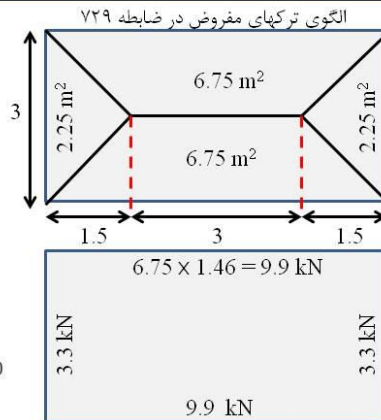
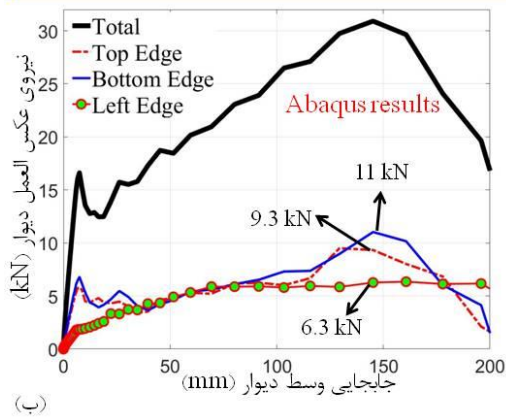
(الف) دیوار شماره ۱ بدون میلگرد بستر



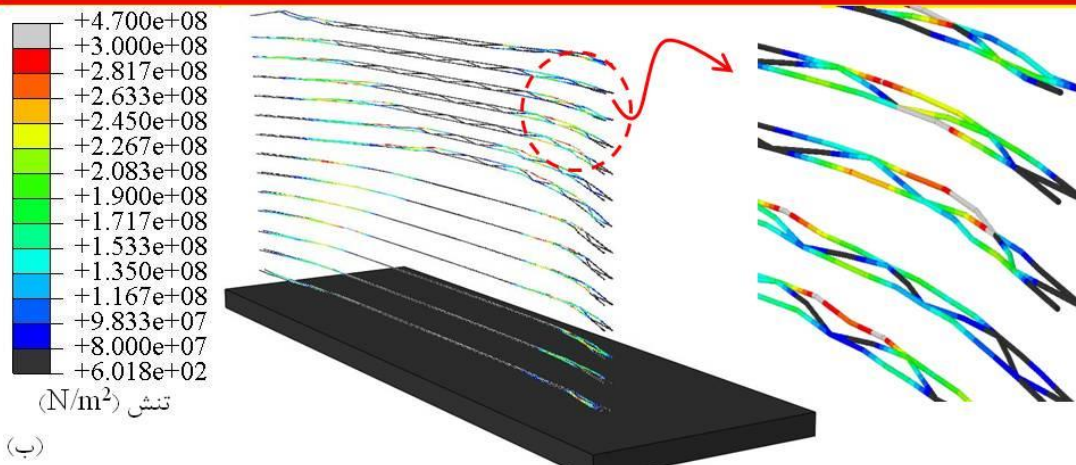
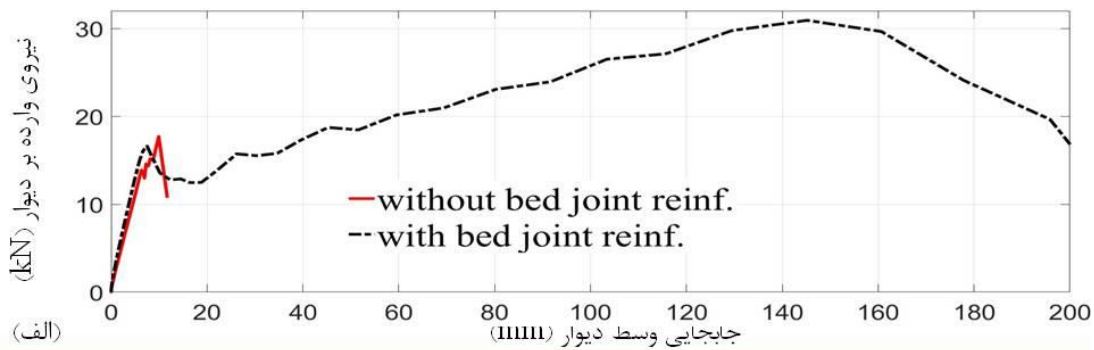
شکل ۱۱-۳. شبیه سازی دیوار شماره ۱ در حالتی که فاقد میلگرد بستر باشد



(الف) دیوار شماره ۱ با میلگرد بستر



شکل ۱۱-۴. شبیه سازی دیوار شماره ۱ در حالتی که دیوار مسلح به میلگرد بستر باشد (مطابق طراحی انجام شده در این بخش)



شکل ۱۱-۵. (الف) مقایسه رفتار دیوار شماره ۱ با و بدون میلگرد بستر. (ب) تنش های ایجاد شده در میلگردهای بستر دیوار شماره ۱

۱۱-۲- طراحی دیوار شماره ۲

روند طراحی بر اساس ضابطه ۷۲۹ برای دیوار شماره ۱ به طور مفصل تشریح شد. در مثال های پیشرو از اپلیکیشن برای طراحی دیوار استفاده شده است.

مرحله ۱: تعیین تقاضا (نیروی وارده بر دیوار):

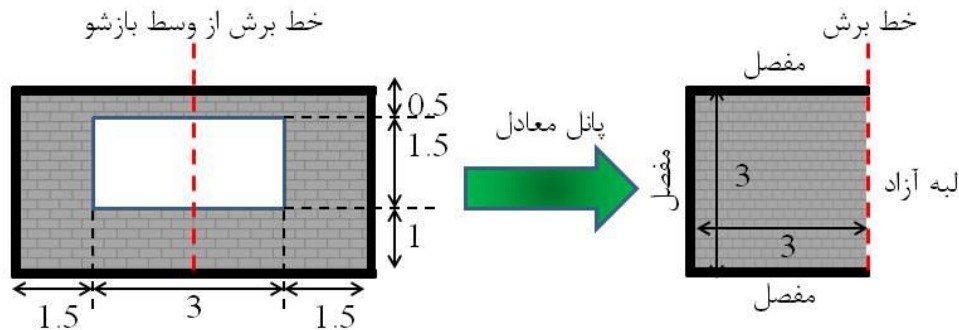
در طراحی دیوارهای دارای بازشو، به واسطه وجود بازشو، نیروی وارده بر دیوار کاهش نمی یابد. لذا نیروهای طراحی دیوار شماره ۲ مشابه دیوار شماره ۱ بوده و ناشی از بار باد می باشد.

$$\text{تقاضا} = 1.27 \text{ kN/m}^2$$

مرحله ۲: تعیین ظرفیت دیوار:

همانند دیوار شماره ۱ برای دیوار شماره ۲ نیز از ملات نوع N ساخته شده از سیمان بنایی استفاده می شود. همچنین با توجه به اینکه دیوار دارای بازشو است، لازم است پانل معادل دیوار ساخته شود. این کار در شکل

(۶-۱۱) انجام شده است. پانل معادل دارای شرایط مرزی از نوع J طبق دسته بندی ضابطه ۷۲۹ است. حال کفایت با اپلیکیشن طراحی به جای دیوار اصلی، پانل معادل طراحی شود. یعنی باید دیواری با طول 3 m و ارتفاع 3 m دارای شرایط مرزی از نوع J طراحی شود.



شکل ۶-۱۱. ساخت پانل معادل دیوار شماره ۲

ضخامت دیوار 150 mm و بندهای قائم فاقد ملات هستند. همچنین بلوک ها توخالی و فاقد دوغاب می باشند. ضخامت پوسته بلوک ها 25 mm بوده و مقاومت تسلیم فولاد میلگرد بستر 470 MPa است. در زمان نگارش این متن تنها میلگردهای بستر با پهنای 55 mm و 110 mm با قطر مفتول 4 mm در بازار ایران موجود بوده، لذا از سازه دیگری برای میلگردهای بستر استفاده نشده است. اکیدا توصیه می شود مهندس طراح قبل از اقدام به طراحی دیوار، از تولید کنندگان میلگرد بستر جزئیات میلگردهای بستر تولیدی را استعلام نماید. نتایج ظرفیت دیوار برای میلگردهای بستر مختلف در ادامه آورده شده است.

مرحله ۳: مقایسه تقاضا با ظرفیت

مقدار میلگرد بستر مورد نیازی به نحوی انتخاب می گردد که اولاً نسبت تقاضا به ظرفیت کمتر از ۱ بوده و ثانياً میلگرد بستر حداقل فراهم شده باشد. هر دو پارامتر فوق توسط اپلیکیشن گزارش می شود. جدول (۱۱-۲) نتایج مربوط به طرح های مختلف را نشان می دهد. در هیچ یک از طرح ها نوع ملات تغییر داده نشده و تمرکز تنها بر تغییر جزئیات میلگردهای بستر بوده است.

با کمی اغماض می توان طرح ۴ را پذیرفت. با این وجود در صورتی که به جای ملات نوع N از ملات نوع S استفاده شود (با سیمان بنایی)، نسبت تقاضا به ظرفیت در طرح ۴ به مقدار 0.78 کاهش می یابد. به اعتقاد نگارنده این متن، با توجه به عدم قطعیت های بسیار زیاد موجود و نیز ضرایب کاهش مقاومت شدیدی که در روند طراحی لحاظ شده است، نسبت های تقاضا به ظرفیت بین 1 تا 1.1 نیز می توانند با اغماض مورد پذیرش قرار گیرند.

جدول (۲-۱۱) نتایج طرح های مختلف برای دیوار شماره ۲ با ملات نوع N ساخته شده با سیمان بنایی

قطر مفتول میلگرد بستر	پهنای میلگرد بستر	فواصل میلگرد بستر	ظرفیت (kPa)	تقاضا (kPa)	نسبت تقاضا به ظرفیت	میلگرد بستر حداقل	طرح
4 mm	55 mm	400 mm	0.83	1.27	1.52	OK	۱
4 mm	55 mm	200 mm	1.07	1.27	1.19	OK	۲
4 mm	110 mm	400 mm	0.92	1.27	1.38	OK	۳
4 mm	110 mm	200 mm	1.18	1.27	1.07	OK	۴

مرحله ۴: طراحی اتصالات دیوار

در خصوص دیوارهای دارای بازشو، عکس العمل های تکیه گاهی که توسط اپلیکیشن گزارش می شود مربوط به پانل معادل دیوار است و نه خود دیوار اصلی. لذا لازم است متناسب با طول لبه های دیوار اصلی و پانل معادل، برش تکیه گاهی برای دیوار اصلی اصلاح شود. این کار در جدول (۳-۱۱) انجام شده است. لبه فوقانی در پانل معادل طولی معادل نصف طول لبه فوقانی در دیوار اصلی را دارد، لذا برش تکیه گاهی لبه فوقانی در دیوار اصلی ۲ برابر مقدار متناظر در پانل معادل می باشد. همین موضوع در خصوص لبه تحتانی نیز صادق است. در مقابل طول لبه قائم پانل معادل و دیوار اصلی برابر هستند، لذا برش تکیه گاهی لبه قائم سمت چپ دیوار اصلی برابر مقدار متناظر در پانل معادل خواهد بود. با توجه به تقارن، برش تکیه گاهی لبه قائم سمت راست دیوار اصلی نیز برابر مقدار آن در لبه سمت چپ می باشد.

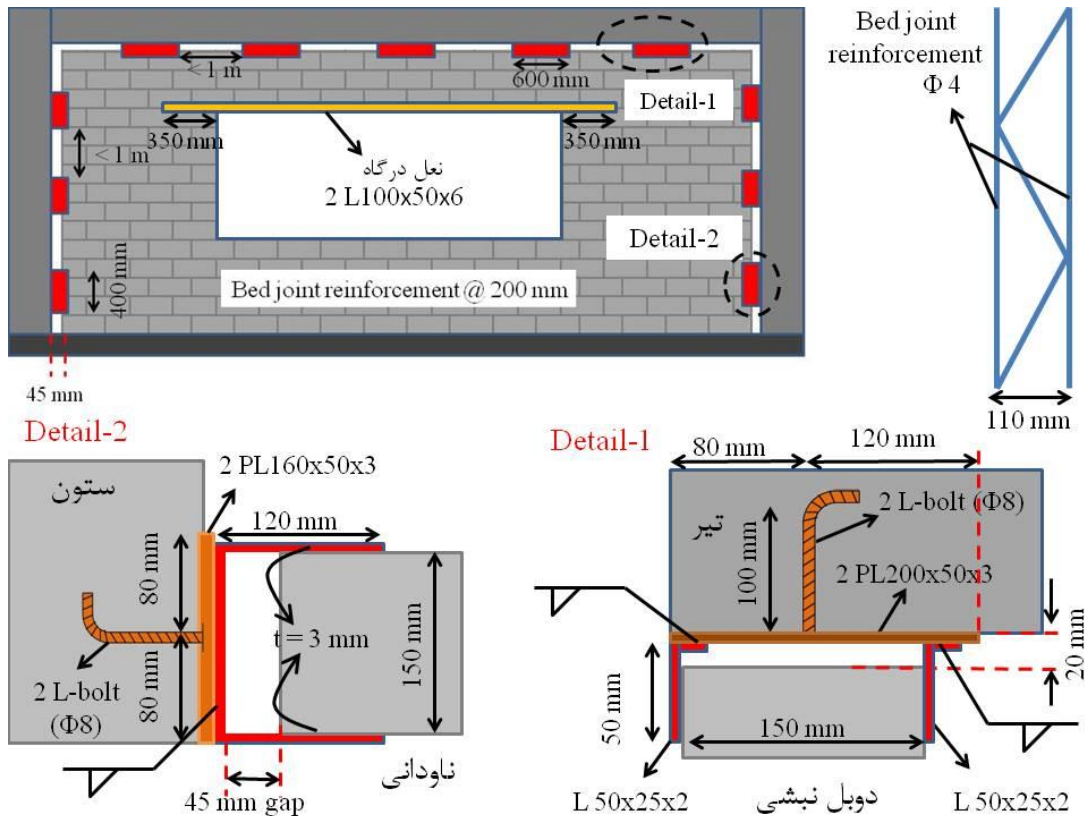
همانطور که در جدول (۳-۱۱) ارائه شده است، برش های تکیه گاهی بسیار نزدیک به برش های تکیه گاهی دیوار فاقد بازشو (دیوار شماره ۱) هستند، لذا برای قطعات اتصال دیوار شماره ۲ نیز می توان از جزئیات بدست آمده برای دیوار شماره ۱ استفاده نمود. متعاقبا جزئیات بدست آمده برای انکرها در دیوار شماره ۱، برای دیوار شماره ۲ نیز قابل استفاده می باشند.

جزئیات نهایی دیوار شماره ۲ در شکل (۷-۱۱) نشان داده شده است. در مقایسه با دیوار مشابه بدون بازشو (دیوار شماره ۱)، اثر بازشو تنها منجر به افزایش پهنای میلگردهای بستر از 55 mm در دیوار شماره ۱ به 110 mm در دیوار شماره ۲ شده است.

جدول (۱۱-۳). عکس العمل های تکیه گاهی دیوار شماره ۲

قطعات اتصال	برش تکیه گاهی (kN)		
	برای دیوار اصلی	برای پانل معادل	
5x(L50x25x2 & L50x25x2) each with L=600 mm	8.56	4.28	لبه فوقانی
-	8.56	4.28	لبه تحتانی
3x(U120x150x3) each with L=400 mm	2.85	2.85	لبه قائم سمت چپ
3x(U120x150x3) each with L=400 mm	2.85	0	لبه قائم سمت راست

طراحی نعل درگاه: وزن دیوار (به همراه نازک کاری) 2kN/m^2 (معادل 200 kg/m^2) است و پهنای دیوار بالای بازشو 0.5 m می باشد. لذا باری که به نعل درگاه وارد می شود برابر 1 kN/m بدست می آید. با توجه به اینکه طول بازشو 3 m می باشد، از جدول (۸-۶) دو نبشی $L100x50x6$ برای نعل درگاه کافی خواهد بود. لازم به توضیح است که اتصال فریم پنجره به دیوار به صورت متداول با استفاده از قلاب، رول بولت یا سایر ادوات انجام میشود.



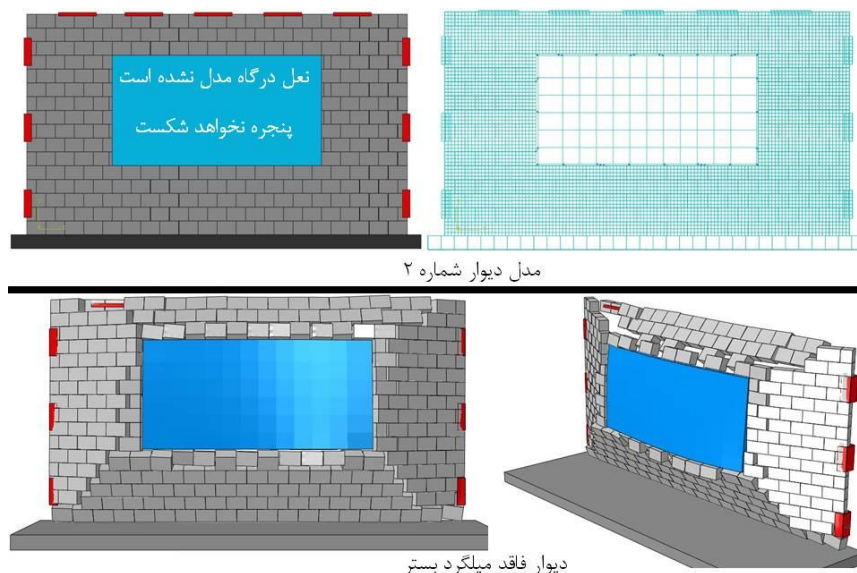
شکل ۱۱-۷. جزئیات نهایی دیوار شماره ۲- فریم پنجره با روش های متداول به دیوار متصل می شود.

بررسی صحت طراحی دیوار شماره ۲ با استفاده از شبیه سازی المان محدود

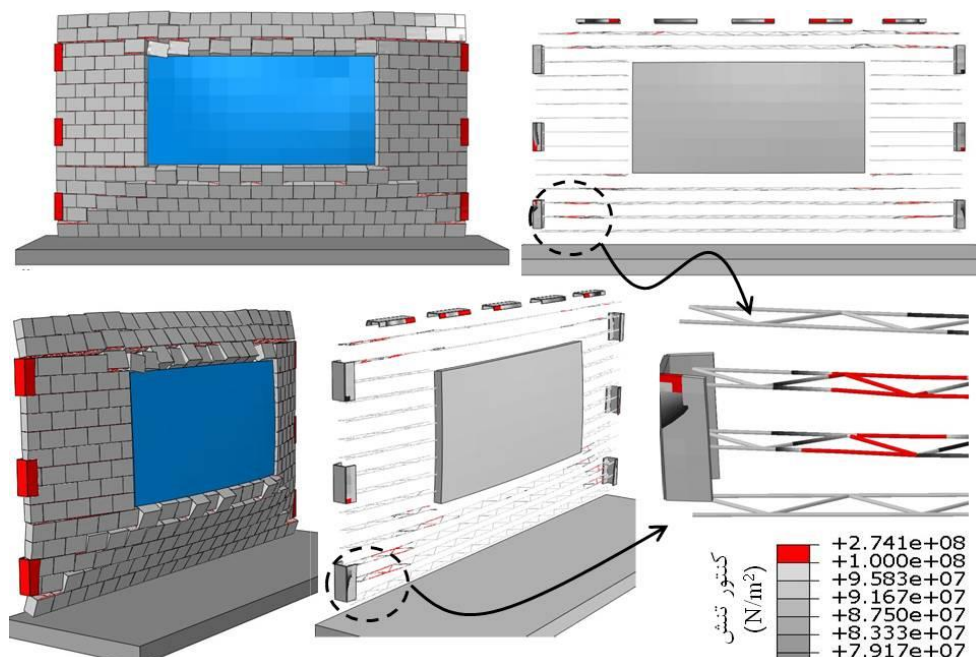
برای دیوار شماره ۲ نیز مقاومت نهایی دیوار بر اساس مدل آباکوس و ضابطه ۷۲۹ در جدول (۴-۱۱) مقایسه شده اند. همچنین صرفاً به منظور مقایسه، نتایج برای حالتی که از میلگرد بستر در دیوار استفاده نشده باشد نیز در جدول ارائه شده است. نتایج نشان می دهند که میلگرد بستر تاثیر قابل توجهی بر ظرفیت نهایی دیوار دارد. ضمن اینکه در حالت استفاده از میلگرد بستر ضریب کاهش مقاومت فشار نهایی دیوار نیز از ۰.۶ به ۰.۹ افزایش می یابد. نحوه مدل سازی و فروریزش دیوار شماره ۲ در دو حالت بدون میلگرد بستر و با میلگرد بستر به ترتیب در شکل های (۸-۱۱) و (۹-۱۱) نشان داده شده است. بدیهی است هیچ گونه اتصالی مابین ناودانی های اتصال و میلگردبستر نباید وجود داشته باشد و صرفاً میلگردهای بستر باید تا لبه قائم دیوار امتداد یافته و قطع شوند.

جدول (۴-۱۱). فشار نهایی دیوار و عکس العمل های تکیه گاهی متناظر با فشار نهایی دیوار ۲

عکس العمل تکیه گاهی لبه قائم سمت چپ (kN)		عکس العمل تکیه گاهی لبه فوقانی (kN)		فشار نهایی دیوار بدون ضریب کاهش مقاومت (kPa)		
Abaqus	ضابطه ۷۲۹	Abaqus	ضابطه ۷۲۹	Abaqus	ضابطه ۷۲۹	
2.4	2.2	7	6.5	0.88	0.97	دیوار فاقد میلگرد بستر
2.7	2.9	7.7	8.8	1.28	1.31	دیوار دارای میلگرد بستر (در تمام رجهای دیوار)



شکل ۸-۱۱. مدل سازی و فروریزش دیوار شماره ۲ در حالت بدون میلگرد بستر (به منظور نمایش بهتر ترک ها در تغییر شکل دیوار بزرگنمایی شده است لذا در برخی لبه ها اتصالات در شکل مشخص نیستند)



شکل ۹-۱۱. مدل سازی و فروریزش دیوار شماره ۲ در حالت با میلگرد بستر- هیچ گونه اتصالی مابین میلگرد بستر و ناودانی های اتصال وجود ندارد (به منظور نمایش بهتر ترک ها در تغییرشکل دیوار بزرگنمایی شده است لذا در برخی لبه ها اتصالات در شکل مشخص نیستند)

۱۱-۳- طراحی دیوار شماره ۳

مرحله ۱: تعیین تقاضا (نیروی) وارده بر دیوار:

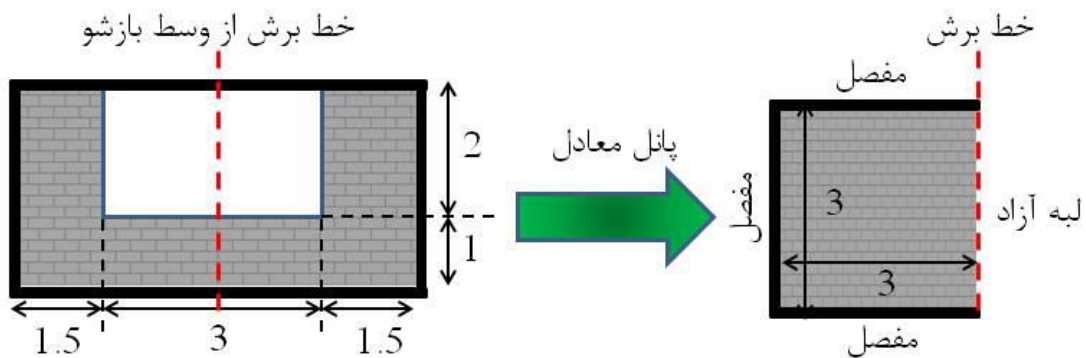
در دیوار شماره ۳ نیز بار وارده بر دیوار در امتداد خارج از صفحه برابر مقدار متناظر در دیوارهای شماره ۱ و ۲ است. به بیان دیگر بر اساس فرضیات موجود در ضابطه ۷۲۹، هندسه بازشو و اساسا وجود و یا عدم وجود بازشو تاثیری در بار وارده بر دیوار نخواهد داشت.

$$\text{تقاضا} = 1.27 \text{ kN/m}^2$$

مرحله ۲: تعیین ظرفیت دیوار:

تفاوت دیوار شماره ۳ و دیوار شماره ۲ تنها در قسمت بالای بازشو می باشد. به بیان دیگر در دیوار شماره ۳، بازشو تا تمام ارتفاع دیوار امتداد یافته است. نحوه ساخت پانل معادل برای دیوار شماره ۳ در شکل (۱۰-۱۱) نشان داده شده است. مشخص است که پانل معادل دیوار شماره ۳ دقیقا مشابه پانل معادل دیوار شماره ۲ می باشد. لذا بر اساس ضابطه ۷۲۹، ظرفیت نهایی این دو دیوار با یکدیگر برابر می باشد (در صورتی که سایر پارامترها نیز از جمله مقدار میلگرد بستر، نوع ملات مصرفی و ... یکسان باشند). لذا برای این دیوار نیز مطابق

دیوار شماره ۲ از میلگردهای بستری با پهنای 110 mm و قطر مفتول 4 mm در تمام رج های دیوار استفاده می شود.



شکل ۱۱-۱۰. ساخت پانل معادل دیوار شماره ۳

مرحله ۳: مقایسه تقاضا با ظرفیت

برای دیوار شماره ۳ نیز نسبت تقاضا به ظرفیت مشابه دیوار شماره ۲ برابر 1.07 خواهد بود که با کمی اغماض پذیرفته می شود.

مرحله ۴: طراحی اتصالات دیوار

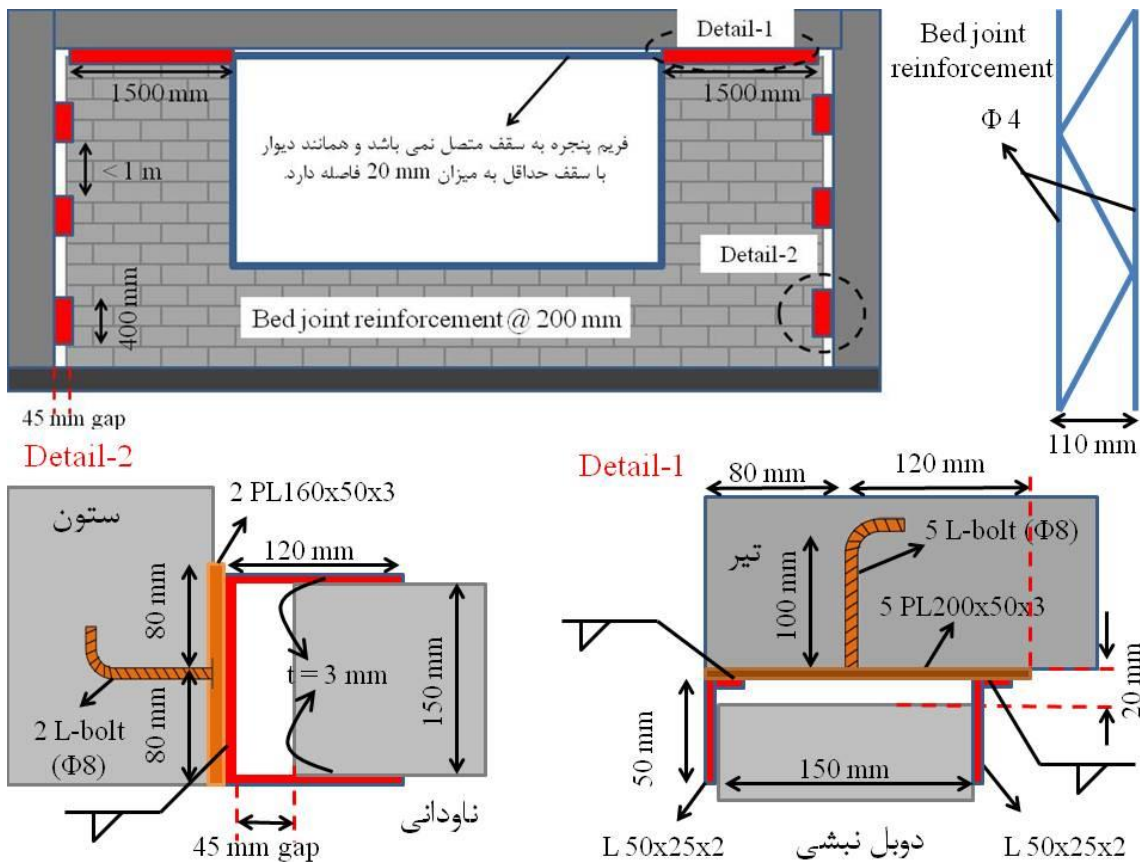
همانطور که پیش تر در مورد دیوار شماره ۲ نیز بیان گردید، در دیوارهای دارای بازشو، عکس العمل های تکیه گاهی که توسط اپلیکیشن گزارش می شود مربوط به پانل معادل دیوار است و نه خود دیوار اصلی. در این دیوار، طول دیوار واقعی 6 m می باشد در صورتی که طول پانل معادل تنها 3 m است. در نتیجه برش های تکیه گاهی لبه های فوقانی و تحتانی دیوار مربوط به 3 m از طول دیوار هستند و برای کل دیوار این مقادیر باید ۲ برابر شوند. توجه شود نیمی از اتصالات لازم در لبه فوقانی دیوار در واقع اتصالات مربوط به فریم پنجره می باشند. فریم پنجره نیز مشابه دیوار به صورت کشویی باید به سقف متصل گردد. در صورتی که فریم پنجره تنها به دیوارها مهار شده و به سقف هیچ نوع اتصالی نداشته باشد، لازم است کل اتصالات لبه فوقانی دیوار در بخش بنایی قرار داده شوند. در این مثال از این روش استفاده شده است. بدیهی است این دیوار به نعل درگاه نیاز ندارد.

جدول (۱۱-۵) برش های تکیه گاهی و نیز قطعات اتصالات دیوار را ارائه کرده است.

با توجه به اینکه اتصالات لبه های قائم دیوار مشابه دیوارهای شماره ۱ و ۲ می باشند، لذا انکرهای آنها نیز مشابه خواهند بود. برای انکرهای اتصال دیوار به تیر سقف مطابق جدول (۸-۴) با فرض مقاومت بتن 20 MPa (پهنای ورق 50 mm و ضخامت 2 mm) به ۳ عدد انکر L- شکل به قطر 8 mm نیاز است (در هر متر از طول اتصال). با توجه به اینکه اتصال دیوار به سقف از دابل نبشی با طول 1.5 m می باشد لذا برای هر یک از دابل نبشی ها به ۴/۵ عدد انکر یا به عبارتی به ۵ عدد انکر L- شکل به قطر 8 mm و عمق نفوذ 100 mm نیاز است. در صورتی که مقاومت بتن سازه 30 MPa می بود، برای این اتصال تنها به ۳ عدد انکر L- شکل نیاز داشتیم. جزئیات نهایی دیوار شماره ۳ در شکل (۱۱-۱۱) نشان داده شده است.

جدول (۱۱-۵). عکس العمل های تکیه گاهی دیوار شماره ۳

برش تکیه گاهی (kN)			
	برای پانل معادل	برای دیوار اصلی	
لبه فوقانی	4.28	8.56	2x(L50x25x2 & L50x25x2) each with L=1500 mm
لبه تحتانی	4.28	8.56	-
لبه قائم سمت چپ	2.85	2.85	3x(U120x150x3) each with L=400 mm
لبه قائم سمت راست	0	2.85	3x(U120x150x3) each with L=400 mm



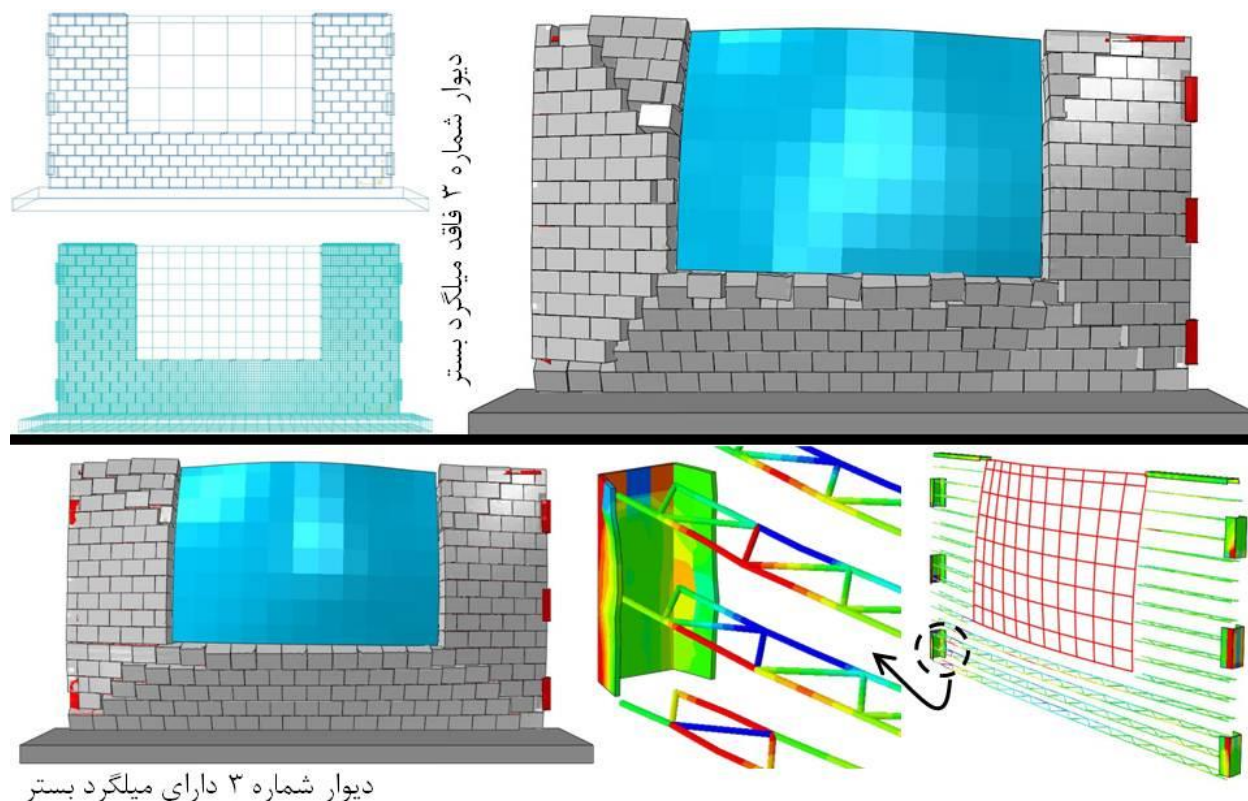
شکل ۱۱-۱۱. جزئیات نهایی دیوار شماره ۳- فریم پنجره با روش های متداول به دیوار متصل می شود.

بررسی صحت طراحی دیوار شماره ۳ با استفاده از شبیه سازی المان محدود

دیوار شماره ۳ نیز به صورت المان محدود مدل شده و رفتار خارج از صفحه آن بررسی شده است. همچنین برای مقایسه، رفتار این دیوار در حالت بدون میلگرد بستر نیز در تحلیل های جداگانه ای بررسی شده است. نتایج در جدول (۱۱-۶) و شکل (۱۱-۱۲) نشان داده شده است.

جدول (۱۱-۶). فشار نهایی دیوار و عکس العمل های تکیه گاهی متناظر با فشار نهایی دیوار شماره ۳

عکس العمل تکیه گاهی لبه قائم سمت چپ (kN)		عکس العمل تکیه گاهی لبه فوقانی (kN)		فشار نهایی دیوار بدون ضریب کاهش مقاومت (kPa)		
Abaqus	ضابطه ۷۲۹	Abaqus	ضابطه ۷۲۹	Abaqus	ضابطه ۷۲۹	
2.7	2.2	6.5	6.5	0.89	0.97	دیوار فاقد میلگرد بستر
3.5	2.9	9.5	8.8	1.38	1.31	دیوار دارای میلگرد بستر (در تمام رجهای دیوار)



شکل ۱۱-۱۲. نحوه فروریزش دیوار شماره ۳ با و بدون میلگرد بستر (به منظور نمایش بهتر ترک ها در تغییر شکل دیوار بزرگنمایی شده است لذا در برخی لبه ها اتصالات در شکل مشخص نیستند)

۴-۱۱- طراحی دیوار شماره ۴

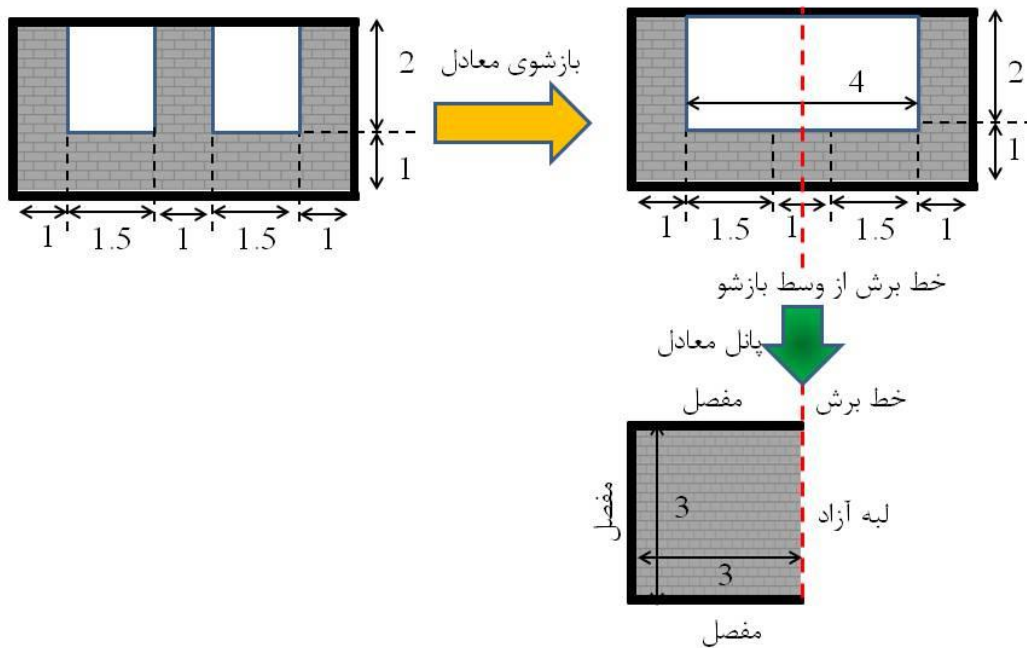
مرحله ۱: تعیین تقاضای (نیروی) وارده بر دیوار:

مشابه دیوارهای شماره ۱ و ۲ و ۳، تقاضای وارده بر دیوار 1.27 kN/m^2 می باشد.

مرحله ۲: تعیین ظرفیت دیوار:

با توجه به اینکه دیوار شماره ۴ دارای دو بازشو در طول آزاد خود است، لذا مطابق شکل (۷-۳) ابتدا یک بازشوی معادل برای دیوار تعریف شده، سپس پانل معادل ساخته می شود. مشاهده می شود که پانل معادل بدست آمده دارای شرایط مرزی از نوع J (سه طرف مفصل و یک لبه قائم آزاد) و ارتفاع و طول 3 m می باشد. لذا از نظر ضابطه ۷۲۹ دیوار شماره ۴، مشابه دیوار شماره ۳ و ۲ است و می توان از جزئیات بدست آمده برای

آن دیوارها، در دیوار شماره ۴ نیز استفاده نمود. در نتیجه برای این دیوار نیز مطابق دیوارهای شماره ۲ و ۳ از میلگردهای بستری با پهنای 110 mm و قطر مفتول 4 mm در تمام رج های دیوار استفاده می شود.



شکل ۱۱-۱۳. نحوه ساخت بازشوی معادل و پانل معادل برای دیوار شماره ۴.

مرحله ۳: مقایسه تقاضا با ظرفیت

همانند دیوارهای شماره ۲ و ۳، در دیوار شماره ۴ نیز نسبت تقاضا به ظرفیت برابر 1.07 است که با کمی اغماض پذیرفته می شود.

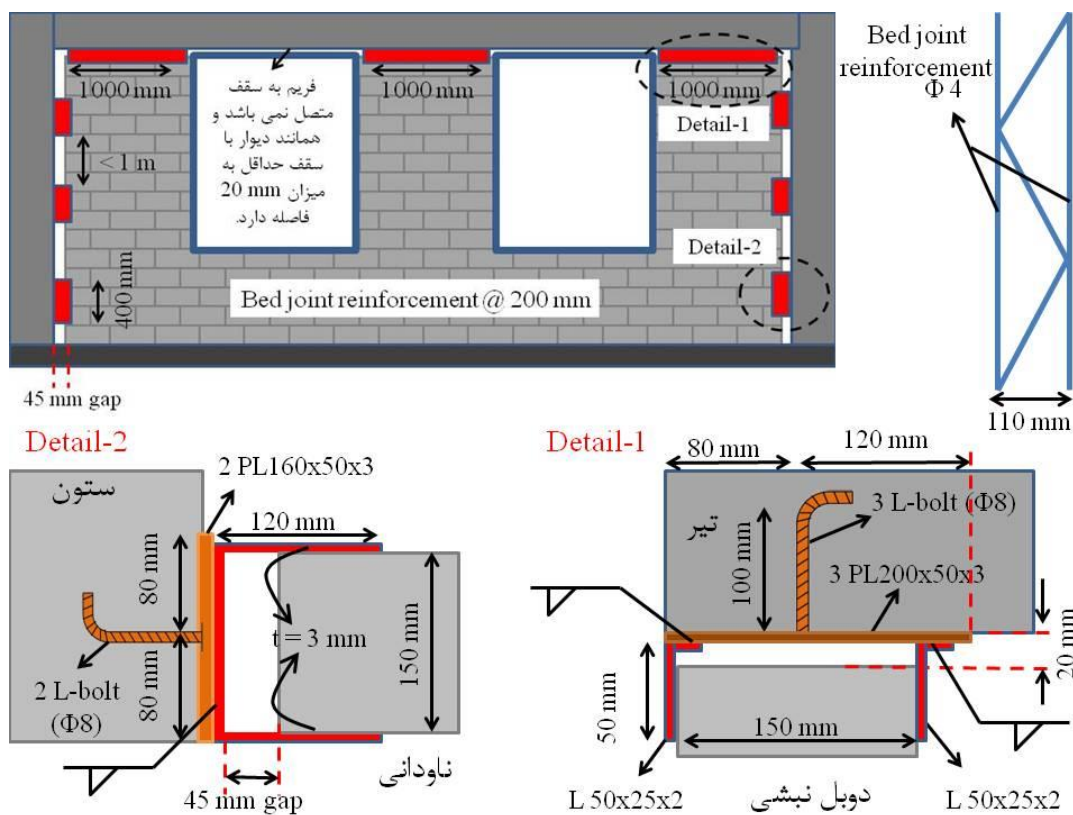
مرحله ۴: طراحی اتصالات دیوار

از اپلیکیشن مقادیر برش تکیه گاهی برای دیوار شماره ۴ بدست می آید. از آنجایی که پانل معادل این دیوار و دیوارهای شماره ۲ و ۳ یکسان بوده و تقاضای وارده بر هر دو دیوار نیز یکسان است، لذا برش های تکیه گاهی آنها نیز با یکدیگر برابر هستند. تنها تفاوت در این است که برای لبه فوقانی در دیوار شماره ۴ از سه عدد دوبرنشی که هر یک دارای طول 1 m هستند استفاده می شود. انکرهای مورد نیاز برای اتصالات ناودانی لبه های قائم دیوار مشابه دیوارهای ۲ و ۳ بوده و برای لبه فوقانی دیوار (با فرض مقاومت بتن 20 MPa) مطابق جدول (۴-۸) باید از ۳ عدد انکر L-شکل با قطر 8 mm و عمق نفوذ 100 mm در هر متر از اتصال استفاده نمود (پهنای بال اتصال 50 mm و ضخامت آن 2 mm است). از آنجایی که طول هر یک از قطعات اتصال لبه فوقانی نیز 1 m

می باشد، لذا برای هر قطعه اتصال از ۳ عدد انکر استفاده می شود. در صورتی که مقاومت بتن تیر 30 MPa می بود، برای این اتصال تنها ۲ عدد انکر کافی می بود. جزئیات نهایی دیوار شماره ۴ در شکل (۱۱-۱۴) نشان داده شده است.

جدول (۱۱-۷). عکس العمل های تکیه گاهی دیوار شماره ۳

قطعات اتصال	برش تکیه گاهی (kN)		
	برای دیوار اصلی	برای پائل معادل	
3x(L50x25x2 & L50x25x2) each with L=1000 mm	8.56	4.28	لبه فوقانی
-	8.56	4.28	لبه تحتانی
3x(U120x150x3) each with L=400 mm	2.85	2.85	لبه قائم سمت چپ
3x(U120x150x3) each with L=400 mm	2.85	0	لبه قائم سمت راست



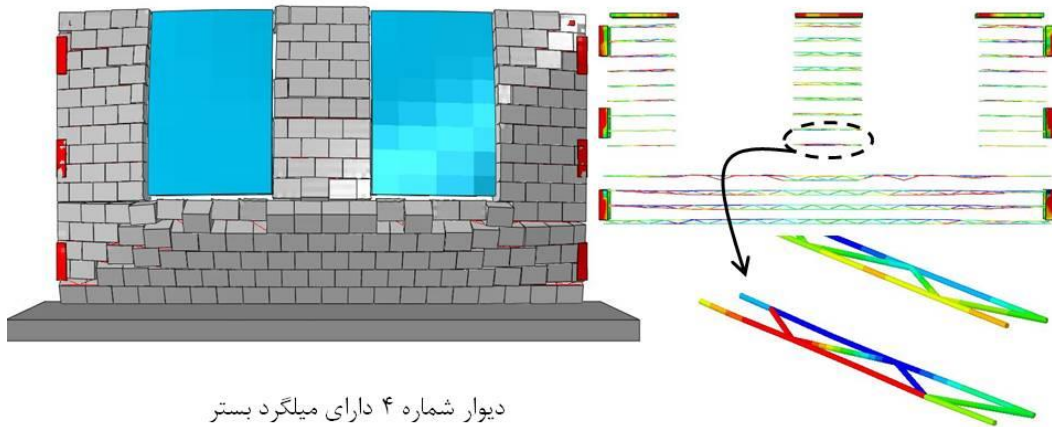
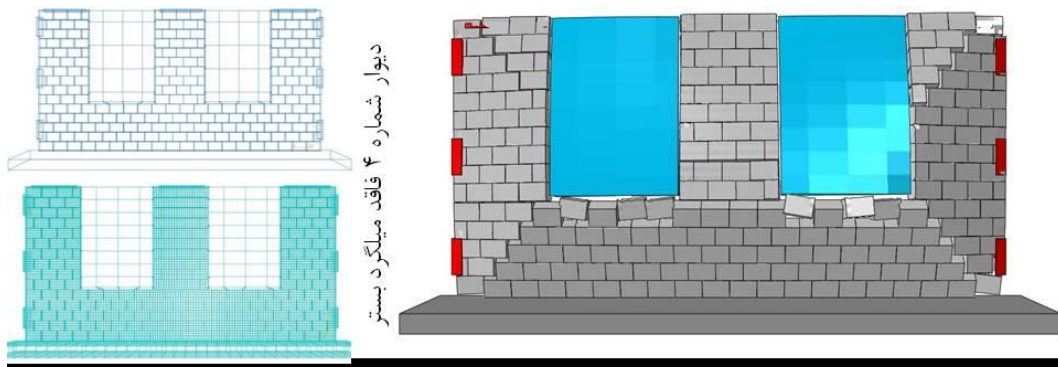
شکل ۱۱-۱۴. جزئیات نهایی دیوار شماره ۴- فریم پنجره با روش های متداول به دیوار متصل می گردد

بررسی صحت طراحی دیوار شماره ۴ با استفاده از شبیه سازی المان محدود

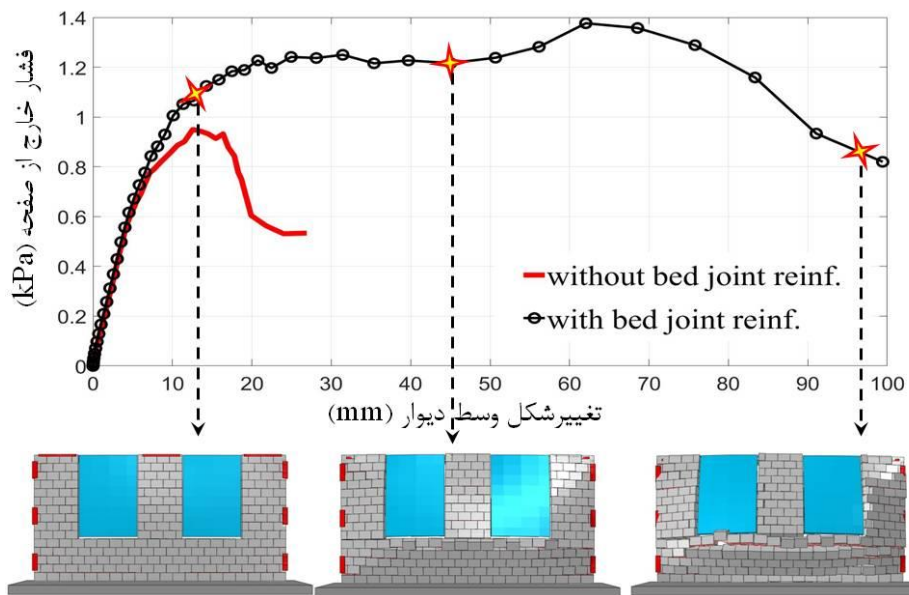
مشابه سه دیوار قبلی، دیوار شماره ۴ نیز به صورت المان محدود مدل شده است تا بدین ترتیب دید روشن تری از چگونگی رفتار آن بدست آید. همچنین برای مقایسه، رفتار دیوار در دو حالت با و بدون میلگرد بستر بررسی شده است. نتایج در جدول (۸-۱۱) و شکل (۱۵-۱۱) نشان داده شده است. براساس شکل (۱۵-۱۱) حتی در دیوار مابین دو بازشو، تنش های قابل توجهی در میلگردهای بستر ایجاد شده است. با وجود اینکه این قسمت از دیوار طول کمی دارد، ولی به واسطه اتصال فریم بازشو به دیوار، در این قسمت از دیوار (مابین دو بازشو) نیز تا حدی خمش افقی رخ می دهد. تاثیر حضور میلگردهای بستر در بهبود رفتار خارج از صفحه دیوار شماره ۴ در شکل (۱۶-۱۱) به شکل واضح تری نشان داده شده است.

جدول (۸-۱۱). فشارنهایی دیوار و عکس العمل های تکیه گاهی متناظر با فشار نهایی دیوار شماره ۴

عکس العمل تکیه گاهی لبه قائم سمت چپ (kN)		عکس العمل تکیه گاهی لبه فوقانی (kN)		فشار نهایی دیوار بدون ضریب کاهش مقاومت (kPa)		
Abaqus	ضابطه ۷۲۹	Abaqus	ضابطه ۷۲۹	Abaqus	ضابطه ۷۲۹	
2.7	2.2	7.2	6.5	0.95	0.97	دیوار فاقد میلگرد بستر
4	2.9	8.9	8.8	1.38	1.31	دیوار دارای میلگرد بستر (در تمام رجهای دیوار)



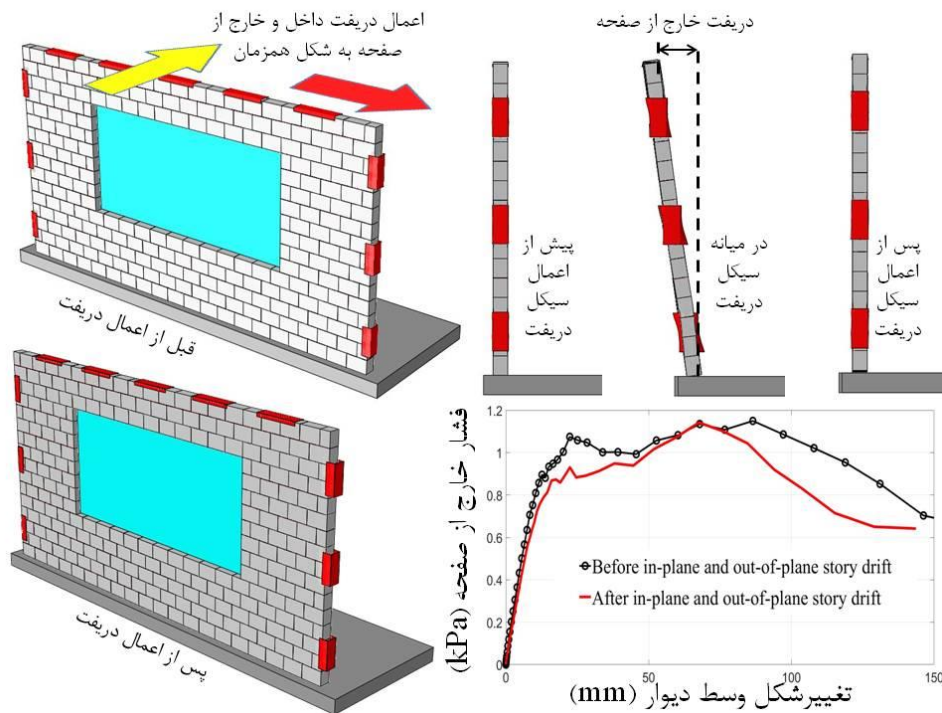
شکل ۱۱-۱۵. نحوه فروریزش دیوار شماره ۴ با و بدون میلگرد بستر (به منظور نمایش بهتر ترک ها در تغییر شکل دیوار بزرگنمایی شده است لذا در برخی لبه ها اتصالات در شکل مشخص نیستند)



شکل ۱۱-۱۶. مقایسه رفتار خارج از صفحه دیوار شماره ۴ با و بدون میلگرد بستر-منحنی ها smooth شده اند.

۱۱-۵- اثر دررفت خارج از صفحه بر ظرفیت دیوار

در این قسمت در خصوص تاثیر دررفت خارج از صفحه بر ظرفیت خمشی خارج از صفحه دیوار بحث شده است. همانطور که پیشتر بدان اشاره گردید، اتصالات دیوار به سازه به نحوی می باشد که دررفت سازه در امتداد داخل صفحه به دیوار منتقل نگردد. لیکن این اتصالات دررفت سازه در امتداد خارج از صفحه دیوار را به دیوار منتقل می کنند. پرسش اینجاست که آیا دررفت خارج از صفحه برای دیوار مخرب نیست؟ این بحث در دو حالت برای دیوار شماره ۲ بررسی شده است. بر روی این دیوار یک نیم سیکل دررفت داخل و خارج از صفحه به شکل هم زمان اعمال شده و سپس فشاری خارج از صفحه به صورت افزایشی به دیوار اعمال شده است تا دیوار فرو بریزد. مقدار دررفت اعمالی در هر دو امتداد برابر 1.5% معادل 45 mm بوده است. مطابق شکل (۱۱-۱۷)، نتایج نشان می دهد اعمال دررفت خارج از صفحه مقدار اندکی منجر به کاهش ظرفیت مقاومتی و شکل پذیری دیوار می گردد. لیکن این مقدار بسیار ناچیز بوده و قابل صرف نظر می باشد. شایان ذکر است که این نتایج برای دیوار دارای میلگرد بستر می باشد. با توجه به اینکه کلیه دیوارها طبق ضابطه ۷۲۹ باید مسلح به میلگرد بستر باشند، تاثیر دررفت خارج از صفحه بر دیوارهای غیرمسلح بررسی نشده است. لیکن انتظار می رود برای دیوارهای غیرمسلح دررفت خارج از صفحه تاثیر مخرب تری داشته و لزوما قابل صرف نظر نباشد.

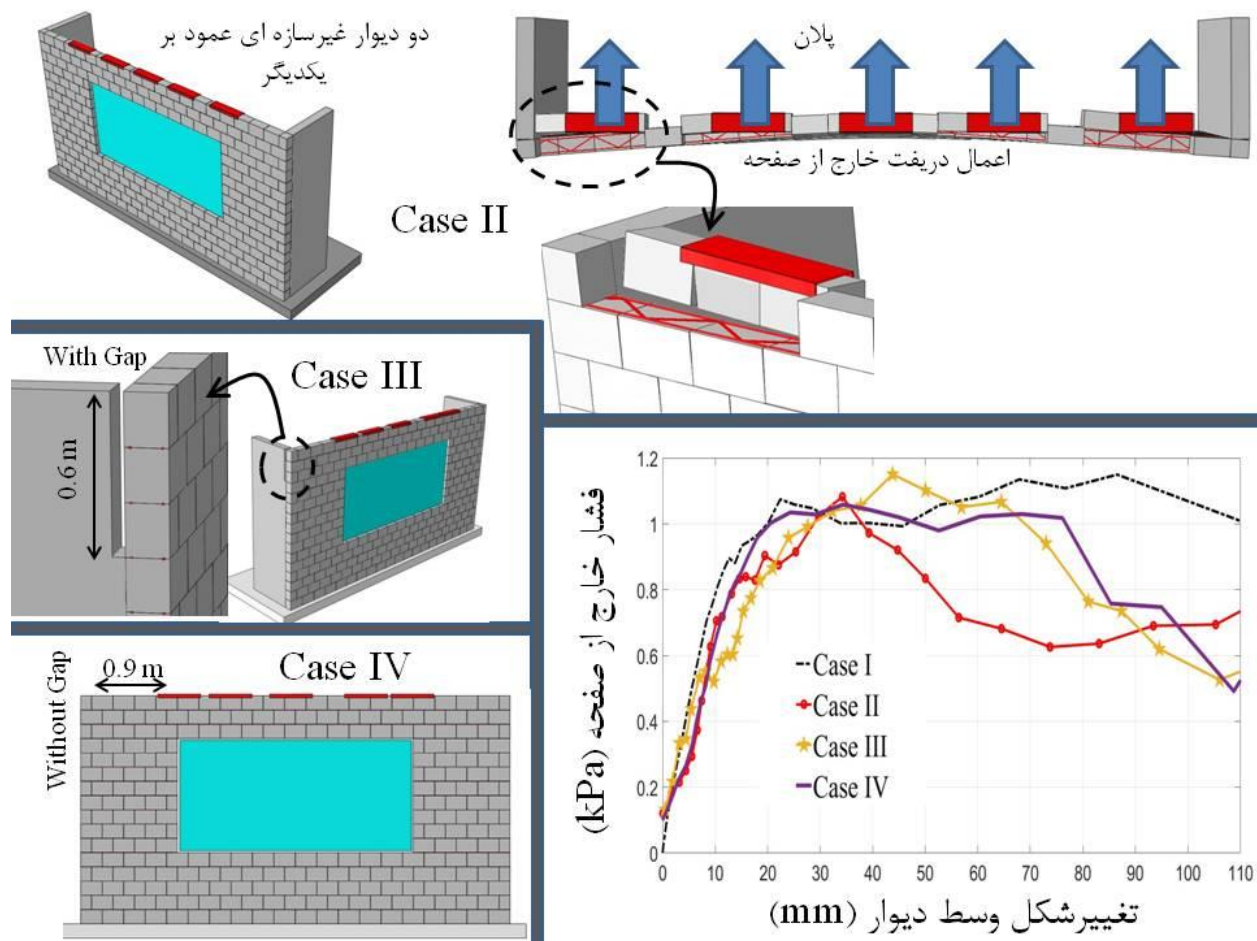


شکل ۱۱-۱۷. تاثیر دررفت خارج از صفحه بر عملکرد دیوار-منحنی ها smooth شده اند

۱۱-۶- دو دیوار غیرسازه ای عمود بر یکدیگر

در بسیاری از موارد دو دیوار غیرسازه ای بر یکدیگر عمود می شوند. یا دیواری بر یک دیوار ممتد عمود می گردد. در این نوع دیوارها، هنگامی که دیوار تحت دریافت خارج از صفحه قرار میگیرد، لبه ای از دیوار که به دیوار دیگر متصل است، به شکل هماهنگ با مابقی دیوار حرکت نخواهد کرد چراکه دیوار عمود، حرکت این لبه را مقید می کند. این امر منجر به ایجاد آسیب به شکل موضعی در لبه فوقانی دیوار می شود. این پدیده در شکل (۱۱-۱۸) نشان داده شده است. در این بخش میزان اهمیت این پدیده بررسی شده است.

مطابق نتایج نشان داده شده در شکل (۱۱-۱۸)، اگرچه ظرفیت دیوار و نیز شکل پذیری آن اندکی کاهش می یابد، لیکن اثر این پدیده قابل صرفنظر می باشد. برای بهبود عملکرد دیوار می توان در بخش فوقانی لبه قائمی که دو دیوار به یکدیگر عمود شده اند، فاصله ای به مقدار دریافت طبقه ایجاد نمود (حالت III در شکل). راهکار دیگر افزایش فاصله اتصال لبه فوقانی دیوار به سقف نسبت به محل تقاطع دو دیوار می باشد (حالت IV در شکل). در شکل (۱۱-۱۸) حالت I ظرفیت دیوار بدون در نظر گرفتن دریافت خارج از صفحه را نشان می دهد. در حالت II بدون هیچ تغییری در نحوه اتصال دو دیوار، اثر دریافت خارج از صفحه بر ظرفیت دیوار نشان داده شده است. حالات III و IV نیز دو راهکار برای کاهش اثر منفی ناشی از وجود دیوار عمود را بررسی نموده است. مشخص است که راهکارهای پیشنهادی اگرچه تا حدی منجر به بهبود شکل پذیری دیوار می شوند، لیکن اعمال آنها از نظر اجرایی دشواری هایی به همراه داشته و نیز اثرشان چندان چشمگیر نمی باشد. لذا برای دیوارهای متعامد تنها افزایش فاصله اتصال دیوار به سقف نسبت به دیوار عمود (حالت IV) قابل توصیه می باشد لیکن امری الزام آور نیست.



شکل ۱۱-۱۸. تاثیر جزئیات اتصال دو دیوار عمود بر هم در رفتار خارج از صفحه آنها

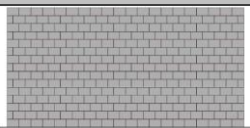
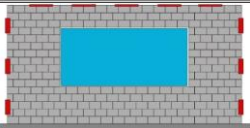
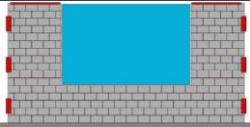
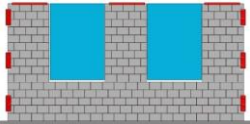
۱۱-۷- جمع بندی مثال های مشروح

در این فصل ۴ دیوار مختلف مورد بررسی قرار گرفته شد. نتایج بدست آمده از این بخش در جدول (۱۱-۹) خلاصه شده است. همچنین نتایج اصلی به این شرح می باشند:

- اگرچه وجود بازشو منجر به کاهش مقاومت خارج از صفحه دیوار می گردد. لیکن تاثیر آن چندان چشمگیر نبوده به طوری که ممکن است حتی بتوان در مواردی اثر بازشو در ظرفیت خارج از صفحه دیوار را نادیده گرفت. این موضوع با نتایج آزمایشگاهی نیز انطباق دارد. با این وجود طبق ضابطه ۷۲۹ اثر بازشو لازم است در نظر گرفته شود.
- هندسه بازشو (در محدوده بررسی شده در این بخش) تاثیر چندانی در ظرفیت خارج از صفحه دیوار ندارد.

- تخمین مقاومت دیوار بر اساس ضابطه ۷۲۹ مطابقت خوبی با نتایج تحلیل های المان محدود دارد.
- حضور میلگرد بستر منجر به افزایش قابل توجه در مقاومت و به ویژه شکل پذیری خارج از صفحه دیوار می گردد.
- اثرات دررفت خارج از صفحه دیوار در حالات مختلف بررسی گردید و مشخص شد، دررفت خارج از صفحه اگرچه تا حدی تاثیر منفی بر ظرفیت و شکل پذیری دیوار دارد، لیکن تاثیر آن قابل صرف نظر می باشد.

جدول (۹-۱۱) خلاصه نتایج بدست آمده در این بخش از چهار دیوار مختلف

با میلگرد بستر*		بدون میلگرد بستر		جزئیات دیوار	
Abaqus	ضابطه ۷۲۹	Abaqus	ضابطه ۷۲۹		
1.72	1.46	0.98	0.96		دیوار شماره ۱
1.28	1.31	0.88	0.97		دیوار شماره ۲
1.38	1.31	0.89	0.97		دیوار شماره ۳
1.38	1.31	0.95	0.97		دیوار شماره ۴

*میلگردهای بستر در تمام رج های دیوار قرار داده شده اند. در دیوار بدون بازشو پهنای میلگرد بستر 55 mm و در سایر موارد 110 mm است.

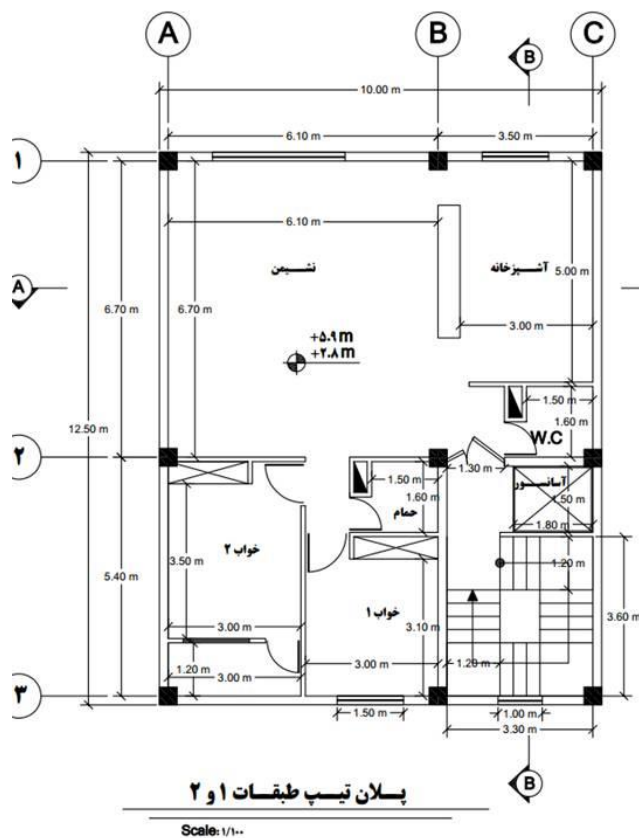
فصل دوازدهم - طراحی دیوارهای غیرسازه ای یک ساختمان مسکونی

در بخش قبل مثالهایی مشروح در خصوص طراحی دیوارهای پیرامونی با بازشوهای مختلف ارائه گردید. لیکن برای طراحی های متداول نیاز به ارائه انبوهی از اطلاعات (مشابه بخش قبل) در دفترچه محاسبات نمی باشد. در این بخش تمام دیوارهای غیرسازه ای یک ساختمان مسکونی طراحی شده و با فرمتی مناسب برای قرار گرفتن در دفترچه محاسبات ارائه شده اند. برای طراحی دیوار در کارهای مهندسی نیازی به محاسبات دستی نبوده و می توان با استفاده از اپلیکیشن مخصوص طراحی دیوار، این کار را انجام داد. صحت نتایج اپلیکیشن در بخش های قبل با نتایج آزمایشگاهی، المان محدود و محاسبات دستی طبق ضابطه ۷۲۹ به تایید رسیده است. دیوارهای غیرسازه ای ساختمان نشان داده شده در شکل (۱۲-۱) در این بخش بر اساس اطلاعات زیر طراحی شده اند.

فرضیات طراحی

- دستورالعمل مورد استفاده: ضابطه ۷۲۹
- روند طراحی: با استفاده از اپلیکیشن تحت اکسل ضمیمه ضابطه ۷۲۹
- وزن دیوارهای پیرامونی 2500 N/m^2 (معادل 250 kg/m^2) و وزن دیوارهای داخلی 1500 N/m^2 (معادل 150 kg/m^2) در نظر گرفته شده است.
- نوع واحدهای بنایی: بلوک های سفالی با ضخامت پوسته حداقل ۱۵ میلیمتر
- ضخامت دیوارهای پیرامونی و دیوارهای جداکننده واحدها ۱۵ سانتیمتر و ضخامت مابقی دیوارهای داخلی ۱۰ سانتیمتر می باشد.
- دیوارها بر مبنای بارهای وارده بر دیوارهای آخرین طبقه از ساختمان طراحی شده اند. لذا در جهت اطمینان جزئیات دیوارها در تمام طبقات یکسان در نظر گرفته می شود.
- ملات مصرفی از نوع S ساخته شده با سیمان بنایی می باشد (۱ حجم سیمان بنایی با مقاومت فشاری حداقل ۱۲/۵ مگاپاسگال و ۳ حجم ماسه با دانه بندی مطابق ضابطه ۷۲۹)
- کلیه بلوک های سفالی قبل از استفاده زنجاب شده اند (داخل آب به مدت حداقل ۳۰ دقیقه قرار گرفته اند).
- در جهت اطمینان در مواردی که طول دیوار به شکل آکس به آکس ستون مشخص شده است، از مقدار آکس به آکس ستون به عنوان طول دیوار استفاده می شود.

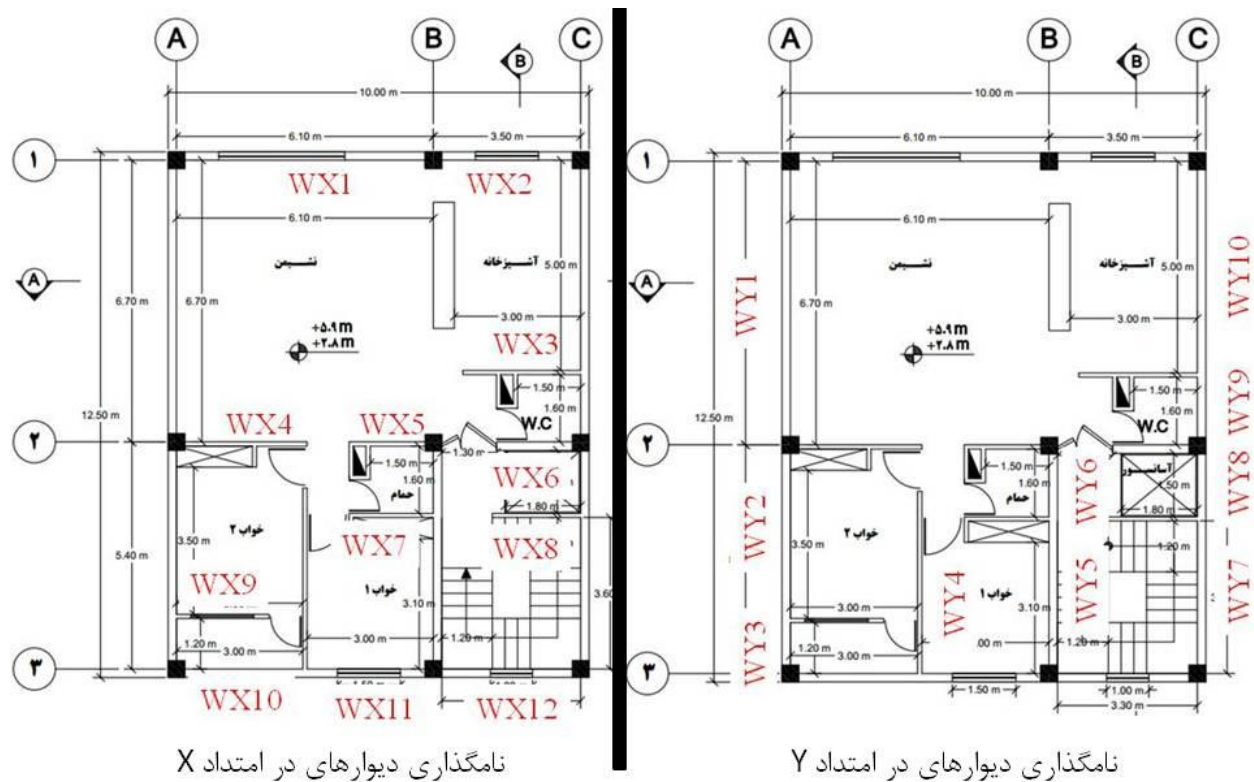
- ارتفاع خالص کلیه دیوارها برابر $2/8$ متر در نظر گرفته شده است (20 سانتیمتر از ارتفاع طبقه مربوط به دال کف فرض شده است).
- در جهت اطمینان کلیه لبه های دیوار که دارای تکیه گاه می باشند، به صورت مفصلی در نظر گرفته شده اند. بدیهی است لبه های آزاد دیوار به صورت آزاد در نظر گرفته می شوند.
- با توجه به روند بلوک چینی متداول در کشور، فرض می شود بندهای قائم خالی از ملات باشند.
- میلگردهای بستر تحت نام BJR-X-XX نامگذاری شده اند که در آن X قطر مفتول طولی میلگرد بستر بر حسب میلیمتر و XX پهنای میلگرد بستر بر حسب میلیمتر است. به عنوان مثال BJR-4-55 به معنی میلگرد بستری با قطر مفتول 4 mm و پهنای 55 mm است و BJR-4-110 به معنی میلگرد بستری با قطر مفتول 4 mm و پهنای 110 mm است.
- مهندس طراح موظف است قبل از طراحی از موجود بودن میلگردهای بستر در بازار اطمینان حاصل کند. چراکه میلگردهای بستر تنها با ابعاد مشخصی تولید می شوند.



محل ساختمان: تهران
 نوع ساختمان: مسکونی
 تعداد طبقات: ۶
 ارتفاع طبقات: ۳ متر
 خاک منطقه: نوع II
 میزان باز بودن محیط اطراف: متراکم
 حداکثر دررفت طبقه تحت زلزله طرح: ۰.۲٪

شکل ۱۲-۱. پلان معماری ساختمان و محل قرارگیری دیوارهای غیرسازه ای

به منظور تسهیل در روند ارائه نتایج، دیوارهای در امتداد x تحت نام WX و دیوارهای در امتداد y تحت نام WY مطابق شکل (۲-۱۲) نام گذاری شده اند.



شکل ۲-۱۲. نامگذاری دیوارهای غیرسازه ای ساختمان

طراحی توسط اپلیکیشن تحت اکسل پیوست ضابطه ۷۲۹ انجام شده است. ورودی های اپلیکیشن در جدول (۱-۱۲) ارائه شده اند. نتایج طراحی دیوارهای امتداد X و نیز نتایج طراحی اتصالات آنها به ترتیب در جداول (۲-۱۲) و (۳-۱۲) ارائه شده است. روند بدست آوردن پانل معادل برای کلیه دیوارهای امتداد X در شکل های (۳-۱۲) تا (۱۱-۱۲) نشان داده شده است.

جدول (۱۲-۱). ورودی های اپلیکیشن تحت اکسل

مقدار/ نوع	ورودی ها
18 m	ارتفاع سازه
0.35	شتاب مبنای زلزله (A)
1.5	خطرپذیری لرزه ای (S)
100	سرعت مبنای باد
محیط متراکم	میزان باز بودن اطراف ساختمان
بسته به نوع دیوار "پیرامونی" یا "داخلی"	دیوار داخلی است یا پیرامونی؟
1	ضریب اهمیت دیوار
سفالی	جنس واحد بنایی
توخالی	نوع واحد بنایی
بسته به نوع دیوار 100 mm یا 150 mm	ضخامت دیوار
بسته به نوع دیوار 1500 N/m ² یا 2500 N/m ²	وزن دیوار
2.8 m	ارتفاع پانل دیوار
بسته به نوع دیوار (در خصوص دیوارهای دارای بازشو، طول پانل معادل وارد می گردد)	طول پانل دیوار
از نوع N ساخته شده با سیمان بنایی با مقاومت فشاری حداقل 12.5 MPa	نوع ملات
خیر	وجود ملات در بندهای قائم؟
15 mm	ضخامت پوسته
بله	مجهاز به میلگرد بستر؟
4 mm	قطر مفتول طولی میلگرد بستر
بسته به نوع دیوار با ضرایبی از ارتفاع بلوک ها (در این مثال 200 mm یا 400 mm)	فاصل میلگردهای بستر
110 mm یا 55 mm	پهنای میلگرد بستر
450 MPa	مقاومت تسلیم فولاد میلگرد بستر
بسته به نوع دیوار (در اغلب موارد E یا J)	شرایط تکیه گاهی دیوار

جدول (۱۲-۲). طراحی دیوارهای در امتداد X

نام	نوع	شرایط مرزی	طول دیوار / پانل معادل (m)	ضخامت (mm)	نوع میلگرد بستر	فاصله میلگرد بستر (mm)	تقاضا (kPa)	ظرفیت (kPa)	نسبت تقاضا به ظرفیت
WX1	پیرامونی	J	3.75	150	BJR-4-110	200	1.27	1.16	1.09
WX2	پیرامونی	J	1.75	150	BJR-4-110	400	1.27	1.60	0.79
WX3	داخلی	J	2.75	100	BJR-4-55	400	0.63	0.69	0.92
WX4	داخلی	J	3.1	100	BJR-4-55	400	0.63	0.62	1.01
WX5	داخلی	E	2	100	BJR-4-55	400	0.63	2.89	0.22
WX6	داخلی	J	2.65	150	BJR-4-110	400	1.05	1.18	0.89
WX7	داخلی	J	2.1	100	BJR-4-55	400	0.63	0.83	0.76
WX8	داخلی	J	2.1	100	BJR-4-55	400	0.63	0.83	0.76
WX9	پیرامونی	J	2.55	150	BJR-4-110	400	1.27	1.22	1.04
WX10	پیرامونی	A*	3	150	BJR-4-110	400	1.27	3.38	0.37
WX11	پیرامونی	J	1.5	150	BJR-4-110	400	1.27	1.82	0.70
WX12	پیرامونی	J	1.65	150	BJR-4-110	400	1.27	1.69	0.75

* دیوار WX10 در واقع جان پناه بالکن بوده و ارتفاع آن 1 m می باشد.

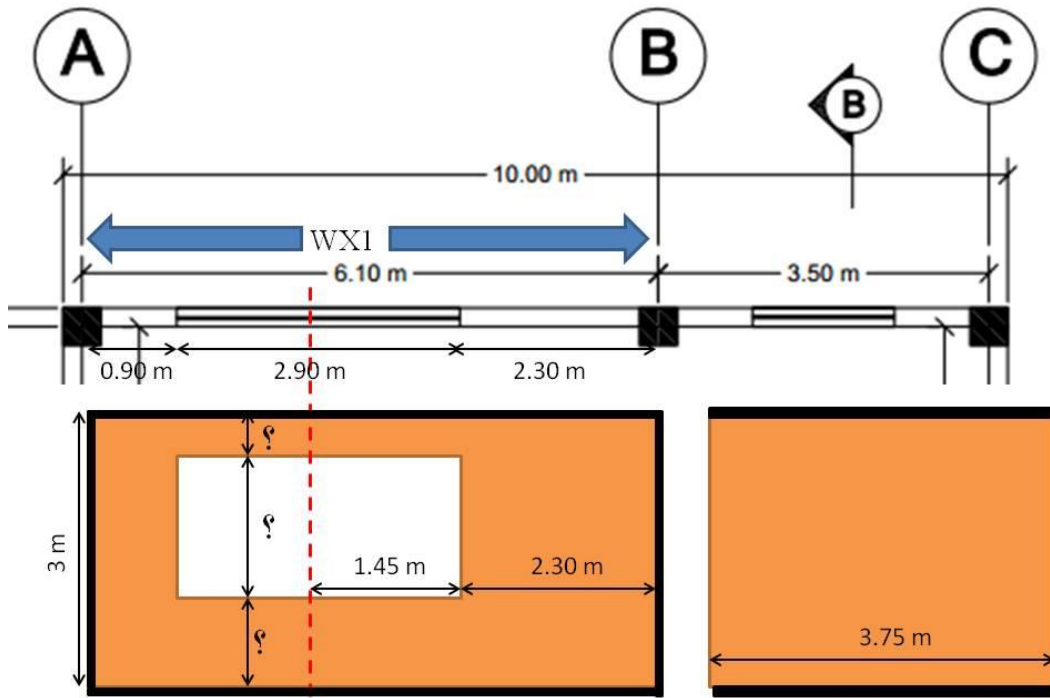
در جدول (۱۲-۳) طراحی اتصالات دیوارهای امتداد X ارائه شده است. در این جدول نیروی تکیه گاهی لبه فوقانی دیوار اصلی نسبت به پانل معادل به میزان نسبت طول دیوار واقعی به طول پانل معادل آن افزایش می یابد. بدیهی است در دیوارهای فاقد بازشو این دو مقدار برابر هستند. همچنین طول و جزئیات دابل نبشی ها و ناودانی ها بر اساس جدول (۹-۱) بدست آمده اند.

دریافت حداکثر در بحرانی ترین طبقه برابر ۰.۲٪ است. لذا در جهت اطمینان برای سایر طبقات نیز دریافت ۰.۲٪ در نظر گرفته می شود. لازم به ذکر است که دریافت تخمینی بر اساس تحلیل های خطی (استاتیکی یا طیفی) بدست آمده است و می تواند کاملا با دریافت های واقعی متفاوت باشد. طبق ضابطه ۷۲۹ به میزان ۰.۳٪ دریافت مجاز است به دیوار اعمال شود. در نتیجه میزان فاصله مابین دیوارها و ستون های سازه بر اساس دریافت ۱.۷٪ و ارتفاع دیوار ۲.۸ m برابر ۴۸ mm می شود. اتصال دیوار به ستون ها با استفاده از ناودانی هایی با پهنای بال ۱۲۵ mm و ضخامت ۲ mm تامین شده اند.

جدول (۱۲-۳). اتصالات دیوارهای در امتداد X

اتصالات لبه قائم*	اتصالات لبه فوقانی	نیروی تکیه گاهی دیوار واقعی (kN)		نیروی تکیه گاهی پانل/پانل معادل (kN)		نام
		لبه قائم	لبه فوقانی	لبه قائم	لبه فوقانی	
3x (U125x150x2) Each with L= 700 mm	5x(L50x25x2 & L50x25x2) Each with L=600 mm	2.5	8.8	2.5	5.4	WX1
3x (U125x150x2) Each with L= 700 mm	3x(L50x25x2 & L50x25x2) Each with L=600 mm	2.5	3.8	2.5	1.9	WX2
-	1x(L50x25x2 & L50x25x2) Each with L=600 mm	1.2	1.8	1.2	1.8	WX3
3x (U125x100x2) Each with L= 400 mm	2x(L50x25x2 & L50x25x2) Each with L=600 mm	1.2	2.1	1.2	2.1	WX4
3x (U125x100x2) Each with L= 400 mm	1x(L50x25x2 & L50x25x2) Each with L=600 mm	1.1	0.6	1.1	0.6	WX5
3x (U125x150x2) Each with L= 700 mm	2x(L50x25x2 & L50x25x2) Each with L=600 mm	2.1	3.6	2.1	2.9	WX6
-	1x(L50x25x2 & L50x25x2) Each with L=600 mm	1.2	1.7	1.2	1.2	WX7
-	1x(L50x25x2 & L50x25x2) Each with L=600 mm	1.2	1.2	1.2	1.2	WX8
-	3x(L50x25x2 & L50x25x2) Each with L=600 mm	2.5	3.9	2.5	3.3	WX9
1x (U125x150x2) Each with L= 700 mm	-	0.6	-	0.6	-	WX10
3x (U125x150x2) Each with L= 700 mm	2x(L50x25x2 & L50x25x2) Each with L=600 mm	2.5	2.8	2.5	1.4	WX11
3x (U125x150x2) Each with L= 700 mm	2x(L50x25x2 & L50x25x2) Each with L=600 mm	2.5	3.4	2.5	1.7	WX12

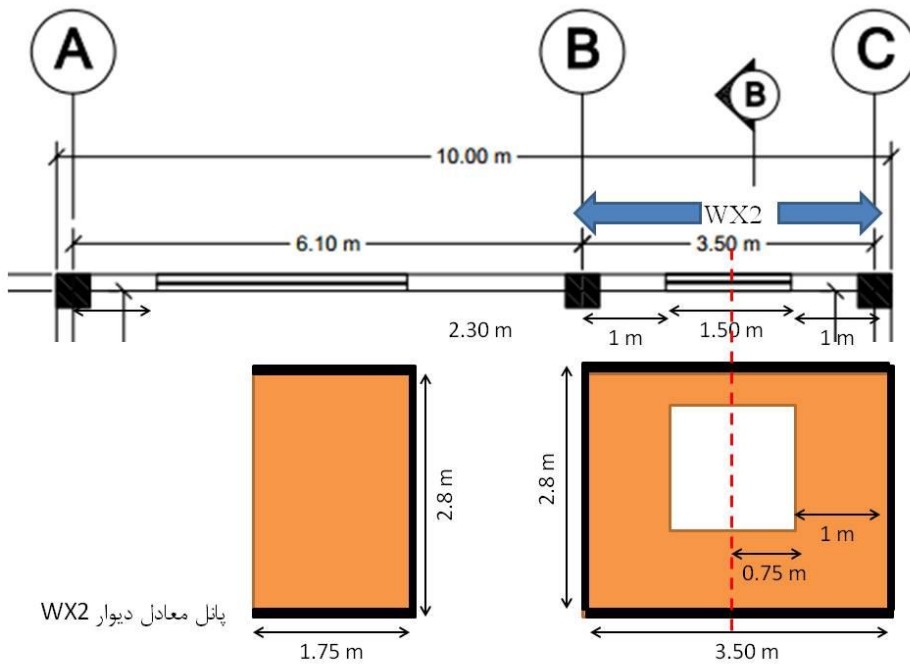
*اتصالات مربوط به لبه قائم تنها برای لبه قائمی که به ستون سازه یا دیوار برشی سازه متصل است کاربرد داشته و لبه های قائمی که به دیوار غیرسازه ای دیگری متصل هستند به اتصالات فلزی نیاز نداشته و دو دیوار مطابق جزئیات تیپ موجود در ضابطه ۷۲۹ به یکدیگر متصل می شوند.



روش محاسبه مقاومت دیوار طبق ضابطه ۷۲۹ مستقل از مقادیر "؟" می باشد.

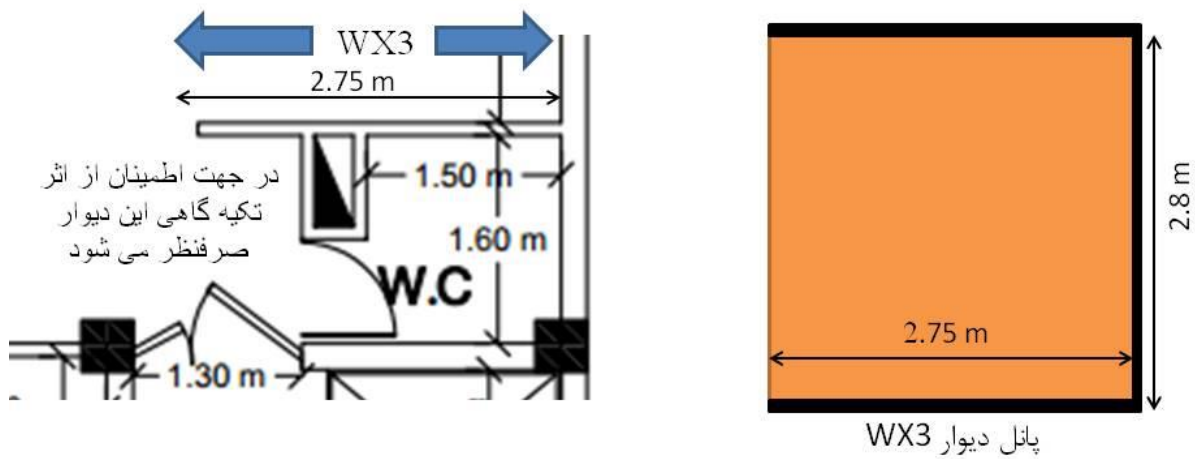
پانل معادل دیوار WX1

شکل ۱۲-۳. روند تشکیل پانل معادل برای دیوار WX1

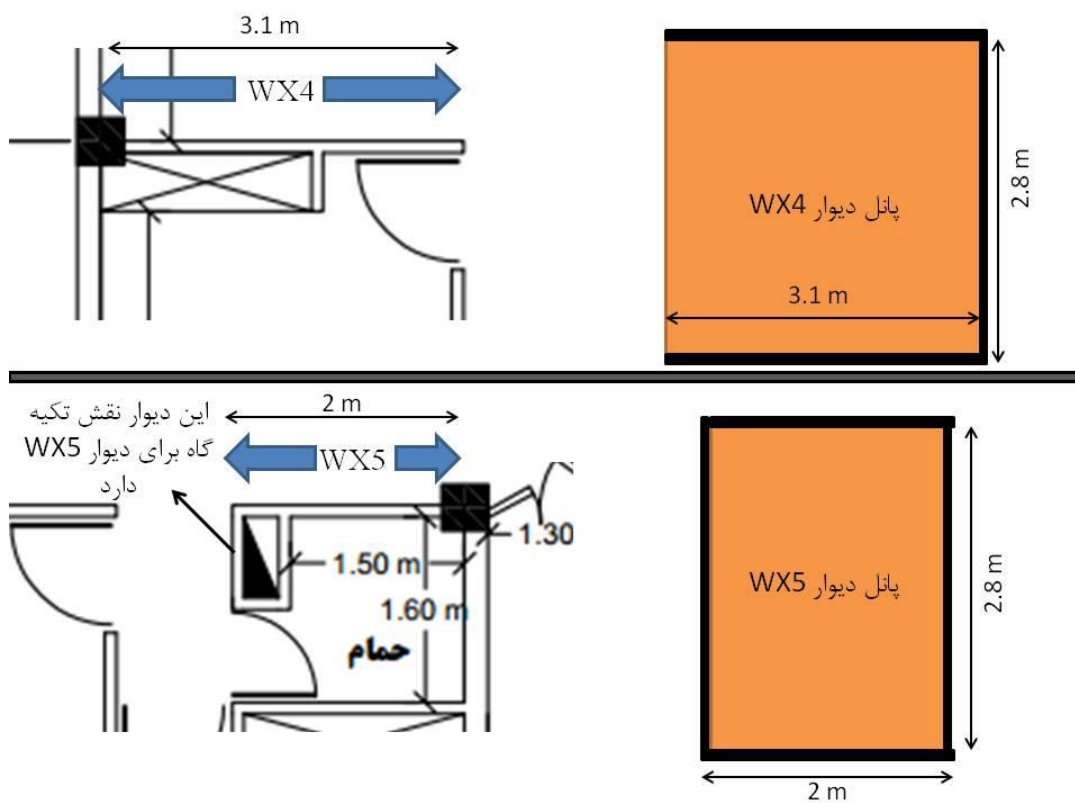


پانل معادل دیوار WX2

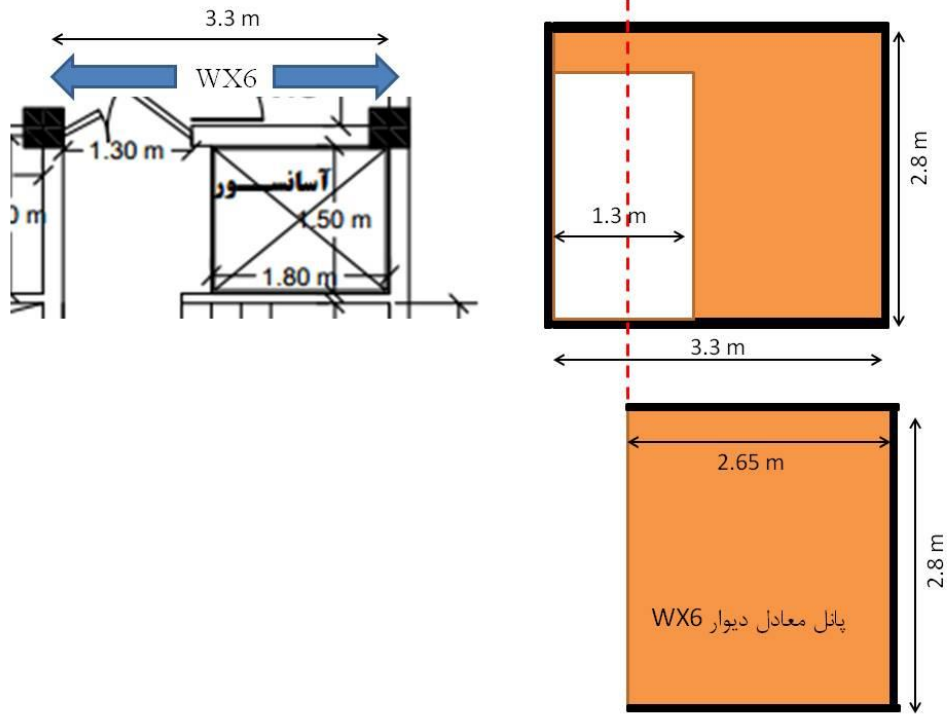
شکل ۱۲-۴. روند تشکیل پانل معادل برای دیوار WX2



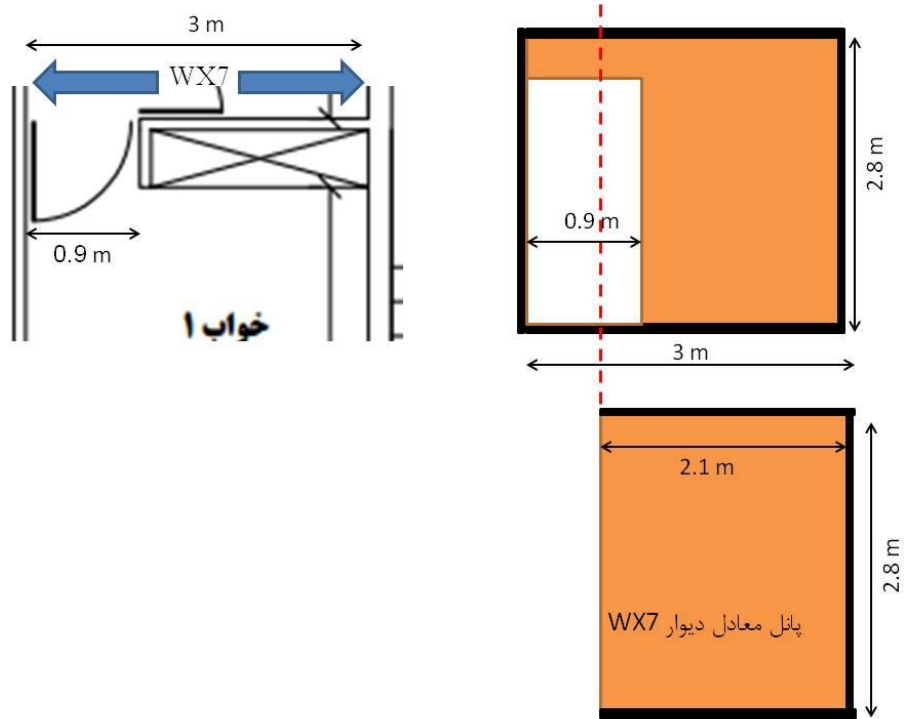
شکل ۱۲-۵. روند تشکیل پانل دیوار WX3



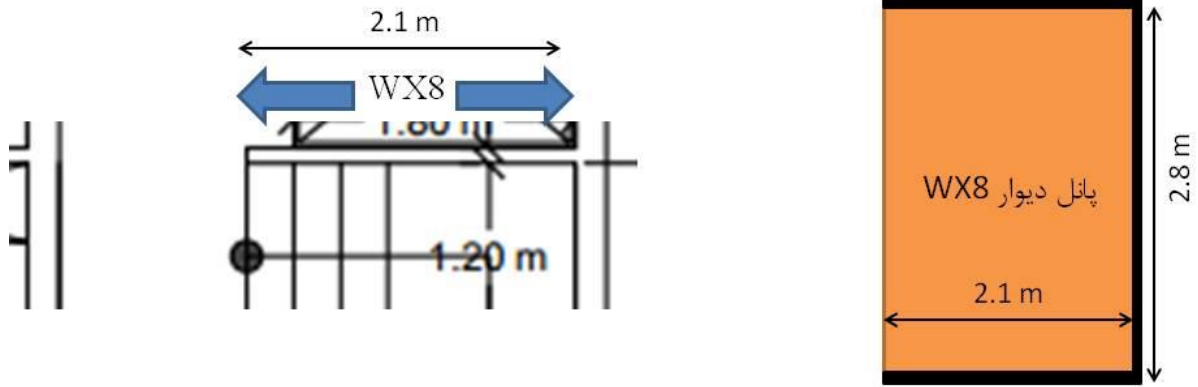
شکل ۱۲-۶. روند تشکیل پانل دیوارهای WX4 و WX5



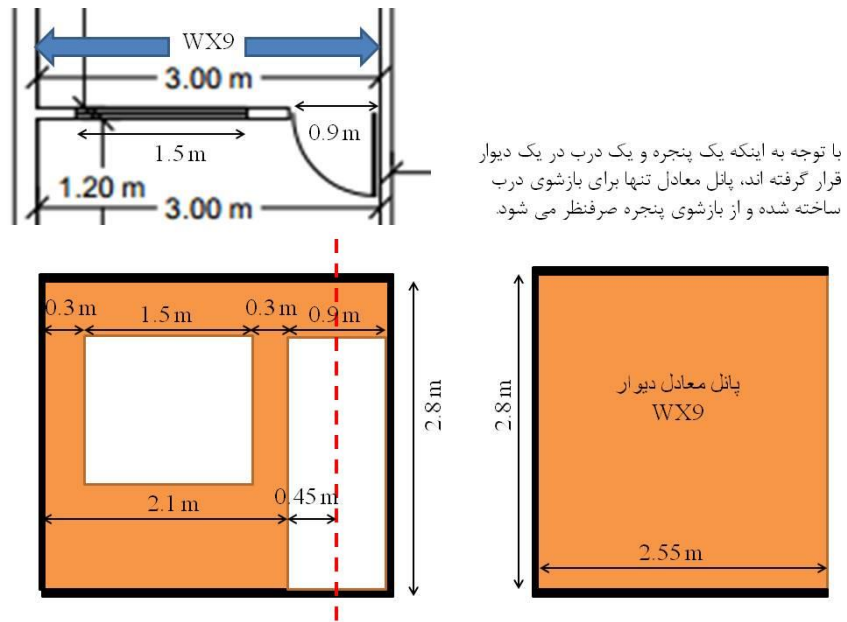
شکل ۱۲-۷. روند تشکیل پانل معادل برای دیوار WX6



شکل ۱۲-۸. روند تشکیل پانل معادل برای دیوار WX7

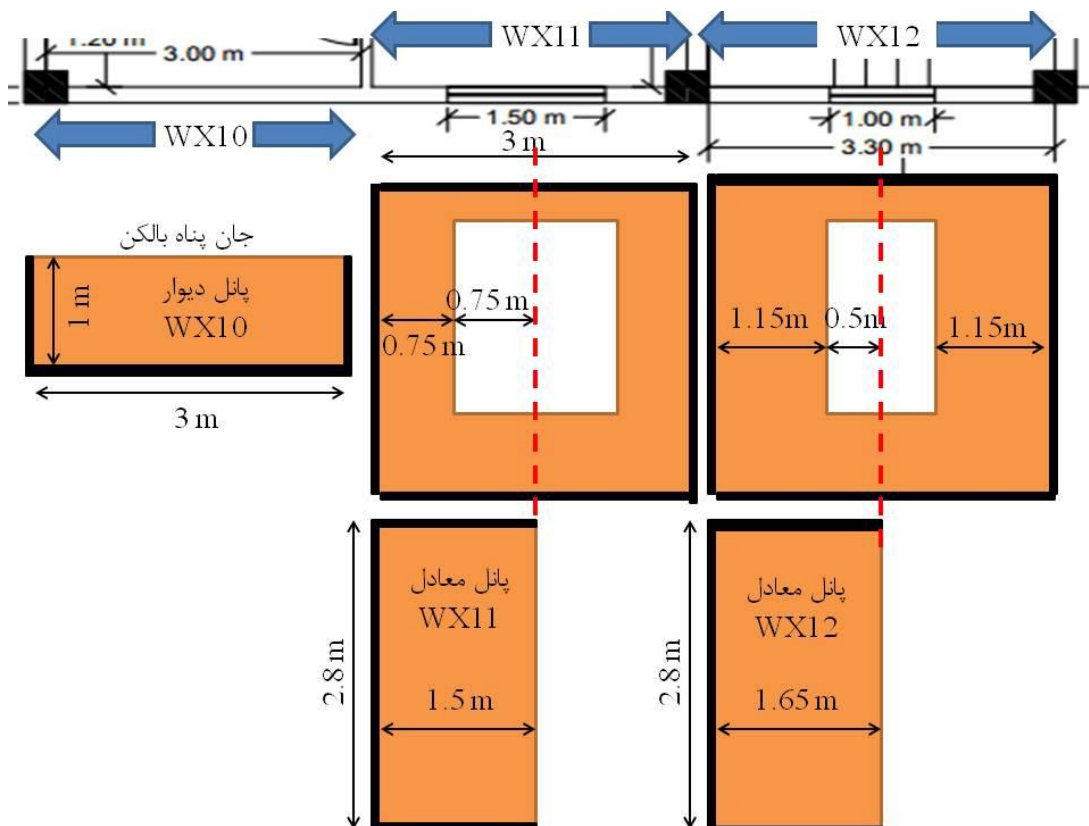


شکل ۹-۱۲. روند تشکیل پانل دیوار WX8



با توجه به اینکه یک پنجره و یک درب در یک دیوار قرار گرفته اند، پانل معادل تنها برای بازشوی درب ساخته شده و از بازشوی پنجره صرفنظر می شود.

شکل ۱۰-۱۲. روند تشکیل پانل دیوار WX9



شکل ۱۱-۱۲. روند تشکیل پانل دیوار WX10 و پانل های معادل برای دیوارهای WX11 و WX12

مشابه دیوارهای امتداد X، نتایج طراحی دیوارهای امتداد Y به همراه طراحی اتصالات مربوطه در جداول (۱۲)-۴ و (۱۲)-۵ ارائه شده است.

جدول (۱۲)-۴. طراحی دیوارهای در امتداد Y

نسبت تقاضا به ظرفیت	ظرفیت (kPa)	تقاضا (kPa)	فاصل میلگرد بستر (mm)	نوع میلگرد بستر	ضخامت (mm)	طول دیوار / پانل معادل (m)	شرایط مرزی	نوع	نام
0.85	1.49	1.27	200	BJR-4-110	150	6.7	E	پیرامونی	WY1
0.59	2.15	1.27	400	BJR-4-110	150	3.5	E	پیرامونی	WY2
0.15	8.67	1.27	400	BJR-4-110	150	1.4	E	پیرامونی	WY3
1.09	0.57	0.63	200	BJR-4-55	100	4.9	J	داخلی	WY4
0.53	2.00	1.05	400	BJR-4-110	150	3.7	E	داخلی	WY5
0.15	6.99	1.05	400	BJR-4-110	150	1.6	E	داخلی	WY6
0.63	2.00	1.27	400	BJR-4-110	150	3.7	E	پیرامونی	WY7
0.18	6.99	1.27	400	BJR-4-110	150	1.6	E	پیرامونی	WY8
0.18	6.99	1.27	400	BJR-4-110	150	1.6	E	پیرامونی	WY9
0.91	1.39	1.27	400	BJR-4-110	150	5.1	E	پیرامونی	WY10

جدول (۱۲-۳). اتصالات دیوارهای در امتداد Y

اتصالات لبه قائم*	اتصالات لبه فوقانی	نیروی تکیه گاهی دیوار واقعی (kN)		نیروی تکیه گاهی پانل/پانل معادل (kN)		نام
		لبه قائم	لبه فوقانی	لبه قائم	لبه فوقانی	
3x (U125x150x2) Each with L= 700 mm	6x(L50x25x2 & L50x25x2) Each with L=600 mm	2.5	9.4	2.5	9.4	WY1
3x (U125x150x2) Each with L= 700 mm	3x(L50x25x2 & L50x25x2) Each with L=600 mm	2.5	3.7	2.5	3.7	WY2
3x (U125x150x2) Each with L= 700 mm	1x(L50x25x2 & L50x25x2) Each with L=600 mm	1.9	0.6	1.9	0.6	WY3
-	3x(L50x25x2 & L50x25x2) Each with L=600 mm	1.2	4.2	1.2	3.7	WY4
3x (U125x150x2) Each with L= 700 mm	2x(L50x25x2 & L50x25x2) Each with L=600 mm	2.1	3.4	2.1	3.4	WY5
3x (U125x150x2) Each with L= 700 mm	1x(L50x25x2 & L50x25x2) Each with L=600 mm	1.7	0.7	1.7	0.7	WY6
3x (U125x150x2) Each with L= 700 mm	3x(L50x25x2 & L50x25x2) Each with L=600 mm	2.5	4.1	2.5	4.1	WY7
3x (U125x150x2) Each with L= 700 mm	1x(L50x25x2 & L50x25x2) Each with L=600 mm	2	0.8	2	0.8	WY8
3x (U125x150x2) Each with L= 700 mm	1x(L50x25x2 & L50x25x2) Each with L=600 mm	2	0.8	2	0.8	WY9
3x (U125x150x2) Each with L= 700 mm	4x(L50x25x2 & L50x25x2) Each with L=600 mm	2.5	6.6	2.5	6.6	WY10

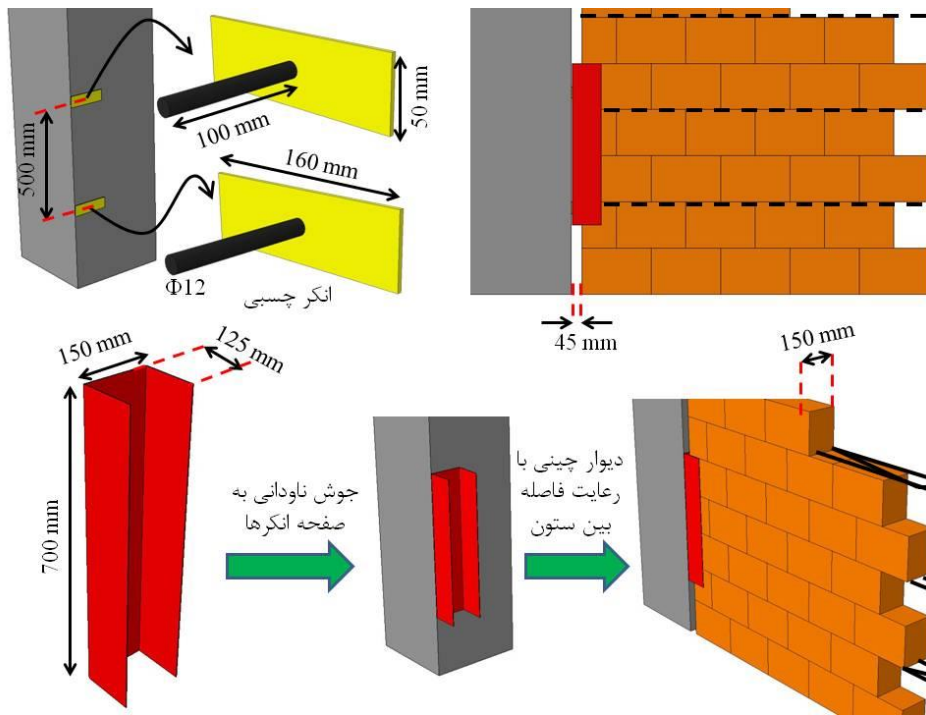
*اتصالات مربوط به لبه قائم تنها برای لبه قائمی که به ستون سازه یا دیوار برشی سازه متصل است کاربرد داشته و لبه های قائمی که به دیوار غیرسازه ای دیگری متصل هستند به اتصالات فلزی نیاز نداشته و دو دیوار مطابق جزئیات تیپ موجود در ضابطه ۷۲۹ به یکدیگر متصل می شوند.

در صورتی که سازه فولادی باشد، قطعات اتصال به ستون و تیر جوش می شوند. طول جوش لازم بر اساس مبحث دهم قابل تعیین می باشد. در صورتی که سازه بتنی باشد و یا در خصوص قطعاتی که به دال سقف یا تیرچه های سقف متصل می شوند، لازم است از انکر به منظور اتصال قطعات اتصال به سازه استفاده شود. فرض می شود از قبل انکرها در سازه تعبیه نشده اند. لذا از انکرهای چسبی برای این منظور استفاده می شود. طراحی انکرهای چسبی مطابق جدول (۸-۵) انجام شده است. تعداد انکرهای مورد نیاز برای هر یک از قطعات اتصال، در جدول (۱۲-۴) موجود می باشد.

جدول (۱۲-۴). انکرهای چسبی اتصالات

اتصالات لبه قائم دیوار		اتصالات لبه فوقانی دیوار		
انکر چسبی	قطعه اتصال	انکر چسبی	قطعه اتصال	ضخامت دیوار
2 $\Phi 12$ - $h_{eff}=100$ mm 2 PL 160x50x3	(U125x150x2) L= 700 mm	3 $\Phi 12$ - $h_{eff}=100$ mm 3 PL 200x50x3	(L50x25x2 & L50x25x2) L=600 mm	150 mm
2 $\Phi 12$ - $h_{eff}=100$ mm 2 PL 110x50x3	(U125x100x2) L= 700 mm	3 $\Phi 12$ - $h_{eff}=100$ mm 3 PL 200x50x3	(L50x25x2 & L50x25x2) L=600 mm	100 mm

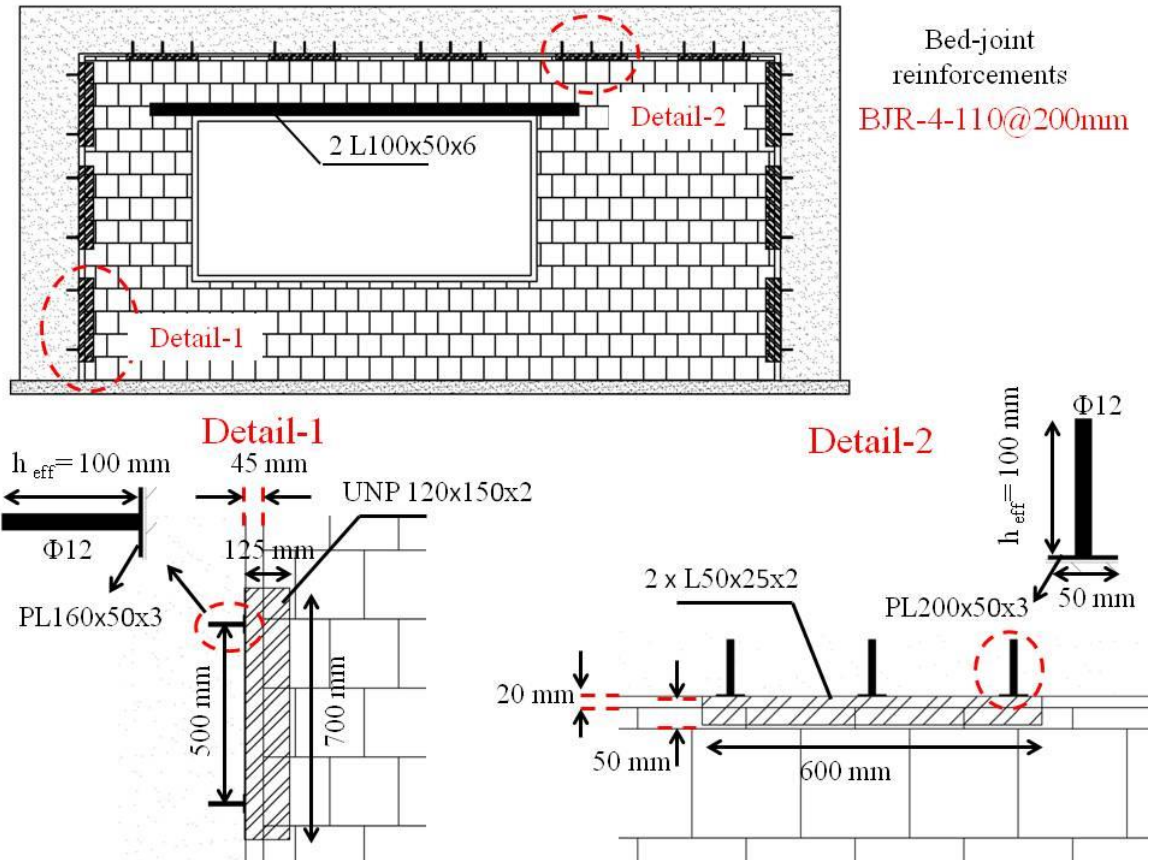
به عنوان نمونه روند ساخت اتصال لبه افقی یکی از دیوارهای با ضخامت 150 mm در شکل (۱۲-۱۲) نشان داده شده است. با توجه به تعداد زیاد دیوارهای غیرسازه ای در ساختمان، ارائه نقشه برای دیوارهای بنایی غیرسازه ای پیشنهاد نمی شود و توصیه می شود به جای نقشه، نتایج طراحی در قالب جداولی مطابق جدول (۱۲-۵) ارائه شوند. نتایج بر حسب نام دیوار ارائه شده است، در نتیجه لازم است نام گذاری دیوارها در قالب نقشه مطابق شکل (۱۲-۲) ارائه شود. اگرچه ارائه جزئیات تمام دیوارها به صورت نقشه پیشنهاد نمی شود، لیکن ارائه نقشه اجرایی برای یک یا دو دیوار به عنوان نمونه می تواند به مجری کمک کند. نمونه چنین نقشه ای برای دیوار WX1 در شکل (۱۲-۱۳) نشان داده شده است.



شکل ۱۲-۱۲. روند اتصال لبه افقی دیوارهای با ضخامت 150 mm

جدول (۱۲-۵) جزئیات دیوارهای طراحی شده

اتصال لبه قائم	اتصال لبه فوقانی	فواصل میلگرد بستر (mm)	میلگرد بستر	ضخامت (mm)	
دیوارهای امتداد X					
3x (U125x150x2) Each with L= 700 mm	5x(L50x25x2 & L50x25x2) Each with L=600 mm	200	BJR-4-110	150	WX1
3x (U125x150x2) Each with L= 700 mm	3x(L50x25x2 & L50x25x2) Each with L=600 mm	400	BJR-4-110	150	WX2
-	1x(L50x25x2 & L50x25x2) Each with L=600 mm	400	BJR-4-55	100	WX3
3x (U125x100x2) Each with L= 400 mm	2x(L50x25x2 & L50x25x2) Each with L=600 mm	400	BJR-4-55	100	WX4
3x (U125x100x2) Each with L= 400 mm	1x(L50x25x2 & L50x25x2) Each with L=600 mm	400	BJR-4-55	100	WX5
3x (U125x150x2) Each with L= 700 mm	2x(L50x25x2 & L50x25x2) Each with L=600 mm	400	BJR-4-110	150	WX6
-	1x(L50x25x2 & L50x25x2) Each with L=600 mm	400	BJR-4-55	100	WX7
-	1x(L50x25x2 & L50x25x2) Each with L=600 mm	400	BJR-4-55	100	WX8
-	3x(L50x25x2 & L50x25x2) Each with L=600 mm	400	BJR-4-110	150	WX9
1x (U125x150x2) Each with L= 700 mm	-	400	BJR-4-110	150	WX10
3x (U125x150x2) Each with L= 700 mm	2x(L50x25x2 & L50x25x2) Each with L=600 mm	400	BJR-4-110	150	WX11
3x (U125x150x2) Each with L= 700 mm	2x(L50x25x2 & L50x25x2) Each with L=600 mm	400	BJR-4-110	150	WX12
دیوارهای امتداد Y					
3x (U125x150x2) Each with L= 700 mm	6x(L50x25x2 & L50x25x2) Each with L=600 mm	200	BJR-4-110	150	WY1
3x (U125x150x2) Each with L= 700 mm	3x(L50x25x2 & L50x25x2) Each with L=600 mm	400	BJR-4-110	150	WY2
3x (U125x150x2) Each with L= 700 mm	1x(L50x25x2 & L50x25x2) Each with L=600 mm	400	BJR-4-110	150	WY3
-	3x(L50x25x2 & L50x25x2) Each with L=600 mm	200	BJR-4-55	100	WY4
3x (U125x150x2) Each with L= 700 mm	2x(L50x25x2 & L50x25x2) Each with L=600 mm	400	BJR-4-110	150	WY5
3x (U125x150x2) Each with L= 700 mm	1x(L50x25x2 & L50x25x2) Each with L=600 mm	400	BJR-4-110	150	WY6
3x (U125x150x2) Each with L= 700 mm	3x(L50x25x2 & L50x25x2) Each with L=600 mm	400	BJR-4-110	150	WY7
3x (U125x150x2) Each with L= 700 mm	1x(L50x25x2 & L50x25x2) Each with L=600 mm	400	BJR-4-110	150	WY8
3x (U125x150x2) Each with L= 700 mm	1x(L50x25x2 & L50x25x2) Each with L=600 mm	400	BJR-4-110	150	WY9
3x (U125x150x2) Each with L= 700 mm	4x(L50x25x2 & L50x25x2) Each with L=600 mm	400	BJR-4-110	150	WY10



شکل ۱۲-۱۳. جزئیات اجرایی دیوار WX1

بازشوها در این پروژه تا سقف ادامه نیافته و فاصله مابین لبه بالایی بازشو ها تا سقف 0.5 m می باشد. لذا لازم است در بازشوها از نعل درگاه استفاده گردد. در این پروژه مطابق جدول (۸-۶) مقطع نعل درگاه انتخاب شده است. نتایج در جدول (۱۲-۶) ارائه شده است.

جدول (۱۲-۶) مقطع نعل درگاه مورد نیاز در بالای بازشوها

نام دیوار	دهانه بازشو (m)	بار روی نعل درگاه (kN/m)	مقطع نعل درگاه
WX1	2.9	1.25	2L100x50x6
WX2	1.5	1.25	2L60X60X4
WX6	1.3	1.25	2L60X60X4
WX7	0.9	0.75	2L30X30X3
WX9	1.5	1.25	2L60X60X4
WX11	1.5	1.25	2L60X60X4
WX12	1	1.25	2L40X40X3
WY4	0.9	0.75	2L30X30X3

فصل سیزدهم - جمع بندی

در متن حاضر تفسیری از پیش نویس ویرایش جدید ضابطه ۷۲۹ ارائه گردید و مفاهیم اصلی در طراحی دیوارهای بنایی غیرسازه ای تشریح شد. با استفاده از نتایج آزمایشگاهی حاصل از ۷۲ نمونه مقیاس کامل بر روی دیوارهای بنایی غیرسازه ای، میزان دقت ضابطه ۷۲۹ در تخمین ظرفیت نهایی خارج از صفحه دیوارهای مختلف بررسی شد. این اولین بار در کشور است که عملکرد یک دستورالعمل ملی توسط نتایج آزمایشگاهی به شکل گسترده ای مورد صحت سنجی قرار می گیرد. با مقایسه نتایج حاصل از ضابطه ۷۲۹ و نتایج آزمایشگاهی مشخص گردید که به طور میانگین خطای ضابطه ۷۲۹ در تخمین ظرفیت نهایی خارج از صفحه دیوار حدود ۲۰٪ می باشد. این میزان خطا با توجه به عدم قطعیت های موجود در دیوارهای بنایی و نیز پیچیدگی رفتار خارج از صفحه دیوار (دو طرفه و غیرایزوتروپیک) مقدار قابل قبولی می باشد. بنابراین می توان اظهار نمود ضابطه ۷۲۹ قادر است ظرفیت خارج از صفحه دیوارهای بنایی غیرسازه ای (با یا بدون میلگرد بستر، با یا بدون بازشو و با شرایط مرزی مختلف) را با قابلیت اطمینان مناسبی تخمین بزند.

با استفاده از یک مثال مشروح، دیوارهای مختلف با بازشوه های مختلف مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج ضابطه ۷۲۹ با نتایج تحلیل های المان محدود نیز انطباق خوبی از خود نشان دادند. روند طراحی دستی و نیز روند استفاده از اپلیکیشن تحت اکسل که پیوست ضابطه ۷۲۹ است نیز برای طراحی دیوارهای در نظر گرفته شده، مورد استفاده قرار گرفت. در نهایت در قالب یک پروژه، روند طراحی دیوارهای بنایی غیرسازه ای یک ساختمان مسکونی ارائه گردید. در این پروژه فرمت نتایج طراحی به نحوی است که مناسب برای ارائه در دفترچه محاسبات سازه می باشد.

فصل چهاردهم - مراجع

- ضابطه ۷۲۹، راهنمای طراحی لرزه ای دیوارهای بنایی غیرسازه ای مسلح به میلگرد بستر، سازمان برنامه و بودجه کشور، ۱۳۹۵
- ACI 530-13, (2013), Building code requirements and specification for masonry structures, American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan.
- ACI 318-14, (2014), Building code requirements for structural concrete, American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan.
- Chong, V.L. (1993), "The behavior of laterally loaded masonry panels with openings", PhD Thesis, School of Civil and Structural Engineering, University of Plymouth, Plymouth, UK.
- Drysdale, R.G. and Essawy, A.S., (1988), "Out-of-plane bending of concrete block walls", Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol. 114, No. 1; 121-133.
- Eurocode 6, (2005), Design of masonry structures- Part 1-1: general rules for reinforced and unreinforced masonry structures, CEN –European Committee for Standardization, Brussels.
- Griffith, M.C., Vaculik, J., Lam, N.T.K., Wilson, J. and Lumantarna, E. (2007), "Cyclic testing of unreinforced masonry walls in two-way bending", Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 36(6); 801-821.
- Lawrence, S.J. (1983), Behaviour of brick masonry walls under lateral loading, PhD Thesis, The University of New South Wales.
- Maheri, M.R., Najafgholipour, M.A., and Rajabi, A.R., (2011), "The influence of mortar head joints on the in-plane and out-of-plane seismic strength of brick masonry walls", IJST, Transactions of Civil and Environmental Engineering, Vol. 35, No. C1; 63-79.
- Standards Australia (2001), AS 3700-2001: Masonry structures, Standards Australia, Sydney, 2001.
- West, H.W.H., Hodgkinson, H.R. and Haseltine, B.A., (1977), "The resistance of brickwork to lateral loading-Part 1: Experimental methods and results of tests on small specimens and full sized walls", The Structural Engineer, The Journal of the Institute of Structural Engineers, Vol. 55, No. 10; 411-421.
- Willis, C.R., (2004), "Design of unreinforced masonry walls for out-of-plane loading", PhD Thesis, School of Civil and Environmental Engineering, The University of Adelaide, Adelaide, Australia.

