دانشگاه فردوسی مشهد
دانشکده مهندسی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد
رشته مهندسی عمران گرایش سازه

بررسی اندرکنش دیوارهای برشی بتن آرمه و تاوه های کف

نگارنده:
معصومه توکل

استاد راهنما:
دکتر حسن حاجی کاظمی

استاد مشاور:
دکتر محمد رضا اصفهانی

زمستان 92

بسم الله الرحمن الرحيم

اظهارنامه

اینجانب معصومه توکل، دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته عمران در گرایش سازه دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد، نویسنده پایان‌نامه "بررسی اندرکنش دیوارهای برشی بتن آرمه و تاوه‌های کف" تحت راهنمایی جناب آقای دکتر حسن حاجی کاظمی متعهد می‌شوم:

- تحقیقات در این پایان‌نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- دراستفاده از نتایج پژوهش‌های محققان دیگر به مرجع مورداستفاده استنادشده است.
- مطالب مندرج در پایان‌نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه فردوسی مشهد می‌باشد و مقالات مستخرج با نام «دانشگاه فردوسی مشهد» و یا «Ferdowsi University of Mashhad» به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در بدست آمدن نتایج اصلی پایان‌نامه تأثیرگذار بوده‌اند در مقالات مستخرج از پایان‌نامه رعایت شده است.
- در کلیه‌ی مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است، اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

تاریخ امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه‌های رایانه‌ای، نرم‌افزارها و تجهیزات ساخته شده) متعلق به دانشگاه فردوسی مشهد می‌باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان‌نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

بسمه تعالی

دانشگاه فردوسی مشهد

صورتجلسه دفاع از پایان‌نامه کارشناسی ارشد

جلسه دفاع از پایان‌نامه خانم معصومه توکل، دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته عمران گرایش سازه، در ساعت 11 روز 20 بهمن در محل کلاس 224 دانشکده مهندسی با حضور امضاکنندگان ذیل تشکیل گردید. پس از بررسی‌های لازم، هیأت داوران پایان‌نامه نامبرده را با نمره به عدد 19/25، به حروف نوزده و بیست و پنج و با درجه عالی مورد تأیید قرار داد.

عنوان پایان‌نامه

بررسی اندرکنش دیوارهای برشی بتنی و تاوه‌های کف

هیئت داوران امضا

- **داور و نماینده تحصیلات تکمیلی: دکتر محمد رضا توکلی‌زاده**

  استادیار گروه عمران، دانشگاه فردوسی مشهد

- **استاد راهنما: دکتر حسن حاجی‌کاظمی**

  استاد گروه عمران، دانشگاه فردوسی مشهد

- **استاد مشاور: دکتر محمد رضا اصفهانی**

  استاد گروه عمران، دانشگاه فردوسی مشهد

- **مدیر گروه: دکتر محمود فغفور مغربی**

  استاد گروه عمران، دانشگاه فردوسی مشهد

سپاس بی حد و حصر خدای را که آفرینش را بیاراست و مهربانی اش هیچگاه از ما دریغ نکرد و بخشش او امیدی نیست...

ما حصل این دوره تحصیل را تقدیم می کنم به

پدر و مادر عزیزم

به پاس تعهد بی مرز عظیم و انسانی شان از کلیه ایثار و از خودگذشتگی

به پاس عاطفه سرشار و گرمای امید بخش وجودشان که در این سردترین روزگاران بهترین پشتیبان است

به پاس قلب های بزرگشان که همیشه مملو از محبت است و سرگرد از هر ترس در پناهشان به شجاعت می گراید

و به پاس محبت های بی دریغشان که هرگز فروکش نمی کند

باشد که این هردترین، بخشی از زحمات آنان را سپاس گوید.

تشکر و سپاس استاد گرامی و عزیز

جناب آقای دکتر حسن حاجی کاظمی

که بدون راهنمایی و همراهی بی دریغ و ارزشمند ایشان پیدایش این پایان نامه میسر نمی گشت

و

تمامی اساتید گرامی که در طول سال ها از وجود آن ها بهره جسته ام

به ویژه جناب آقای دکتر اصغر منادی که از حمایت مشاوره ای این پایان نامه متقبل شدند و بدون مساعدت ایشان این پروژه به نتیجه

مطلوب نمی رسید و جناب آقای دکتر توکلی که از حمایت داوری این پایان نامه را به عهده داشتند.

چکیده

با توجه به اهمیت طراحی صحیح دیوار برشی و بکارگیری پتانسیل‌های ظرفیتی موجود در سازه، در نظر گرفتن کلیه عوامل موثر بر عملکرد دیوار برشی، برای دستیابی به مدل کاملی از رفتار دیوار ضروری به نظر می‌رسد. در این میان بررسی اندرکنش تاوه به عنوان یکی از عناصر اصلی متصل به دیوار با دیوار برشی، می‌تواند به فهم جامع‌تر از پیچیدگی‌های رفتار دیوار و تاوه و دستیابی به مدل صحیح‌تری از چگونگی توزیع نیروها در دیوار منجر شود. ولی در حال‌حاضر طراحان اغلب با ساده‌سازی زیاد، سیستم دیوار را به عنوان یک دیوار مجزا برای رسیدن به مدل موثر دیوار در نظر می‌گیرند که این نمی‌تواند پاسخ واقعی یک دیوار در سازه را بیان کند و عملا چشم پوشی از ظرفیت برشی واقعی است.

هدف اصلی این تحقیق بررسی ظرفیت و رفتار دیوار برشی بتنی با در نظرگرفتن اثرات ناشی از اندرکنش تاوه و دیوار است. این بررسی به صورت مقایسه رفتار دیوارهای برشی مجزا با سیستم‌های تاوه-دیوار متناظر با آن‌ها انجام می‌شود. سیستم‌های تاوه- دیوار در واقع همان دیوارهای برشی هستند که تعداد مختلف تاوه روی ارتفاع آن‌ها قرار گرفته است. بررسی‌های ذکرشده به صورت آنالیز استاتیکی غیرخطی نمونه‌های انتخابی در نرم‌افزار ABAQUS صورت گرفته و سعی شده است تا با مشخص کردن پارامترهای موثر بر اندرکنش بین دیوار برشی و تاوه، رفتار دیوار برشی با و بدون وجود تاوه مقایسه گردد. نتایج این بررسی‌ها در قالب نمودارها و کانتورهای کرنش ارائه شده‌اند.

بررسی‌ها نشان می‌دهند که اثرات تاوه‌ها بر رفتار دیوار و عملکرد سیستم تاوه- دیوار بسیار متاثر از ارتفاع دیوار برشی بوده و نتیجه اندرکنش تاوه و دیوار برای دیوارهای برشی کوتاه، متوسط و بلند متفاوت است. درمورد دیوارهای برشی کوتاه و متوسط، افزودن تاوه به دیوار برشی و تحلیل دیوار به صورت یک سیستم یکپارچه تاوه- دیوار برشی، به طور کلی مقاومت، سختی و ظرفیت برشی دیوار برشی را افزایش می‌دهد و ناحیه شکست فشاری و کششی دیوار را به طرز قابل توجهی محدودتر می‌نماید. اما این روند با افزایش تدریجی ارتفاع دیوار، شدیدا کاهش یافته و در مورد دیوارهای برشی بلندتر دیگر شاهد بروز این تغییرات در عملکرد دیوار در حضور تاوه، نخواهیم بود و به عبارتی می‌توان گفت که نقش تاوه‌ها در بهبود ظرفیت برشی دیوار در سازه‌های کوتاه و متوسط بیشتر از سازه‌های بلند است.

کلمات کلیدی : دیوار برشی بتنی، تاوه کف، اندرکنش، ظرفیت برشی، سیستم تاوه- دیوار.

فهرست مطالب

فصل اول: کلیات 1
1-1 مقدمه 2
2-1 شرح موضوع 2
3-1 اهداف وکاربردهای پژوهش 3
4-1 روش پژوهش و مراحل انجام پایان‌نامه 3
5-1 مروری برعملکرد دیوارهای برشی بتنی و تاوه‌های کف 5
1-5-1 دیوارهای برشی بتنی 5
2-5-1 تاوه‌های کف 8
6-1 ساختار پایان نامه 12
فصل دوم: مروری بر تحقیقات پیشین 14
1-2 مقدمه 15
2-2 بررسی مطالعات اندرکنش دیوار برشی و تاوه 15
1-2-2 تاثیرات اندرکنش بر پارامترهای طراحی تاوه 15
2-2-2 تاثیرات اندرکنش بر رفتار دیوار 27
فصل سوم: مبانی مدلسازی 35
1-3 مقدمه 36
2-3 مروری بر مفهوم آنالیز غیر خطی در ABAQUS 37
3-3 محصولات نرم افزار ABAQUS [۲۵] 38
4-3 مدلسازی با استفاده از نرم افزار ABAQUS 39
5-3 مبانی مدلسازی 40
1-5-3 مدلسازی اجزای محدود بتن آرمه در ABAQUS 40
2-5-3 مدلسازی اجزای محدود فولاد در ABAQUS 43
6-3 بررسی صحت مدلسازی 44
1-6-3 نمونه آزمایشگاهی Perry 45
2-6-3 نمونه آزمایشگاهی Palermo 49
7-3 روش تحقیق 52

فصل چهارم:بررسی تاثیرات تاوه بر عملکرد دیوارهای برشی بتنی.....53
4-1 مقدمه.....54
4-2 اثر تاوه بر رفتار دیوار برشی و بررسی سیستم تاوه- دیوار برشی.....54
4-2-1 بررسی خسارت کششی و فشاری دیوار برشی و سیستم تاوه-دیوار 57
4-3 بررسی مساحت موثر تاوه در اندرکنش تاوه و دیوار برشی 57
4-4 بررسی تاثیر ضخامت تاوه در اندرکنش تاوه و دیوار برشی.....60
4-5 بررسی تاثیر ضخامت دیوار در اندرکنش تاوه و دیوار برشی 64
4-6 نتیجه گیری 67
فصل پنجم: بررسی عامل ارتفاع در عملکرد سیستم‌های تاوه-دیوار برشی 68
5- 1 مقدمه.....69
5-2 معرفی سازه‌های انتخابی 69
5-3 بررسی عملکرد سازه‌ای نمونه‌های دیوار برشی 69
5-4 بررسی خسارت کششی و فشاری در دیوارهای برشی 72
5-5 مقایسه عملکرد سازه‌ای نمونه‌های دیوار برشی و نمونه‌های تاوه- دیوار 72
5-6 بررسی و مقایسه مقادیر کرنش در نمونه‌های دیوار برشی و نمونه‌های تاوه- دیوار 75
5-6-1 بررسی مقادیر کرنش در نمونهW و Ws1 77
5-6-2 بررسی مقادیر کرنش در نمونهWh1 و Wh1s2 80
5-6-3 بررسی مقادیر کرنش در نمونهWh2 و Wh2s3 83
5-6-4 بررسی مقادیر کرنش در نمونهWh3 و Wh3s5 86
5-6-5 بررسی مقادیر کرنش در نمونهWh4 و Wh4s7 90
5-6-6 بررسی مقادیر کرنش در نمونهWh5 و Wh5s9 93
5-6-7 بحث در مقادیر کرنش دیوارهای برشی و تاوه-دیوارها 96
5-7 نتیجه‌گیری 97
فصل ششم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات.....99
6-1 نتیجه‌گیری 100
6-2 پیشنهاد برای تحقیقات آینده 102
مراجع 104

فهرست شکل‌ها

شکل 1- 1 عملکرد سازه ای عناصر مقاوم در برابر بار جانبی (الف) عملکرد خمشی دیوار برشی (ب) عملکرد برشی قاب خمشی[4].....6
شکل 1-2 روی هم‌گذاری تنش های طره ای مستقل و مرکب، برای تعیین تنش حقیقی در دیوار[3].....8
شکل1-3 رفتار دیوار برشی تحت اثر بار جانبی[3].....8
شکل 1-4 انواع تاوه دوطرفه (الف) صفحه تخت (ب) صفحه تخت با تیر محیطی (ج) تاوه تخت با پهنه و یا سر ستون (د) تاوه مشبک (ه) تاوه با تیر[4].....11
شکل2-1 مدل‌های ساختمانی[8].....16
شکل 2-2 جابجایی گره‌های انتهایی در امتداد محور x برای مدل R4 با $t_{diph} = 1cm$ [8].....18
شکل 2-3 جابجایی گره‌های انتهایی در امتداد محور x برای مدل R4 با $t_{diph} = 10cm$ [8].....18
شکل 2-5 جابجایی گره‌های انتهایی در امتداد محور x برای مدل R12 با $t_{diph} = 10cm$ [8].....19
شکل 2-4 جابجایی گره‌های انتهایی در امتداد محور x برای مدل R12 با $t_{diph} = 1cm$ [8].....19
شکل 2-6 مراحل ترک‌خوردگی تاوه در طول تحلیل پوش‌اور[12].....22
شکل 2-7 توالی الگوهای ترک خوردگی تاوه[12].....23
شکل 2-8 تنش مسطح داخلی تاوه برای تاوه نمونه SCW4 ، $\Delta top = 40\ mm$[12].....25
شکل 2-9 دیاگرام ساده شده (الف) نواحی تنش‌های اولیه (ب) مکانیسم نیروها در تاوه[12].....26
شکل 2-10 مدل‌های سازه تاوه- دیوار (الف) مدل 22طبقه (ب) مدل 4 طبقه (ج) جزئیات تاوه کف (همه ابعاد به سانتی متر هستند)[1].....28
شکل2-11 مودهای خمشی دیوارها[1].....28
شکل 2-12 مودهای برشی دیوارها[1].....29
شکل 2-13سیستم تاوه- دیوار [12].....30
شکل 3-1 نحوه پاسخ بتن به بارگذاری و باربرداری در (الف) کشش و (ب) فشار[26].....42
شکل3- 2 المان C3D8R [۲۶].....43
شکل 3-3 نمودار تنش کرنش فولاد.....44
شکل3-4 جزئیات نمونه آزمایشگاهی دیوار برشی Perry (الف) برش ارتفاع (ب)پلان [27].....46
شکل 3-5: مقایسه منحنی بار- تغییر مکان نمونه آزمایشگاهیPerry و نمونه عددیSW.....47
شکل 3-6 مقایسه خسارت نمونه آزمایشگاهی Perry و عددیSW (الف) تصویر ناحیه شکست دیوار بعد از آزمایش (ب) الگوی ترک‌خوردگی (ج) خسارت کششی نمونه عددیSW.....47
شکل 3-7 توزیع کرنش اصلی ماکزیمم (کرنش کششی ماکزیمم) در نمونهSW.....48
شکل 3-8 توزیع کرنش اصلی مینیمم (کرنش فشاری ماکزیمم) در نمونهSW.....48

شکل 3-9 مشخصات دیوار برشی Palermo (الف) ابعاد نمونه[29] (ب) جزئیات فولادگذاری دیوار برشی[28].....50
شکل 3-10 مقایسه منحنی بار –تغییر مکان نمونه آزمایشگاهی Palermo و نمونه عددی W 51
شکل4-2 بررسی خسارت های کششی و فشاری در نمونه های عددی و آزمایشگاهی 58
شکل 4-4 نمودار برش پایه- جابجایی برای نمونه‌های (الف) W, Ws3t10,Ws2t10,Ws1t10 (ب)W ,Ws2,Ws1 و Ws3 (ج) W, Ws1 t20 ,Ws2t20 ,Ws3t20 62
شکل 4-5 نمودار برش پایه- جابجایی برای نمونه های (الف) سریW(ضخامت دیوار75میلی‌متر) (ب) سری Wt1 (ضخامت دیوار100میلی‌متر) (ج) سری Wt2 (ضخامت دیوار125میلی‌متر) (د) سری Wt3(ضخامت دیوار150میلی‌متر).....65
شکل 4-6 نمودار ماکزیمم برش پایه در مقابل تغییرات ضخامت دیوار برشی 66
شکل 5-1 نمودار برش پایه-جابجایی برای دیوارهای برشی W,Wh1,Wh2,Wh3,Wh4 و Wh5 70
شکل 5-2 نمودار ماکزیمم جابجایی در مقابل ارتفاع دیوار برای نمونه‌های W,Wh1,Wh2,Wh3,Wh4 و Wh5 71
شکل 5-3 نمودار ماکزیمم برش پایه در مقابل ارتفاع دیوار برای نمونه‌های W,Wh1,Wh2,Wh3,Wh4 و Wh5 71
شکل 5-4 خسارت فشاری نمونه‌های دیوار برشی (الف)W (ب) Wh1 (ج) Wh2 (د)Wh3 (ه) Wh4 (و) Wh5 73
شکل 5-5 خسارت کششی نمونه‌های دیوار برشی (الف)W (ب) Wh1 (ج) Wh2 (د)Wh3 (ه) Wh4 (و) Wh5.....74
شکل 5-6 مقایسه نمودار برش پایه- جابجایی برای نمونه‌های تاوه- دیوار و دیوارهای برشی متناظر با آن‌ها؛ ارتفاع نمونه‌ها (الف)2/02 (ب) 3/03 (ج)4/04 (د) 6/06 (ه)8/08 (و)10/10 متر. 76
شکل 5-7 توزیع کرنش اصلی ماکزیمم (کرنش کششی ماکزیمم) در نمونه (الف)W و (ب) Ws1.....78
شکل 5-8 توزیع کرنش اصلی مینیمم (کرنش فشاری ماکزیمم) در نمونه (الف) W و (ب) Ws1.....79
شکل 5-9 توزیع کرنش اصلی ماکزیمم (کرنش کششی ماکزیمم) در نمونه (الف)Wh1 و (ب) Wh1s2 81
شکل 5-10 توزیع کرنش اصلی مینیمم (کرنش فشاری ماکزیمم) در نمونه (الف) Wh1 و (ب) Wh1s2.....82
شکل 5-11 توزیع کرنش اصلی ماکزیمم (کرنش کششی ماکزیمم) در نمونه (الف)Wh2 و (ب) Wh2s3 84
شکل 5-12 توزیع کرنش اصلی مینیمم (کرنش فشاری ماکزیمم) در نمونه (الف) Wh2 و (ب) Wh2s3.....85
شکل 5-13 توزیع کرنش اصلی ماکزیمم (کرنش کششی ماکزیمم) در نمونه (الف)Wh3 و (ب) Wh3s5 87
شکل 5-14 توزیع کرنش اصلی مینیمم (کرنش فشاری ماکزیمم) در نمونه (الف) Wh3 و (ب) Wh3s5.....88
شکل 5-15 توزیع کرنش اصلی ماکزیمم (کرنش کششی ماکزیمم) در نمونه (الف)Wh4 و (ب) Wh4s7 91
شکل 5-16 توزیع کرنش اصلی مینیمم (کرنش فشاری ماکزیمم) در نمونه (الف) Wh4 و (ب) Wh4s7.....92
شکل 5-17 توزیع کرنش اصلی ماکزیمم (کرنش کششی ماکزیمم) در نمونه (الف)Wh5 و (ب) Wh5s9 94
شکل 5-18 توزیع کرنش اصلی مینیمم (کرنش فشاری ماکزیمم) در نمونه (الف) Wh5 و (ب) Wh5s9.....95
شکل 5-19 نمودار کرنش کششی ماکزیمم نسبت به تغییرات ارتفاع به طول برای نمونه‌های دیوار برشی و تاوه-دیوارها.....96
شکل 5-20 نمودار کرنش فشاری ماکزیمم نسبت به تغییرات ارتفاع به طول برای نمونه‌های دیوار برشی و تاوه-دیوارها 96

فهرست جداول

جدول 3-1 مشخصات بتن و فولاد مورد استفاده در آزمایش[27] 46
جدول3-2 مشخصات میلگردهای فولادی [30] 50
جدول3-3 مشخصات بتن مورد استفاده[28] 51
جدول 4-1 سازه های انتخابی برای بررسی سیستم تاوه-دیوار (کلیه واحدها به mm) 55
جدول 4-2 مقایسه عملکرد تاوه‌های دوم و سوم با تاوه اول در تغییر برش پایه ماکزیمم دیوار 56
جدول 4-3 مقایسه عملکرد تاوه‌های دوم و سوم با تاوه اول در تغییر جابجایی ماکزیمم دیوار 57
جدول 4-3 سازه‌های انتخابی برای بررسی مساحت موثر تاوه(کلیه واحدها به mm) 59
جدول 4-4 سازه های انتخابی برای بررسی اثر ضخامت تاوه (کلیه واحدها به mm) 61
جدول 4-5 مشخصات و نتایج تحلیل نمونه های تاوه- دیوار مدل‌سازی شده 63
جدول 4-6 نسبت برش پایه ماکزیمم نمونه های گروه Wst10 و Wst20 به نمونه های گروهWs 63
جدول 4-7 نسبت جابجایی نهایی نمونه های گروه Wst10 و Wst20 به نمونه های گروهWs 63
جدول 4-8 سازه های انتخابی برای بررسی اثر ضخامت دیوار (کلیه واحدها به mm) 64
جدول 5-1 سازه‌های انتخابی برای بررسی اثر ارتفاع دیوار (کلیه واحدها به mm) 70

فصل اول

کلیات

چکیده: در این فصل ابتدا یک شرح کلی از موضوع تحقیق بیان می‌شود، سپس در رابطه با اهمیت موضوع، اهداف و کاربردهای پژوهش، روش پژوهش و مراحل انجام پایان‌نامه، و در نهایت ساختار پایان نامه توضیحات مختصری ارائه خواهد گردید.

1-1 مقدمه.....2
2-1 شرح موضوع.....2
3-1 اهداف وکاربردهای پژوهش.....3
4-1 روش پژوهش و مراحل انجام پایان‌نامه.....3
5-1 مروری برعملکرد دیوارهای برشی بتنی و تاوه‌های کف.....5
6-1 ساختار پایان نامه.....12

1-1 مقدمه

با توجه به اهمیت طراحی ایمن و مقاوم‌سازی سازه‌ها در مقابل زلزله توجه به جزئیات و اصول طراحی حاکم بر رفتار سیستم‌های مختلف تحمل بارهای جانبی در سازه از ضرورت خاصی برخوردار است. معمولا برای تحمل بارهای جانبی در سازه از سیستم‌های مختلف مقاومی استفاده می‌شود که عبارتند از: مهاربندها، قاب خمشی، قاب محیطی و .... وانواع دیوارهای برشی که شامل دیوارهای برشی بتنی، فولادی و مرکب می‌باشند. رفتار و عملکرد دیوارهای برشی بتن‌آرمه که به عنوان سیستم مقاوم در برابر بار جانبی در بسیاری از سازه‌های بتنی مورد استفاده قرار می‌گیرند، دارای پیچیدگی‌های خاصی است و درک آن به طور کامل مقدور نمی‌باشد. فرضیات طراحی اغلب رفتار دیوار را تا حد زیادی ساده‌سازی می‌کنند و لذا نتایج ممکن است بیانگر پاسخ واقعی رفتار دیوار برشی نباشد. معمولا اثرات المان‌های متصل به دیوار در آنالیز رفتار دیوار دخالت داده نمی‌شود که ممکن است اثرات مثبت یا منفی داشته باشد. المان‌های متصل متعارف عبارتند از: تیرها ،تاوه‌ها ،پله‌ها و ...که اتصال تاوه‌ها به دیوارها از سایر المان‌ها تاثیر بیشتری دارد و یکی از فرضیات اصلی ساده‌کننده در تحلیل دیوارهای برشی نادیده گرفتن اثرات تاوه‌های کف چندگانه‌ای است که در امتداد ارتفاع دیوار به آن متصل‌اند. در این پژوهش سعی می‌گردد تا با بررسی اندرکنش میان تاوه‌های کف و دیوارهای برشی بتن آرمه نقش اثرات احتمالی تاوه روی رفتار و عملکرد دیوار برشی مورد ارزیابی قرار گیرد.

2-1 شرح موضوع

با توجه اهمیت طراحی صحیح دیوار برشی و بکارگیری پتانسیل‌های ظرفیتی موجود در سازه، در نظر گرفتن کلیه عوامل موثر بر عملکرد دیوار برشی، برای دستیابی به مدل کاملی از رفتار دیوار ضروری به نظر می‌رسد. در این میان بررسی اندرکنش تاوه به عنوان یکی از عناصر اصلی متصل به دیوار با دیوار برشی، می‌تواند به فهم جامع‌تر از پیچیدگی‌های رفتار دیوار و تاوه و دستیابی به مدل واقعی تر و صحیح تری از چگونگی توزیع نیروها در دیوار منجر شود. طبق تحقیقات انجام شده، تاوه‌ها می‌توانند باعث افزایش قابل توجه ظرفیت برشی دیوار برشی بتن آرمه شوند. ولی در حال حاضر طراحان اغلب با ساده‌سازی زیاد، سیستم دیوار را به عنوان یک دیوار مجزا برای رسیدن به مدل موثر دیوار در نظر می‌گیرند که این نمی‌تواند پاسخ واقعی یک دیوار در سازه را بیان کند و عملا چشم پوشی از ظرفیت برشی واقعی است. در مواردی که تقاضای برش برای دیوار داده شده خیلی بزرگ باشد طراح می‌تواند با تحلیل دیوار به صورت سیستم تاوه- دیوار ظرفیت دیوار را برای تامین تقاضاها افزایش دهد. همچنین نتایج آزمایشگاهی بیانگر آن است که اندرکنش قابل توجهی در پیچش و اشکال مدی بین دیوارهای برشی کوپل و تاوه‌های کف وجود دارد[1].

بررسی‌ها نشان داده است که در نظر گرفتن اندر کنش بین دیوارهای برشی و تاوه‌های کف می تواند علاوه بر تاثیر روی عملکرد دیوار بر سایر پارامترهای طراحی تاوه نیز مانند لنگر خمشی بحرانی تاوه و سختی کوپلینگ و عرض موثر تاوه نیزتاثیر گذار باشد[2].

بنابراین با توجه به اهمیت مطلب، در این پژوهش سعی می‌شود تا اثرات تاوه‌های کف متصل به دیوار روی رفتار و عملکرد دیوار برشی بتن آرمه بررسی گردد و نتایج با حالت معمول که از این اثرات چشم پوشی می‌شود مقایسه گردیده و با تغییر در پارامترهای هندسی تاوه و دیوار، تاثیر هر کدام از این پارامترها در نتیجه اندرکنش بررسی شود.

3-1 اهداف وکاربردهای پژوهش

با توجه به نقش کلیدی دیوار برشی در تامین امنیت سازه ها وتحمل بارهای جانبی، دستیابی به مدل صحیح و کاملی از رفتار دیوار، با حذف فرضیات ساده کننده‌ای که از تاثیر المان‌های متصل به دیوار روی رفتار دیوار چشم پوشی می کنند، برای رسیدن به پاسخ واقعی دیوار از اهمیت بالایی برخوردار است. با مدلسازی دیواربرشی به عنوان یک سیستم تاوه – دیوار می توان تفاوت‌های چشم‌گیری در مقاومت برشی دیوار نسبت به مقدار ظرفیت برشی به دست آمده از روابط آیین نامه‌ها مشاهده کرد که نتایج آزمایشگاهی نیز بیانگر این مطلب است که در عمل نیز ظرفیت برشی دیوار از مقدار پیش‌بینی شده در آیین نامه‌ها بیشتر است. بنابراین تلاش برای فهم بهتر رفتار دیوار می‌تواند به بهبود روابط آیین‌نامه‌ها و در نهایت کاهش هزینه‌های ساخت منجر شود. با بررسی روابط پیشنهادی آیین‌نامه‌های طراحی موجود درتعیین ظرفیت دیوار برشی و مقایسه نتایج این رابطه‌ها با نتایج آزمایشگاهی و تلاش در بهبود این روابط، می‌توان برای پژوهشگران، مهندسان سازه و طراحان سازه‌های بتنی رابطه‌های مناسب‌تری را ارایه نمود.

4-1 روش پژوهش و مراحل انجام پایان‌نامه

برای بررسی اهداف ذکرشده در قسمت قبل، پس از مطالعه نمونه های متعدد آزمایشگاهی دیوارهای برشی و بررسی شرایط حاکم بر آزمایشات، دو نمونه آزمایشگاهی دیواربرشی که توسط Palermo و Perry تست شده بودند به منظور انجام صحت‌سنجی انتخاب، و در نرم‌افزار ABAQUS مدلسازی و مورد تحلیل واقع شدند و پس از بررسی نتایج، ملاحظه شد که مطابقت مناسبی میان نتایج تحلیلی و آزمایشگاهی وجود دارد. سپس از نمونه عددی دیوار Palermo استفاده شده و با مدل کردن تاوه روی این دیوار و تشکیل سیستم‌های مختلف تاوه-دیوار متناظر با آن و تهیه جمعا 38 مدل با ارتفاع و هندسه متفاوت، و انجام تحلیل استاتیکی غیرخطی،

به بررسی اثرات احتمالی تاوه بر رفتار دیوار پرداخته شد. سپس تلاش شد تا با مشخص کردن پارامترهای موثر بر اندرکنش بین دیوار برشی و تاوه، رفتار دیوار برشی با و بدون وجود تاوه مقایسه گردد و تاثیرات این اندرکنش بر بازتوزیع نیروها، نحوه ترک خوردگی، ظرفیت برشی و توزیع کرنش دیوار کنترل شود. پارامترهایی که در این میان مورد بررسی قرار گرفتند، عبارت بودند از مساحت موثر تاوه، ضخامت تاوه، ضخامت دیوار و ارتفاع دیوار برشی. به منظور بررسی نقش هرکدام از این پارامترها در نتیجه اندرکنش تاوه و دیوار نمونه‌هایی به قرار زیر تهیه شد:

♦ W, Ws1, Ws2 و Ws3 برای بررسی سیستم تاوه –دیوار.

نمونه W همان مدل عددی ساخته شده از نمونه آزمایشگاهی دیوار برشی Palermo بوده و نمونه‌های Ws1, Ws2 و Ws3 به ترتیب با قرار گرفتن یک، دو و سه تاوه روی ارتفاع دیوار برشی W ایجاد شده‌اند.

♦ Wa1s1, Ws1, Wa2s1, Wa3s1 و Wa4s1 برای بررسی مساحت موثر تاوه.

این نمونه‌ها همگی شامل دیوار برشی با وجود یک تاوه بوده که ابعاد (طول و عرض) در نظر گرفته شده برای آن تاوه، در هر مدل متغیر است.

♦ Ws1t10, Ws1t20, Ws2, Ws2t10, Ws2t20, Ws3, Ws3t10, Ws3t20 برای بررسی ضخامت تاوه.

سه نمونه اول از دیوار برشی با یک تاوه که به ترتیب سه ضخامت مختلف ۱۰۰، ۱۵۰و 200 میلی‌متر را دارا است، تشکیل شده‌اند، سه نمونه دوم شامل دو تاوه با همین سه ضخامت ذکرشده می‌باشند و در سه نمونه آخر یعنی Ws3t10, Ws3, Ws3t20 سه تاوه با این ضخامت‌ها خواهیم داشت.

♦ W, Wt1, Wt2, Wt3, Ws1, Wt1s1, Wt2s1, Wt3s1, Ws2, Wt1s2, Wt2s2, Wt3s2, Ws3, Wt1s3, Wt2s3 و Wt3s3 برای بررسی ضخامت دیوار.

چهار نمونه W, Wt1, Wt2 و Wt3 دیوارهای برشی با ضخامت جان 75، 100، 125 و 150 میلی‌متر هستند و سایر نمونه‌ها شامل همین دیوارهای برشی هستند که به ترتیب یک، دو و سه تاوه روی آن‌ها قرار گرفته است. عدد ذکر شده بعد از حرف s در نام نمونه‌ها نشان دهنده تعداد تاوه‌های هر نمونه است.

♦ W, Wh1, Wh2, Wh3, Wh4, Wh5 و (Ws1, Wh1s2, Wh2s3, Wh3s5, Wh4s7, Wh5s9) برای بررسی ارتفاع دیوار.

نمونه‌های W, Wh1, Wh2, Wh3, Wh4 و Wh5 دیوارهای برشی با ارتفاع متغیر از 2020 تا 10100 میلی‌متر هستند و نمونه‌های Ws1, Wh1s2, Wh2s3, Wh3s5, Wh4s7 و Wh5s9 تاوه-دیوارهای متناظر با آن‌ها هستند که تعداد مختلف تاوه روی آن‌ها مدل شده است. تعداد تاوه‌ها برای هر نمونه به گونه‌ای انتخاب شده است که فاصله بین تاوه‌ها یا به عبارتی ارتفاع طبقات در تمام نمونه‌ها با هم برابر باشد.

5-1 مروری برعملکرد دیوارهای برشی بتنی و تاوه‌های کف

1-5-1 دیوارهای برشی بتنی

در همه‌ی سازه‌ها و به خصوص در سازهای بلند، لازم است سختی مناسب برای مقاومت در مقابل نیروهای جانبی باد و زلزله فراهم شود. در غیر این صورت ممکن است هنگام اثر بارهای جانبی، تنش های بسیار زیاد و ارتعاش در اعضای مختلف ایجاد شود؛ به طوری که احساس ناراحتی شدید برای ساکنین ساختمان، و یا حتی آسیب‌های جدی برای ساختمان به وجود آورد. سختی جانبی مناسب برای مقاومت در مقابل بارهای جانبی ممکن است توسط قاب‌های خمشی، دیوارهای برشی، و یا ترکیب قاب خمشی و دیوار برشی ایجاد شود.

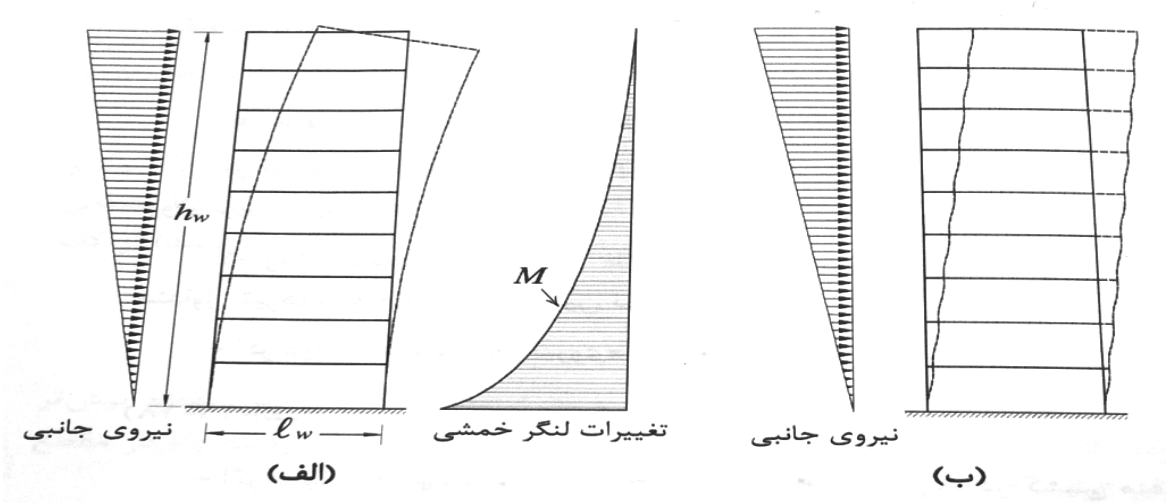
یک سازه دیوار برشی سازه‌ای است که مقاومت در برابر بارهای جانبی آن تماماً توسط دیوارهای برشی تامین می‌شود. دیوارها ممکن است بخشی از هسته سرویس یا راه پله‌ها، یا جدا کننده قسمت‌های مختلف ساختمان باشند. دیوارهای برشی معمولا از بالا تا پای سازه به صورت پیوسته ادامه دارند و در انتها به پی سازه گیردار شده و طره‌های قائمی را تشکیل می‌دهند. سختی در صفحه و مقاومت زیاد این ساختار را مناسب مهاربندی ساختمان‌های تا 35 طبقه می‌نماید، ضمن اینکه همزمان بارهای وزنی را نیز تحمل می‌کند. معمولا دیوارها را در پلان به طریقی جابجا می‌کنند که بارهای مرده اعمالی و ماکزیمم تنش‌های کششی خمشی ناشی از بارهای جانبی را خنثی سازند. در چنین حالتی فقط حداقل فولاد گذاری لازم خواهد بود. دیوارهای برشی می‌توانند مسطح باشند ولی غالبا برای سازگاری بهتر با پلان سازه و ایجاد سختی خمشی بیشتر با مقاطع L ، T ، I و U شکل ساخته می‌شوند. دیوارهای برشی را می‌توان به صورت زیر دسته بندی نمود: دیوارهای برشی تکی و دیوارهای کوپل.

سازه‌های با دیوار برشی تکی، سازه‌هایی هستند که در آنها، بار جانبی ساختمان توسط واکنش مستقل هر یک از دیوارها تحمل می‌گردد.

دیوارهایی که با اعضای خمشی به یکدیگر متصل می‌شوند؛ به دیوارهای کوپل مشهورند[3].

الف: رفتار دیوار های برشی تکی

دیوارهای برشی در حقیقت دیوارهای بتن آرمه‌ای هستند که از سختی داخل صفحه ای بسیار زیاد برخوردار می‌باشند. این دیوارها مشابه یک تیر کنسولی قائم و عمیق عمل می‌کنند که برای ساختمان پایداری جانبی ایجاد نموده و در مقابل برش‌ها و لنگرهای خمشی ناشی از بارهای جانبی مقاومت می‌کنند. دیوارهای برشی از آن جهت به این نام خوانده می‌شوند که قسمت عمده‌ی برش ناشی از نیروهای جانبی را تحمل کرده و به زمین انتقال می‌دهند. با این وجود از آنجا که دیوارهای برشی مانند تیرهای طره‌ای قائم هستند، عملکرد اصلی آنها عملکرد خمشی است و به همین جهت نام دیوار برشی چندان با عملکرد آنها همسو نیست. در مقابل قاب‌های خمشی بر خلاف نام خود عملکرد برشی داشته و با تغییر شکل برشی خود، بارهای جانبی را به زمین انتقال می‌دهند. شکل (1-1) عملکرد سازه‌ای دیوار برشی و قاب خمشی را در مقابل بار جانبی نشان می‌دهد.



شکل 1- 1 عملکرد سازه‌ای عناصر مقاوم در برابر بار جانبی (الف) عملکرد خمشی دیوار برشی (ب) عملکرد برشی قاب خمشی[4]

در دیوارهای برشی با نسبت ارتفاع به طول کوچک، برش بیش از خمش حائز اهمیت است. در مقابل در دیوارهای برشی بلندتر، لنگر خمشی از اهمیت به مراتب بیشتری برخوردار است. به دلیل مشابهت عملکرد دیوارهای برشی با تیرهای عمیق، فولادهای برشی در آنها هم به صورت افقی و هم به صورت قائم قرار داده می‌شوند.

یک ساختمان بلند با دیوار برشی، معمولا شامل مجموعه‌ای از دیوارهای برشی با طول‌ها و ضخامت-

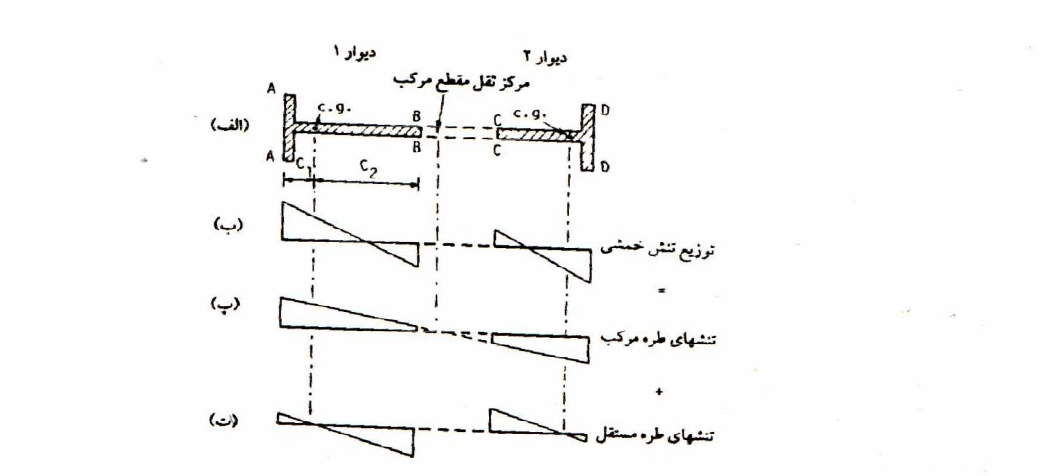
های متفاوت است. این دیوارها ممکن است در تمام ارتفاع ساختمان ادامه یابند و یا در تراز مشخصی قطع شوند. این تغیرات می‌توانند بر توزیع لنگرها و برش‌های بین دیوارها و اندرکنش نیروهای افقی مربوط به تیرها و تاوه‌های اتصالی تاثیرات پیچیده‌ای داشته باشند.

ب: رفتار دیوارهای برشی کوپل

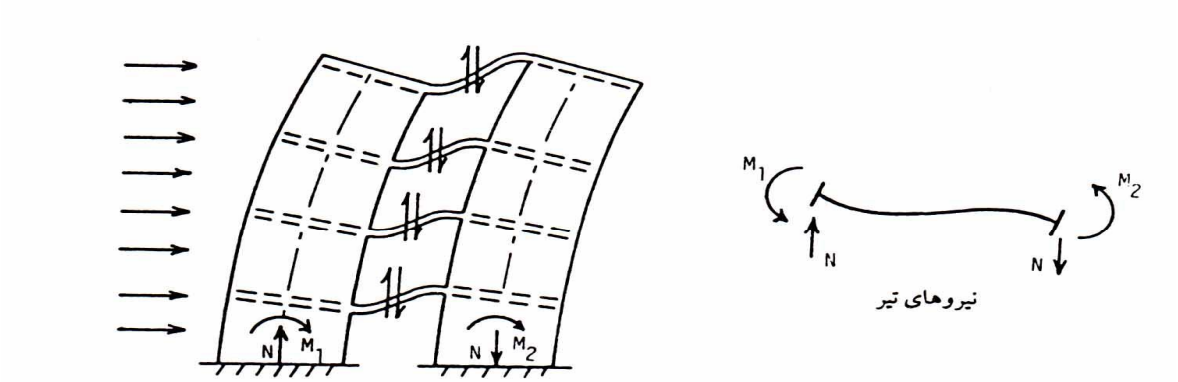
در بسیاری از شرایط کاربردی، دیوارها به وسیله اعضای مقاوم خمشی به یکدیگر متصل می‌شوند، که این نوع دیوارهای برشی را دیوارهای کوپل می‌نامند. وجود اعضای اتصالی مقاوم خمشی، باعث افزایش سختی و بازدهی سیستم می‌شود.

با توجه به اینکه در سازه‌های بلند نیروهای جانبی ناشی از باد و زلزله قابل توجه هستند و معمولا دیوارهای برشی در این سازه‌ها ابعاد بزرگی پیدا می کنند، یک راه مناسب برای افزایش بازدهی و کارایی دیوارهای برشی و نیز کاهش وزن سازه کوپل کردن دیوارهاست [5].

اگر دو دیوار برشی واقع در یک صفحه، توسط اعضای با اتصالات مفصلی؛ که فقط قادر به انتقال نیروهای محوری هستند، به یکدیگر وصل شوند، لنگرهای اعمالی آن‌ها به وسیله لنگرهای داخلی هر دو دیوار تحمل می‌گردد. مقدار لنگرهای داخلی رابطه مستقیمی با صلبیت خمشی دیوارها دارد. در اثر لنگرهای داخلی، تنش‌های خمشی به صورت خطی در طول هر دیوار توزیع می‌گردد و ماکزیمم تنش‌های فشاری و کششی در دو لبه دیوار واقع خواهند شد(شکل 1-2 ت). از طرف دیگر، چنانچه دیوارها توسط تیرهای صلب به هم متصل شوند، تشکیل یک طره قائم دوتایی را می‌دهند و لنگر اعمالی، توسط هر دو دیوار که رفتاری مشابه یک مجموعه مرکب را دارد، با خمش حول محور مرکزی مجموعه تحمل خواهد شد. سپس تنش‌های خمشی به صورت خطی در طول مجموعه مرکب با ماکزیمم تنش‌های کششی و فشاری در دو لبه انتهایی (شکل1-2 پ) توزیع می‌گردند. در شرایط کاربردی، دو دیوار توسط تیرهای انعطاف پذیر به یکدیگر متصل می‌شوند که عملا حالتی بین دو حالت متفاوت بالا می‌باشد. این دو حالت حدود رفتاری دیوارهای کوپل را مشخص می‌نمایند. هرچه تیرها سخت تر باشند، رفتار سازه بیشتر شبیه یک طره مرکب خواهد شد. بازدهی سیستم را می‌توان با درجه نزدیکی رفتار بهینه آن با طره مرکب سنجید. هنگامی که دیوارها تحت اثر بار جانبی قرار گیرند، انتهای تیرهای اتصالی مجبور به چرخش و تغییر مکان قائم شده و خمش دو انحنایی خواهند یافت و به این طریق لنگرهای آزاد دیوار را تحمل خواهند کرد(شکل1-3).



شکل 1-2 روی هم گذاری تنش های طره ای مستقل و مرکب، برای تعیین تنش حقیقی در دیوار[3]



شکل1-3 رفتار دیوار برشی تحت اثر بار جانبی[3]

1-5-2 تاوه‌های کف

انتخاب یک سیستم کف مناسب، تاثیر به سزایی بر هزینه کلی ساختمان دارد. بعضی از عوامل موثر بر انتخاب سیستم کف جنبه معماری دارند. به عنوان مثال، در ساختمان‌های مسکونی که فضاها ثابت و کوچک هستند دهانه‌ها می‌توانند کوچک باشند؛ در صورتیکه در ساختمان‌های جدید اداری- تجاری که نیاز به فضاهای باز بزرگ و قابل تقسیم موقت دارند، دهانه‌های بزرگ لازم است. عوامل موثر دیگر در انتخاب سیستم، مربوط به رفتار سازه‌ای هستند، مانند زمانی که از کف انتظار تحمل بارهای جانبی می‌رود و یا هنگامی که لازم است کف‌ها پی‌درپی و به سرعت اجرا شوند. در بتن آرمه تاوه به یک عضو سازه‌ای اطلاق میشود که ضخامت آن در مقایسه با دو بعد دیگر کوچک بوده و برای انتقال بار در بام، کف‌های ساختمانی و پی‌ها به کار می‌رود. سیستم‌های کف بتن آرمه به دو گروه تقسیم می‌شوند: (الف) تاوه‌های یک طرفه که