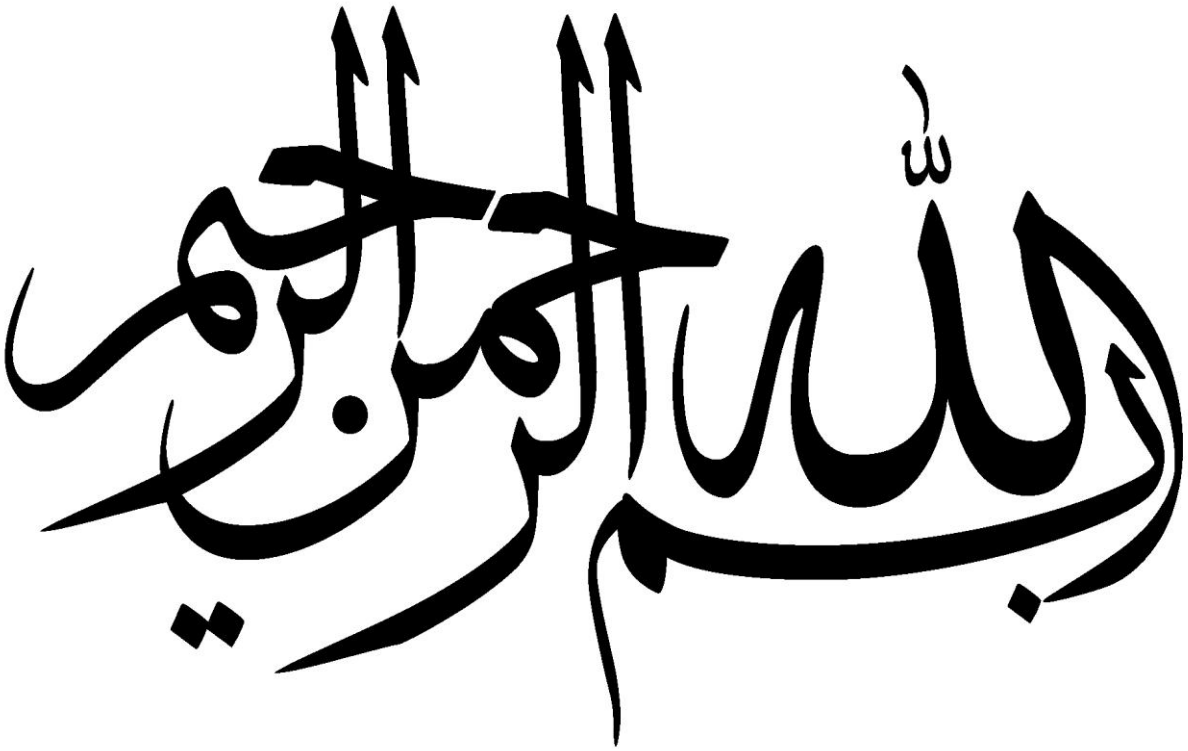
بسم الله الرحمن الرحيم

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و

نوآوری‌های ناشی از تحقیق موضوع این پایان نامه

متعلق به دانشگاه رازی است.

دانشکده فنی مهندسی

گروه مهندسی عمران

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد در رشته‌ی مهندسی عمران

گرایش سازه

عنوان پایان نامه

مقاوم سازی دال‌های تخت بتن مسلح در برابر برش پانچ با استفاده از FRP

استاد راهنما:

دکتر رضا آقایاری

نگارش:

محمد جواد مرادی

دانشکده فنی مهندسی

گروه مهندسی عمران

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد در رشته‌ی مهندسی عمران گرایش سازه

نام دانشجو

محمد جواد مرادی

تحت عنوان

مقاوم سازی دال‌های تخت بتن مسلح در برابر برش پانچ با استفاده از FRP

در تاریخ **۱۳۹۲/۷/۱۵** توسط هیأت داوران زیر بررسی و با درجه **عالی** به تصویب نهایی رسید.

۱- استاد راهنما دکتر رضا آقایاری با مرتبه‌ی علمی استادیار امضاء

۲- استاد داور داخل گروه دکتر ابراهیم خلیل زاده وحیدی با مرتبه‌ی علمی استادیار امضاء

۳- استاد داور خارج از گروه دکتر مجتبی فتحی با مرتبه‌ی علمی استادیار امضاء

تقدیم به تمامی کسانی که دوستشان دارم

چکیده

در سال‌های اخیر تقویت سازه‌های بتن آرمه با استفاده از کامپوزیت های **FRP** مورد توجه زیادی قرار گرفته که در این میان تقویت دال‌های دوطرفه به خصوص جهت افزایش مقاومت پانچ کمتر مورد مطالعه قرار گرفته است. مزایای دال‌های دوطرفه مخصوصاً دال‌های تخت سبب کاربرد زیاد این نوع سازه شده است؛ ولی این سیستم‌ها با مشکلاتی نظیر خیز زیاد و برش پانچ مواجه هستند. در این تحقیق تقویت دال‌های تخت با استفاده از صفحات **FRP** و فولادی برای تقویت ظرفیت برش پانچ مورد مطالعه قرار گرفت. برای این منظور ابتدا مدل اجزا محدود دال در نرم افزار **ABAQUS** توسعه داده شد و خصوصیات غیرخطی مصالح منظور گردید. پس از کالیبره کردن نرم‌افزار، مطالعاتی پارامتریک روی اتصال دال به ستون انجام شد و تاثیر نسبت آرماتور دال، مقاومت فشاری بتن و وجود آرماتور در ناحیه فشاری مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این بررسی نشان داد که مقدار آرماتور اتصال در تعیین مد شکست اتصال نقش اساسی بازی می‌کند. همچنین با افزایش مقاومت فشاری بتن، ظرفیت باربری و تغییرمکان نهایی اتصال افزایش خواهد یافت. سپس دال‌های تخت بتن مسلح با الیاف پلیمری مقاوم‌سازی شد. تاثیر جنس الیاف، تعداد نوارها و تعداد لایه‌های **FRP** و همچنین دو نوع الگوی متفاوت مقاوم‌سازی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این بررسی نشان داد که صفحات **FRP** در دال‌های تخت، علاوه بر افزایش ظرفیت برش پانچ، افزایش سختی نمونه و کاهش انرژی جذب شده را به همراه داشت. در مرحله بعد، از روشی نوین جهت مقاوم‌سازی دال‌های بتنی بهره گرفته شد. در این روش الیاف مسلح پلیمری به صورت رکابی‌های بسته در ارتفاع دال قرار داده شد. افزایش مقاومت نهایی، ظرفیت تغییرمکان، انرژی جذب شده و شکل‌پذیری در تمامی نمونه‌ها مشهود بود.

واژه های کلیدی:

مقاوم سازی، دال تخت، برش پانچ، الیاف پلیمری، تحلیل اجزا محدود

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول : معرفی دال تخت ۱

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲- انواع دال دوطرفه ۲

۱-۲-۱- دال تخت ۲

۱-۲-۲- دال تخت با تیر محیطی ۴

۱-۲-۳- دال تخت با پهنه و سرستون ۴

۱-۲-۴- دال مشبک یا دال با تیرچه دوطرفه ۵

۱-۲-۵- دال دوطرفه با تیر ۶

۱-۳- برش در دال تخت ۷

۱-۳-۱- برش یک طرفه ۷

۱-۳-۲- برش دوطرفه (پانچ) ۷

۱-۴- کنترل برش پانچ در اطراف ستون ۹

۱-۴-۱- ظرفیت برش پانچ بتن در دال بدون فولاد برشی ۹

۱-۴-۲- روش های افزایش ظرفیت برش پانچ در دالهای تخت ۱۱

۱-۴-۲-۱- افزایش ضخامت دال در همه جا ۱۱

۱-۴-۲-۲- افزایش ضخامت دال در اطراف ستون به کمک پهنه ۱۱

۱-۴-۲-۳- افزایش محیط بحرانی برش پانچ با افزایش ابعاد ستون و یا بااستفاده از سرستون ۱۱

۱-۴-۲-۴- استفاده از بتن با مقاومت فشاری بیشتر ۱۲

۱-۴-۲-۵- استفاده از فولاد برشی در اطراف ستون ۱۲

۱-۴-۲-۵-۱- میلگردها، سیمها یا خاموتهای یک یا چند شاخه ۱۲

۱-۴-۲-۵-۲- کلاهک برشی ۱۳

۱-۴-۲-۵-۳- گلمیخ ۱۴

۱-۴-۲-۵-۴- آرماتورهای رکابی ۱۵

۱-۴-۲-۵-۵- آرماتورهای خم شده ۱۵

۱-۴-۲-۵-۶- نوار برشی ۱۶

۱-۴-۲-۶- استفاده از صفحات الیاف پلیمری در اطراف ستون ۱۷

۱-۵- الگوی ترک خوردگی و مکانیزم گسیختگی در اتصالات دال به ستون ۱۷

۱-۶- تفاوت بین گسیختگی خمشی و برش پانچ ۱۹

۱-۷- تئوری حاکم بر گسیختگی برش پانچ ۲۱
۱-۷-۱- تحلیل مقاومت نهایی برش پانچ در اتصالات دال ستون ۲۱
۱-۷-۲- تحلیل مقاومت نهایی پیشنهادی ۲۲
۱-۷-۳- مقاومت ناحیه فشاری بتن ۲۳
۱-۷-۴- سهم عملکرد میخ پرچی ۲۴
۱-۷-۵- عمق ناحیه فشاری ۲۵
۱-۷-۶- عمق مقطع بحرانی برش ۲۷
۱-۷-۷- عمق مقطع بحرانی خمش ۲۷
۱-۸- پارامترهای موثر بر ظرفیت برش پانچ در دالهای تخت ۲۸
۱-۸-۱- مقاومت فشاری بتن ۲۹
۱-۸-۲- نسبت ابعاد بارگذاری به عمق دال ۲۹
۱-۸-۳- نسبت ابعاد بارگذاری به یکدیگر ۲۹
۱-۸-۴- سنگدانه بتن ۳۰
۱-۸-۵- فواصل بین آرماتورها و پوشش بتن ۳۰
۱-۸-۶- آرماتور وجه فشاری ۳۰
فصل دوم : مروری بر کارهای گذشته ۳۱
۲-۱- مقدمه ۳۲
۲-۲- خلاصه ای از کارهای صورت گرفته ۳۲
۲-۳- بررسی اقدامات گذشته در تکنیک های بهسازی ۴۰
۲-۳-۱- نصب رکابی CFRP ۴۱
۲-۳-۲- نصب صفحات CFRP ۴۳
۲-۳-۳- افزایش ابعاد ستون ۴۳
فصل سوم : معرفی الیاف مسلح پلیمری ۴۴
۳-۱- مقدمه و معرفی الیاف مسلح پلیمری ۴۵
۳-۲- کاربردها ۴۷
۳-۳- دلایل مقاوم سازی و ترمیم ۴۹
۳-۴- محدودیت ها ۵۱
۳-۴-۱- بارگذاری ۵۱
۳-۴-۲- وضعیت بتن موجود ۵۱
۳-۴-۳- شرایط محیطی ۵۱
۳-۴-۴- آتش سوزی ۵۲
۳-۵- معایب کامپوزیت های FRP ۵۲

۳-۵-۱- هزینه ورق ها ۵۲
۳-۵-۲- صدمه مکانیکی ۵۳
۳-۶- خلاصه ۳ ..... ۵۳
فصل چهارم : معرفی نرم افزار و صحت سنجی ۵۵
۴-۱- مقدمه ۵۶
۴-۲- معرفی ABAQUS ۵۷
۴-۳- نحوه مدلسازی بتن در ABAQUS ۵۷
۴-۳-۱- مدل پلاستیک آسیب دیده ۵۷
۴-۳-۲- کاهش سختی الاستیک در هنگام نرم شوندگی کرنش ۶۰
۴-۳-۳- مسلح کردن بتن ۶۰
۴-۳-۴- سخت شدگی کششی ۶۱
۴-۳-۴-۱- رفتار تنش کرنش پس از شکست ۶۱
۴-۳-۵- معیار انرژی شکست ترک ۶۲
۴-۳-۶- کاربرد ۶۳
۴-۳-۷- تعریف رفتار فشاری ۶۳
۴-۴- مدلسازی دال آزمایش شده توسط آگبوسو و همکاران ۶۵
۴-۴-۱- مشخصات مصالح ۶۵
۴-۴-۱-۱- بتن و فولاد ۶۵
۴-۴-۱-۲- الیاف مسلح پلیمری ۶۵
۴-۴-۲- توصیف دال ۶۶
۴-۴-۲-۱- هندسه ۶۶
۴-۴-۳- نتایج آزمایشگاهی ۶۷
۴-۴-۳-۱- رفتار خمشی ۶۷
۴-۴-۳-۲- رفتار نهایی ۶۷
۴-۵- مشخصات مصالح معرفی شده به نرم افزار ۶۷
۴-۵-۱- بتن ۶۷
۴-۵-۱-۱- مدل ارائه شده توسط سرونکا و همکاران ۷۳
۴-۵-۱-۱-۱- حداقل اندازه المان ها ۷۵
۴-۵-۱-۱-۲- حداکثر اندازه المان ها ۷۷
۴-۵-۱-۱-۳- حداقل میزان آرماتور ۷۹
۴-۵-۲- آرماتورها ۸۰
۴-۶- مشکلات همگرایی ۸۰
۴-۷- نتایج تحلیل صحت سنجی ۸۱

۴-۷-۱- پاسخ بار تغییرمکان ۸۱

فصل پنجم : تعریف نمونه های تحلیل، مطالعات پارامتریک و مقاوم‌سازی اتصالات دال ستون ۸۳

۵-۱- مقدمه ۸۴

۵-۲- مطالعات پارامتریک عوامل موثر بر ظرفیت اتصالات دال ستون ۸۴
۵-۲-۱- بررسی تاثیر مقاومت فشاری بتن بر ظرفیت اتصال ۸۴
۵-۲-۲- بررسی تاثیر عدم وجود آرماتور فشاری در اتصال ۸۹
۵-۲-۳- بررسی تاثیر مقدار آرماتور بر ظرفیت اتصال ۹۳

۵-۳- مقاوم سازی اتصالات دال ستون با استفاده از صفحات FRP ۹۷
۵-۳-۱- مقدمه ۹۷
۵-۳-۲- الگوهای پوشش شطرنجی ۹۷
۵-۳-۲-۱- بررسی الگوهای مختلف مقاوم سازی ۹۷
۵-۳-۲-۲- بررسی تاثیر جنس صفحات بر ظرفیت اتصال ۱۰۴
۵-۳-۲-۳- بررسی تاثیر تعداد لایه های صفحات FRP بر ظرفیت اتصال ۱۰۷
۵-۳-۳- الگوهای پوشش مستطیلی ۱۰۸
۵-۳-۳-۱- الگوی پوشش مستطیلی با صفحات CFRP ۱۰۸
۵-۳-۳-۲- الگوی پوشش مستطیلی با صفحات فولادی ۱۱۲
۵-۳-۳-۲-۱- بررسی تاثیر ضخامت صفحات فولادی ۱۱۴
۵-۳-۳-۳- مقایسه بین مقاوم سازی بوسیله صفحات CFRP و فولادی ۱۱۶

۵-۴- مقاوم سازی اتصالات دال ستون با استفاده از الیاف مسلح پلیمری قائم ۱۱۷
۵-۴-۱- مقدمه ۱۱۷
۵-۴-۲- نتایج حاصل از تحلیل ۱۲۰
۵-۴-۲-۱- بررسی تاثیر الگوی مقاوم سازی ۱۲۰
۵-۴-۲-۲- بررسی تاثیر جنس الیاف بر ظرفیت اتصال ۱۲۵
۵-۴-۲-۳- بررسی تاثیر تعداد حفرات ۱۲۹

فصل ششم : خلاصه و نتیجه گیری ۱۳۴

۶-۱- مطالعات پارامتریک روی اتصالات دال ستون ۱۳۵
۶-۲- مقاوم ساز ی اتصالات دال ستون با استفاده از صفحات FRP ۱۳۵
۶-۳- مقاوم سازی اتصالات دال ستون با استفاده از FRP های قائم ۱۳۶
۶-۴- نتیجه گیری بخش ۱ ..... ۱۳۶
۶-۵- نتیجه گیری بخش ۲ ..... ۱۳۷
۶-۶- نتیجه گیری بخش ۳ ..... ۱۳۸
۶-۷- پیشنهادات ۱۳۹

مراجع ۱۴۰

فهرست اشکال و نمودارها

عنوان **صفحه**

شکل ۱-۱: دال تخت ۳

شکل ۱-۲: نمای عبور میلگردها از داخل ستون ۴

شکل ۱-۳: دال تخت با پهنه و سرستون ۵

شکل ۱-۴: دال مشبک ۶

شکل ۱-۵: دال دوطرفه با تیر ۶

شکل ۱-۶: مناطق مستعد شکست پانچ ۷

شکل ۱-۷: تاثیر نسبت طول به عرض ستون مستطیلی ۱۰

شکل ۱-۸: افزایش ضخامت دال به منظور مقابله با برش پانچ ۱۱

شکل ۱-۹: افزایش مقاومت در برابر برش پانچ با استفاده از پهنه و سرستون ۱۲

شکل ۱-۱۰: خاموت فلزی ۱۳

شکل ۱-۱۱: کلاهک برشی ۱۴

شکل ۱-۱۲: گلمیخ ۱۵

شکل ۱-۱۳: آرماتورهای خم شده در مقطع دال ۱۶

شکل ۱-۱۴: نوارهای برشی و نحوه قرارگیری آنها در دال بتنی ۱۶

شکل ۱-۱۵: مکانیزم ترک خوردگی ایده آل شده اتصال ۱۸

شکل ۱-۱۶: منحنی های پاسخ برای گسیختگی خمشی و برش پانچ ۲۰

شکل ۱-۱۷: مخروط برش پانچ با زوایای تمایل ۳۰، ۴۵ و ۶۰ درجه ۲۱

شکل ۱-۱۸: مدل مهندسی برای برش پانچ ۲۲

شکل ۱-۱۹: معرفی شماتیک ترک خوردگی ۲۶

شکل ۱-۲۰: توزیع تنش و کرنش در بتن ۲۸

شکل ۱-۲۱: نمودار تاثیر مقدار آرماتور بر رفتار اتصال دال ستون ۲۹

شکل ۱-۲۲: تاثیر وجود آرماتور فشاری در نگهداری مقطع هنگام وقوع برش پانچ ۳۰

شکل ۲-۱: جزئیات قرارگیری رکابی های CFRP در تحقیقات بینیسی و بایراک ۴۱
شکل ۲-۲: نحوه مقاوم سازی و دستگاه آزمایش سیاکیس و شیخ ۴۲
شکل ۲-۳: نحوه مقاوم سازی اتصال در آزمایش استارک و همکاران ۴۲
شکل ۳-۱: الیاف کربن و شیشه ۴۶
شکل ۳-۲: الیاف آرامید و الیاف هیبرید شیشه و آرامید ۴۶
شکل ۳-۳: کاربردهای FRP در مقاوم سازی ۴۷
شکل ۴-۱: نمودار تنش کرنش کششی و فشاری بتن ۵۹
شکل ۴-۲: نمودار تنش کرنش کششی بتن و کرنش های پلاستیک و غیرالاستیک ۶۱
شکل ۴-۳: منحنی تنش کششی- تغییرمکان بتن ۶۲
شکل ۴-۴: منحنی تنش کششی – تغییرمکان ۶۲
شکل ۴-۵: منحنی تنش کرنش فشاری بتن و کرنش های پلاستیک و غیرالاستیک ۶۴
شکل ۴-۶: سیستم بارگذاری و ابعاد دال ۶۶
شکل ۴-۷: منحنی بار تغییرمکان ۶۷
شکل ۴-۸: بررسی تاثیر زاویه اتساع بر منحنی بار تغییرمکان ۶۸
شکل ۴-۹: تابع جریان پلاستیک هذلولوی ۶۹
شکل ۴-۱۰: سطح تسلیم در صفحه تنش ۷۰
شکل ۴-۱۱: سطح تسلیم در صفحه تنش انحرافی، سطح تسلیم در صفحه سه بعدی ۷۰
شکل ۴-۱۲: توابع سخت شدگی کششی متفاوت ۷۲
شکل ۴-۱۳: منحنی بار تغییرمکان نشان دهنده مفهوم سخت شدگی کششی عضو بتن مسلح ۷۳
شکل ۴-۱۴: سهم پذیری ناحیه اندرکنشی از تنش ۷۴
شکل ۴-۱۵: منحنی شماتیک تنش – کرنش کششی بتن ۷۵
شکل ۴-۱۶: ترکیب سهم تنش ناحیه اندرکنشی و بتن برای اندازه المان های مختلف $\varepsilon cu < \varepsilon u$ ۷۶
شکل ۴-۱۷: ترکیب سهم تنش ناحیه اندرکنشی و بتن برای اندازه المان های مختلف $\varepsilon cu > \varepsilon u$ ۷۶
شکل ۴-۱۸: تحلیل مش ۷۷
شکل ۴-۱۹: برگشت قسمت نرم‌شوندگی نمودار تنش کرنش بتن درحالیکه اندازه المان‌ها بزرگ باشد ۷۸
شکل ۴-۲۰: منحنی تنش کرنش پلاستیک بتن با فرض قسمت نرم شوندگی خطی ۷۸

شکل ۴-۲۱: ترکیب سهم تنش ناحیه اندرکنشی و بتن برای مساحت های مختلف آرماتور ۷۹
شکل ۴-۲۲: پاسخ بار تغییرمکان نمونه های تحلیلی و آزمایشگاهی ۸۲
شکل ۴-۲۳: نحوه شکست دال بتنی آزمایشگاهی و تحلیلی ۸۲
شکل ۵-۱: کانتور تنش در میلگردهای کششی دال در نمونه با مقاومت ۴۰ مگاپاسکال ۸۵
شکل ۵-۲: نمودار بار تغییرمکان نمونه ها.....۸۵
شکل ۵-۳: نمودار تاثیر مقاومت فشاری بتن بر شکل پذیری و انرژی جذب شده ۸۷
شکل ۵-۴: نمودار تاثیر مقاومت فشاری بتن بر ظرفیت بار و تغییرمکان اتصال ۸۸
شکل ۵-۵: نمودار بار تغییرمکان نمونه کنترلی و نمونه بدون آرماتور فشاری.....۸۹
شکل ۵-۶: کانتور کاهش سختی در نمونه بدون آرماتور فشاری ۹۰
شکل ۵-۷: کانتور کاهش سختی در نمونه کنترلی (با آرماتور فشاری) ۹۱
شکل ۵-۸: کانتور تنش های S11 برای حالت بدون آرماتور فشاری و نمونه کنترلی با آرماتور فشاری.....۹۲
شکل ۵-۹: نمودار تغییرمکان نمونه ها با نسبت آرماتورهای متفاوت ۹۳ .....۹۳
شکل ۵-۱۰: کانتور تنش S11 میلگردهای کششی دال با نسبت آرماتور ۰/۴۱٪.....۹۴
شکل ۵-۱۱: نمودار تاثیر نسبت آرماتور اتصال بر بار و تغییرمکان نهایی ۹۵
شکل ۵-۱۲: نمودار تاثیر نسبت آرماتور بر شکل پذیری و انرژی جذب شده اتصال ۹۶
شکل ۵-۱۳: نمودار تاثیر مقدار آرماتور بر رفتار اتصال دال ستون ۹۷
شکل ۵-۱۴: مدل های HMC1-7، HMC1-5 و HMC1-3.....۹۸
شکل ۵-۱۵: نمونه OMC1-3 .....۹۸
شکل ۵-۱۶: نمودار بار تغییرمکان نمونه های مقاوم سازی شده با الگو و تعداد نوارهای متفاوت CFRP ۹۹
شکل ۵-۱۷: نمودار تاثیر مساحت FRP ها و الگوی مقاوم سازی بر ظرفیت نهایی اتصال.....۱۰۱
شکل ۵-۱۸:نمودار تاثیر تعداد نوارها و الگوی مقاوم‌سازی بر مقاومت‌نهایی،تغییرمکان،انرژی‌جذب‌شده و شکل‌پذیری ..۱۰۳
شکل ۵-۱۹: کانتور تنش S11 در نوارهای FRP ۱۰۴
شکل ۵-۲۰: نمودار بار تغییرمکان نمونه HMC1-7 با قید Tie و مدل نمودن چسب اپوکسی ۱۰۴
شکل ۵-۲۱: نمودار بار تغییرمکان دال بتنی مقاوم سازی شده با انواع FRP ۱۰۵
شکل ۵-۲۲: نمودار ستونی مقادیر مقاومت و تغییرمکان نهایی نمونه ها ۱۰۶
شکل ۵-۲۳: نمودار بار تغییرمکان دال بتنی مقاوم سازی شده با تعداد لایه های مختلف CFRP ۱۰۷

شکل ۵-۲۴: نمودار بار تغییرمکان نمونه های مقاوم سازی شده با الگوی مستطیلی..... ۱۰۹
شکل ۵-۲۵: نمودار تاثیر مساحت CFRP بر بار و تغییرمکان نهایی دال ۱۱۰
شکل ۵-۲۶: نمودار تاثیر مساحت صفحات CFRP بر شکل پذیری و انرژی جذب شده..... ۱۱۱
شکل ۵-۲۷: کانتور کاهش سختی و نحوه ترک خوردن مقطع و تنش S11 در میلگردهای کششی..... ۱۱۱
شکل ۵-۲۸: نمودار بار تغییرمکان دال های بتنی مقاوم سازی شده با صفحات مربعی فولادی ۱۱۲
شکل ۵-۲۹: نمودار تاثیر مساحت مقاوم کننده بر مقاومت و تغییرمکان نهایی دال..... ۱۱۳
شکل ۵-۳۰: نمودار تاثیر مساحت صفحات مقاوم کننده بر شکل پذیری و انرژی جذب شده ۱۱۴
شکل ۵-۳۱: نمودار تاثیر ضخامت بر مقاومت، تغییرمکان، شکل پذیری و انرژی جذب شده ۱۱۵
شکل ۵-۳۲:مقایسه عملکرد صفحات فولادی و CFRP در مقاومت،تغییرمکان،انرژی جذب شده و شکل پذیری ۱۱۷
شکل ۵-۳۳: مقاوم سازی اتصالات دال ستون با استفاده از الیاف FRP قائم ۱۱۸
شکل ۵-۳۴: مراحل مقاوم سازی با استفاده از الیاف قائم و ورقه های CFRP ۱۱۹
شکل ۵-۳۵: الگوهای مختلف مقاوم سازی بوسیله CFRP های قائم..... ۱۲۰
شکل ۵-۳۶: نمودار بار تغییرمکان دال های مقاوم سازی شده با الگوهای مختلف FRP قائم..... ۱۲۱
شکل ۵-۳۷: کانتور تنش S11 در میلگردهای کششی دال در نمونه کنترلی و نمونه D-FRP ۱۲۲
شکل ۵-۳۸: نمودار ستونی مقاومت نهایی نمونه های مقاوم سازی شده ۱۲۲
شکل ۵-۳۹: نمودار ستونی و تغییرمکان نهایی نمونه های مقاوم سازی شده..... ۱۲۳
شکل ۵-۴۰: نمودار ستونی انرژی جذب شده نمونه های مقاوم سازی شده..... ۱۲۴
شکل ۵-۴۱: نمودار ستونی شکل پذیری نمونه های مقاوم سازی شده ۱۲۴
شکل ۵-۴۲: نمودار بار تغییرمکان دال‌های تقویت شده با الیاف پلیمری قائم و جنس‌های مختلف FRP و فولاد ۱۲۶
شکل ۵-۴۳: نمودار ستونی مقاومت نهایی نمونه های مقاوم سازی شده ۱۲۷
شکل ۵-۴۴: نمودار ستونی تغییرمکان نهایی نمونه های مقاوم سازی شده ۱۲۷
شکل ۵-۴۵: نمودار ستونی انرژی جذب شده نونه های مقاوم سازی شده ۱۲۸
شکل ۵-۴۶: نمودار ستونی شکل پذیری نمونه های مقاوم سازی شده ۱۲۸
شکل ۵-۴۷: نمودار بار تغییرمکان دال بتنی مقاوم سازی شده با تعداد حفرات مختلف..... ۱۲۹
شکل ۵-۴۸: نمودار تاثیر تعداد حفرات بر مقاومت نهایی ۱۳۰
شکل ۵-۴۹: نمودار تاثیر تعداد حفرات بر تغییرمکان نهایی ۱۳۱

شکل ۵-۵۰: نمودار تاثیر تعداد حفرات بر شکل پذیری ۱۳۲
شکل ۵-۵۱: نمودار تاثیر تعداد حفرات بر انرژی جذب شده ۱۳۲
شکل ۵-۵۲: محیط بحرانی برش برای دال با بولت فلزی بعنوان آرماتور برشی ۱۳۳

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول ۳-۱: مقایسه بین ویژگی های انواع FRP ها ۴۸

جدول ۳-۲: نمونه ای از کاربردهای FRP ۵۴

جدول ۴-۱: مشخصات مصالح ۶۵

جدول ۴-۲: انرژی شکست برای انواع مختلف بتن و اندازه سنگدانه ۷۲

جدول ۵-۱: بار و تغییرمکان ترک خوردگی و نهایی نمونه ها ۸۵

جدول ۵-۲: مقادیر شکل‌پذیری اتصال و درصدتغییرنسبت به نمونه‌کنترلی به همراه انرژی جذب شده ۸۵

جدول ۵-۳: بار و تغییرمکان ترک خوردگی و نهایی نمونه ها به همراه درصد تغییرات هریک ۸۹

جدول ۵-۴: مقادیر شکل‌پذیری اتصال و درصدتغییرنسبت به نمونه کنترلی به همراه انرژی جذب شده ۹۲

جدول ۵-۵: بار و تغییرمکان ترک خوردگی و نهایی نمونه ها به همراه درصد تغییرات هریک ۹۴

جدول ۵-۶: مقادیر شکل‌پذیری اتصال و درصدتغییرنسبت به نمونه کنترلی به همراه انرژی جذب شده ۹۵

جدول ۵-۷: خصوصیات مکانیکی CFRP ۹۹

جدول ۵-۸: بار و تغییرمکان ترک خوردگی و نهایی نمونه ها به همراه درصد تغییرات هریک ۱۰۰

جدول ۵-۹: مقادیرشکل‌پذیری اتصال و درصدتغییرنسبت به نمونه کنترلی به همراه انرژی جذب شده ۱۰۱

جدول ۵-۱۰: مشخصات الیاف FRP مورد استفاده جهت مقاوم سازی در ABAQUS ۱۰۵

جدول ۵-۱۱: بار و تغییرمکان ترک خوردگی و نهایی نمونه ها به همراه درصد تغییرات هریک ۱۰۶

جدول ۵-۱۲: بار و تغییرمکان ترک خوردگی و نهایی نمونه ها به همراه درصد تغییرات هریک ۱۰۷

جدول ۵-۱۳: خصوصیات مکانیکی صفحات CFRP و فولادی ۱۰۸

جدول ۵-۱۴: بار و تغییرمکان ترک خوردگی و نهایی نمونه ها به همراه درصد تغییرات هریک ۱۰۹

جدول ۵-۱۵: مقادیر شکل‌پذیری اتصال ودرصدتغییرنسبت به نمونه کنترلی به همراه انرژی‌جذب‌شده ۱۱۰

جدول ۵-۱۶: بار و تغییرمکان ترک خوردگی و نهایی نمونه ها به همراه درصد تغییرات هریک ۱۱۲

جدول ۵-۱۷: مقادیر شکل‌پذیری اتصال ودرصدتغییرنسبت به نمونه کنترلی به همراه انرژی‌جذب‌شده ۱۱۳

جدول ۵-۱۸: بار و تغییرمکان نهایی نمونه ها به همراه درصد تغییرات هریک ۱۲۱

جدول ۵-۱۹: مقادیر شکل‌پذیری اتصال ودرصدتغییرنسبت به نمونه کنترلی به همراه انرژی‌جذب‌شده ۱۲۳

جدول ۵-۲۰: خصوصیات مکانیکی الیاف پلیمری و فولاد ۱۲۵
جدول ۵-۲۱: بار و تغییرمکان نهایی نمونه ها به همراه درصد تغییرات هریک ۱۲۶
جدول ۵-۲۲: مقادیر شکل‌پذیری اتصال‌ودرصدتغییرنسبت به نمونه کنترلی به همراه انرژی‌جذب‌شده ۱۲۸
جدول ۵-۲۳: بار و تغییرمکان نهایی نمونه‌ها به همراه درصد تغییرات هریک و فاصله عناصر مقاوم‌کننده از مرکز دال ۱۳۰
جدول ۵-۲۴: مقادیر شکل‌پذیری اتصال ودرصدتغییرنسبت به نمونه کنترلی به همراه انرژی‌جذب‌شده ۱۳۱

فصل اول

مقدمه

۱-۱- مقدمه

دال به یک عضو سازه‌ای با ضخامت کم اطلاق می‌شود، که بارهای وارد بر آن با عملکرد خمشی به تکیه‌گاه‌ها منتقل می‌گردد. دال‌های بتن آرمه عناصر سازه‌ای بسیار مطلوبی برای پوشش کف یا بام محسوب می‌شوند؛ به طوری‌که از ساختمان‌های مسکونی، تجاری، اداری و پارکینگ گرفته تا عرشه‌ی پل‌ها و ساختمان‌های خاص، از دال‌های بتن آرمه به طور وسیع برای پوشش کف استفاده می‌شود.

دال‌ها ممکن است به صورت دال یک طرفه و یا دال دوطرفه وجود داشته باشند. دال یک طرفه از نظر سازه‌ای مشابه یک تیر عریض است که با عملکرد در یک جهت و با تحمل لنگرهای خمشی، بار را به تکیه‌گاه‌های دو طرف خود منتقل می‌کند. در مقابل در یک دال دوطرفه، با عملکرد دال در دو جهت متعامد و با تشکیل لنگرهای خمشی قابل مقایسه در دو جهت، بارهای عمود بر دال به تکیه‌گاه‌ها منتقل می‌شوند. بدین ترتیب در یک دال یک طرفه، میلگردهای خمشی اصلی فقط در یک جهت قرار گرفته و در جهت عمود بر آن، از یک حداقل میلگرد افت و حرارت استفاده می‌شود؛ درحالیکه در یک دال دوطرفه، میلگردهای خمشی اصلی در هر دو جهت متعامد قرار می‌گیرند.

عملکرد یک طرفه یا دوطرفه‌ی دال بتنی به وضعیت تکیه‌گاه‌ها و نسبت ابعاد دال در دو طرف بستگی دارد. اگر تکیه‌گاه‌ها فقط در یک راستا قرار گرفته باشند، و یا سختی تکیه‌گاه‌ها در یک راستا نسبت به سختی تکیه‌گاه‌ها در راستای متعامد به طور قابل ملاحظه بیشتر باشد، دال عملکرد یک طرفه خواهد داشت. در یک دال بتن آرمه که هر دو راستای متعامد، تکیه‌گاه‌هایی با سختی قابل مقایسه داشته باشند، اگر نسبت دهانه‌ها حداکثر ۲ باشد، عملکرد دال به صورت دوطرفه؛ و اگر نسبت دهانه‌ها بیش از ۲ باشد، عملکرد آن تا حد زیادی به صورت یک طرفه خواهد بود [۱].

۱-۲- انواع دال دوطرفه

دال‌های دوطرفه بسته به طول دهانه و شدت بارهای وارده، در انواع مختلفی طراحی و ساخته می‌شوند که هر مورد دارای مزایای ویژه‌ای است.