

بررسی برش پانچ و تاثیر ابعاد و مقاطع سر ستون بر عملکرد دال های تخت پیش تنیده

محمدرضا ممتازیان^۱، لیلا شهریاری^۲

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه عمران، پردیس علوم و تحقیقات فارس، دانشگاه آزاد اسلامی، فارس، ایران
گروه عمران واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران

^۲ استادیار گروه عمران، پردیس علوم و تحقیقات فارس، دانشگاه آزاد اسلامی، فارس، ایران
گروه عمران واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران

نام و نشانی ایمیل نویسنده مسئول:

محمدرضا ممتازیان

M_R_Motazian@yahoo.com

چکیده

اخیراً به لحاظ منافع اقتصادی استفاده از سازه های پیش تنیده بویژه در دهانه های بزرگ بطور گسترده ای افزایش یافته است. همچنین رفتار دالهای مسلح درمحل اتصال به ستون های بتنی بدلیل ایجاد شکست برشی (پانچ) یکی از مهمترین دغدغه های مهندسين در طراحی این اعضا می باشد. ازطرفی به علت وجود تنش های برشی و خمشی زیاد درمحل اتصال دال های تخت به ستون بتنی، عامل ضعف این نوع سازه ها بشمار می آید. همچنین با عنایت به خطر شکست ترد پانچ در اتصالات دال ستون این نوع سیستم ها مستعد خرابی پیش رونده می باشد. این نوع اتصالات با اندرکنش دو نوع شکست (خمشی و برشی) همراه بوده به نحوی که داده های آزمایشگاهی محدودی درارتباط با رفتار غیر انعطاف پذیردال به ستون تحت شرایط بارگذاری مختلف وجود دارد و نهایتاً، ابزار محاسباتی ساده و درعین حال دقیق برای مدلسازی رفتار غیرخطی اتصال دال به ستون در دسترس نمی باشد. لذا در این تحقیق به کمک روش اجزا محدود سعی گردیده است تاثیر پارامترهای مهم در برش پانچ کننده از قبیل ابعاد دال، ضخامت دال، تاثیر ابعاد سرستون (پهنه)، مقاومت مشخصه فولاد (F_y)، مقاومت مشخصه بتن (f_c)، واسنجی گردد، تا به استناد نتایج عددی شبیه سازی های عددی تاثیر عوامل و پارامترهای قید شده را مورد بررسی و ارزیابی قرارداده، بنحوی که با بیان اثرات عوامل بصورت درصدی میزان تاثیر پارامترها را شناخت و راهکارهای مناسبی جهت افزایش مقاومت و ظرفیت باربری دال ارائه شود.

واژگان کلیدی: دال های پیش تنیده، برش پانچ، اتصال دال ستون، شکست خمشی و برشی

مقدمه

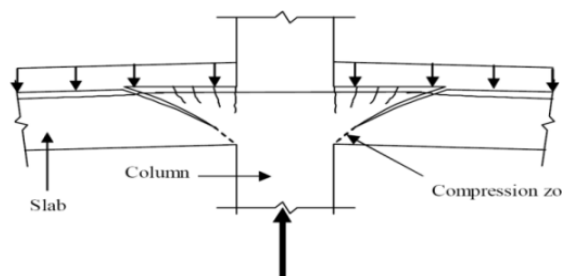
ایده پیش تنیده کردن سازه ها از سال ها پیش وبه روش های مختلف مورد استفاده قرار گرفته است. همیشه ایده وارد کردن یک نیروی فشاری به سازه جهت حذف تنش کششی و یا حداقل محدود کردن آن مد نظر بوده است. روش پیش تنیده کردن بتن معمولاً با کشیدن میلگرد داخل آن و بتن ریزی روی میلگرد تحت کشش انجام می شد. پس از گیرش اولیه بتن و رها کردن میلگرد، نیروی وارده از میلگرد به عضو بتنی سبب پیش تنیده شدن آن می گردید. اما پس از گذشت یک مدت زمان، نیروی پیش تنیدگی از بین می رفت و عضو پیش تنیده تبدیل به یک عضو بتن آرمه معمولی می گردید. سعی های اولیه برای پیش تنیده کردن بتن تقریباً همگی به دو دلیل ناموفق بودند. دلیل اول نادیده گرفتن اثرات اتلاف تنش ها خصوصاً ناشی از جمع شدگی و خزش بتن و دلیل دوم، استفاده از فولاد معمولی و عدم امکان اعمال مقدار زیادی نیروی پیش تنیدگی، اثرات انقباضی ناشی از جمع شدگی و خزش بتن پس از مدت زمان کوتاهی سبب از بین رفتن کل نیروی پیش تنیدگی اولیه می شدند.

تکنولوژی سازه های خاصی که دال های پیش تنیده را ایجاد می کند، زمان ساخت سازه را تا حد زیادی کاهش می دهد، لذا ساخت دال پیش تنیده روشی بسیار اقتصادی می باشد.

چنانچه فولاد با مقاومت بالا در یک سازه بتن آرمه معمولی استفاده شود، در آن صورت لازم است کرنش یا تغییر شکل زیادی در عضو ایجاد گردد، تا امکان استفاده از مقاومت بالای فولاد فراهم آید. کرنش و تغییر شکل های زیاد در عضو بتن آرمه به مفهوم ترک خوردگی بیشتر است. یکی از مشکلات در استفاده کردن از دال های پیش تنیده برش پانچ در اطراف ستون می باشد، که راهکار های موثری در کاهش این اثر می باشد، که در ادامه به بررسی آن ها می پردازیم.

۱- بررسی مکانیزم خرابی برش پانچ

مکانیزم انتقال بار از دال به ستون با پیچیدگی هایی همراه است. در این نوع اتصالات، با اندرکنش دو نوع متفاوت از شکست مواجه هستیم: شکست خمشی و شکست برشی. شکست خمشی شکستی نرم است، که با تسلیم شدن آرماتورهای دال در محل اتصال و تغییر شکل های زیاد همراه است. این نوع شکست به لحاظ ماهیت رفتاری خود، شکستی مطلوب به حساب می آید. شکست برشی برخلاف شکست خمشی لزوماً با تسلیم آرماتورها همراه نیست و شکست با زاویه ای در حدود ۴۵ درجه که در شکل ۱ نشان داده شده است رخ می دهد. به دلیل ماهیت رفتاری ترد بتن، این نوع شکست با تغییر شکل های کم همراه است و به این دلیل شکست مطلوبی نمی باشد. در اطراف ستون نیروی برشی محیطی ایجاد می کند، که این نیرو تمایل دارد یک ترک قطری پیرامونی به شکل یک مخروط ناقص برای ستون دایروی و به شکل یک هرم ناقص برای ستون با مقطع مستطیل ایجاد کند. زاویه تورب ترک در برش پانچ نسبت به افق، بین ۲۵ تا ۴۵ درجه متغیر است که معمولاً برابر با ۴۵ درجه فرض می شود.



شکل ۱: بررسی مکانیزم خرابی پانچ

۲- پارامترهای موثر بر ظرفیت برش پانچ در دال های تخت:

- ۱- مقاومت فشاری بتن: عوامل زیادی بر رفتار و ظرفیت باربری دال ها در پدیده برش پانچ موثر هستند. مهم ترین عاملی که در تعیین نوع شکست عبارت است از:
 - ۱- مقاومت فشاری بتن: از آنجا که مقاومت کششی بتن نیز به نحوی به مقاومت فشاری آن وابسته است و در برش پانچ میزان باربری کششی بتن در صفحه های بسیار مهم است.
 - ۲- نسبت ابعاد بارگذاری به عمق دال: با فرض عمق ثابت در دال ها، با افزایش ابعاد بارگذاری، سطح مؤثر باربری بیشتر شده، لذا ظرفیت باربری اتصال افزایش می یابد.
 - ۳- نسبت ابعاد بارگذاری به یکدیگر: با توجه به نتایج آزمایش های انجام شده در این زمینه، با ثابت نگه داشتن محیط ستون یا بار وارده، هرچه نسبت ابعاد ستون به یکدیگر افزایش یابد، ظرفیت های باربری دال کاهش خواهد یافت.
 - ۴- سنگدانه های بتنی: تاثیر مشخصات بتن بر ظرفیت باربری اتصال، تنها در مقاومت فشاری بتن خلاصه نمی شود. بلکه می توان گفت سنگدانه ها به دلیل نقش مهمی که در پدیده قفل و بست بین دانه ای دارند، مستقیماً بر ظرفیت باربری اتصال تاثیر گذار بوده است.
 - ۵- فواصل بین آرماتورها و پوشش بتن: فواصل کم بین آرماتورها و پوشش کم در بتن، منجر به کاهش چسبندگی آرماتورها به بتن شده و عملکرد میخ پرچی آرماتورها را شدیداً تحت تاثیر قرار می دهد.
 - ۶- آرماتور وجه فشاری: به لحاظ واقع شدن در ناحیه ی فشاری نقش چندانی در ظرفیت باربری اتصال ندارد، ولی در افزایش شکل پذیری اتصال و نیز در رفتار پس از برش پانچ از طریق متصل نگه داشتن دو قسمت جدا شده به یکدیگر، نقش مهمی ایفا می کند.

۳- پیشینه تحقیق

هوست^۱ و همکاران (۲۰۰۷) در مطالعاتی که راجع به ابعاد دال بر روی ستون تحت بارهای گسترده یکنواخت داشتند، به تاثیر ابعاد دال بر بارگذاری پرداخته و دریافتند که افزایش میزان ابعاد دال تا حدی موجب افزایش میزان باربری خواهد شد [۵]. ینشینگ^۲ و همکاران (۲۰۰۸) در آزمایش هایی به بررسی اثر برش پانچ در دال های منحنی شکل پرداختند و اثرات بارگذاری در دال های منحنی را مشخص نمودند [۲]. روچدی^۳ و همکاران (۲۰۱۰) در پژوهش های خود تاثیر برش پانچ را در دال های متصل به ستون بررسی نموده و عوامل موثر در افزایش برش پانچ در این گونه دال ها را مشخص نمودند [۹]. مایا^۴ (۲۰۱۲) به بررسی برش پانچ کننده در دال های مسلح بتنی با فیبرهای فلزی پرداخته و مقدار ظرفیت برشی موجود در این دال ها را در دو حالت اتصال گیردار و مفصلی مورد مطالعه قرار داده و راه های افزایش ظرفیت برشی در دال های مسلح بتنی با فیبرهای فلزی را ارائه نمود [۷]. نگوین و لانگ^۵ (۲۰۱۲) به بررسی برش پانچ در سیکل بارگذاری های پیوسته پرداخته و دریافتند که خستگی ناشی از بارگذاری های پیوسته اثر برش پانچ را تا ۸٫۹٪ افزایش خواهد داد [۸]. ایناسیو^۶ و همکاران (۲۰۱۲) مقاومت دال های صاف را تحت اثر بار در حالت سر ستون گرد مورد ارزیابی قرار دادند، که دریافتند مقایسه با سرستون مربع شکل دارای مقاومت بیشتری می باشد [۶]. گونادی^۷ و همکاران (۲۰۱۳) به بررسی برش در دال ها و نحوه اتصال آن ها پرداخته و تاثیر میزان نیروی برشی در اتصالات صلب و نیمه صلب مربوط به دال ها را مورد بررسی قرار دادند تا ابعاد دال ها را بصورت بهینه کاهش دهند [۳].

1- Hueste

2- Wensheng

3- Rochdi,

4- Maya

5- Nguyen-Minh, Long

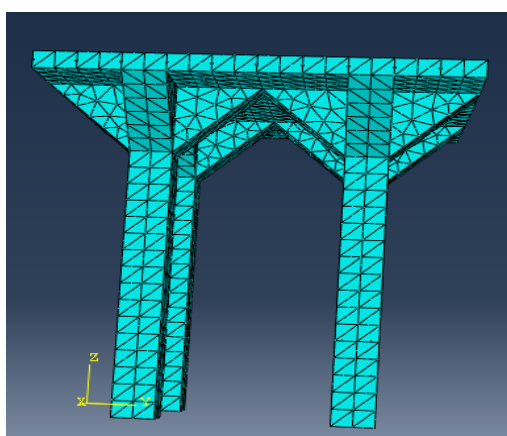
6- Inácio

7- Gunadi

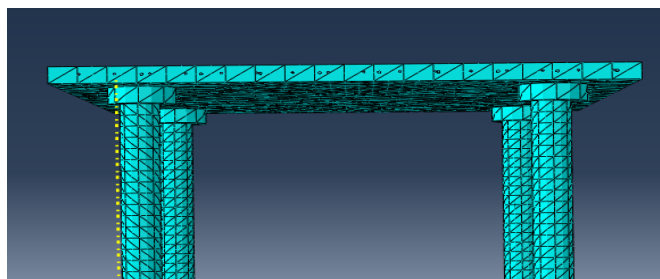
خیرالدین و همکاران (۱۳۸۹) در مطالعه ای که در مورد اتصال دال و ستون در دال های تخت انجام دادند، از الیاف مسلح پلیمری به عنوان ماده ای جدید در ترکیب بتن این گونه اتصالات استفاده نمودند که ظرفیت باربری اتصال را تا ۱/۰۶ برابر افزایش داد [۱].

۴- تعاریف مدل ها

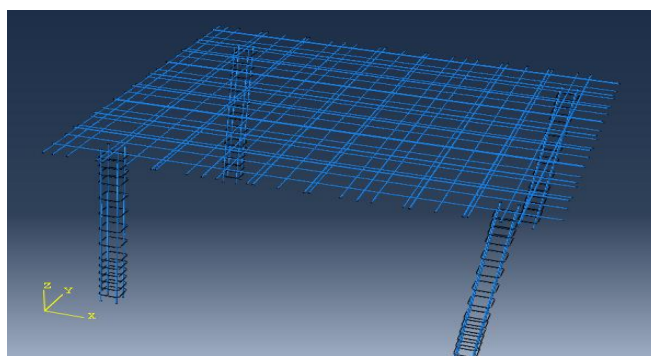
در این پژوهش جهت بررسی موضوع ۳۳ مدل رادر نرم افزار آباکوس مدل سازی ومورد بررسی قرار داده شده است. به این منظور دال های مورد نظر را در را در دهانه های ۳ متر و ۵ متر با توجه به مشخصات مصالح جدول ۱ در مقاطع ستون مربعی شکل ۲ و ستون های دایره ای شکل ۳، مش بندی سقف و ستون شکل ۴ و در نظر گرفتن بارگذاری طبق جدول ۲، به بررسی عواملی که در برش پانچ تاثیر گذار هستند، از جمله: تاثیر ضخامت دال، مقاومت میلگرد، مقاومت بتن، ابعاد سرستون را مورد بررسی قرار داده شده است و سپس نتایج بدست آمده با هم مقایسه کرده و راهکار های موثر جهت کاهش اثر برش پانچ مورد بررسی قرار داده شده است.



شکل ۲: دال با ستون مربعی و سرستون مثلثی



شکل ۳: دال با ستون دایره و سرستون دایره



شکل ۴: مش بندی دال و ستون

مشخصات مصالح مورد استفاده در جدول ۳-۱ آورده شده است.

جدول ۱: مشخصات مصالح

مصالح	مدول ارتجاعی Gpa	ضریب پواسون	مقاومت فشاری MPa	مقاومت تسلیم MPa
بتن ۱	۲۶.۵	۰.۲	۳۰	-
بتن ۲	۲۸.۱۴۰۵	۰.۲	۳۵	-
بتن ۳	۲۹.۵۷۶	۰.۲	۴۰	-
میلگرد ۱	۲۰۰	۰.۳	-	۳۰۰
میلگرد ۲	۲۰۰	۰.۳	-	۴۰۰
میلگرد ۳	۲۰۰	۰.۳	-	۵۰۰
کابل	۱۹۰	۰.۳	-	۱۵۸۰

جدول ۲: مشخصات بار گذاری

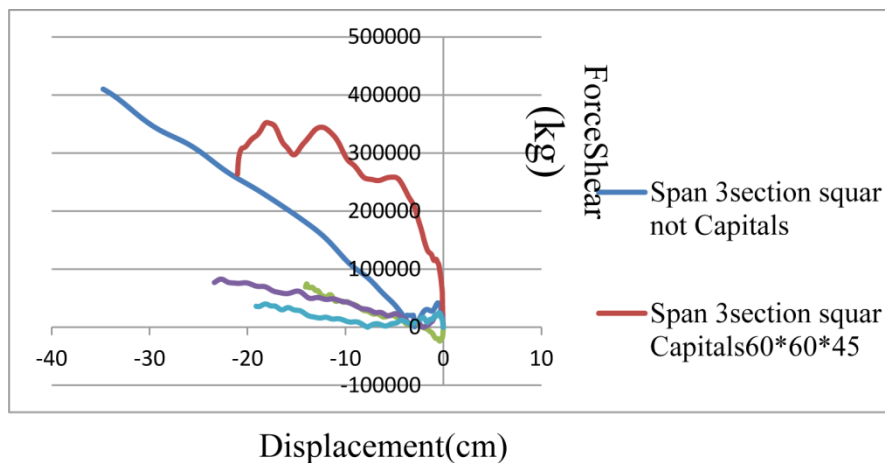
بار دال		ترکیب بار گذاری مورد استفاده	مجموع کل Kg/m ²
بار مرده Kg/m ²	بار زنده Kg/m ²	۱.۴DL+۱.۷LL	۱۱۲۴
۵۶۰	۲۰۰		

۵-تحلیل داده ها

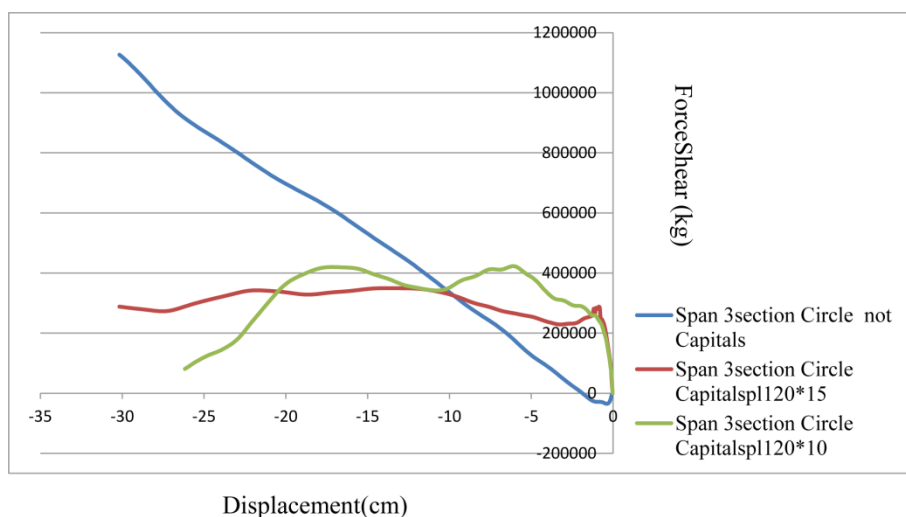
نمودارهای حاصل از تحلیل های انجام شده با توجه به تغییر متغیر های بیان شده بررسی و تحلیل می شود.

۵-۱- نیروی برشی نسبت به تغییر مکان

در این قسمت به بررسی تغییرات نیروی برشی نسبت به تغییر مکان می پردازیم، در ابتدا تاثیر سر ستون را مورد بررسی قرار می دهیم، که نتایج بدین صورت بوده است، هر چه مقدار مساحت صفحه سرستون ها بیشتر باشد، تغییر مکان و نیروی برشی نیز بیشتر کاهش پیدا می کند. در دهانه ۳ متری با توجه به مقطع ستون (دایره ای و مربعی شکل) تغییرات سر ستون را بررسی نموده به نحوی که با توجه به اشکال ۵ و ۶، نتایج بدین صورت است، که با توجه به سر ستون های در نظر گرفته شده نسبت به حالت بدون سر ستون، حداکثر مقدار جابه جایی و نیروی برشی به ترتیب ۵۹،۴۸ درصد، ۹۲،۸۴ درصد کاهش پیدا می کند.

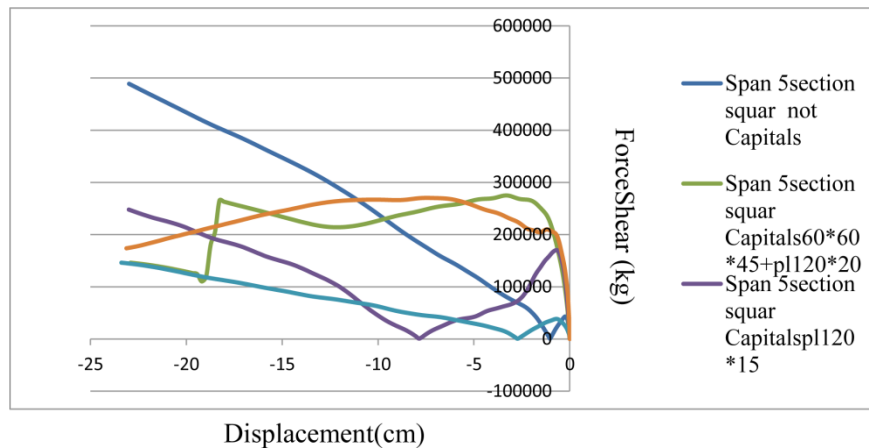


شکل ۵: مقایسه تغییر نیروی برشی نسبت به تغییر مکان با مقطع مربع در دهانه ۳ متری با تغییر سر ستون

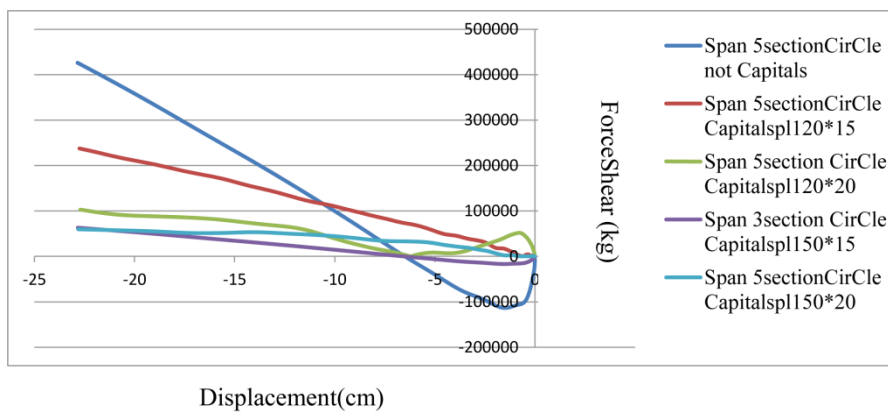


شکل ۶: مقایسه تغییر نیروی برشی نسبت به تغییر مکان با مقطع دایره در دهانه ۳ متری با تغییر سر ستون

در دهانه ۵ متری با تغییر سر ستون در مقاطع با ستون مربعی و دایره ای با توجه به شکل ۷ و ۸ حداکثر کاهش مقدار تغییر مکان و نیروی برشی به ترتیب برابر ۲۲ و ۸۵٫۲۸ درصد، نسبت به حالت بدون سر ستون می باشد.

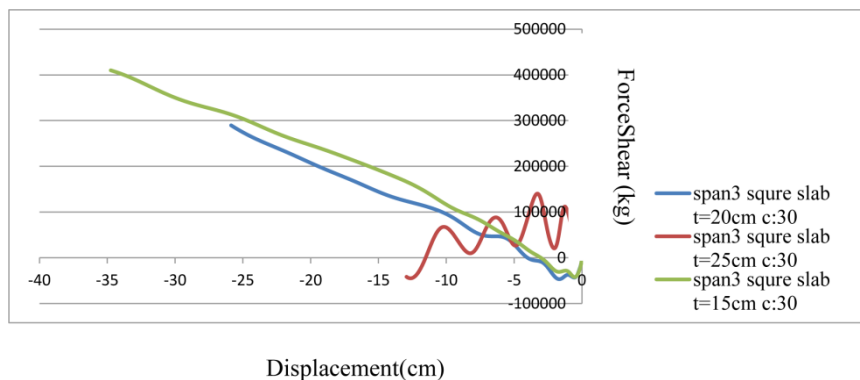


شکل ۷: مقایسه تغییر نیروی برشی نسبت به تغییر مکان با مقطع مربع در دهانه ۵ متری با تغییر سر ستون

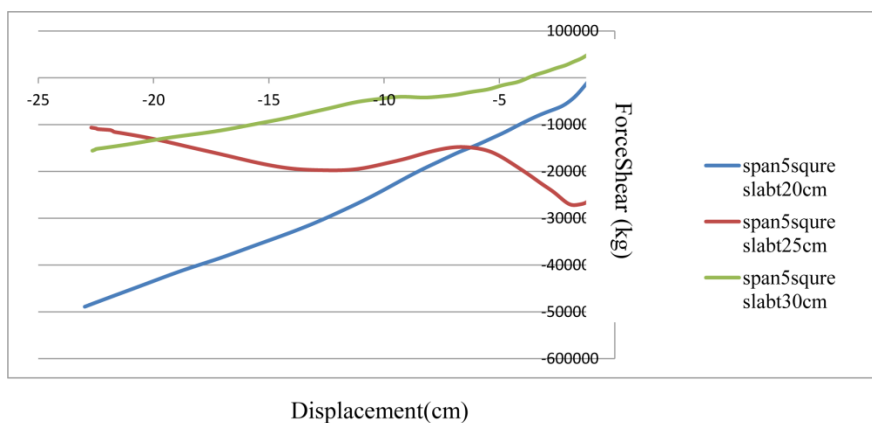


شکل ۸: مقایسه تغییر نیروی برشی نسبت به تغییر مکان با مقطع دایره در دهانه ۵ متری با تغییر سر ستون

در ادامه تغییرات ضخامت دال با پیش بینی مقطع ستون مربعی شکل مورد بررسی قرار گرفته است. شایان ذکر است ضخامت دال با توجه به خروجی طراحی صورت گرفته ۱۵ سانتی متر می باشد که با عنایت به اشکال ۹ و ۱۰ افزایش ضخامت دال در دهانه ۳ متری با توجه به ضخامت طراحی و افزایش آن به ۲۵ سانتی متر مقدار تغییر مکان و نیروی برشی به ترتیب $۶۲/۷۸$ و $۶۴/۹۶$ درصد نسبت به ضخامت ۱۵ سانتی متر کاهش پیدا می کند. ادامه همین روند بررسی و مطالعه بر روی دهانه های ۵ متری با عنایت به نتایج خروجی طراحی در دهانه های فوق (ضخامت ۲۰ سانتی متر و افزایش آن به ۳۰ سانتی متر) میزان تغییر مکان و نیروی برشی را به ترتیب $۳/۲۲$ و $۶۳/۶۲$ درصد نسبت به حالت اولیه طراحی کاهش می دهد.

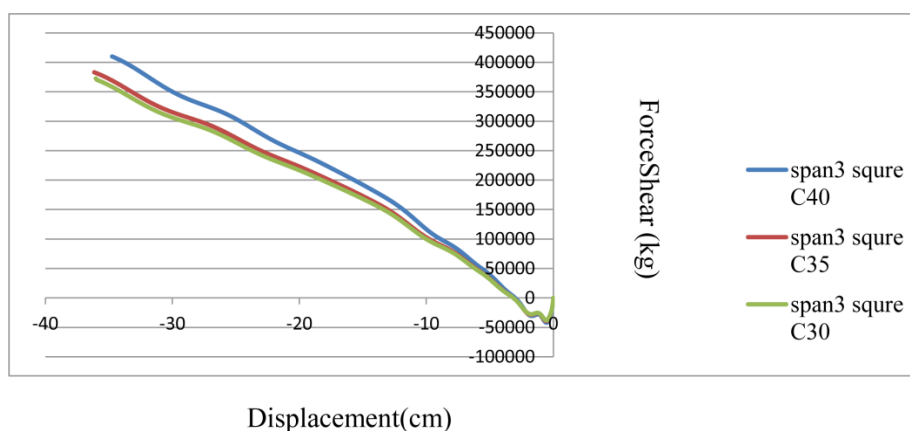


شکل ۹: مقایسه تغییر نیروی برشی نسبت به تغییر مکان با مقطع مربع در دهانه ۳ متری با تغییر ضخامت دال

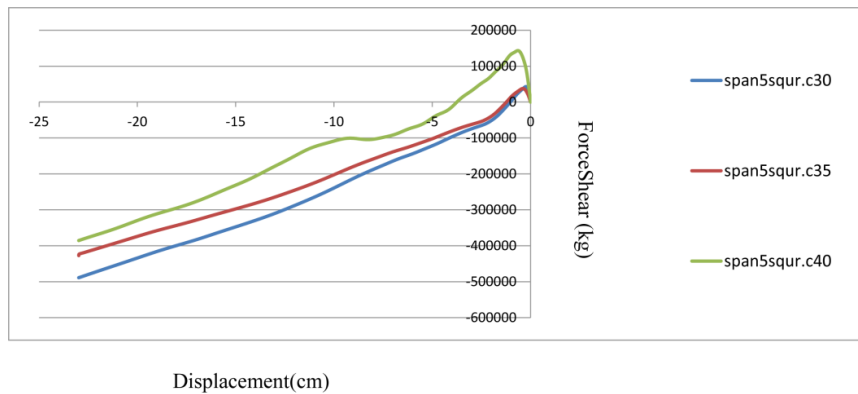


شکل ۱۰: مقایسه تغییر نیروی برشی نسبت به تغییر مکان با مقطع مربع در دهانه ۵ متری با تغییر ضخامت دال

در بررسی مجدد، آیتم مد نظر مقاومت بتن لحاظ گردید بنحوی که نتایج حاصل از اشکال ۱۱ و ۱۲ اذعان دارد با افزایش مقدار مقاومت بتن از ۳۰ مگاپاسکال به ۴۰ مگاپاسکال در دهانه ۳ متری با مقطع ستون مربعی شکل میزان تغییر مکان و نیروی برشی نسبت به حالتی با مقاومت بتن اولیه به ترتیب ۴/۸ و ۹۲/۸۴ درصد و ادامه همین روند جهت دهانه ۵ متری، میزان تغییر مکان و برش را به کمتر از ۱ و ۸۵/۲۸ درصد کاهش می دهد.

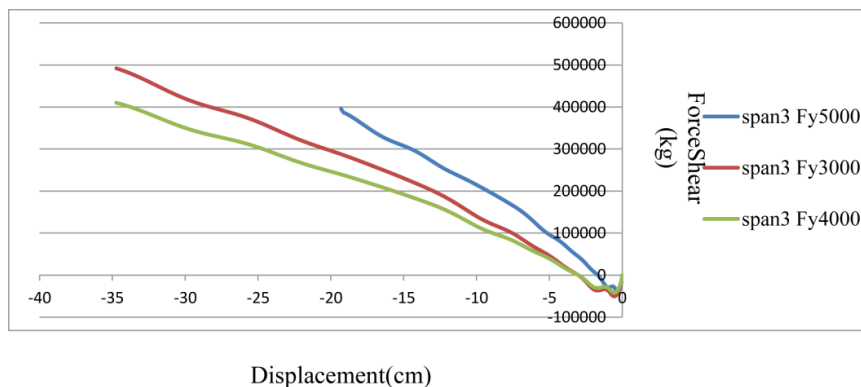


شکل ۱۱: مقایسه تغییر نیروی برشی نسبت به تغییر مکان با مقطع مربع در دهانه ۳ متری با تغییر مقاومت بتن

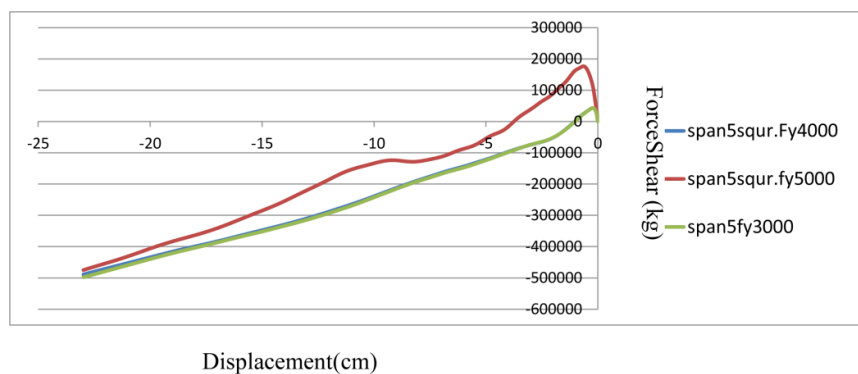


شکل ۱۲: مقایسه تغییر نیروی برشی نسبت به تغییر مکان با مقطع مربع در دهانه ۵ متری با تغییر مقاومت بتن

بررسی متغیر بعدی، تغییرات مقاومت میلگرد می باشد بنحوی که با بقیه به اشکال ۱۳ و ۱۴ و با عنایت به افزایش مقدار مقاومت میلگرد از ۳۰۰۰ کیلوگرم بر سانتی متر به ۵۰۰۰ کیلوگرم به سانتی متر میزان تغییر مکان و نیروی برشی نسبت به حالت اولیه به ترتیب ۴/۴۴ و ۳/۴۵ و ادامه همین روند در دهانه ۵ متری مقدار تغییر مکان و نیروی برشی نسبت به ۳۰۰۰ کیلوگرم بر سانتی متر به ترتیب کم تر از ۱ درصد و ۲٫۱ درصد کاهش پیدا می کند.



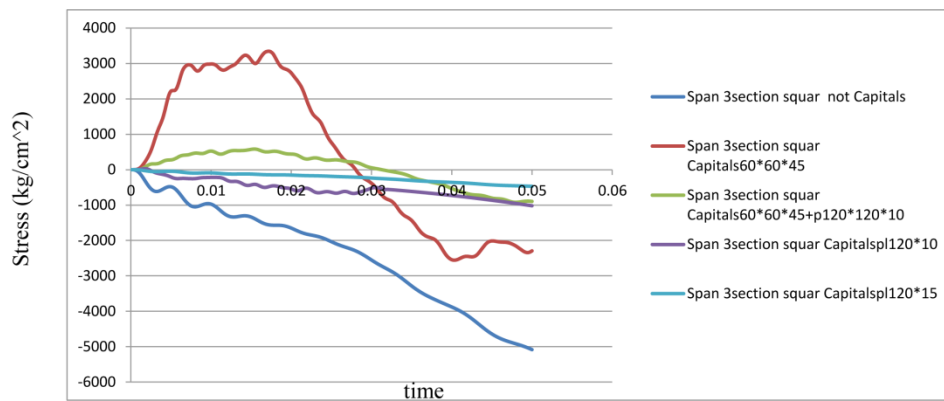
شکل ۱۳: مقایسه تغییر نیروی برشی نسبت به تغییر مکان با مقطع مربع در دهانه ۳ متری با تغییر مقاومت میلگرد



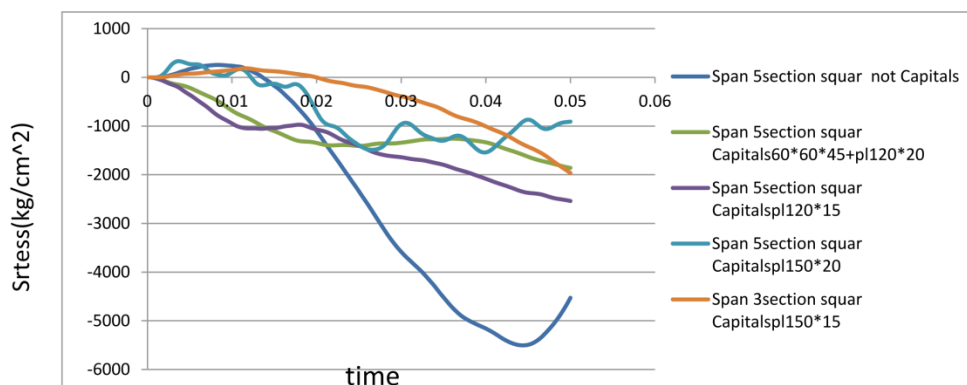
شکل ۱۴: مقایسه تغییر نیروی برشی نسبت به تغییر مکان با مقطع مربع در دهانه ۵ متری با تغییر مقاومت میلگرد

۵-۲- بررسی تغییرات تنش

در این قسمت به بررسی تغییرات تنش و اثرات سر ستون پرداخته بنحوی که به استناد نتایج، میزان تنش کاهش یافته در دهانه ۳ متری با مقطع ستون مربع شکل (شکل ۱۵) حداکثر ۹۱/۶۰ درصد و بررسی همین حالت برای دهانه ۵ متری با در نظر گرفتن سر ستون های مورد نظر (شکل ۱۶) ماکزیمم کاهش مقدار تنش ۸۴/۷۰ نسبت به حالت بدون سر ستون می باشد.

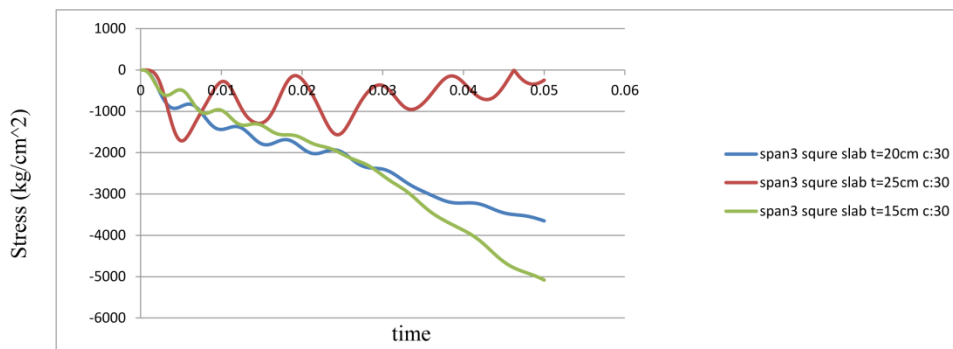


شکل ۱۵: مقایسه تغییر تنش مقطع مربع در دهانه ۳ متری با تغییر سر ستون

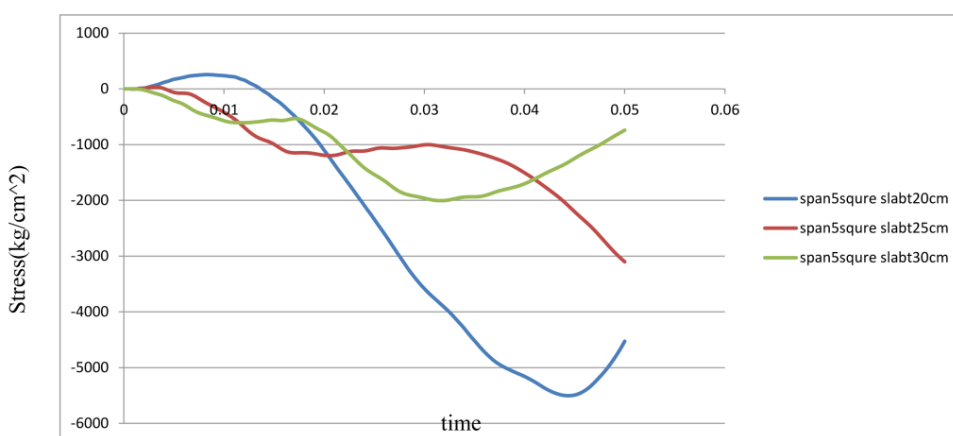


شکل ۱۶: مقایسه تغییر تنش مقطع مربع در دهانه ۵ متری با تغییر سر ستون

مورد بعدی که مورد بررسی قرار گرفته است، متغیر قرار دادن ضخامت دال می باشد، با توجه به افزایش مقدار ضخامت دال در دهانه ۳ متری با توجه به طراحی صورت گرفته، ضخامت ۱۵ سانتی متر و افزایش به ۲۵ سانتی متر مقدار تنش (شکل ۱۷) به میزان ۶۵/۶۸ نسبت به حالت اولیه کاهش داشته و ادامه همین بررسی در دال با دهانه ۵ متری و افزایش ضخامت دال از ۲۰ سانتی متر اولیه (مبنای طراحی اولیه) به ۳۰ سانتی متر باعنایت به شکل ۱۸ میزان ۶۳/۶۵ درصد کاهش داشته است.

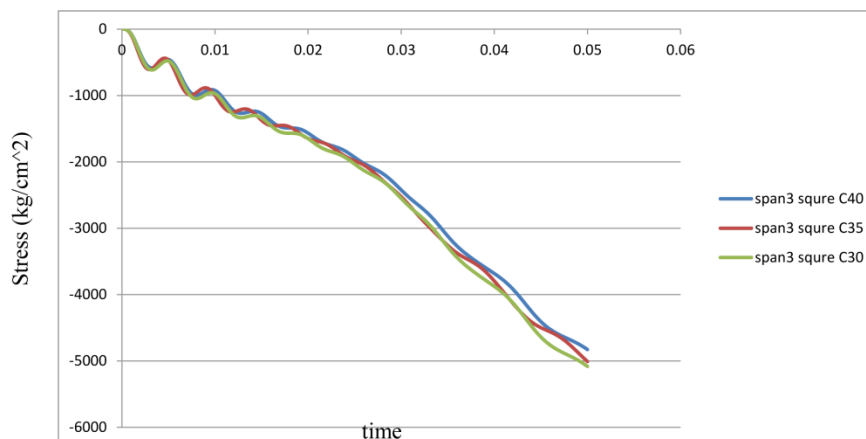


شکل ۱۷: مقایسه تغییر تنش مقطع مربع در دهانه ۳ متری با تغییر ضخامت دال

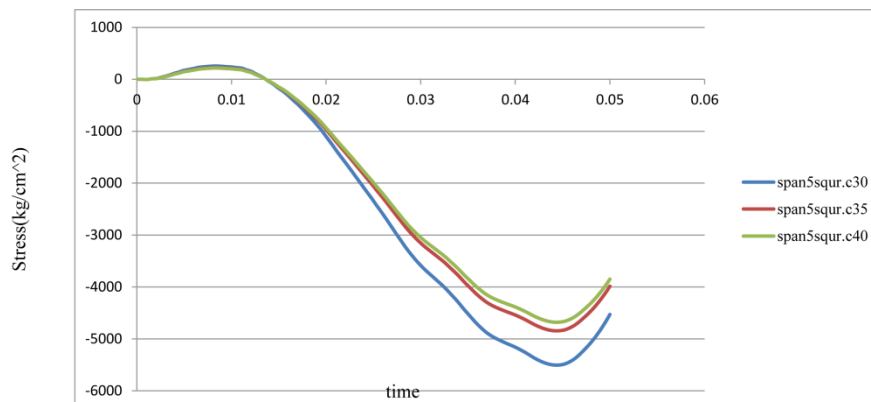


شکل ۱۸: مقایسه تغییر تنش مقطع مربع در دهانه ۵ متری با تغییر ضخامت دال

مقایسه بعدی بررسی تغییرات تنش در دهانه ۳ متری با مقطع مربع با اعمال تغییر مقاومت فشاری بتن می باشد (شکل ۱۹) بنحوی که با افزایش مقاومت بتن از ۳۰ مگا پاسکال به ۴۰ مگا پاسکال تغییرات تنش ناشی از تغییر مقاومت بتن حداکثر ۷/۲۸ درصد می باشد (نسبت به ضخامت ۱۵ سانتی متر) و بررسی همین روند برای دهانه ۵ متری (شکل ۲۰) افزایش مقاومت بتن، میزان تنش را حداکثر ۱۸/۲۳ درصد (نسبت به ضخامت اولیه ۲۰ سانتی متر) کاهش می دهد.

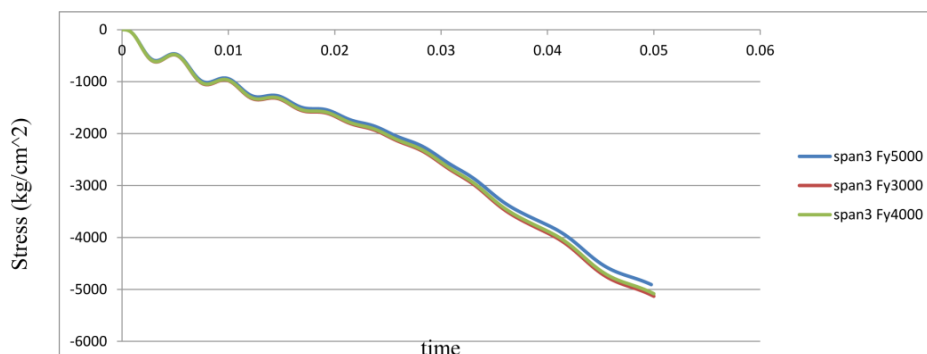


شکل ۱۹: مقایسه تغییر تنش مقطع مربع در دهانه ۳ متری با تغییر مقاومت بتن

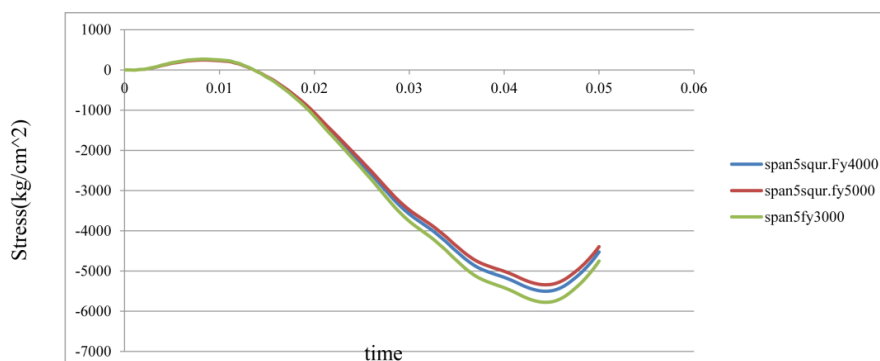


شکل ۲۰: مقایسه تغییر تنش مقطع مربع در دهانه ۵ متری با تغییر مقاومت بتن

در بررسی مجدد، مقایسه تغییر تنش در دال ۳ متری با مقطع مربع شکل با اعمال تغییر در مقاومت میلگرد (شکل ۲۱ و ۲۲) صورت پذیرفت بنحوی که با افزایش مقدار مقاومت میلگرد از ۳۰۰۰ کیلوگرم بر سانتی متر به ۵۰۰۰ کیلوگرم بر سانتی متر مقدار ۲/۳۵ در صد و در بررسی همین روال جهت دهانه ۵ متری کاهش تنش با اعمال تغییرات در مقاومت میلگردها به همان میزان بیان شده (۳۰۰۰ kg/cm) به ۴۰۰۰ kg/cm (۲/۴۴ درصد کاهش یافته است).



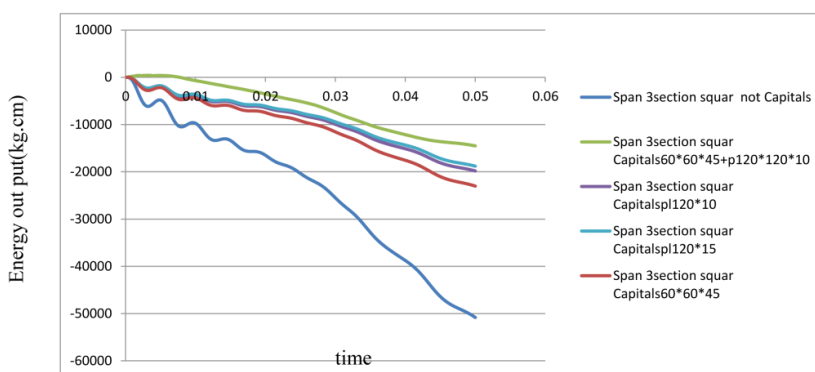
شکل ۲۱: مقایسه تغییر تنش مقطع مربع در دهانه ۳ متری با تغییر مقاومت میلگرد



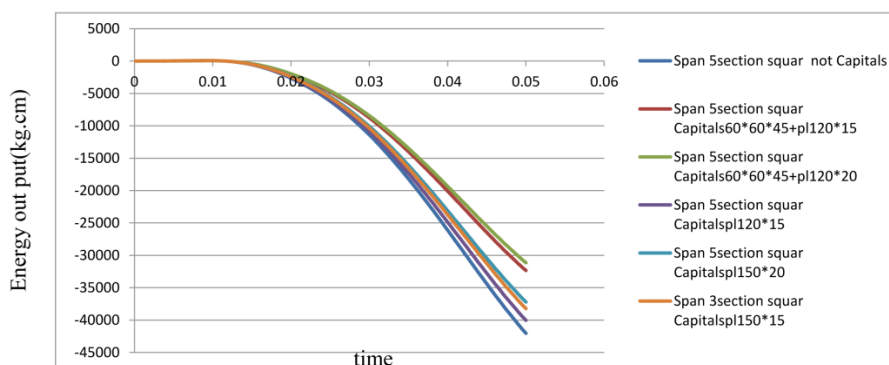
شکل ۲۲: مقایسه تغییر تنش مقطع مربع در دهانه ۵ متری با تغییر مقاومت میلگرد

۵-۳- بررسی انرژی

در این قسمت به بررسی انرژی با توجه به تغییر متغیرهای مورد بررسی می پردازیم، که بدین منظور زمانی که عوامل مثبت تاثیر گذار را افزایش می دهیم، در واقع سختی سازه را افزایش داده ایم، که هر چه سازه دارای سختی بیشتر باشد، نتیجتاً مستهلک کردن انرژی نقش بیشتری دارد و انرژی باقی مانده در سازه کم تر می باشد، که بدین منظور در مدل های متفاوتی مقدار انرژی باقی مانده را مورد بررسی قرار داده ایم که نتایج به شرح ذیل می باشد: در ابتدا تاثیر سر ستون در کاهش میزان انرژی را مورد کنکاش قرار داده، بنحویکه می توان اذعان نمود حداکثر مقدار اتلاف انرژی در یک دهانه ۳ متری با مقطع ستون مربع شکل (شکل ۲۳) و با اعمال و بررسی سرستونهای مورد نظر حداکثر میزان اتلاف انرژی نسبت به حالت اولیه (بدون سر ستون) ۸۲/۳۷ درصد و بررسی همین وضعیت در دهانه ۵ متری (شکل ۲۴) با اعمال و بررسی سرستونهای مورد نظر حداکثر کاهش انرژی ۲۸/۵۴ درصد می باشد.

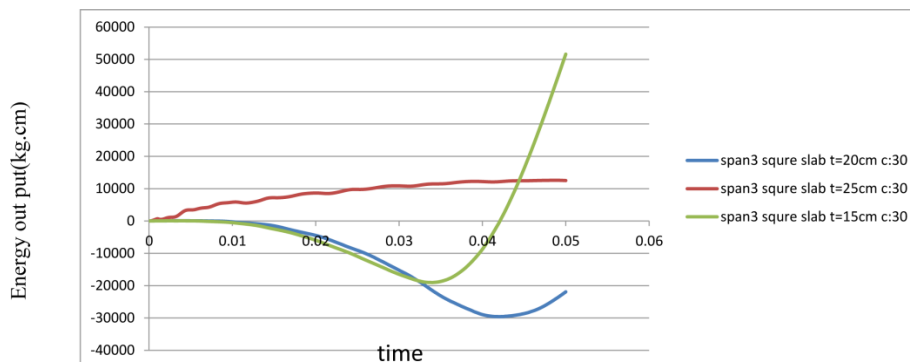


شکل ۲۳: مقایسه تغییر انرژی مقطع مربع در دهانه ۳ متری با تغییر سرستون

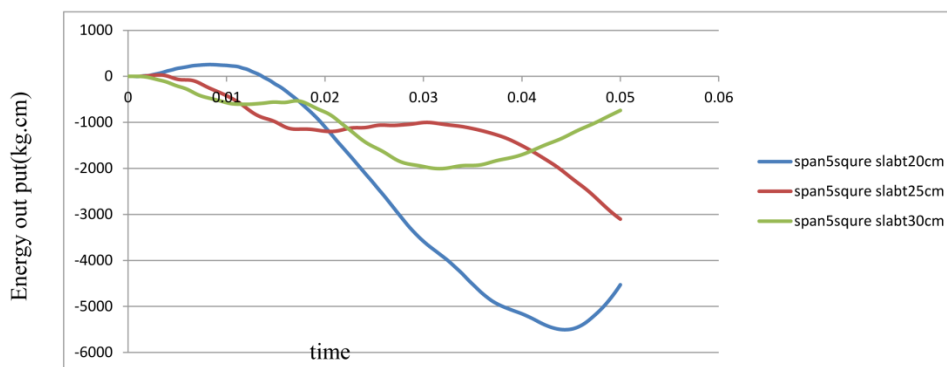


شکل ۲۴: مقایسه تغییر انرژی مقطع مربع در دهانه ۵ متری با تغییر سرستون

مورد بعدی که مورد بررسی قرار گرفته است، تغییرات انرژی در مورد متغیر قرار دادن ضخامت دال نسبت به مقطه ستون مربعی می باشد، که نتایج آن در (اشکال ۲۵ و ۲۶) آورده شده است، با توجه به افزایش مقدار ضخامت دال در دهانه ۳ متری با توجه به طراحی صورت گرفته، ضخامت ۱۵ سانتی می باشد که تا ضخامت های ۲۵ سانتی متر افزایش داده و مقدار تغییر انرژی ۷۵،۷۷ درصد نسبت به ضخامت ۱۵ سانتی متری کاهش پیدا می کند، و در دال در دهانه ۵ متری با توجه به طراحی ضخامت دال ۲۰ سانتی متر بدست می آید، که ضخامت را تا ۳۰ سانتی متر افزایش داده و مقدار تغییر انرژی ۹۵،۲۷ درصد نسبت به ضخامت ۲۰ سانتی متری کاهش پیدا می کند.



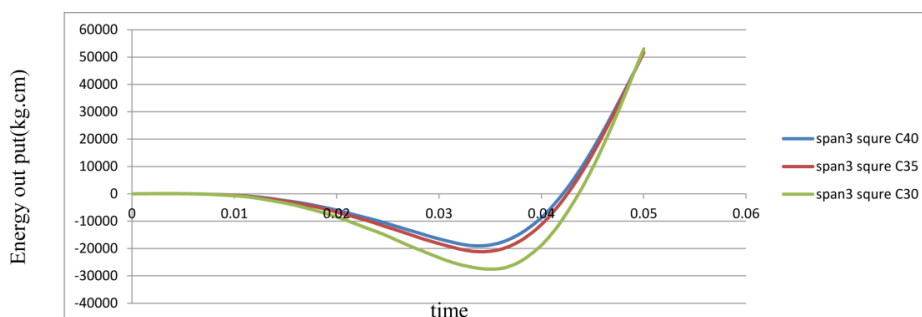
شکل ۲۵: مقایسه تغییرانرژی مقطع مربع در دهانه ۳متری با تغییر ضخامت دال



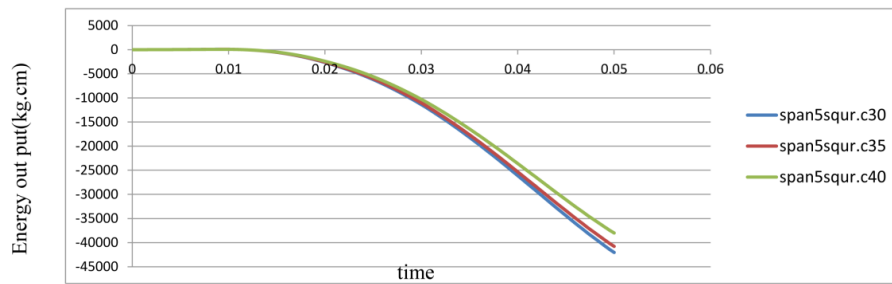
شکل ۲۶: مقایسه تغییرانرژی مقطع مربع در دهانه ۵متری با تغییر ضخامت دال

بررسی بعدی مقایسه تغییر انرژی با مقطع مربع و متغیر قرار دادن مقاومت بتن می باشد، که نتایج آن در شکل ۲۷ و شکل ۲۸ آورده شده است، که با توجه به افزایش مقدار مقاومت بتن در مقطع مربعی در دهانه ۳ متری از ۳۰ مگاپاسکال به ۴۰ مگاپاسکال تغییر انرژی، نسبت به حالت اولیه بسیار ناچیز می باشد، که نمودار هر سه نوع بتن در یک راستا و دارای یک شیب تغییرات می باشد.

در دهانه ۵متری با تغییر مقاومت بتن همان طور که در نمودار مشاهده می شود با افزایش مقدار مقاومت بتن مقدار انرژی تغییر حداکثر ۱۸،۳۷ درصد کاهش پیدا می کند.

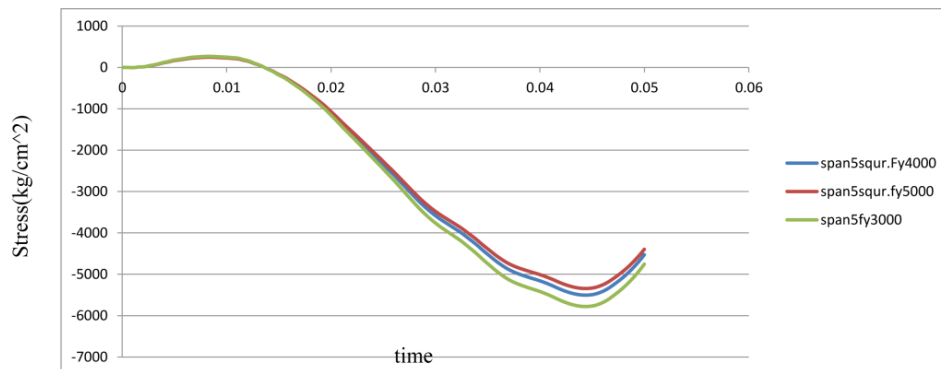


شکل ۲۷: مقایسه تغییرانرژی مقطع مربع در دهانه ۳متری با تغییر مقاومت بتن

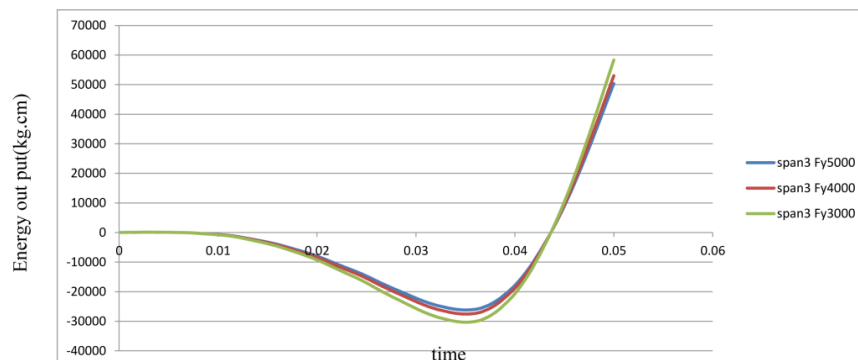


شکل ۲۸: مقایسه تغییرانرژی مقطع مربع در دهانه ۵ متری با تغییر مقاومت بتن

و نهایتاً بررسی نهایی مقایسه تغییر انرژی با مقطع مربع با متغیر قرار دادن مقاومت میلگرد می باشد، که نتایج آن در (اشکال ۲۹ و ۳۰) آورده شده است، با توجه به افزایش مقدار مقاومت میلگرد در مقطع مربعی در دهانه ۳ متری از ۳۰۰۰ کیلوگرم بر سانتی متر به ۴۰۰۰ کیلوگرم بر سانتی متر و تغییر تنش نسبت به ۳۰۰۰ کیلوگرم بر سانتی متر ۲/۹ درصد و در دهانه ۵ متری مقدار تغییر تنش نسبت به ۳۰۰۰ کیلوگرم بر سانتی متر ۲/۴۴ درصد کاهش پیدا می کند.



شکل ۲۹: مقایسه تغییرانرژی مقطع مربع در دهانه ۳ متری با تغییر مقاومت میلگرد



شکل ۳۰: مقایسه تغییرانرژی مقطع مربع در دهانه ۵ متری با تغییر مقاومت بتن

۶- نتیجه گیری و پیشنهادات

- ۱- بحرانی ترین حالت در بررسی برش پانچ در دال های پیش تنیده در ناحیه سرستون حادث می شود.
- ۲- پیشنهادهای متفاوت به جهت کاهش برش پانچ عبارت است از افزایش ضخامت دال، افزایش مقاومت بتن، استفاده از سر ستون و ... می باشد، که بهینه ترین و اقتصادی ترین حالت تقویت دال در منطقه بحرانی (سرستون) می باشد.
- ۳- افزایش مقاومت بتن از ۳۰۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع تا ۴۰۰ کیلو گرم بر سانتی متر مربع سبب می گردد تغییرات در برش از ۵/۲۹ درصد تا ۱۸/۲۳ درصد باشد، که به طور میانگین در این تغییر مقاومت بتن ۱۱/۲۲ درصد در کاهش برش پانچ موثر می باشد.
- ۴- افزایش مقاومت میلگرد از ۳۰۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع تا ۵۰۰ کیلو گرم بر سانتی مترمربع سبب ایجاد تغییرات در برش از ۰/۰۰۲۴۳ درصد تا ۳/۴۵ درصد می باشد، که به طور میانگین این تغییر مقاومت میلگرد، ۱/۸۳ درصد در کاهش برش پانچ تاثیر گذار می باشد.
- ۵- با توجه به تغییر ضخامت دال در دهانه ۳ متری و افزایش آن از ۱۵ به ۲۵ سانتی متر به طور میانگین ۴۷/۱ درصد و در دهانه ۵ متری و افزایش ضخامت دال از ۲۰ به ۳۰ سانتی متر به طور میانگین ۵۳/۲۶ درصد و به طور میانگین در حالات مورد مطالعه افزایش ضخامت ۵۰/۰۱ درصد برش را کاهش می دهد.
- ۶- با توجه به استفاده از سر ستون در در دهانه ۳ متر به طور میانگین ۶۵/۴۱ درصد در کاهش برش تاثیر دارد ، در دهانه ۵ متر به طور میانگین ۶۸/۲۳۱ درصد در کاهش برش تاثیر گذار می باشد و به طوری کلی استفاده از سر ستون ۶۶/۸۲ درصد در کاهش برش تاثیر گذار است.
- ۷- موثر ترین حالات در کاهش اثر برش پانچ عبارت اند از: افزایش ضخامت دال و استفاده از سر ستون که در واقع تقویت چشمه اتصال دال به ستون می باشد.
- ۸- بهینه ترین راهکار ها جهت کاهش برش پانچ تقویت سر ستون می باشد.
- ۹- تاثیر افزایش مقاومت فشاری بتن و مقاومت میلگرد بر مستهلک کردن انرژی به طور میانگین به ترتیب ۳/۳ درصد و ۳/۹ درصد می باشد.
- ۱۰- تاثیر استفاده از سر ستون و افزایش ضخامت دال بر مستهلک کردن انرژی به طور میانگین به ترتیب ۳۹/۴۳ درصد و ۸۰/۳۱ درصد می باشد، شایان ذکر است علت این مقدار اختلاف که در مستهلک کردن انرژی سبب می شود که سختی که با افزایش ضخامت دال در مدل به وجود می آید بیشتر از افزایش سر ستون می باشد.
- ۱۱- تاثیر افزایش مقاومت فشاری بتن و مقاومت میلگرد بر تنش به طور میانگین به ترتیب ۱۱/۲۵ درصد و ۱/۹۸ درصد می باشد.
- ۱۲- تاثیر استفاده از سر ستون و افزایش ضخامت دال بر تنش به طور میانگین به ترتیب ۷۱۲/۹۲ درصد و ۵۰/۶۷ درصد می باشد.
- ۱۳- بهینه ترین حالت در انتخاب مساحت سر ستون، پوشش دادن ناحیه بحرانی می باشد. شایان ذکر است نسبت مساحت سر ستون به ضخامت آن رابطه عکس دارد. بنحوی که با افزایش مساحت سرستون ضخامت آن کاهش یافته که عکس این قضیه هم صادق می باشد.

منابع و مراجع

- [۱] خیرالدین، علی، مقاومتسازی اتصالات دال - ستون در دال های تخت با استفاده از الیاف مسلح پلیمری (۱۳۸۹).
- [2] Bu, Wensheng(2008) ". Punching shear retrofit method using shear bolts for reinforced concrete slabs under seismic loading. Diss. University of Waterloo, pp42-82.connections". ACI Struc. J., Vol. 104, No. 4, pp. 448-458.
- [3] Gunadi, Riawan, et al. "The Behavior of Slab-Column Connections with Modified Shear Reinforcement under Cyclic Load." Journal of Engineering and Technological Sciences 46.1 (2013).
- [4] Hanai, João Bento, and Kristiane Mattar Accetti Holanda.(2008) "Similarities between punching and shear strength of steel fiber reinforced concrete (SFRC) slabs and beam, pp70-77.
- [5] Hueste, M.B.D., Browning, J., Lepage, A., Wallace, J.W. (2007), "Seismic design criteria for slab-column.
- [6] Inácio, Micael MG, A. Pinho Ramos, and Duarte MV Faria(2012). "Strengthening of flat slabs with transverse reinforcement by introduction of steel bolts using different anchorage approaches." Engineering Structures, pp63-77.lift slabs". Eng. Struct., Vol. 30, pp. 2752-2761.
- [7] Maya, L. F., et al. "Punching shear strength of steel fibre reinforced concrete slabs." Engineering Structures 40 (2012).pp: 83-94.
- [8] Nguyen-Minh, Long, et al. (2012) "Punching shear resistance of post-tensioned steel fiber reinforced concrete flat plates." Engineering Structures :pp324-337.
- [9] Rochdi, E.H., Bigaud, D., Ferrier, E., Hamelin, P. (2007), "Ultimate behavior of CFRP strengthened RC flatslabs under a centrally applied load". Composite Struc., Vol. 81, pp. 438-449.
- [10] Snezana, B., Marinkovic, V., Alendar, H. (2007), "Punching failure mechanism at edge columns of posttensioned.