

ارزیابی تطبیقی رفتار سازه‌های سقف‌های کوبی‌اکس با سقف‌های عرشه فولادی و بتن آرمه

نیما خلیلی

گروه عمران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد مراغه، مراغه، ایران

احمد ملکی*

استادیار گروه عمران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد مراغه، مراغه، ایران

maleki_civil@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۹۶/۱۲/۰۵ تاریخ پذیرش نهایی: ۹۷/۰۳/۰۵

چکیده:

در سال‌های اخیر، مطالعات فراوانی برای سبک‌سازی سازه‌های بتنی انجام شده است که بیشتر این مطالعات مربوط به سبک‌سازی سقف‌ها می‌باشد که منجر به ارائه سقف‌هایی شده است که علاوه بر حفظ مقاومت بالا، به طور قابل توجهی بار مرده کمتری نسبت به سقف‌های سنتی دارد. کاهش بار مرده سقف، مزایای قابل توجهی برای کل سازه دارد که مهم‌ترین آن‌ها کاهش نیروی زلزله بر روی سازه است که به نوبه خود باعث کاهش مقاطع و کاهش بار مرده سازه می‌گردد. یکی از سیستم‌های سقف، سقف‌های دو طرفه توخالی یا دال‌های دو طرفه‌ی حبابی می‌باشد. بدین منظور لزوم بررسی این نوع از سقف‌ها بیش از گذشته احساس می‌شود. بنابراین در این تحقیق برای اطمینان از درستی نتایج عددی به صحت‌سنجی نمونه آزمایشگاهی پرداخته و بعد از اطمینان از نتایج، به بررسی نمونه‌های عددی پرداخته شد. در این تحقیق با مدل‌سازی ۱۲ مدل با نرم‌افزار آباکوس به مقایسه سقف‌های کوبی‌اکس با سقف‌های عرشه فولادی و دال بتنی پرداخته شده است. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که نمونه بدون کاهش در تعداد گوی‌ها چیزی در حدود ۱/۱۲ درصد ظرفیت باربری بیشتری دارد. که اهمیت این مقدار در مقایسه با کاهش وزن سقف با کاهش ۳۰ درصدی تعداد گوی‌ها ناچیز بوده و می‌توان استفاده از نمونه با مقدار کاهش ۳۰ درصد گوی را به دلیل کاهش وزن سازه و تاثیراتی که در بقیه المان‌های سازه‌ای دارد توجیه کرد. همچنین به طور متوسط در کلیه نمونه‌ها، نمونه‌ها بعد از ناحیه الاستیک و شروع ترک‌خردگی، سختی بتن کاهش یافته و با افزایش جابجایی تقریباً ظرفیت باربری ثابت مانده است. در نهایت سقف کوبی‌اکس بدون کاهش در تعداد گوی‌ها، نسبت به دو مدل دیگر ظرفیت باربری و سختی بیشتری داشته به طوری که با افزایش نیرو مقدار مساحت نمودار بار-جابجایی این مدل افزایش یافته و قابلیت استهلاک انرژی بیشتری نسبت به سایر نمونه‌ها دارد.

کلید واژگان: کوبی‌اکس، عرشه فولادی، دال بتنی، استهلاک انرژی، سختی، ظرفیت باربری

۱- مقدمه

می‌دهد. با توجه به این که این سقف‌ها قابلیت انتقال بار در دو جهت را دارند نیازی به تیر ندارند و این باعث ایجاد یک سطح کاملاً مسطح در زیر سقف می‌شود و در ارتفاع نیز صرفه جویی می‌گردد. حذف تیر باعث کاهش هزینه‌ی نصب تأسیسات در ساختمان نیز می‌شود شکل ۳.

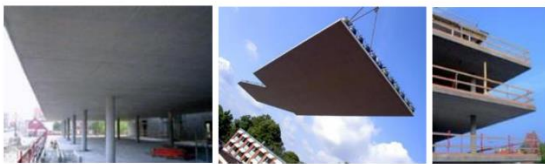


شکل ۲- کاهش تعداد ستون‌ها با استفاده از سقف‌های کوبیاکس



شکل ۳- افزایش ارتفاع طبقه به دلیل حذف تیر

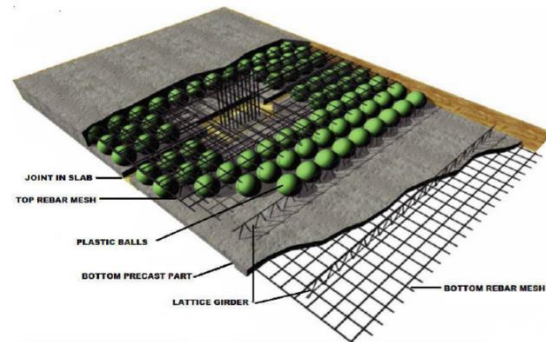
۳- در پی کاهش وزن و کاهش تعداد ستون‌ها یک فضای ایده‌آل برای معماران جهت طراحی فضای داخلی ایجاد می‌کند. با توجه به حذف تیرها این فضا هم در جهت عمودی و هم از جهت افقی در اختیار طراحان قرار می‌گیرد شکل ۴.



شکل ۴- فضای ایده‌آل معماری با حذف آویز تیر

۴- در مورد نیروی ناشی از زلزله در این سیستم‌ها، با توجه به کاهش قابل توجه بار مرده شتاب جرمی این اعضا کاهش پیدا کرده و در نتیجه نیروی زلزله نیز کاهش پیدا می‌کند.

یکی از سیستم‌های سقف، سقف‌های دو طرفه‌ی توخالی یا دال‌های دوطرفه‌ی حبابی می‌باشد. عمده مزیت این دال‌ها نسبت به دال‌های توپر، کاهش قابل ملاحظه بار مرده و همچنین ظرفیت باربری و شکل پذیری بالا می‌باشد که به یک سیستم سازه‌ای با ستون‌های لاغر و دهانه‌های بزرگتر منجر می‌گردد. اصول طراحی این دال‌ها بر مبنای نحوه‌ی تولید صنعتی است و متشکل از قفس‌های میلگرد در ترکیب با توپ‌های پلاستیکی توخالی می‌باشد شکل ۱. این قفس‌های میلگرد با یک مش آرماتور به عنوان میلگردهای باربر پایین دال می‌باشند. این دال‌ها به عنوان اعضاء پیش ساخته و گاهی در محل به صورت یکپارچه نیز اجرا می‌شوند [۱]. یکی از ویژگی‌های این دال‌ها حذف تیر و ایجاد یک سیستم باربر یکنواخت در سقف می‌باشد که هم به عنوان سیستم باربر در برابر بارگذاری ثقلی و هم به عنوان سیستم باربر جانبی عمل می‌کند. در این سیستم سازه‌ای، توزیع نیرو یکنواخت‌تر از سیستم‌های رایج سنتی است و در نتیجه باعث بهینه شدن سازه می‌گردد.



شکل ۱- المان‌های سقف کوبیاکس

مزایای دال‌های دوطرفه حبابی

این سیستم سقف سبک، مزایای زیادی نسبت به سقف‌های رایج سنتی دارد که می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱- این سیستم با توجه به توخالی بودن نسبت به سقف‌های سنتی توپر، با ظرفیت باربری یکسان، بیش از ۳۵ درصد کاهش در مصرف بتن و بار مرده دارد که باعث می‌شود اعضاء قائم باربر (ستون‌ها) کاهش پیدا کند [۲]. همچنین باعث کاهش بار وارده بر روی پی می‌شود که از عمق پی و تعداد و طول شمع‌ها نیز کاسته می‌شود شکل ۲.

۲- کاهش بار مرده و دوطرفه بودن دال باعث کوچکتر شدن تغییر شکل‌ها در دال نیز می‌باشد که از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. کاهش بار مرده و دوطرفه بودن این سقف‌ها امکان پوشش دهانه‌های بزرگتر را

ظرفیت برش سقف جابجایی می‌تواند با معادله زیر محاسبه گردد

$$Q \leq Q_b + Q_{sw} \quad (۶)$$

در این معادله Q_b & Q_{sw} مقاومت برشی بتن و اتصالات هستند مقاومت برشی مربوط به اتصالات Q_{sw} می‌تواند بصورت معادله زیر توضیح داده شود.

معادله (۷)

مقاومت برشی بتن $Q_b = \sum R_{sw} A_{sw}$ می‌تواند با معادله زیر محاسبه گردد. (۸)

$$Q_b = \frac{M_b}{C}$$

C طول کلی طرح مورب اتصالات است و M_b به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$M_b = \phi_{b2} (1 + \phi_f + \phi_n) R_{bt} b h_o^2 \quad (۹)$$

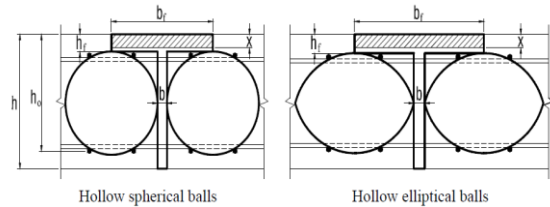
در این معادله: ψ_n , ψ_f , ψ_{b2} فاکتور و عواملی هستند که به نوع بتن بستگی دارند ظرفیت تراکم در مقطع T و ظرفیت تراکم نیروی محوری، به ترتیب، b عرض شبکه و h_o عمق موثر است.

۲- تاریخچه تحقیق

ماریس در سال ۲۰۱۰ ارزش اقتصادی گوی‌هایی به شکل کرووی داخل دال‌ها را در افریقای جنوبی مورد تحقیق و بررسی قرار داد و هزینه مستقیم ساخت را با دو نوع دیگر سیستم‌های دال با دهانه بزرگ مقایسه کرد، این دو نوع دال دال‌های قارچی و دال پیش تنیده نام دارند. آنها نتیجه گرفتند سختی محدوده دال‌های SVF تقریباً تا ۱۰ درصد باید در مقایسه با دال توپر با همان ضخامت کاهش یابد. تینا در سال ۲۰۱۰ رفتار ساختاری دال‌های سقف جابجایی را آنالیز و تحلیل کرد و برنامه‌ای را برای کاهش وزن سقف پلها پیشنهاد کرد [۳]. کالین و Asavoai در سال ۲۰۱۰ برنامه تجربی و آزمایشگاهی ارائه دادند که به دال‌های بتنی با شکاف‌های کرووی مربوط می‌شود، و به شناسایی المان دالی یکپارچه‌ای با مقیاس ۱:۱ اشاره می‌کند [۴]. نتایج، پارامترهای تغییر شکل، ترک خوردگی، و نقص و شکست دال‌ها نشان می‌دهد که در معرض بارگذاری استاتیکی قرار دارند. همه مطالعات ذکر شده به تحقیق در مورد بکارگیری جابجایی کرووی توخالی در سقف جابجایی مربوط می‌شود مثلاً؛ شکل‌های دیگر جابجایی مورد بررسی قرار نگرفته است. Hung و همکارانش در سال ۲۰۱۳ در مقاله‌ای به بررسی آزمایشگاهی دال سقف جابجایی با بکارگیری جابجایی بیضوی اصلاح شده پرداختند [۵]. این مقاله اساساً بر نتایج

۵- با توجه به کاهش مصرف بتن در این سیستم در حدود ۳۵ درصد و با توجه به این که مصرف هر تن سیمان باعث انتشار ۷۰۰ کیلوگرم گاز CO_2 می‌شود، به مقدار قابل توجهی از انتشار این گاز جلوگیری می‌شود که جنبه‌ی زیست محیطی دارد. در هر متر مکعب بتن حدود ۳۰۰ کیلوگرم سیمان مصرف می‌شود که باعث انتشار حدوداً ۲۰۰ کیلوگرم گاز CO_2 می‌شود.

بر اساس آیین‌نامه اصلاح شده ویتنام [۵] TCXDVN 356-2005، مدل‌سازی و معادلات سقف جابجایی، جابجایی کره‌ای و بیضوی توخالی بکار گرفته شده با استفاده از فرضیه مقطع T همانطور که در شکل ۵ نشان داده شده، توضیح داده می‌شود.



شکل ۵- مقطع T مربوط به سقف جابجایی از جابجایی کرووی و بیضوی توخالی

بر اساس فرض سطح مقطع T، لنگر خمشی طرح نهایی M_{gh} سطح مقطع می‌تواند بدین صورت داده شود:

$$M_{gh} = R_s A_s \gamma h_o \quad (۱)$$

در این معادله R_s ویژگی داده شده به استحکام آرماتور است، A_s منطقه سطح مقطع کشش آرماتور و h_o عمق موثر است. وقتی محور خنثی در بین بال قرار می‌گیرد عمق محور X با معادله ۲ تعیین می‌شود:

معادله (۲)

R_b ویژگی استحکام بتن $x = \frac{R_s A_s - R_{sc} A'_s}{R_b b_f}$ است، R_{sc} ویژگی استحکام اتصال داده شده است،

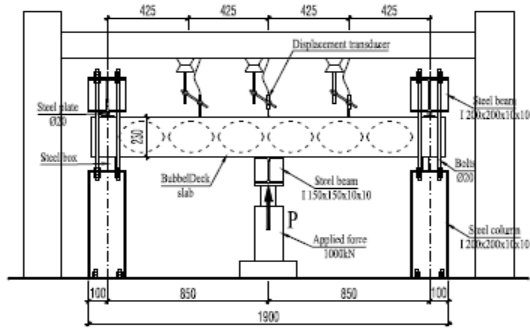
A_s محدوده سطح مقطع تراکم آرماتور (تقویتی) است، b_f عرض بال است. بعلاوه مقادیر Y و ξ

$$\xi = \frac{x}{h_o}$$

$$\gamma = 1 - 0.5 \xi \quad (۳)$$

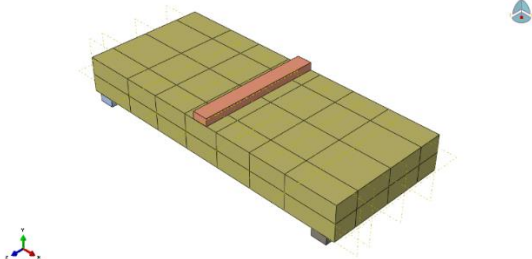
وقتی محور خنثی در جان قرار می‌گیرد مثلاً: $x > h_f$ عمق محور خنثی X به اینصورت محاسبه می‌گردد:

$$x = \frac{R_s A_s - R_b (b_f - b) h_f - R_{sc} A'_s}{R_b b} \quad (۵)$$

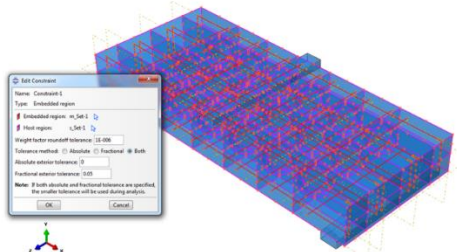


(ب)

شکل ۶- الف) مشخصات هندسی نمونه آزمایشگاهی (ب) شرایط مرزی [۵] در این مدل سازی از روش Concrete Damaged Plasticity برای مدل سازی خصوصیات بتن استفاده شده است. رفتار مصالح فولادی ایزوتروپیک در نظر گرفته شده و همچنین معیار تسلیم مصالح با این رفتار، معیار فون میزس می باشد که بیشتر برای فلزات کاربرد دارد. معیار فون میزس به عنوان معیار شکست مورد استفاده قرار گرفته است. در شکل ۷ مدل نهایی نمونه عددی بعد از مونتاژ نشان داده شده است. در این نرم افزار می بایستی نحوه و مشخصات فیزیکی کلیه سطوحی که با هم در ارتباط هستند، تعریف گردد. برای مدفون کردن میلگردها در بتن، نیاز به ایجاد قید Embedded region است. برای تماس تکیه گاه و المان اعمال بار از گزینه Tie استفاده شده است. در شکل های ۸ و ۹ مراحل تعریف هر یک از آن ها نشان داده شده است.



شکل ۷- مدل نهایی دال بتنی بعد از مونتاژ

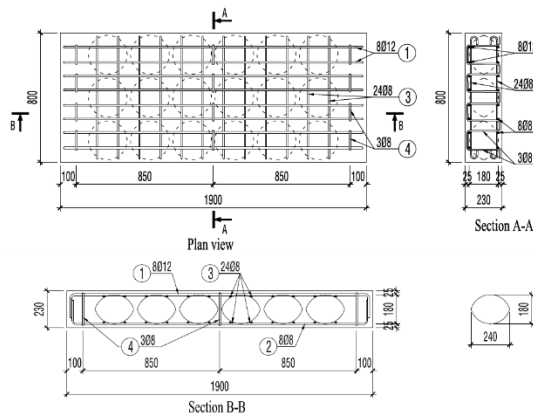


شکل ۸- تعریف قید Embedded region

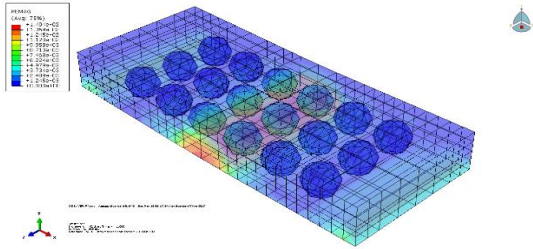
تجربی تمرکز دارد که در معرض بارگذاری استاتیکی قرار دارند. تاثیر استحکام بتن، شکل و قطر حباب های پلاستیکی بطور کلی بر اساس رفتار سقف حبابی مورد بررسی قرار می گیرد. توسعه شکل حباب های کروی سنتی بوسیله حباب های بیضی توخالی برای بهتر کردن ظرفیت تحمل بار در سقف حبابی مورد بررسی قرار خواهد گرفت. در ادامه به توضیحاتی در مورد روند انجام آزمایش مربوطه پرداخته می شود. فتوحی و اسدی زاده در سال ۱۳۹۰ نمونه هایی از دال های حبابی را با نرم افزار المان محدود آباکوس مدل کردند و پارامترها را با تحلیل غیرخطی مقایسه کردند. نتایج نشان داد که خمش، خیز و مکانیزم شکست دال حبابی دوطرفه با دال توپر مشابه است ولی ظرفیت پانچ دال حبابی نسبت به دال توپر کاهش دارد [۶]. آزمایش هایی در سال ۲۰۱۲ توسط ابراهیم و همکاران در دانشگاه بغداد بر روی دال توخالی (کوبیاکس) و دال توپر انجام شد. نتایج نشان داد الگوی ترک و رفتار خمشی دال توخالی (کوبیاکس) وابسته به نسبت قطر به ضخامت دال است ظرفیت بار نهایی برای دال توخالی با ظرفیت بار نهایی آن ۱۰ درصد شبیه به دال توپر است [۷].

۳- اعتبار سنجی نمونه آزمایشگاهی

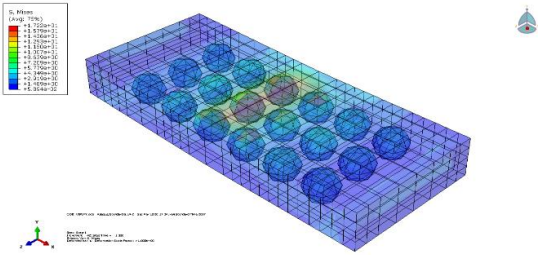
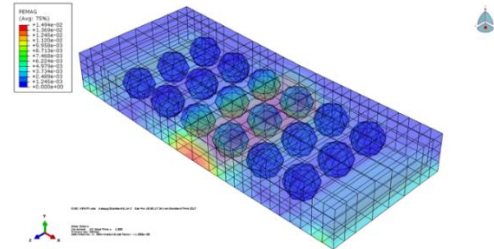
در این تحقیق به مدل سازی نمونه آزمایشگاهی که توسط های و همکارانش در سال ۲۰۱۳ انجام شده است، پرداخته می شود. در شکل ۶ مشخصات هندسی نمونه آزمایشگاهی نشان داده شده است [۵]. همانطور که مشاهده می شود ابعاد دال مورد نظر ۳۳۰*۸۰۰*۱۹۰۰ میلی متر بوده و مقاومت فشاری بتن مورد نظر ۳۵ مگاپاسکال می باشد. همچنین از دو لایه آرماتور در سرفه بالا و پایین (نمره ۸ و ۱۲) استفاده شده است.



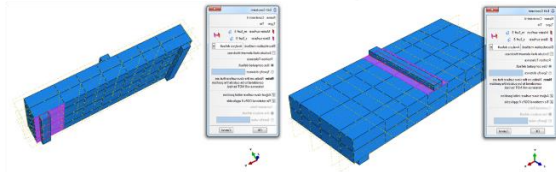
(الف)



(الف)

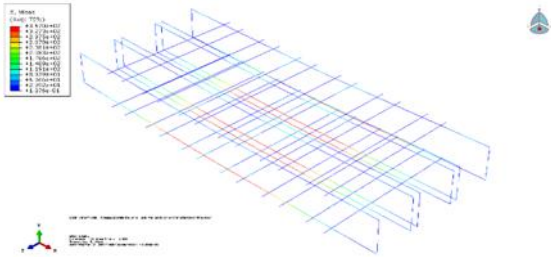


(ب)



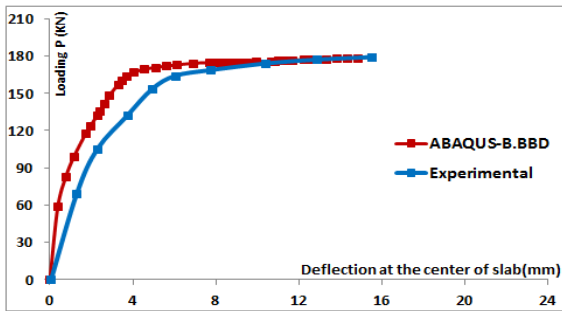
شکل ۹- اعمال قید Tie بین سطح بالا و پایین دال با المان اعمال بار و تکیه‌گاه

شکل ۱۱- الف) کانتورهای خرابی کششی ب) کانتور تنش فون میزز



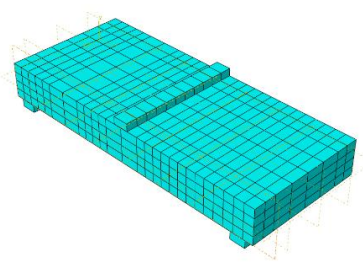
شکل ۱۲- کانتور تنش فون میزز در آرماتورها

در شکل ۱۳ نتایج حاصل از مدل‌سازی عددی با نتایج نمونه آزمایشگاهی مقایسه شده است. با توجه به شکل کاملاً مشخص می‌باشد که نتایج مدل‌سازی عددی هر دو نمونه در حد بسیار مطلوبی به نتایج نمونه آزمایشگاهی نزدیک می‌باشد.



شکل ۱۳- مقایسه منحنی بار- تغییر مکان نمونه آزمایشگاهی با نمونه عددی

قسمت اصلی تحلیل در اجزای محدود تقسیم‌بندی نمونه به اجزای کوچکتر است (MESH). با استفاده از مش بندی، گسسته سازی مدل هندسی انجام می‌شود. طول اضلاع المان‌ها بر مبنای حساسیت المان در تحلیل انتخاب می‌شود. در این نمونه اندازه هر المان ۷۰ در نظر گرفته شده است. همچنین در این مساله قطعه‌ی بتنی از نوع المان‌های کانتینیوم با تابع شکل درجه یک و انتگرال‌گیری کاهش یافته می‌باشد (C3D8R). همچنین برای میلگردها از المان‌های تیری سه بعدی با تابع تغییر شکل درجه یک (T3D2) استفاده شده است. در شکل ۱۰ نمای نهایی نمونه مش‌بندی شده نشان داده شده است. پس از پایان تمام اقدامات لازم جهت تعریف مدل، در این مرحله می‌بایستی مدل تحت نیروهای اعمال شده تحلیل گردد. شکل‌های ۱۱ و ۱۲ کانتور تنش فون میزز و خرابی کششی برای نمونه کلی و آرماتورها نشان داده شده است.



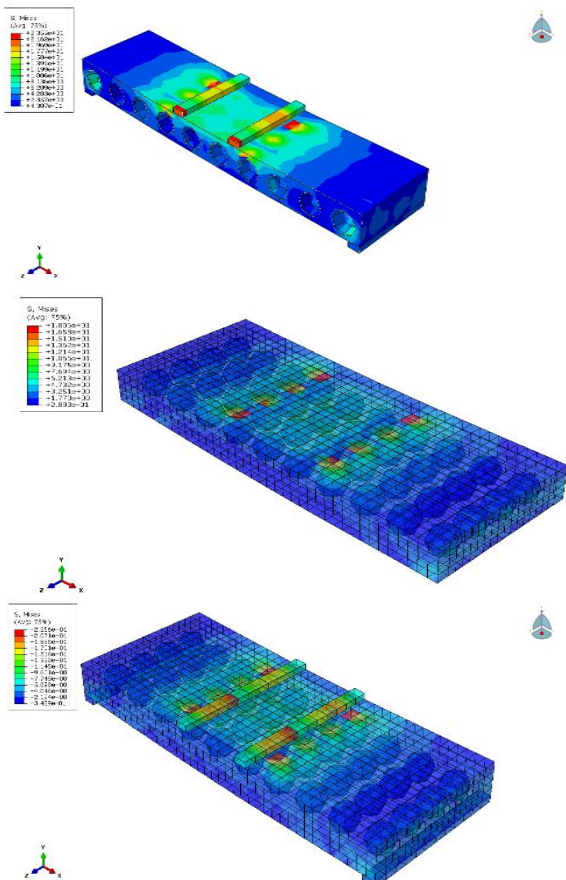
شکل ۱۰- مدل نهایی بعد از اعمال مش

۴- نمونه‌های عددی مورد مطالعه

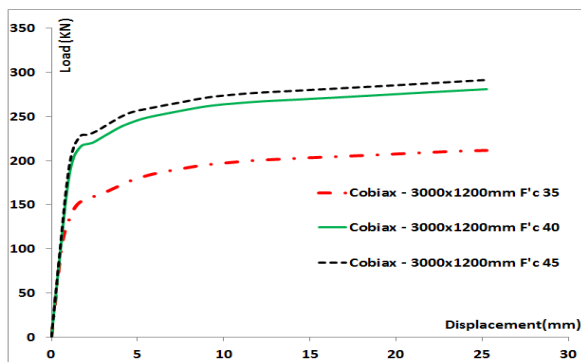
در ادامه ۱۲ نمونه عددی انواع سقف از قبیل دال بتنی، کوبیباکس و عرشه فولادی در حالات مختلف مدل سازی شده است، کلیه نمونه‌ها به طول ۳ متر و عرض ۱/۲ متر انتخاب شده و از نظر ضخامت طوری انتخاب شده که وزن کلیه نمونه‌ها هم از نظر آرماتور و هم از نظر بتن با هم برابر باشند. در جدول ۱ مشخصات کلیه نمونه‌ها و نحوه نامگذاری آن‌ها آورده شده است. از نظر مشخصات مصالح، شرایط مرزی همه نمونه‌ها مشابه نمونه صحت سنجی شده می‌باشد.

جدول ۱- مشخصات نمونه‌های عددی

شماره نمونه	نام نمونه	ضخامت نمونه (mm)	مقاومت فشاری (MPa)
1	Cobiax - 3000x1200mm F'c 35	280	35
2	Cobiax - 3000x1200mm F'c 40	280	40
3	Cobiax - 3000x1200mm F'c 45	280	45
4	Cobiax - 3000x1200mm F'c 35 - 30% Decrement	280	35
5	Cobiax - 3000x1200mm F'c 40 - 30% Decrement	280	40
6	Cobiax - 3000x1200mm F'c 45 - 30% Decrement	280	45
7	Slab - 3000x1200mm F'c 35	218	35
8	Slab - 3000x1200mm F'c 40	218	40
9	Slab - 3000x1200mm F'c 45	218	45
10	Steel Deck - 3000x1200mm F'c 35	253	35
11	Steel Deck - 3000x1200mm F'c 40	253	40
12	Steel Deck - 3000x1200mm F'c 45	253	45

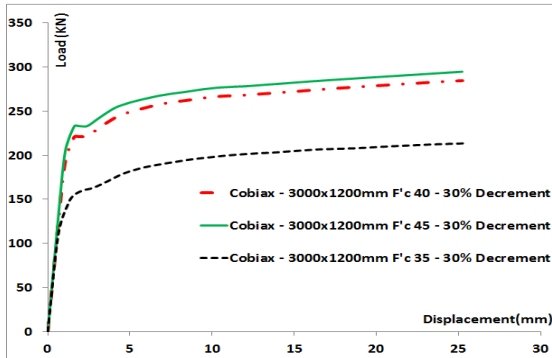


شکل ۱۴- کانتورهای تنش ایجاد شده به ترتیب از راست به چپ در نمونه‌های ۱ تا ۳



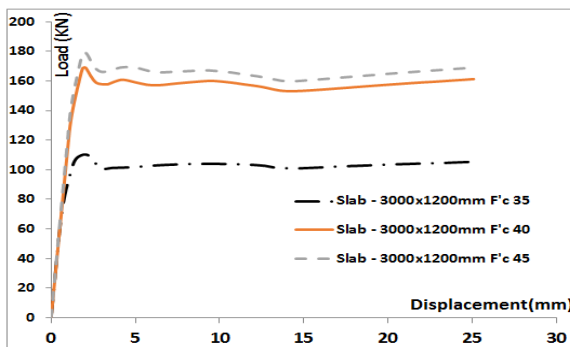
شکل ۱۵- مقایسه منحنی نیرو-جابجایی سقف کوبیباکس با مقاومت‌های فشاری مختلف

در شکل ۱۴ کانتور تنش‌های ایجاد شده در نمونه‌های ۱ تا ۳ نشان داده شده است. بعد از استخراج نتایج عددی همانطور که در شکل ۱۵ مشاهده می‌شود با افزایش مقاومت فشاری بتن، مقاومت کلی به دلیل اینکه خردشدگی نهایی بخش فشاری را به تاخیر می‌اندازد، افزایش یافته است. با افزایش مقاومت بتن از ۳۵ به ۴۵ مگاپاسکال ظرفیت باربری نهایی افزایش یافته به طوری که بیشترین مقدار مربوط به نمونه ۳ با مقدار ۲۹۱/۵۶ کیلونیوتن می‌باشد که نسبت به نمونه ۲ و ۱ به ترتیب ۳/۵۲ درصد و ۲۷/۳۹ درصد ظرفیت باربری بیشتری داشته است. در کلیه نمونه‌ها شاهد رفتار یکسانی در ناحیه الاستیک بوده و دارای سختی تقریباً یکسانی هستند. در نمونه‌ها بعد از ناحیه الاستیک و شروع ترک‌خردگی، سختی بتن کاهش یافته و با افزایش جابجایی تقریباً ظرفیت باربری ثابت مانده است. همچنین با افزایش مقاومت فشاری مقدار اختلاف ظرفیت باربری در نمونه‌ها تقریباً به هم نزدیک می‌باشد.



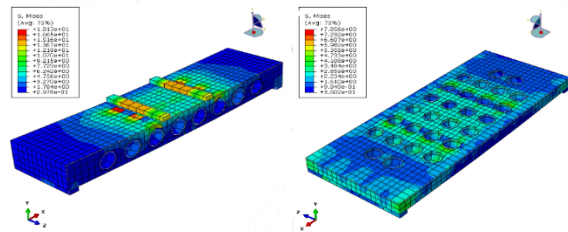
شکل ۱۸- مقایسه منحنی نیرو- جابجایی سقف کوبیاکس با مقاومت‌های فشاری مختلف با کاهش ۳۰ درصدی تعداد گوی‌ها

در شکل ۱۹ مقایسه منحنی نیرو- جابجایی سقف دال بتنی با مقاومت‌های فشاری مختلف نشان داده شده است، منحنی‌های بار- جابجایی عمودی نمونه‌های عددی مورد مطالعه که از یک محل یکسان بدست آمده‌اند، تحت بار وارده مشابه با یکدیگر مقایسه شده‌اند. با توجه به نمودارها مشاهده می‌شود نمونه شماره ۹ با نیروی ۱۷۹ مگاپاسکال نسبت به نمونه‌های ۸ و ۷ به ترتیب ۵/۷ درصد و ۳۸/۳۸ درصد دارای ظرفیت باربری بیشتری می‌باشد. همچنین دارای بیشترین مساحت زیر نمودار نیرو- تغییر مکان بوده که نسبت به سایر نمونه‌ها قابلیت استهلاک انرژی بیشتری را دارا می‌باشد. به عنوان یک نتیجه‌گیری کلی می‌توان گفت که با افزایش مقاومت فشاری نمونه‌ها مقدار بار نهایی تسلیم افزایش یافته ولی بعد از نقطه تسلیم شکست نمونه‌ها آنی بوده و سپس ظرفیت باربری به ازای جابجایی یکسان ثابت مانده است.

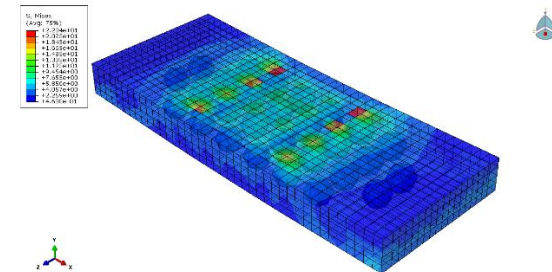


شکل ۱۹- مقایسه منحنی نیرو- جابجایی سقف دال بتنی با مقاومت‌های فشاری مختلف

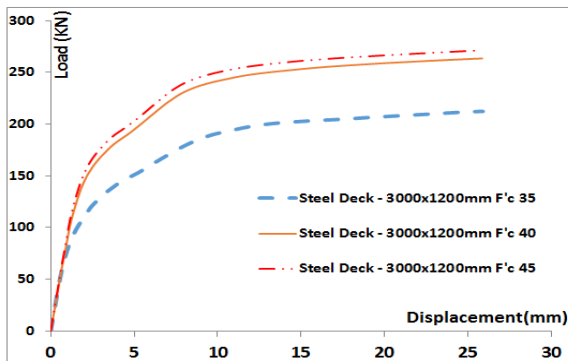
در شکل‌های ۱۶ و ۱۷ کانتور تنش‌های ایجاد شده در نمونه‌های ۴ و ۵ نشان داده شده است. بعد از استخراج نتایج عددی در شکل ۱۸ به مقایسه عملکرد سقف کوبیاکس با ۳۰ درصد کاهش حباب‌های داخلی پرداخته شده است. با افزایش مقاومت بتن از ۳۵ به ۴۵ مگاپاسکال ظرفیت باربری نهایی افزایش یافته به طوری که بیشترین مقدار مربوط به نمونه ۶ با مقدار ۲۹۴/۸۸ کیلو نیوتن می‌باشد که نسبت به نمونه ۵ و ۴ به ترتیب ۳/۴۲ درصد و ۲۷/۶ درصد ظرفیت باربری بیشتری داشته است. در کلیه نمونه‌ها شاهد رفتار یکسانی در ناحیه الاستیک بوده و دارای سختی تقریباً یکسانی هستند. در نمونه‌ها بعد از ناحیه الاستیک و شروع ترک‌خوردگی، سختی بتن کاهش یافته و با افزایش جابجایی تقریباً ظرفیت باربری ثابت مانده است. همچنین با افزایش مقاومت فشاری مقدار اختلاف ظرفیت باربری در نمونه‌ها تقریباً به هم نزدیک می‌باشد.



شکل ۱۶- کانتورهای تنش ایجاد شده در مقطعی از نمونه شماره ۴ با کاهش ۳۰ درصدی گوی‌ها



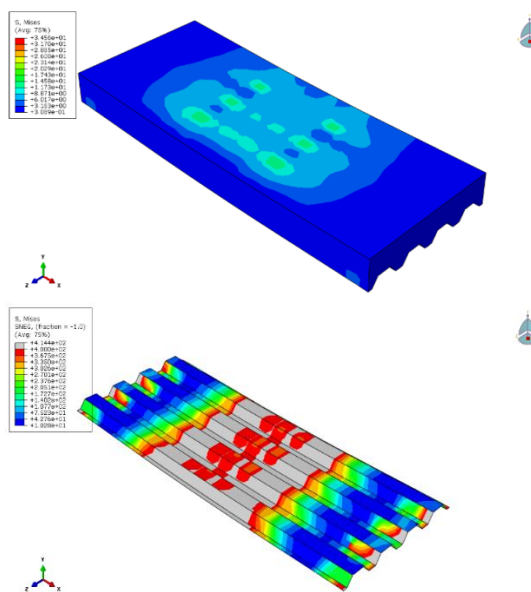
شکل ۱۷- کانتورهای تنش ایجاد شده در بتن نمونه شماره ۵ با کاهش ۳۰ درصدی گوی‌ها



شکل ۲۱- مقایسه منحنی نیرو- جابجایی سقف عرشه فولادی با مقاومت‌های فشاری مختلف

در شکل ۲۲ مقایسه منحنی نیرو- جابجایی بین نمونه‌هایی که بهترین عملکرد را داشته نشان داده شده است. از مقایسه این منحنی‌ها همچنان که مشاهده می‌شود سقف کوبیاکس بدون کاهش در تعداد گوی‌ها، نسبت به دو مدل دیگر ظرفیت باربری و سختی بیشتری داشته به طوری که با افزایش نیرو مقدار مساحت زیر نمودار این مدل افزایش یافته و قابلیت استهلاک انرژی بیشتری نسبت به سایر نمونه‌ها دارد. از نظر عددی سقف کوبیاکس بدون کاهش تعداد گوی‌های توخالی با نیروی ۲۹۱/۵۶ کیلو نیوتن نسبت به سقف عرشه فولادی و دال بتنی به ترتیب، ۶/۹۱ درصد و ۳۸/۶ درصد دارای ظرفیت باربری بیشتری می‌باشد. همچنین نمونه عرشه فولادی دارای کمترین شیب در قسمت الاستیک منحنی بوده به طوری که مقدار تسلیم شدگی (تغییر جهت تقعر منحنی) نسبت به سایر نمونه‌ها دیرتر اتفاق افتاده است. که یکی از دلایل این مورد ورق دوزنقه‌ای می‌تواند باشد که ظرفیت کششی نمونه را در ناحیه تحتانی افزایش داده است. در شکل ۲۳ با مقایسه سقف کوبیاکس با و بدون کاهش در تعداد گوی‌ها چیزی در حدود ۱/۱۲ درصد ظرفیت باربری بیشتری دارد. که اهمیت این مقدار در مقایسه با کاهش وزن سقف با کاهش ۳۰ درصدی تعداد گوی‌ها ناچیز بوده و می‌توان استفاده از نمونه با مقدار کاهش ۳۰ درصد گوی را به دلیل کاهش وزن سازه و تاثیراتی که در بقیه المان‌های سازه‌ای دارد و همچنین از نظر مسائل اقتصادی توجیه کرد.

در شکل ۲۰ کانتور تنش‌های ایجاد شده در نمونه ۱۲ نشان داده شده است. بعد از استخراج نتایج عددی در شکل ۲۱ مقایسه منحنی نیرو- جابجایی سقف عرشه فولادی با مقاومت‌های فشاری مختلف نشان داده شده است. با افزایش مقاومت بتن از ۳۵ به ۴۵ مگاپاسکال ظرفیت باربری نهایی افزایش یافته به طوری که بیشترین مقدار مربوط به نمونه ۱۲ با مقدار ۲۷۱/۳۹ کیلو نیوتن می‌باشد که نسبت به نمونه ۱۱ و ۱۰ به ترتیب ۲/۹۱ درصد و ۲۱/۷۷ درصد ظرفیت باربری بیشتری داشته است. در کلیه نمونه‌ها شاهد رفتار یکسانی در ناحیه الاستیک بوده و دارای سختی تقریباً یکسانی هستند. از مقایسه این منحنی‌ها همچنان که مشاهده می‌شود رفتار نمونه‌ها به دلیل داشتن ورق فولادی و آرماتورها نرم‌تر بوده و ظرفیت باربری با شیب ملایم‌تری افزایش یافته است. از نظر توزیع تنش با افزایش مقاومت فشاری مقدار آن افزایش یافته و در قسمت‌های بیشتری از المان‌ها توزیع شده، به طوری که در ورق فولادی و آرماتورهای تحتانی مقدار تنش از حد تسلیم افزایش یافته و تسلیم شدگی رخ داده است. از نظر عددی با افزایش ۲۲ درصدی مقاومت فشاری مقدار تنش به طور متوسط در المان بتنی ۲۱ درصد افزایش یافته است.



شکل ۲۰- کانتور تنش فون میز ایجاد شده در نمونه شماره ۱۲

۳- در نمونه‌های دال بتنی نمونه شماره ۹ با نیروی ۱۷۹ مگاپاسکال نسبت به نمونه‌های ۸ و ۷ به ترتیب ۵/۷ درصد و ۳۸/۳۸ درصد دارای ظرفیت باربری بیشتری می‌باشد. همچنین دارای بیشترین مساحت زیر نمودار نیرو- تغییر مکان بوده که نسبت به سایر نمونه‌ها قابلیت استهلاک انرژی بیشتری را دارا می‌باشد.

۴- در نمونه‌های سقف عرشه فولادی با افزایش مقاومت بتن از ۳۵ به ۴۵ مگاپاسکال ظرفیت باربری نهایی افزایش یافته به طوری که بیشترین مقدار مربوط به نمونه ۱۲ با مقدار ۲۷۱/۳۹ کیلونیوتن می‌باشد که نسبت به نمونه ۱۱ و ۱۰ به ترتیب ۲/۹۱ درصد و ۲۱/۷۷ درصد ظرفیت باربری بیشتری داشته است.

۵- در سقف‌های عرشه فولادی رفتار نمونه‌ها به دلیل داشتن ورق فولادی و آرماتورها نرم‌تر بوده و ظرفیت باربری با شیب ملایم‌تری افزایش یافته است.

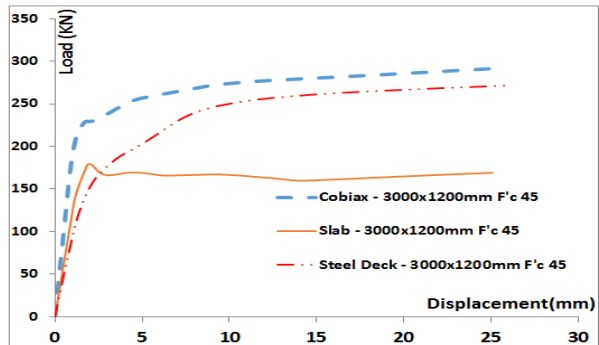
۶- سقف‌های عرشه فولادی از نظر توزیع تنش با افزایش مقاومت فشاری مقدار آن افزایش یافته و در قسمت‌های بیشتری از المان‌ها توزیع شده، به طوری که در ورق فولادی و آرماتورهای تحتانی مقدار تنش از حد تسلیم افزایش یافته و تسلیم شدگی رخ داده است.

۷- در سقف‌های عرشه فولادی از نظر عددی با افزایش ۲۲ درصدی مقاومت فشاری مقدار تنش به طور متوسط در المان بتنی ۲۱ درصد افزایش یافته است.

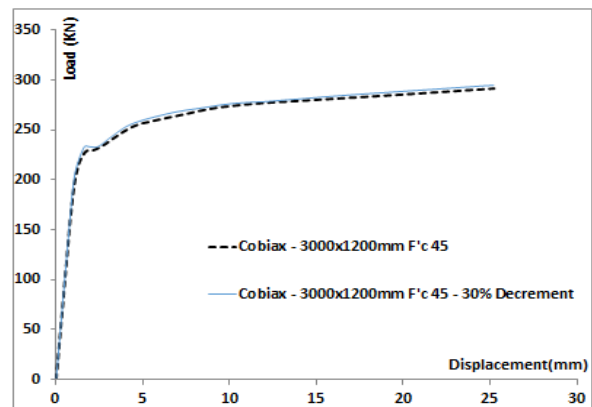
۸- سقف کوبیاکس بدون کاهش در تعداد گوی‌ها، نسبت به دو مدل دیگر ظرفیت باربری و سختی بیشتری داشته به طوری که با افزایش نیرو مقدار مساحت زیر نمودار این مدل افزایش یافته و قابلیت استهلاک انرژی بیشتری نسبت به سایر نمونه‌ها دارد.

۹- از نظر عددی سقف کوبیاکس بدون کاهش تعداد گوی‌های توخالی با نیروی ۲۹۱/۵۶ کیلونیوتن نسبت به سقف عرشه فولادی و دال بتنی به ترتیب، ۶/۹۱ درصد و ۳۸/۶ درصد دارای ظرفیت باربری بیشتری می‌باشد.

۱۰- نمونه بدون کاهش در تعداد گوی‌ها چیزی در حدود ۱/۱۲ درصد ظرفیت باربری بیشتری دارد. که اهمیت این مقدار در مقایسه با کاهش وزن سقف با کاهش ۳۰ درصدی تعداد گوی‌ها ناچیز بوده و می‌توان استفاده از نمونه با مقدار کاهش ۳۰ درصد گوی را به دلیل کاهش وزن سازه و تاثیراتی که در بقیه المان‌های سازه‌ای دارد.



شکل ۲۲- مقایسه منحنی منحنی نیرو- جابجایی منتخب مدل‌های مورد مطالعه



شکل ۲۳- مقایسه منحنی منحنی نیرو- جابجایی سقف کوبیاکس با و بدون کاهش تعداد گوی‌ها

۵- نتیجه‌گیری

۱- در نمونه‌های سقف کوبیاکس بدون کاهش تعداد گوی، با افزایش مقاومت بتن از ۳۵ به ۴۵ مگاپاسکال ظرفیت باربری نهایی افزایش یافته به طوری که بیشترین مقدار مربوط به نمونه ۳ با مقدار ۲۹۱/۵۶ کیلونیوتن می‌باشد که نسبت به نمونه ۲ و ۱ به ترتیب ۳/۵۲ درصد و ۲۷/۳۹ درصد ظرفیت باربری بیشتری داشته است.

۲- در نمونه‌های سقف کوبیاکس با کاهش ۳۰ درصدی تعداد گوی، با افزایش مقاومت بتن از ۳۵ به ۴۵ مگاپاسکال ظرفیت باربری نهایی افزایش یافته به طوری که بیشترین مقدار مربوط به نمونه ۶ با مقدار ۲۹۴/۸۸ کیلونیوتن می‌باشد که نسبت به نمونه ۵ و ۴ به ترتیب ۳/۴۲ درصد و ۲۷/۶ درصد ظرفیت باربری بیشتری داشته است.

۶- منابع

- [۱] عین آبادی، ه، کلاتجاری، و، (۲۰۱۵)، بررسی تاثیر اندازه گوی‌های پلاستیکی بر سختی سقف‌های کوبی‌اکس، سومین کنفرانس بین‌المللی دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.
- [۲] شاکر، ه، واقفی، م، سیادت، ع، (۲۰۱۵)، بررسی شکل‌پذیری در سازه‌های بتن مسلح دارای سیستم مقاوم ستون و سقف حبابدار، سومین کنفرانس بین‌المللی دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.
- [3] Marais, CC. Robberts, JM. Rensburg, BWJ. (2010). Spherical void formers in concrete slabs. *Journal of the South African Institution of Civil Engineering*, 52(2), pp. 2 – 11.
- [4] Calin, S. Asavaoie, C. (2010). Experimental program regarding Bubble Deck concrete slab with spherical gaps, *Intersections-Intersectii*, 4(7)-1, pp. 34-40.
- [5] Hai, L. Hung, V. Thi, T. Toi, N. Phuoc, N. T. (2013), *The Eeperimental Analysis of Bubble Deck Slab Using Modified Elliptical Balls*, Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers: Huscap
- [6] Amer M. Ibrahim. Nazar K. Ali. Wissam D. Salman (2012), "Flexural capacities of reinforced concrete two-way bubble deck slabs of plastic spherical voids", *Diyala Journal of Engineering Sciences*, Vol. 06, No. 02, pp. 9-20.
- [۷] فتحی، م، اسدی‌زاده، د، (۱۳۹۰)، مطالعه و بررسی رفتار خمشی و برش پانچینگ دال‌های دوطرفه توخالی و مقایسه با دال توپر، ششمین کنگره ملی مهندسی عمران، سمنان، دانشگاه سمنان.

Comparative Evaluation of Structural Behavior of Voided Biaxial Slab with Steel Deck Roofs and RC Slabs

Nima Khalili

Student of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Maragheh Branch, Islamic Azad University, Maragheh, Iran

Ahmad Maleki*

Assistant professor of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Maragheh Branch, Islamic Azad University, Maragheh, Iran

maleki_civil@yahoo.com

Abstract:

The columns, beam and roof make up the most important members of a building, each of which plays a role in the stability of the structure. These members can be made of different materials that can vary depending on the conditions and type of use of the structure. One of these materials is concrete that is mostly armed by an armature. One of the major drawbacks of using reinforced concrete is to increase the weight of the structure, and most of the efforts to optimize the structure have been made in order to stretch the members. In recent years, studies have been carried out to light concrete structures, most of which are related to roof styling, which has led to the provision of ceilings that, in addition to maintaining high resistance, significantly lower dead loads than Traditional roofs. Reducing the dead load of the roof has significant benefits to the entire structure, the most important of which is to reduce the earthquake force on the structure, which in turn reduces the sections and reduces the dead load of the structure. One of the roof systems is double-sided hollow ceilings or double-sided bubble slabs. To verify the accuracy of the numerical results, the laboratory test was verified and after checking the results, a numerical sample was considered. In this study, a 12-sample numerical model with Abaqus software was compared to compare the Cobiax roofs with steel deck roofs and concrete slabs. The results obtained in this way is no reduction in the number of spheres is about 1,12 percent more cargo capacity. The importance of this value compared to weight loss roof with a 30% reduction in the number of spheres is negligible and can use the sample with a reduced amount of 30% of the balls due to the reduced weight of the structures and effects of the structural elements justify. Also, on average, in all specimens, the specimens after the elastic region and the beginning of cracking, the stiffener of the concrete decreased, and with the increase in displacement, the bearing capacity was almost constant. In the end, the Cobiax roofs, without reducing the number of balloons, have a higher load capacity and hardness than the other two models, with the increase in force, the area under the charts of this model has increased and depreciation is more energy than other specimens.

Keywords: cobiax, steel deck, concrete slab, energy dissipation, stiffness, bearing capacity