

## مدل سازی عددی رفتار سقف یوبوت و مقایسه آن با سقف های عرشه فولادی، کوبیاکس و دال بتنی

سعید شریفی

دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده فنی، 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: ۹۸/۰۷/۲۳ تاریخ پذیرش نهایی: ۹۸/۰۸/۱۲

### چکیده:

بی شک یکی از اعضای اصلی و مؤثر در سازه های ساختمانی، سقف می باشد که نوع اجراء این قسمت از سازه نقش بسزایی در سرعت و کیفیت کل سازه خواهد داشت. استفاده از مصالح قدیمی و روش های سنتی ساخت، دیگر جوابگوی سرعت مورد نظر و نیازهای طراحی نمی باشد. در این تحقیق سعی شده است علاوه بر معرفی ساختار سقف یوبوت، رویکرد مقایسه ای از نظر عملکرد سازه ای با دیگر سقف های متداول نظیر سقف عرشه فولادی، دال بتنی و کوبیاکس ارائه گردد. بدین منظور پس از اطمینان از نتایج مدل سازی با استفاده از نرم افزار اباکوس، به مدل سازی نمونه های عددی و مقایسه آنها با سایر سقف های متداول پرداخته شده است. نتایج حاصل نشان دهنده این است که با مقایسه دال های بتنی مشاهده می شود که با افزایش مقاومت فشاری نمونه ها مقدار بار نهایی تسلیم افزایش یافته ولی بعد از نقطه تسلیم شکست نمونه ها آنی بوده و سپس ظرفیت باربری به ازای جابجایی یکسان ثابت مانده و با کاهش ۳۰ درصدی تعداد یوبوت ها و با افزایش ۲۰ درصدی مقاومت فشاری، مقدار ظرفیت باربری در حدود ۲۲/۳۲ درصد افزایش یافته است. با مقایسه این نمونه ها با حالت بدون کاهش تعداد یوبوت ها مشخص می شود که تقریباً به ازای هر نمونه مشابه، مقدار ظرفیت باربری ۱۰ درصد افزایش یافته است. همچنین سقف یوبوت نسبت به سایر سقف ها دارای سختی و ظرفیت باربری بیشتری می باشد و دال بتنی نیز دارای کمترین ظرفیت باربری در جابجایی های یکسان بوده و عملکرد سقف عرشه فولادی با سقف کوبیاکس نیز از نظر ظرفیت باربری نزدیک هم بوده ولی از نظر میزان سختی یا شیب منحنی نیرو- جابجایی، سقف کوبیاکس سختی بیشتری از خود نشان داده است.

**کلید واژگان:** سقف های یوبوت، عرشه فولادی، کوبیاکس، دال بتنی، ظرفیت باربری، سختی

## ۱- مقدمه

در اواخر قرن بیستم میلادی، مهندسين ایتالیایی با تحقیق بر روی سقف‌های مختلف به ویژه دال‌های بتنی به جهت بهینه‌سازی آن و رسیدن به مقاومت مناسب در برابر زلزله و همچنین استفاده از دهانه‌های بلند و کاهش مصرف آرماتور و بتن، سیستم دال مجوف دوپوش یوبوت را ابداع و به دنیا معرفی کردند که خیلی سریع در کشورهای مختلف جهان بویژه کشورهای اروپائی مورد استقبال گسترده‌ای قرار گرفته و در سال ۸۷ پس از ورود به ایران، در مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن وزارت راه و شهرسازی مورد بررسی قرار گرفته و موفق به اخذ تاییدیه فنی از آن مرکز شده است. سقف یوبوت از ترکیب نوآورانه بتن، میلگرد و قالب‌هایی از جنس پلی پروپیلن ساخته می‌شود. در شکل ۱، نمایی از سقف یوبوت نشان داده شده است [۱].



شکل ۲- دال مجوف دوپوش (سقف یوبوت) [۲]

مهدوی عادل و صیادیان در سال ۱۳۹۴ در پژوهش خود به مقایسه نحوه اجرای سقف‌های متال (عرش فولادی) و دال‌های پیش تنیده نسبت به یکدیگر اشاره کرده است [۳].

رنجبر ایرایی در سال ۱۳۹۵ به تحلیل و بررسی سازه عرشه فولادی به عنوان سازه مدرن در صنعت ساخت و ساز پرداخته است. این پژوهش بر آن است تا به معرفی کلی این سیستم پرداخته و برخی نکات اجرایی آن را مورد مطالعه قرار دهد. در این راستا از بررسی‌های میدانی و نظرسنجی از متخصصان نیز استفاده شده که نتایج بدست آمده حاکی از قابل قبول بودن این سیستم برای شرایط ساخت و ساز امروز کشور و پاسخی برای مشکلات ناشی از ساخت و سازهای سنتی است [۴].

شکوری در سال ۱۳۹۵ در مقاله خود به بررسی فنی و اجرایی سقف‌های رایج ساختمانی اشاره می‌کند. در مقاله حاضر مروری بر سقف‌های موجود و رایج در کشور صورت گرفته است. سه نوع سقف رایج ساختمانی به نام‌های سقف تیرچه و بلوک و کوبیاکس و سقف عرشه فولادی بررسی شده است و مزایا و معایب هر کدام از این سقف‌ها بیان شده است و از نظر فنی و کاربردی و اقتصادی با یکدیگر مقایسه شده است [۵].

حسین‌زاده در سال ۱۳۹۲ در مقاله‌ای تحت عنوان طراحی و اجرای سقف‌های عرشه فولادی مطالب زیر را مورد مطالعه قرار داده است. استفاده از تیرهای مرکب که در آنها تیر فولادی و دال بتنی با وسایل و تمهیدات مناسب به یکدیگر متصل شوند باعث افزایش ظرفیت باربری می‌گردند. در ضمن ارتقاء کیفیت سقف از لحاظ لرزش، مقاومت در برابر آتش سوزی و سرعت فوق العاده اجرا از دیگر مزایای این سیستم می‌باشد. هدف از این تحقیق بررسی و شناخت بیشتر سقف‌های عرشه فولادی از جنبه‌های مختلف فناوری، طراحی و محاسبات تولید و اجرا و همچنین مقایسه این سیستم با سایر سیستم‌های سازه‌ای می‌باشد [۶].

آرادین و رحمت آبادی در تحقیقی سعی کردند تا به بررسی این نوع سقف‌ها و آیین نامه‌های طراحی و همچنین نحوه اجرا بپردازند. این

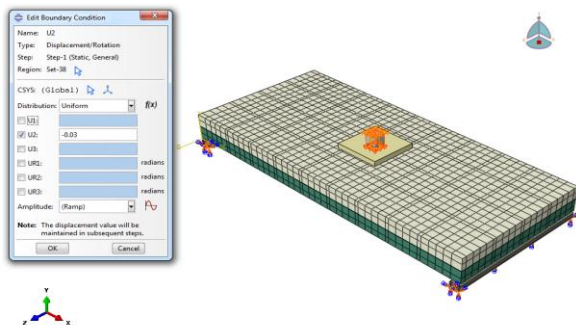


شکل ۱- سقف دال مجوف دوپوش [۱]

از ویژگی‌های یوبوت احاطه شدن آن در داخل بتن با شبکه‌های میلگرد سقف است که باعث بوجود آمدن نیروهای دو طرفه عمود بر هم می‌گردد و کاهش مصرف میلگرد را در پی دارد. ساینز بندی متفاوت یوبوت (از ۱۳ تا ۵۶ سانتی متر)، دستیابی به سختی مطلوب را با وزن کمتر امکان پذیر می‌نماید و از سوی دیگر سختی بالای سقف اجرا شده با یوبوت امکان حذف تیرهای آویزدار و نیز اجرای بازشوهای بدون ستون را فراهم و دست مهندسين معمار و محاسب را در اجرای نقشه‌های معماری باز می‌گذارد تا مطابق درخواست کارفرما و نیاز پروژه با آزادی بسیار زیاد عمل نمایند. در شکل ۲، شماتیک سقف دال مجوف دوپوش نشان داده شده است [۲].

	Length (mm)	Width (mm)	Height (mm)	Fck (MPa)	Fy (MPa)	P (%)	Shape	Material
Solid								
HS-D-0	2850	1250	250	24	400	0.54	Donut	P.P
HS-D-40							Donut	P.P+G.F
HS-R-0							Round Box	P.P

در این مدل سازی کلیه المان ها به جزء آرماتورها از نوع Solid انتخاب شده اند. (آرماتورها از نوع Wire می باشد). در این تحقیق نمودار تنش و کرنش به صورت دو خطی در نظر گرفته شده است. این منحنی تنش-کرنش دو خطی، شامل یک خط در منطقه الاستیک و یک خط در مرحله پلاستیک می باشد. از آنجا که رفتار مصالح فولادی ایزوتروپیک می باشد. معیار فون میز به عنوان معیار شکست مورد استفاده قرار گرفته است. بر اساس معیار فون میز، انرژی الاستیک ذخیره شده در یک ماده به دو بخش تغییرات حجمی ماده و تغییر شکل برشی تقسیم می شود. با مساوی قرار دادن انرژی تغییر شکل برشی نقطه تسلیم در یک وضعیت تحت تنش کششی ساده و انرژی تغییر شکل برشی تنش های مرکب، معیار تسلیم بر مبنای انرژی تغییر شکل برشی بنا نهاده می شود. بنابراین در این مدل برای فولاد، معیار تسلیم فون میز و قانون سخت شدگی ایزوتروپیک استفاده شده است. برای تحلیل نمونه عددی نیز از روش استاتیکی غیرخطی استفاده شده است. در شکل ۴ نمایی از بارگذاری بر روی نمونه عددی نشان داده شده است. در این نمونه بارگذاری به روش کنترل تغییر مکان در نظر گرفته شده است. نام المان مورد استفاده در مش بندی C3D8R می باشد که یک المان ۸ گرهی با روش حل آنالیز کاهش یافته می باشد. در شکل های ۵ و ۶ تنش و کرنش های ایجاد شده در نمونه عددی نشان داده شده است.



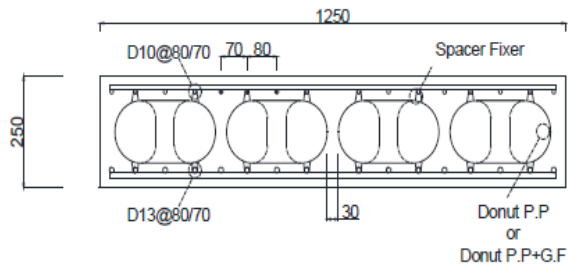
شکل ۴- نمایی از بارگذاری نمونه عددی

سقفها سقف دال مجوف دوپوش می باشند، که این سقفها، با دال دوپوش با بلوک های مانگار از جنس PP تشکیل شده است [۷]. Baran در سال ۲۰۱۵ بر روی پاسخ خمشی مربوط به دال های توخالی بتنی پیش ساخته همراه با رویه بتن درجا مطالعاتی انجام داد. در قسمت آزمایشگاهی مطالعات شامل بارگذاری ۵ نمونه دال توخالی می شود. پاسخ خمشی عددی بدست آمده مربوط به نمونه های آزمایش بعدا با رفتار بدست آمده از آزمایش تجربی مقایسه می شود. با اندازه گیری مقادیر نیروی برشی مشاهده گردید که این مقادیر بسیار کمتر از مقدار نیروی برش افقی است که در آیین نامه های ACI و AASHTO، مشخص و تعیین می شوند [۸].

Valiconis و همکارانش در سال ۲۰۱۵ در تحقیقی به بررسی رفتار خمشی دال های بتنی مسلح مجوف پرداختند. در این تحقیق بیشتر بر روی نتایج مطالعات آزمایشگاهی دال های بتنی مجوف در مقیاس کامل تمرکز نموده و ظرفیت خمشی و درجه سختی را مورد تحلیل و بررسی قرار دادند [۹].

## ۲- صحت سنجی نمونه عددی

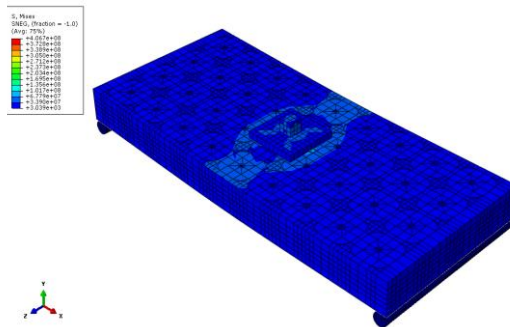
برای اطمینان از صحت روش آنالیز عددی، با استفاده از تکنیک آنالیز این تحقیق، یک مدل دال یوبوت که بصورت آزمایشگاهی تست و آزمایش شده است، مدل سازی و تحلیل می گردد و نتایج عددی با نتایج تجربی مقایسه می شود. برای همین منظور در این تحقیق به مدل سازی نمونه آزمایشگاهی که توسط Chung و همکارانش سال ۲۰۱۱ انجام شده است، پرداخته می شود. در شکل ۳ مشخصات هندسی و در جدول ۱ مشخصات مصالح نمونه آزمایشگاهی نشان داده شده است [۱۰].



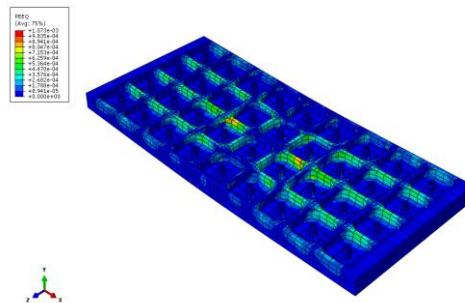
شکل ۳- مشخصات هندسی نمونه مورد نظر (واحد بر حسب میلیمتر) [۱۰]

جدول ۱. مشخصات مصالح نمونه آزمایشگاهی [۱۰]

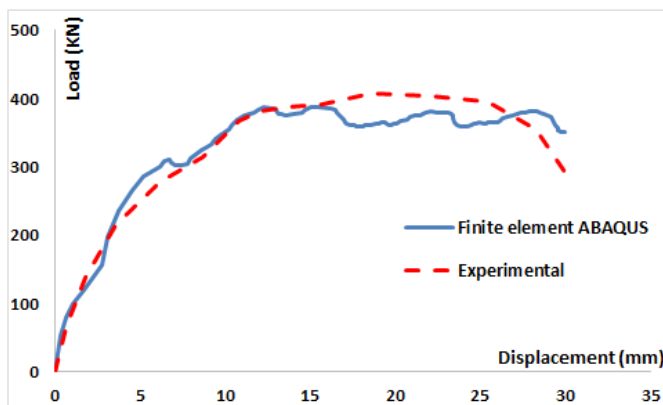
در شکل ۷ نتایج حاصل از مدل سازی عددی با نتایج نمونه آزمایشگاهی در نرم افزار اکسل مقایسه شده است. همانطور که ملاحظه می شود نتیجه مدل سازی عددی به نتیجه نمونه آزمایشگاهی بسیار نزدیک بوده و این نشان می دهد که منطق شبیه سازی نرم افزار برای این نمونه با نتایج آزمایشگاهی انطباق خوبی پیدا کرده و اختلافات موجود ناشی از عملکرد غیر خطی مصالح بتنی و پیچیدگی خاص مدل سازی این گونه مصالح در نرم افزار می باشد.



شکل ۵- تنش های ایجاد شده در دال یوبوت



شکل ۶- کرنش های ایجاد شده در مقطعی از دال یوبوت



شکل ۷- مقایسه منحنی نیرو- جابجایی نمونه عددی با نمونه آزمایشگاهی

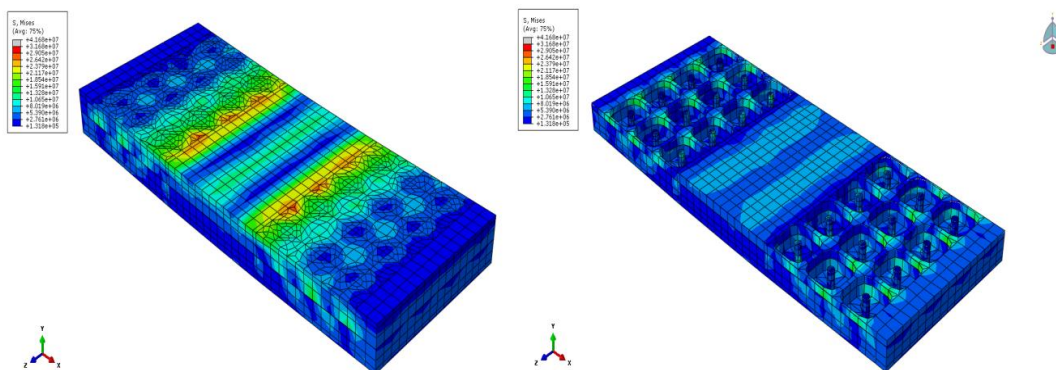
### ۳- مدل سازی نمونه های عددی

مقایسه قرار خواهد گرفت. از نظر مشخصات مصالح، شرایط مرزی و مشخصات هندسی، نمونه های عددی طوری انتخاب شده است که با نمونه های مرجع مورد مقایسه، یکسان باشد. جدول ۲ مشخصات نمونه های عددی را نشان می دهد. در شکل های ۸ و ۹ به عنوان نمونه مقادیر تنش های توزیع شده در برخی نمونه ها نشان داده شده است.

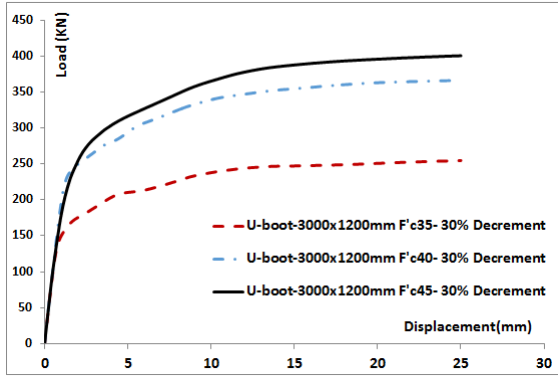
در این تحقیق ۶ نمونه عددی سقف یوبوت مدل سازی شده است، کلیه نمونه ها به طول ۳ متر و عرض ۱/۲ متر انتخاب شده و از نظر ضخامت طوری انتخاب شده که وزن نمونه ها با هم برابر باشند. پارامترهای مورد بررسی مقاومت فشاری بتن و تعداد المان های یوبوت می باشد. در نهایت نتایج نمونه های عددی را با نتایج مرجع ۹ که در آن به بررسی انواع سقف ها از جمله دال بتنی، کوبیباکس، عرشه فولادی پرداخته شده، مورد

جدول ۲- مشخصات نمونه های عددی

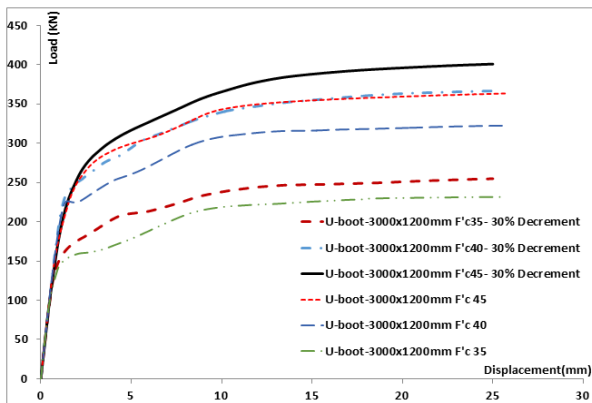
شماره نمونه	نام نمونه	ضخامت نمونه (mm)	طول نمونه (mm)	عرض نمونه (mm)	مقاومت فشاری (MPa)
1	U-BOOT - 3000x1200mm-F'c 35	300	3000	1200	35
2	U-BOOT - 3000x1200mm-F'c 40	300	3000	1200	40
3	U-BOOT - 3000x1200mm-F'c 45	300	3000	1200	45
4	U-BOOT - 3000x1200mm F'c 35 - 30% Decrement	300	3000	1200	35
5	U-BOOT - 3000x1200mm F'c 40 - 30% Decrement	300	3000	1200	40
6	U-BOOT - 3000x1200mm F'c 45 - 30% Decrement	300	3000	1200	45



شکل ۸- تنش های ایجاد شده در نمونه با بتن دارای مقاومت فشاری ۴۰ مگاپاسکال و با ۳۰ درصد کاهش یوبوت ها

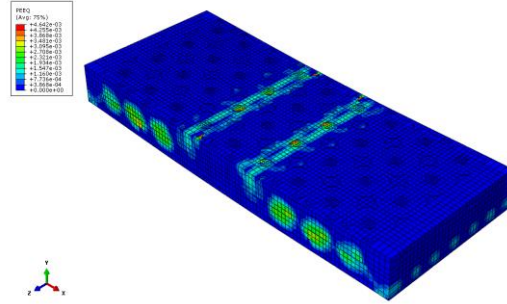


شکل ۱۱- مقایسه منحنی نیرو- جابجایی نمونه‌هایی با مقاومت فشاری مختلف با کاهش تعداد یوبوت



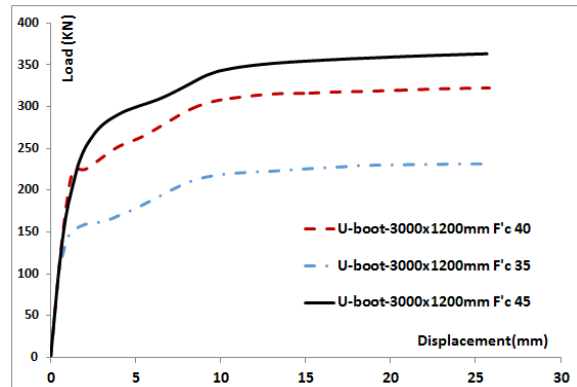
شکل ۱۲- مقایسه منحنی نیرو- جابجایی نمونه‌های دارای یوبوت در هر دو حالت کاهش و بدون کاهش تعداد یوبوت

در شکل‌های ۱۳ و ۱۴ به مقایسه نمونه‌های یوبوت مدل شده با نمونه‌های مرجع ۱۲ که در این مرجع ملکی و خلیلی در سال ۱۳۹۷ به مقایسه انواع سقف‌های متداول از قبیل کوبیاکس، دال بتنی و عرشه فولادی پرداخته و سپس نتایج را در قالب نمودارهای نیرو- جابجایی ارائه نموده‌اند. در ادامه به ارزیابی و مقایسه نمودارهای استخراج شده سقف یوبوت با نتایج مقاله ایشان پرداخته شده است. همانطور که در شکل ۱۲ مشاهده می‌شود در یک شرایط یکسان از نظر مشخصات هندسی و مصالح به مقایسه سقف یوبوت با سقف‌های دال بتنی، کوبیاکس و عرشه فولادی که دارای بتن با مقاومت ۳۵ مگاپاسکال هستند پرداخته شده است. همانطور که مشاهده می‌شود سقف یوبوت نسبت به سایر سقف‌ها دارای سختی و ظرفیت باربری بیشتری می‌باشد و دال بتنی نیز دارای کمترین ظرفیت باربری در جابجایی‌های یکسان می‌باشد. عملکرد سقف عرشه فولادی با سقف کوبیاکس نیز از نظر ظرفیت باربری نزدیک هم بوده ولی از نظر میزان سختی یا شیب منحنی نیرو- جابجایی، سقف کوبیاکس سختی بیشتری از خود نشان داده است. از نظر عددی نیز سقف یوبوت با نیروی ۲۳۱/۵۳ کیلو نیوتن نسبت به سقف‌های کوبیاکس و عرشه فولادی، دال بتنی به ترتیب ۸/۳ درصد و ۵۴/۵ درصد دارای ظرفیت باربری بیشتری می‌باشد.



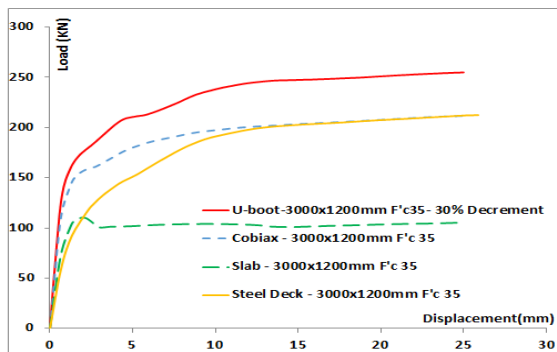
شکل ۹- کرنش پلاستیک ایجاد شده در نمونه با بتن دارای مقاومت فشاری ۴۵ مگاپاسکال

در شکل‌های ۱۰ تا ۱۲ به مقایسه نمونه‌های دارای یوبوت با مقاومت فشاری مختلف پرداخته شده است. همانطور که در شکل ۱۰ مشاهده می‌شود با افزایش مقاومت فشاری بتن از ۳۵ به ۴۵ مگاپاسکال مقدار ظرفیت باربری در حدود ۲۳/۷۸ درصد افزایش یافته است. این در حالی است که این افزایش در مقاومت پایین تر دارای اختلاف بیشتری بوده به بیان دیگر می‌توان گفت که با افزایش مقاومت فشاری مقدار اختلاف ظرفیت باربری در بین نمونه‌ها کمتر می‌شود. در شکل ۱۱ به بررسی تاثیر کاهش تعداد یوبوت‌ها پرداخته شده است. در این نمونه‌ها ۳۰ درصد یوبوت‌ها کاهش یافته است. با افزایش مقاومت فشاری بتن از ۳۵ به ۴۵ مگاپاسکال مقدار ظرفیت باربری در حدود ۲۲/۳۲ درصد افزایش یافته است. با مقایسه این نمونه‌ها با حالت بدون کاهش تعداد یوبوت‌ها مشخص می‌شود که تقریباً به ازای هر نمونه مشابه مقدار ظرفیت باربری ۱۰ درصد افزایش یافته است.



شکل ۱۰- مقایسه منحنی نیرو- جابجایی نمونه‌هایی با مقاومت فشاری مختلف

در شکل ۱۵ همانطور که مشاهده می‌شود سقف یوبوت نسبت به سایر سقف‌ها دارای سختی و ظرفیت باربری بیشتری می‌باشد و دال بتنی نیز دارای کمترین ظرفیت باربری در جابجایی‌های یکسان می‌باشد. همانطور که مشاهده می‌شود با کاهش ۳۰ درصدی تعداد یوبوت‌ها و با افزایش مقاومت فشاری بتن، منحنی نیرو-جابجایی حالت یکنواخت‌تری پیدا کرده است. از نظر عددی سقف یوبوت با بتن دارای مقاومت ۳۵ مگاپاسکال با نیروی  $254/82$  کیلونیوتن نسبت به سقف‌های کوبیاسکس و عرشه فولادی، دال بتنی به ترتیب ۱۶/۶۸ درصد و ۵۸/۶۵ درصد دارای ظرفیت باربری بیشتری می‌باشد.



شکل ۱۵- مقایسه منحنی نیرو-جابجایی سقف یوبوت با کاهش ۳۰ درصدی در تعداد یوبوت با نمونه‌های دال بتنی-کوبیاسکس و عرشه فولادی مرجع دارای بتن با مقاومت ۳۵ مگاپاسکال [۱۱]

#### ۴- نتیجه‌گیری

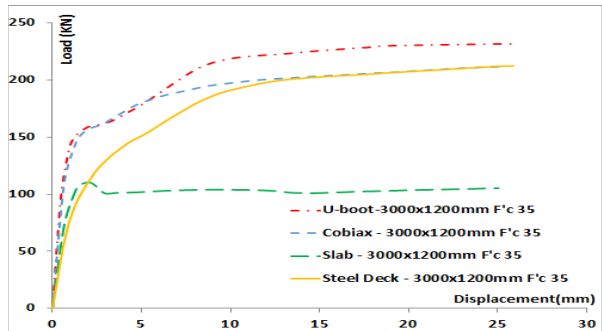
(۱) با کاهش ۳۰ درصدی تعداد یوبوت‌ها و با افزایش ۲۰ درصدی مقاومت فشاری بتن، مقدار ظرفیت باربری در حدود ۲۲/۳۲ درصد افزایش یافته است.

(۲) سقف یوبوت نسبت به سایر سقف‌ها دارای سختی و ظرفیت باربری بیشتری می‌باشد.

(۳) در صورت استفاده از بتن با مقاومت فشاری ۳۵ مگاپاسکال، سقف یوبوت با نیروی  $231/53$  کیلونیوتن نسبت به سقف‌های کوبیاسکس و عرشه فولادی، دال بتنی به ترتیب ۸/۳ درصد و ۵۴/۵ درصد دارای ظرفیت باربری بیشتری می‌باشد.

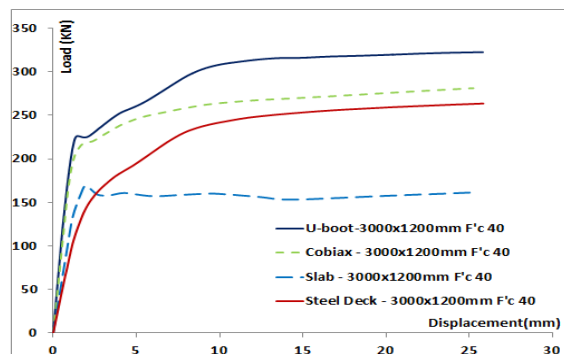
(۴) در اغلب نمونه‌ها تغییر شکل تقریباً به صورت خطی با اعمال بار افزایش می‌یابد و سپس به ناحیه غیر خطی وارد می‌شوند که در این مرحله آرماتورهای فولادی متحمل تنش زیادی شده و با رفتار مناسب‌تری که در تحمل بارهای کششی دارند باعث افزایش فاصله بین نقطه تسلیم با نقطه گسیختگی نمونه در آخرین مرحله بارگذاری شده‌اند.

(۵) در نمونه‌های یوبوت و عرشه فولادی تقریباً از جابجایی ۱۰ میلیمتر به بعد به ازای افزایش جابجایی مقدار نیرو تقریباً ثابت مانده این در



شکل ۱۳- مقایسه منحنی نیرو-جابجایی سقف یوبوت با نمونه‌های دال بتنی-کوبیاسکس و عرشه فولادی مرجع دارای بتن با مقاومت ۳۵ مگاپاسکال [۱۱]

همانطور که در شکل ۱۴ مشاهده می‌شود در یک شرایط یکسان از نظر مشخصات هندسی و مصالح به مقایسه سقف یوبوت با سقف‌های دال بتنی، کوبیاسکس و عرشه فولادی که دارای بتن با مقاومت ۴۰ مگاپاسکال هستند، پرداخته شده است. همانطور که مشاهده می‌شود سقف یوبوت نسبت به سایر سقف‌ها دارای سختی و ظرفیت باربری بیشتری می‌باشد و دال بتنی نیز دارای کمترین ظرفیت باربری در جابجایی‌های یکسان می‌باشد. در اغلب نمونه‌ها تغییر شکل تقریباً به صورت خطی با اعمال بار افزایش می‌یابد و سپس به ناحیه غیر خطی وارد می‌شوند که در این مرحله آرماتورهای فولادی متحمل تنش زیادی شده و با رفتار مناسب‌تری که در تحمل بارهای کششی دارند باعث افزایش فاصله بین نقطه تسلیم با نقطه گسیختگی نمونه در آخرین مرحله بارگذاری شده‌اند. در نمونه‌های یوبوت و عرشه فولادی تقریباً از جابجایی ۱۰ میلیمتر به بعد به ازای افزایش جابجایی مقدار نیرو تقریباً ثابت مانده این در حالی هست که در نمونه‌های دال بتنی و کوبیاسکس این مقدار تقریباً به ۲/۵ میلیمتر محدود شده است. از نظر عددی نیز سقف یوبوت با نیروی  $322/31$  کیلونیوتن نسبت به سقف‌های کوبیاسکس، عرشه فولادی، دال بتنی به ترتیب ۱۲/۷۷ درصد و ۱۸/۲۵ درصد دارای ظرفیت باربری بیشتری می‌باشد.



شکل ۱۴- مقایسه منحنی نیرو-جابجایی سقف یوبوت با نمونه‌های دال بتنی-کوبیاسکس و عرشه فولادی مرجع دارای بتن با مقاومت ۴۰ مگاپاسکال [۱۱]

حالی هست که در نمونه‌های دال بتنی و کوبی‌کس این مقدار تقریباً به ۲/۵ میلیمتر محدود شده است.

۶) در نمونه با بتن ۴۰ مگاپاسکال و کاهش ۳۰ درصدی تعداد یوبوت‌ها، سقف یوبوت با نیروی ۳۶۶/۶ کیلونیوتن نسبت به سقف‌های کوبی‌کس، عرشه فولادی، دال بتنی به ترتیب ۲۳/۳۱ درصد و ۵۰ درصد و دارای ظرفیت باربری بیشتری می‌باشد. در نهایت همین نمونه‌ها با بتن ۴۵ مگاپاسکال، به ترتیب ۲۷/۱۷ درصد، ۳۲/۱۵ درصد و ۵۷/۷۵ درصد دارای ظرفیت باربری بیشتری می‌باشند.

۷) با افزایش مقاومت فشاری مقدار اختلاف ظرفیت باربری در بین نمونه‌ها کمتر می‌شود.

## منابع

- 1- <https://www.sakhtemoon.com>
- 2- <https://buildingplus.ir>
- ۳- مهدوی عادل، م، صیادیان، ر، (۱۳۹۴)، انتخاب سقف ساختمانی بهینه با در نظر گرفتن متغیرهای وزن و هزینه، همایش ملی عمران و معماری با رویکردی به توسعه پایدار.
- ۴- رنجبر ایرانی، ز، (۱۳۹۵)، تحلیل و بررسی سازه‌های عرشه فولادی به عنوان سازه مدرن در صنعت ساخت و ساز، مرداد ماه.
- ۵- شکوری، پ، (۱۳۹۵)، بررسی فنی و اجرایی سقف‌های رایج ساختمان، سومین کنفرانس ملی توسعه علوم مهندسی، اردیبهشت ماه.
- ۶- حسین زاده، م، (۱۳۹۲)، طراحی و اجرای سقف‌های عرشه فولادی، اولین کنفرانس بین المللی عمران، معماری و توسعه اقتصاد شهری.
- ۷- آردیان، ا، دشتی رحمت آبادی، م.ع، (۱۳۹۶)، آشنایی با سیستم سقف‌های مجوف بتنی با بلوک‌های ماندگار، سومین کنفرانس سالانه پژوهش‌های معماری، شهرسازی و مدیریت شهری، شیراز.
- 8-Baran E, (2015), Effects of Cast-In-Place Concrete Topping on Flexural Response of Precast Concrete Hollow-Core Slabs, Engineering Structures PP:109–1170.
- 9-Juozas Valivonisa, Bronius Jonaitisa, Robertas Zavalisa, Tomas Skuturnaa, Arnoldas Sneiderisa, (2015), Flexural capacity and stiffness of monolithic biaxial hollow slabs, Journal of Civil Engineering and Management.
- 10-J. H. Chung, H. K. Choi, S. C. Lee, C. S. Choi, (2011), Shear Capacity of Biaxial Hollow Slab with Donut Type Hollow Sphere, Procedia Engineering 14 - 2219–2222.
- ۱۱- ملکی، ا، خلیلی، ن، (۱۳۹۷)، مقایسه فنی و اقتصادی سقف‌های کوبی‌کس با انواع سقف‌های متداول، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، مراغه، دانشگاه آزاد واحد مراغه.



# Numerical Modeling of the U-Boot Roof Behavior and Its Comparison with the Steel Deck Roofs, Cobiax roof, and Concrete Slabs

Saeid Sharifi

Master Student of civil Engineering, Maragheh Branch, Islamic Azad University, Maragheh, Iran

Ahmad Maleki

Assistant Professor, Maragheh Branch, Islamic Azad University, Maragheh, Iran

## Abstract

Undoubtedly, one of the main and effective members in building structures is the ceiling, and the type of execution of this part of the structure will play a significant role in the speed and quality of the entire structure. The application of old materials and traditional construction methods no longer meets the desired speed and design needs. In this study, in addition to introducing the structure of U-Boot roof, an attempt has been made to provide a comparative approach in terms of structural performance with other common roofs such as steel deck roof, concrete slab and Cobiax roof. For this purpose, after ensuring the results of modeling using Abacus software, modeling of numerical samples and comparing them with other common ceilings have been done. The results indicate that by comparing concrete slabs, when increasing the compressive strength of the specimens, the amount of final yield load is increased, but after the yield point, the failure of the specimens was immediate. Then the load capacity has remained constant for the same displacement, and with a decrease of 30% in the number of U-Boots and a 20% increase in compressive strength, the amount of load capacity has increased by about 22.32%. Comparing these specimens with the state without reducing the number of U-Boots, it is determined that for each similar sample, the load bearing capacity has increased by 10%. The U-Boot roof also has higher hardness and load-bearing capacity than other roofs and the concrete slab has the lowest load-bearing capacity in the same displacements. The performance of the steel deck roof and the Cobiax roof is also close in terms of bearing capacity, but in terms of the hardness or gradient of the force-displacement curve, the Cobiax roof has shown more hardness.

**Keywords:** U-Boot ceilings, steel deck, Cobiax roof, concrete slab, bearing capacity, stiffness