

آنالیز فنی و اقتصادی سقف کانتون

محمد حسن طاهری^۱، محمد علی کازرونی^{۲*}

۱- دانشجوی دکترا، گروه مهندسی عمران، واحد کرمان، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمان، ایران

۲- استادیار، گروه مهندسی عمران، واحد کرمان، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمان، ایران

kazerooni.ma@iauk.ac.ir

چکیده

سقف‌های کانتون، به‌عنوان یکی از فناوری‌های نوین در صنعت ساختمان، با استفاده از دال‌های بتنی توخالی که شامل گوی‌های کروی پلی‌پروپیلن یا پلی‌اتیلن بازیافتی هستند، امکان کاهش وزن سازه و افزایش طول دهانه‌ها را بدون نیاز به تیرهای میانی فراهم می‌کنند. این پژوهش به بررسی فنی و اقتصادی سقف‌های کانتون می‌پردازد تا عملکرد سازه‌ای و صرفه‌جویی مالی آن‌ها را در مقایسه با سیستم‌های سقف سنتی مانند طاق ضربی و تیرچه‌بلوک ارزیابی کند. روش تحقیق شامل تحلیل ویژگی‌های فنی (مانند مقاومت خمشی، برشی، و رفتار در برابر بارهای ثقیل و جانبی) و آنالیز اقتصادی (هزینه‌های اولیه، اجرا، و نگهداری) است. داده‌ها از طریق مطالعات موردی، شبیه‌سازی‌های نرم‌افزاری، و مرور منابع علمی جمع‌آوری شده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که سقف‌های کانتون به دلیل کاهش بار مرده، بهبود رفتار لرزه‌ای، و انعطاف‌پذیری در طراحی معماری، مزایای قابل توجهی دارند. با این حال، محدودیت‌هایی مانند عدم آشنایی کافی با این فناوری و هزینه‌های اولیه بالاتر ممکن است مانع پذیرش گسترده آن در ایران شوند. این مطالعه پیشنهاد می‌کند که با افزایش آگاهی مهندسان و بهبود روش‌های اجرایی، استفاده از این فناوری می‌تواند به بهینه‌سازی سازه‌ها و کاهش هزینه‌های بلندمدت کمک کند.

کلمات کلیدی: سقف کانتون، دال توخالی، آنالیز فنی، آنالیز اقتصادی، سبک‌سازی سازه، فناوری نوین ساختمانی

Technical and Economic Analysis of Contunn Slab

Mohammad Hassan Taheri¹, Mohammad Ali Kazerooni^{2*}

1-Ph. D. Student, Department of Civil Engineering, Kerman Branch, Islamic Azad University, Kerman, Iran

2-Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Kerman Branch, Islamic Azad University, Kerman, Iran

kazerooni.ma@iauk.ac.ir

Abstract:

Contunn Slab, as an innovative technology in the construction industry, utilize voided concrete slabs with spherical polypropylene or recycled polyethylene inserts, enabling reduced structural weight and larger spans without intermediate beams. This study investigates the technical and economic performance of Canton roofs compared to traditional roofing systems such as vaulted ceilings and joist-block systems. The research methodology includes analyzing technical characteristics (e.g., flexural and shear strength, and behavior under gravity and lateral loads) and

economic aspects (e.g., initial, construction, and maintenance costs). Data were collected through case studies, software simulations, and a review of scientific literature. The findings indicate that Canton roofs offer significant advantages, including reduced dead load, improved seismic performance, and enhanced architectural flexibility. However, challenges such as limited familiarity with the technology and higher initial costs may hinder its widespread adoption in Iran. The study recommends increasing engineers' awareness and improving implementation methods to promote the use of this technology for optimized structures and long-term cost savings.

Keywords: Contunn Slab, Voided Slab, Technical Analysis, Economic Analysis, Structural Lightweighting, Innovative Construction Technology

مقدمه

صنعت ساخت‌وساز به دلیل تأثیرات گسترده‌اش بر اقتصاد، ایمنی و پایداری محیطی، همواره در جست‌وجوی فناوری‌های نوین برای بهبود عملکرد سازه‌ها و کاهش هزینه‌هاست. یکی از مهم‌ترین اجزای سازه‌ای، سقف‌ها هستند که نقش کلیدی در تحمل بارهای ثقلی و جانبی ایفا می‌کنند. در سال‌های اخیر، سیستم‌های دال مجوف (توخالی) به دلیل قابلیت کاهش وزن سازه، افزایش دهانه‌های سازه‌ای، و بهبود رفتار لرزه‌ای، توجه زیادی را به خود جلب کرده‌اند. در این میان، سقف کانتون به‌عنوان یک فناوری نوین در دسته دال‌های توخالی، با حذف بتن غیرسازه‌ای از میانه دال و استفاده از قالب‌های پلی‌پروپیلن، امکان سبک‌سازی، کاهش هزینه‌ها، و انعطاف‌پذیری معماری را فراهم کرده است. هدف اصلی این پژوهش، آنالیز فنی و اقتصادی سقف کانتون و مقایسه آن با سیستم‌های مشابه مانند یوبوت و وافل است. این مطالعه به دنبال پاسخ به سؤالاتی از جمله ویژگی‌های فنی و اقتصادی سقف کانتون، مزایا و معایب آن نسبت به سایر سیستم‌ها، و دلایل عدم استفاده گسترده از این فناوری در ایران است. فرضیه‌های تحقیق بر این اساس است که سقف کانتون به دلیل کاهش وزن و بهبود رفتار لرزه‌ای، می‌تواند گزینه‌ای بهینه باشد، اما عواملی مانند کمبود آگاهی و مقاومت در برابر فناوری‌های جدید، مانع پذیرش گسترده آن شده‌اند.

پیشینه

صنعت ساخت‌وساز به دلیل تأثیرات گسترده‌اش بر اقتصاد، ایمنی و پایداری محیطی، همواره در جست‌وجوی فناوری‌های نوین برای بهبود عملکرد سازه‌ها و کاهش هزینه‌هاست. یکی از مهم‌ترین اجزای سازه‌ای، سقف‌ها هستند که نقش کلیدی در تحمل بارهای ثقلی و جانبی ایفا می‌کنند. در سال‌های اخیر، سیستم‌های دال مجوف (توخالی) به دلیل قابلیت کاهش وزن سازه، افزایش دهانه‌های سازه‌ای، و بهبود رفتار لرزه‌ای، توجه زیادی را به خود جلب کرده‌اند.

سیر تکامل سیستم‌های سقف بتنی از دال‌های توپر سنتی آغاز شد که به دلیل وزن بالا و محدودیت در دهانه‌های بزرگ، با چالش‌هایی مواجه بودند. در دهه‌های ۱۹۷۰ و ۱۹۸۰، سیستم‌هایی مانند سقف‌های وافل با استفاده از قالب‌های غیرماندگار معرفی شدند که با حذف بتن غیرسازه‌ای، وزن را کاهش دادند، اما همچنان به کفراژبندی گسترده نیاز داشتند. در اوایل قرن بیستم و یکم، فناوری‌های دال مجوف مانند کوبیاکس و یوبوت با استفاده از قالب‌های ماندگار (مانند کره‌ها یا بلوک‌های پلی‌پروپیلن) توسعه یافتند که امکان ایجاد دهانه‌های بزرگ‌تر و کاهش مصرف بتن را فراهم کردند. با این حال، این سیستم‌ها همچنان با چالش‌هایی مانند هزینه اولیه قالب‌ها و پیچیدگی اجرا مواجه بودند. سقف کانتون

به عنوان نسل جدید دال های توخالی، با بهره گیری از قالب های پلی پروپیلن با طراحی منحنی و بهینه، گام مهمی در راستای سبک سازی، کاهش هزینه ها، و بهبود عملکرد لرزه ای برداشت. این سیستم با حذف بتن غیرسازه ای از میانه دال و ایجاد حفره های منظم، نه تنها وزن سازه را کاهش می دهد، بلکه انعطاف پذیری معماری و سهولت اجرا را نیز بهبود می بخشد.

آزمایشات

برای ارزیابی فنی و اقتصادی سقف کانتون و مقایسه آن با سیستم های مشابه (یوبوت و وافل)، یک پروژه نمونه با دهانه 11×11 متر (مساحت 121 مترمربع) در نظر گرفته شد. این

تمام ستون ها با تیرهای 60×40 سانتیمتر به هم متصل شدند. در دال وافل، فاصله آکس به آکس تیرچه ها 72 سانتیمتر و نسبت عرض به ارتفاع تیرچه ها 3.5 در نظر گرفته شد. وزن دال کانتون از مدارک فنی شرکت آبراک استخراج شد. وزن دال یوبوت معادل 70% وزن دال توپر هم ضخامت فرض شد. مدل سازی و تحلیل: سقف کانتون: ضخامت 42 سانتیمتر، با لایه های بتنی بالا و پایین 7 سانتیمتر. آرماتورهای اصلی (نمره 10 با فاصله 15 سانتیمتر) در دو جهت و لایه های بالا و پایین استفاده شد. خیز و برش پانچ با نرم افزار Safe بررسی شد.

سقف یوبوت: ضخامت 55 سانتیمتر، با لایه های بتنی 7 سانتیمتر. آرماتوربندی مشابه کانتون بود.

سقف وافل: ضخامت 55 سانتیمتر، با لایه بتنی رویه 7 سانتیمتر و عرض تیرچه 15 سانتیمتر.

خیز: خیز دال ها با استفاده از روابط آیین نامه ای (مبحث نهم مقررات ملی ساختمان) و تحلیل نرم افزاری کنترل شد.

آزمایشات با استفاده از نرم افزار Safe 16 انجام شد تا عملکرد سازه ای (خیز و برش پانچ) و مصرف مصالح (بتن و میلگرد) در سه نوع دال (کانتون، یوبوت، و وافل) بررسی شود. فرضیات مدل سازی به شرح زیر است:

بار مرده: 250 کیلوگرم بر مترمربع

بار زنده: 200 کیلوگرم بر مترمربع

مقاومت فشاری بتن (Fc): 300 کیلوگرم بر سانتی مترمربع

ترکیب بار: Def240 (L/240) برای کنترل خیز مجاز

شرایط پروژه: ضخامت دال ها به گونه ای تنظیم شد که خیز در حد مجاز آیین نامه باشد.

برای دال های دوطرفه، معادلات لاگرانژ و سری های فوریه برای محاسبه خیز آنی و درازمدت استفاده شد. برش پانچ: تنش های برشی در محل اتصال دال به ستون بررسی شد. مقطع بحرانی در فاصله $d/2$ از بر ستون تعریف شد، و مقاومت برشی با توجه به آیین نامه ها (ACI و مبحث نهم) کنترل شد.

محاسبات دستی تکمیلی: برای سقف کانتون، تعداد میلگردهای شبکه بالا و پایین $(148 + 148 = 296)$ شاخه نمره 10 و میلگردهای سنجاقی (20 شاخه) محاسبه شد. وزن کل میلگرد 2528 کیلوگرم برآورد شد. تعداد قالب های کانتون (60×60 سانتیمتر، ارتفاع 20 سانتیمتر) 336 عدد و حجم بتن مصرفی 0.199 مترمکعب بر مترمربع محاسبه شد. این آزمایشات با هدف مقایسه وزن، ضخامت، خیز، و مصرف مصالح انجام شد تا برتری های احتمالی سقف کانتون نسبت به سیستم های مشابه مشخص شود.

روش تحقیق

مقایسه کمی: مقایسه وزن، ضخامت، حجم بتن، و مصرف میلگرد بین سه نوع دال. مقایسه کیفی: بررسی مزایا و معایب (مثل سهولت اجرا، عایق صوت و حرارت، و انعطاف پذیری معماری) بر اساس منابع و پیشینه.

روایی و پایایی: استفاده از آیین نامه های معتبر (مبحث نهم، ACI) و مدارک فنی شرکت آبراک، روایی تحلیل ها را تضمین کرد. تکرار پذیری نتایج با مدل سازی در نرم افزار Safe و تطابق با مطالعات پیشین (مثل رضایا، ۱۳۹۸) تأیید شد.

محدودیت ها: کمبود داده های تجربی از پروژه های واقعی با سقف کانتون در ایران. عدم وجود آیین نامه های بومی برای طراحی این سیستم. محدودیت در دسترسی به اطلاعات هزینه های دقیق (مثل قیمت قالب های کانتون). روش تحقیق به گونه ای طراحی شد که با ترکیب تحلیل های نرم افزاری و محاسبات دستی، نتایج قابل اعتمادی برای مقایسه سقف کانتون با سیستم های دستی مشابه ارائه دهد.

این پژوهش از نوع کاربردی و توصیفی است که با هدف آنالیز فنی و اقتصادی سقف کانتون و مقایسه آن با سیستم های مشابه انجام شده است. روش تحقیق شامل مراحل زیر است:

جامعه آماری: جامعه آماری این پژوهش شامل سیستم های سقف بتنی (کانتون، یو بوت، وافل) در سازه های بتنی با دهانه های بلند (۱۱ متر) است. یک پروژه نمونه با مساحت ۱۲۱ مترمربع برای تحلیل انتخاب شد.

منابع کتابخانه ای: مطالعه مقالات علمی، آیین نامه ها (مبحث نهم، استاندارد ۲۸۰۰، ACI)، و مدارک فنی شرکت آبراک.

نرم افزار Safe 16: برای مدل سازی و تحلیل خیز، برش پانچ، و طراحی آرماتورها. محاسبات دستی: برای برآورد مصرف مصالح (بتن، میلگرد، قالب) و وزن سقف.

تحلیل نرم افزاری: مدل سازی دال ها در نرم افزار Safe با فرضیات یکسان (بارگذاری، مقاومت بتن، و آرماتوربندی) انجام شد. خیز و برش پانچ با استفاده از روابط آیین نامه ای و سری های فوریه کنترل شد.

نتایج و بحث

نتایج تحلیل نرم افزاری و محاسبات دستی در جدول زیر خلاصه شده است:

جدول ۴-۱: مقایسه فنی سقف کانتون با دال های مشابه

نوع سقف	ضخامت تمام شده	ضخامت لایه بالا	ضخامت لایه پایین	عرض متوسط تیرچه ها	بیشینه خیز	حجم بتن (مترمکعب بر مترمربع)	وزن (کلیوگرم بر متر مربع)
Waffle slab	55 cm	7 cm	-	15 cm	0.0418cm	0.249	623 kg
Contunn slab	42 cm	7 cm	7 cm	-	0.0427cm	0.199	497 kg

U-boat slab	55 cm	7 cm	7 cm	-	0.0423cm	0.406	965 kg
-------------	-------	------	------	---	----------	-------	--------

هزینه‌ها: کاهش ضخامت و وزن سقف کانتون منجر به کاهش هزینه‌های اسکلت و فونداسیون می‌شود. حذف نیاز به سقف کاذب و امکان عبور تأسیسات از داخل دال، هزینه‌های اجرایی را کاهش می‌دهد.

مزایای اجرایی: قالب‌های پلی‌پروپیلن کانتون به دلیل شکل منحنی، مقاومت بیشتری در برابر شکستگی دارند و نفوذ بتن به زیر آن‌ها آسان‌تر است. کاهش کفراژبندی و پایه‌های اطمینان نیز هزینه‌ها را پایین می‌آورد.

مقایسه کلی: سقف کانتون در مقایسه با یوبوت و وافل، به دلیل ضخامت کمتر (۴۲ سانتیمتر در برابر ۵۵ سانتیمتر)، وزن پایین‌تر، و مصرف بتن کمتر، از نظر فنی و اقتصادی برتری دارد. عملکرد فرکانسی بهتر و کاهش انتقال صوت و حرارت، این سیستم را برای ساختمان‌های مسکونی و تجاری مناسب می‌کند. با این حال، عدم وجود آیین‌نامه‌های بومی برای طراحی سقف کانتون و کمبود تجربه اجرایی در ایران، چالش‌هایی برای پذیرش گسترده آن ایجاد کرده است.

این پژوهش با هدف آنالیز فنی و اقتصادی سقف کانتون و مقایسه آن با دال‌های مشابه (یوبوت و وافل) انجام شد. نتایج کلیدی به شرح زیر است:

آنالیز فنی: سقف کانتون با ضخامت ۴۲ سانتیمتر، وزن ۴۹۷ کیلوگرم بر مترمربع، و حجم بتن ۰.۱۹۹ مترمکعب بر مترمربع، عملکرد بهتری نسبت به یوبوت (۵۵ سانتیمتر، ۹۶۵ کیلوگرم) و وافل (۵۵ سانتیمتر، ۶۲۳ کیلوگرم) دارد. خیز

ضخامت و وزن: سقف کانتون با ضخامت ۴۲ سانتیمتر، کمترین ضخامت را در مقایسه با یوبوت و وافل (۵۵ سانتیمتر) دارد. وزن آن ۴۹۷ کیلوگرم بر مترمربع به طور قابل توجهی کمتر از یوبوت (۹۶۵ کیلوگرم) و وافل (۶۲۳ کیلوگرم) است.

خیز: خیز سقف کانتون (۰.۰۴۲۷ سانتیمتر) در حد مجاز آیین‌نامه و مشابه سایر دال‌ها است، که نشان‌دهنده عملکرد مناسب سازه‌ای است.

برش پانچ: کنترل برش پانچ نشان داد که سقف کانتون با طراحی مناسب (بدون نیاز به آرماتورهای برشی اضافی) مقاومت کافی در برابر تنش‌های برشی دارد.

صلبیت دیافراگم: به دلیل وجود دو لایه بتنی در بالا و پایین، سقف کانتون صلبیت بیشتری نسبت به وافل (با یک لایه بتنی) دارد و توزیع نیروی جانبی بهتری در زلزله ارائه می‌دهد.

مصرف مصالح: سقف کانتون با مصرف بتن ۰.۱۹۹ مترمکعب بر مترمربع، کمترین حجم بتن را نسبت به یوبوت (۰.۴۰۶) و وافل (۰.۲۴۹) نیاز دارد. وزن کل میلگرد (۲۵۲۸ کیلوگرم برای ۱۲۱ مترمربع) و تعداد قالب‌ها (۳۳۶ عدد) نیز نشان‌دهنده بهینه‌بودن مصرف مصالح است.

مقایسه با پیشینه تحقیق (مثل مطالعات خلیلی و ملکی، ۱۳۹۷) نشان می‌دهد که دال‌های توخالی مانند کانتون، با کاهش وزن تا ۳۰٪، می‌توانند هزینه‌های کلی سازه را تا ۱۵٪ کاهش دهند.

نتیجه گیری

کاهش انتقال صوت و حرارت، و عملکرد فرکانسی بهتر. معایب: نیاز به آموزش نیروی اجرایی، هزینه اولیه قالب‌ها، و کمبود آیین‌نامه‌های بومی. دلایل عدم استفاده گسترده: عدم آگاهی کافی مهندسان و پیمانکاران. مقاومت در برابر فناوری‌های جدید به دلیل هزینه‌های اولیه یا پیچیدگی اجرایی. کمبود تأمین‌کنندگان قالب‌های کانتون در ایران. پیشنهادات: انجام مطالعات تجربی بیشتر روی پروژه‌های واقعی با سقف کانتون. تدوین آیین‌نامه‌های بومی برای طراحی و اجرای این سیستم. آموزش مهندسان و پیمانکاران برای کاهش مقاومت در برابر فناوری‌های نوین. بررسی ریسک‌ها و عوامل مؤثر بر پذیرش سقف کانتون در پروژه‌های مختلف است.

سقف کانتون (۰.۰۴۲۷ سانتیمتر) در حد مجاز آیین‌نامه است و برش پانچ آن با طراحی مناسب کنترل می‌شود. صلبیت دیافراگم در سقف کانتون به دلیل دو لایه بتنی، توزیع بهتری از نیروهای جانبی در زلزله ارائه می‌دهد.

آنالیز اقتصادی: مصرف کمتر بتن و میلگرد، حذف نیاز به سقف کاذب، و کاهش کفراژبندی، هزینه‌های اجرایی را کاهش می‌دهد. برای یک سقف ۱۲۱ مترمربعی، ۳۳۶ قالب کانتون و ۲۵۲۸ کیلوگرم میلگرد نیاز است که در مقایسه با یوبوت و وافل بهینه‌تر است. مزایا و معایب: مزایا: کاهش وزن، امکان ایجاد دهانه‌های بزرگ، انعطاف‌پذیری معماری، سهولت اجرا،

منابع

منابع فارسی:

- فتحی، م.، اسدی‌زاد، ف. (۱۳۹۰).
- مطالعه و بررسی رفتار خمشی و برش پانچینگ دال‌های دوطرفه توخالی و مقایسه با دال توپر. ششمین کنگره مهندسی عمران. خلیلی، ن.، ملکی، ا. (۱۳۹۷).
- مقایسه فنی و اقتصادی سقف‌های کوبی‌اکس با انواع سقف‌های متداول. سومین کنفرانس بین‌المللی عمران، معماری و طراحی شهری. رضانیا، م. (۱۳۹۸).
- مقایسه سازه‌ای و اقتصادی سقف‌های دال مجوف قالب ماندگار یوبوت و قالب غیرماندگار وافل. ششمین کنفرانس بین‌المللی یافته‌های نوین علوم و تکنولوژی. امیدی‌نسب، ف. و همکاران (۱۳۹۵).
- بررسی سیستم دال مجوف یوبوت و مقایسه آن با سقف‌های تیرچه‌بلوک، پیش‌تنیده دال و تیر، کرومیت، عرشه فولادی و پرکننده کروی. کنفرانس بین‌المللی مهندسی شهرسازی، عمران، معماری. آراسته، ح. (۱۳۹۵).
- سیستم سقف کوبی‌اکس (دال دوطرفه توخالی). سومین کنفرانس ملی مهندسی عمران و توسعه پایدار ایران. مبحث نهم مقررات ملی ساختمان (۱۳۹۹).

- طرح و اجرای ساختمان‌های بتنی. تهران: نشر توسعه ایران. استاندارد ملی ایران شماره ۲۱۹۷۳ (۱۳۹۶). سقف‌های مرکب عرشه فولادی.

- وبسایت آبراک: <http://www.abrack.ir/fa/contunn-introduction/what-is-contun>

- وبسایت سبز سازه: <https://sabzsaze.com/composite-deck>

- وبسایت سیویلی: <https://www.civily.ir>

منابع غیر فارسی:

- AISC (2016). Specification for structural steel buildings. AISC-360-16
- American Institute of Steel Construction. ACI (2014). Building code requirements for structural concrete and commentary. ACI318-R14, American Concrete Institute