دوازدهمین کنفرانس بین المللی توسعه پایدار و عمران شهری
12th International Conference on Sustainable Development & Urban Construction

بررسی اثر بازشوهای بزرگ در رفتار دال بتنی پیش‌تنیده پس‌کشیده و سقف عرشه فولادی با رویکرد مقایسه فنی و اقتصادی (مطالعه موردی: پروژه سیتادیوم رشت)

سیدعلی سیدموسوی
دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران- سازه، دانشگاه شهاب دانش
s.alismousavi@gmail.com

محمدسجاد زارعیان
استادیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه شهاب دانش
sajjad.zareian@gmail.com; zareian@shdu.ac.ir

چکیده

امروزه طراحی سازه‌هایی با معماری مدرن مستلزم استفاده از سیستم‌های سازه‌ای متفاوت است. با توجه به نیازمندی‌های مختلف ساخت و سازهای امروزی، در برخی موارد ایجاد بازشوهایی در سقف‌ها امری اجتناب ناپذیر است. این موضوع به‌خصوص در پروژه‌های تجاری حائز اهمیت است. در مهندسی ساختمان، فراهم آوردن مقاومت لازم برای یک سازه در برابر انواع بارهایی که در طول عمر مفید سازه به آن وارد می‌شود همراه با رعایت اقتصاد طرح و مهیا کردن فضای لازم جهت بهره‌برداری بهینه از سازه، بسیار مهم به شمار می‌رود. در این پژوهش بخشی از سازه پروژه سیتادیوم رشت به ابعاد ۲۴ در ۸۵ متر که دارای دو بازشو بزرگ به مساحت ۲۹۳ و ۲۶۰ مترمربع است، توسط سیستم دال بتنی پیش‌تنیده پس‌کشیده در نرم‌افزار ADAPT طراحی شده است و با توجه به اجرای طراحی مذکور با مقیاس واقعی در محل پروژه، با اعمال بارگذاری روی بخشی از سازه، نتایج حاصل از نرم افزار مورد بررسی و اعتبارسنجی قرار گرفته است. پس از آن به بررسی فنی و اقتصادی این سیستم با سیستم سقف عرشه فولادی که در طراحی اولیه قرار داشته است پرداخته شده و مزایا و معایب هر یک از سیستم‌های مذکور نیز بررسی گردیده است. در نهایت طبق نتایج به‌دست آمده در این پژوهش و با توجه به شرایط ذکر شده، استفاده از سیستم دال بتنی پیش‌تنیده پس‌کشیده با ابعاد این پژوهش، می‌تواند گزینه مناسبی جهت جایگزینی با سیستم عرشه فولادی در نظر گرفته شود.

واژه‌های کلیدی: دال بتنی پیش‌تنیده پس‌کشیده، سقف عرشه فولادی، بازشو بزرگ سقف، مقایسه فنی و اقتصادی.

۱- مقدمه

ایده کاهش وزن ساختمان‌ها و اجرای سازه‌های سبک در تاریخ مهندسی سازه همواره مورد توجه متخصصان، پژوهشگران و محققان در سراسر جهان بوده و اثرات اثبات شده آن در بهبود رفتار و کاهش نیروهای وارد بر سازه، محققان را به ایجاد طرح‌های نوین ترغیب نموده است. امروزه نیاز به مصالح ایمن، سبک، کارا و مقاوم بیش از گذشته احساس می‌شود. در این میان سقف‌ها اولین قسمت از سازه باربر ساختمان‌ها بوده که بارهای مرده و زنده روی آن قرار می‌گیرند و به دلیل اختصاص نیروی زلزله به دیافراگم سقف، توانایی تحمل و انتقال بار آن‌ها در سازه‌ها بسیار مهم تلقی می‌گردد (کازرونیان و کشمردی ۱۳۹۸). از طرفی با اضافه شدن بازشو در سقف‌ها، رفتار آن‌ها پیچیده‌تر می‌گردد.

در معماری مدرن جهت تامین نور در یک بنای چند طبقه و تامین نور در طبقات از تعبیه بازشو[1] در مرکز یا کنار بنا استفاده می‌کنند. وجود بازشو یا همان نورگیر در یک بنا، نور مورد نیاز در طبقات را تامین می‌کند. همچنین، وجود بازشو در پروژه‌های تجاری نیز باعث خلق فضایی خارق‌العاده می‌گردد که معماری مراکز خرید را دو چندان می‌کند. امروزه وجود بازشوهای با ابعاد بزرگ در پروژه‌های تجاری به بخش لاینفک آن‌ها تبدیل شده است. بازشوهای مجتمع‌های تجاری، اکثرا در میانه بنا هستند که دید به طبقات پایینی و بالایی را ممکن می‌کنند.

آئین نامه ACI 318 به هر اندازه در هر سیستم دال جدید اجازه وجود بازشو را می‌دهد، مشروط بر اینکه تجزیه و تحلیلی انجام شود که نشان دهد الزامات استحکام و سرویس‌دهی هر دو برآورده شده است (ایرانی ۱۳۷۶). تجزیه و تحلیل برای دال‌های حاوی بازشو می‌تواند پیچیده و زمان‌بر باشد، لذا به عنوان یک جایگزین، آیین‌نامه ACI 318 دستورالعمل‌ها و محدودیت‌هایی را برای مکان و اندازه بازشو ارائه می‌دهد. اگر طراح این الزامات را برآورده کند، می‌توان از تحلیل صرف‌نظر کرد (ازهری و میرقادری ۱۳۸۹).

یکی از چالش‌هایی که همواره در طراحی بازشو فضاهای تجاری برای مهندسان مطرح است، نوع سازه این بخش می‌باشد. بازشوها معمولا در فضاهایی ایجاد می‌شوند که فاصله بین ستون‌ها زیاد می‌باشد و این موضوع باعث چالش مهندسان سازه می‌گردد. اما می‌توان راهکارهایی برای حفظ امکان‌های مطلوب استفاده از بازشوهای با ابعاد بزرگ در سقف ارائه کرد. یکی از متداول‌ترین راهکارهای سازه‌ای برای این موضوع، خصوصا در ابعاد بزرگ، استفاده از سیستم فلزی می‌باشد. سیستم فلزی در کنار مزایای خود دارای معایبی از جمله هزینه بالا و همچنین مقاومت پایین‌تری نسبت با سازه بتنی در برابر حریق می‌باشد.

در ادامه به مطالعه بخشی از سازه پروژه مرکز تجاری تفریحی سیتادیوم رشت به ابعاد ۲۴ در ۸۵ متر، به عنوان نمونه موردی پرداخته می‌شود. این بخش از سازه، دارای دو بازشو بزرگ به ابعاد ۲۹۳ و ۲۶۰ مترمربع است. در طراحی این پروژه، از سیستم بتنی استفاده شده است و محدوده مورد مطالعه اشاره شده دارای سازه فلزی با سقف عرشه فولادی می‌باشد. این بخش مرکزی طبقه اول توسط برنامه ADAPT به صورت مجزا و با سیستم پیش‌تنیده بتنی از نوع پس‌کشیده مدل سازی شده و در نهایت نتایج به دست آمده با مدل اولیه عرشه فولادی با رویکرد فنی و اقتصادی مقایسه می‌گردد. با توجه به اینکه وجود بازشوهای با ابعاد بزرگ در مجتمع‌های تجاری، بخش لاینفکی از معماری این پروژه‌ها می‌باشد، نتیجه این مقایسه با ابعاد این پژوهش، می‌تواند به عنوان مرجعی برای طراحان سازه مجتمع‌های تجاری مورد استفاده قرار گیرد.

[1] Void

۲-۱- معرفی پروژه

پروژه مرکز تجاری پروژه تجاری تفریحی سیتادیوم رشت به عنوان بزرگترین مرکز تجاری تفریحی شمال ایران در زمینی به مساحت تقریبی ۵۱،۰۰۰ مترمربع در کیلومتر ۳ جاده رشت - انزلی، نرسیده به خمام، در حال ساخت می‌باشد. این مرکز خرید مدرن در چهار طبقه با زیر بنای کل حدود ۱۱۰،۰۰۰ مترمربع توسط گروه مشاورین معماری YAP، از معروف‌ترین طراحان تجاری اروپایی، با همکاری مشاور طراحی بن سار طراحی شده است. شکل (۱) نمای پروژه مرکز تجاری تفریحی سیتادیوم رشت را نشان می‌دهد.

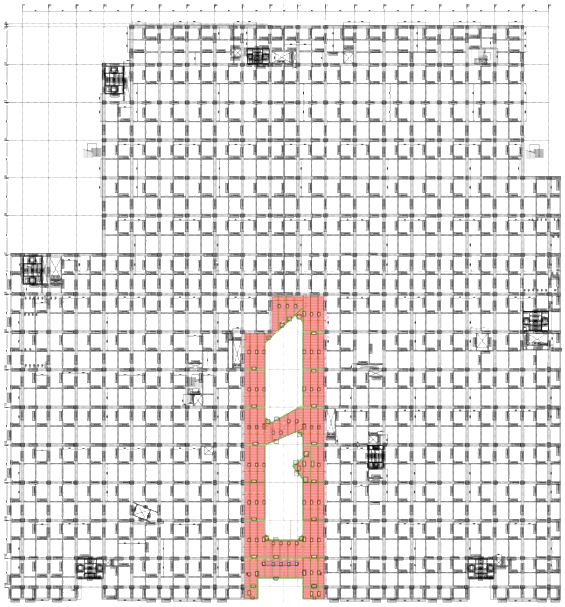
شکل (۱) پروژه سیتادیوم رشت

۲- مدل‌سازی

دال‌ها از مهمترین اجزای سازه‌ها و ساختمان‌های امروزی به شمار می‌روند و مطالعه رفتار آن‌ها تحت بارگذاری‌های مختلف از مهم‌ترین دغدغه‌های علم مهندسی عمران است (ساعدی ۱۳۹۸). علیرغم تعداد زیاد دال‌های طراحی و ساخته شده، جزئیات رفتار الاستیک و پلاستیکی دال‌ها همیشه مورد توجه قرار نمی‌گیرد. مطالعات بر روی دال‌های دارای بازشو نیز در تحقیقات بر روی عناصر بتن مسلح بسیار کم است (Chee Khoon et al. 2008).

روش‌های مختلفی برای بهبود رفتار دال‌های دارای بازشو وجود دارد که از بین آن‌ها می‌توان به مقاوم سازی اطراف بازشو با میلگردهای اضافی، استفاده از ورق و... اشاره کرد (ساعدی ۱۳۹۸). مناسب ترین راه حل برای نیازهای اشاره شده، دال‌های پیش‌تنیده پس‌کشیده دارای استرند[2] است. دال‌های پیش‌تنیده توسط استرندها برای چندین دهه با موفقیت در سراسر جهان مورد استفاده قرار می‌گیرند (ازهری و میرقادری ۱۳۸۹).

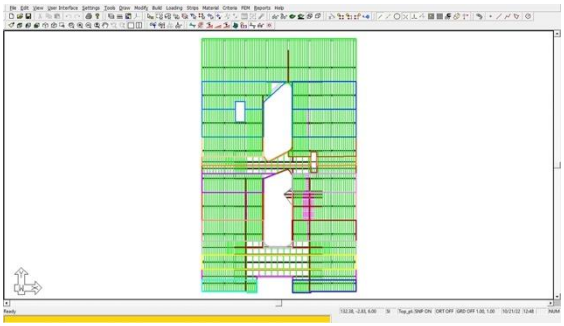
در این پژوهش، از سیستم دال پس‌کشیده نچسبیده به عنوان روشی برای طراحی سازه دارای بازشو با ابعاد بزرگ استفاده شده است. شکل (۲) نقشه سازه‌ای طبقه اول پروژه سیتادیوم رشت را نشان می‌دهد. بخش قرمز رنگ، محدوده بازشو در این طبقه را نشان می‌دهد که طراحی این ناحیه به صورت دال پس‌کشیده نچسبیده در نرم‌افزار ADAPT انجام شده است و نتایج آن با مدل عرشه فولادی مقایسه شده است.



شکل (۲) نقشه سازه طبقه اول پروژه سیتادیوم رشت

[2] Strand

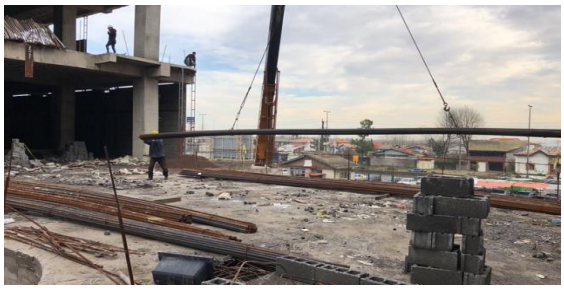
شکل (۳) مدل‌سازی انجام شده در نرم افزار ADAPT را نشان می‌دهد.



شکل (۳) مدل سازی در نرم افزار ADAPT

۳- اعتبار سنجی

با توجه به اینکه طراحی انجام شده در این پروژه اجرا گردیده است، روی طرح اجرا شده اعتبارسنجی صورت گرفت. اعتبارسنجی به این صورت انجام شد که باری به مقدار تقریبی ۹۰ تن در محل پل بین محورهای K-J و آکس ۱۴-۱۶ اعمال شد و این بخش طی دو مرحله بارگذاری گردید. سپس نتایج تغییرشکل سقف توسط دوربین نقشه‌برداری بررسی گردید و با مدل نرم‌افزاری مقایسه شد. شکل (۴) عملیات بارگذاری جهت اعتبار سنجی نتایج را نشان می‌دهد.



شکل (٤) بارگذاری جهت اعتبار سنجی

طی عملیات کنترل مقدار تغییر شکل سقف پس از گذشت ۲ روز از بارگذاری، ۴ میلی‌متر تغییر شکل سقف ثبت شد. این مقدار پس از گذشت ۱۰ روز به ۷ میلی‌متر رسید. بارگذاری به مدت ۱.۵ ماه ادامه داشت اما پس از آن تغییر شکلی ثبت نشد. با توجه به نرم افزار، مقدار تغییر شکل دراز مدت حاصل از این بارگذاری در این محدوده به صورت میانگین برابر ۸ میلی‌متر می‌باشد. لذا مقدار تغییر شکل ثبت شده، با نرم‌افزار تطابق قابل قبولی دارد که این موضوع نشان دهنده صحت مدل‌سازی می‌باشد. شکل (۵) سازه اجرا شده نهایی مطابق طراحی این پژوهش را نمایش می‌دهد.

شکل (۵) سازه سقف اول بازشو مرکزی سیتادیوم رشت

٤- مقایسه فنی و اقتصادی

انتخاب یک سیستم سازه‌ای مناسب وظیفه مهندس سازه است. مهندس باید با مزیت‌های هر کدام از سیستم‌های موجود آشنا بوده تا بتواند بر حسب مورد انتخابی مناسب داشته باشد. این بخش به بررسی فنی و اقتصادی دو سیستم سقف عرشه فولادی و سقف پیش‌تنیده پس‌کشیده بتنی در بخشی از سازه پروژه سیتادیوم رشت. در ادامه این دو سیستم باهم مقایسه می‌شوند.

٤-١- مقایسه اقتصادی

جدول (۱) برآورد قیمت اجرای سقف عرشه فولادی و جدول (۲) بررسی اقتصادی استفاده از سیستم بتنی با سقف پیش‌تنیده پس‌کشیده را نشان می‌دهد. با توجه به بررسی

جداول (۱) و (۲)، قیمت سقف بتنی پیش‌تنیده به‌مقدار ۵ درصد نسبت به سقف عرشه فولادی پایین‌تر است.

جدول (۱) برآورد قیمت اجرای سقف عرشه فولادی

ردیف	شرح	واحد	مقدار	مبلغ واحد (ریال)	مبلغ کل (ریال)
۱	ساخت و اجرای اسکلت فلزی	کیلوگرم	۸۳۰،۰۰۰	۲۶۰،۰۰۰	۲۱،۵۸۰،۰۰۰،۰۰۰
۲	تهیه ورق، کل میخ و اجرای سقف عرشه فولادی	مترمربع	۱۲۵۳	۲،۸۰۰،۰۰۰	۳،۵۰۸،۴۰۰،۰۰۰
۳	تهیه و حمل ارماتور روی عرشه فولادی	کیلوگرم	۴،۰۱۰	۱۲۵،۰۰۰	۵۰۱،۲۰۰،۰۰۰
۴	تامین بتن روی عرشه فولادی	مترمکعب	۱۳۸	۱۰،۰۰۰،۰۰۰	۱،۳۸۰،۰۰۰،۰۰۰
۵	تامین پلیت و بولت	مقطوع			۲،۵۰۰،۰۰۰،۰۰۰
	جمع کل				۲۹،۴۶۹،۶۰۰،۰۰۰

جدول (۲) برآورد قیمت اجرای سقف بتنی پیش‌تنیده

ردیف	شرح	واحد	مقدار	مبلغ واحد (ریال)	مبلغ کل (ریال)
۱	تهیه و حمل ارماتور تیرها	کیلوگرم	۶۲،۷۰۰	۱۲۵،۰۰۰	۷،۸۳۷،۵۰۰،۰۰۰
۲	تهیه و حمل ارماتور سقف‌ها	کیلوگرم	۲۵،۰۶۰	۱۲۵،۰۰۰	۳،۱۳۲،۵۰۰،۰۰۰
۳	اجرای سقف	مترمربع	۱۲۵۳	۴،۳۲۰،۰۰۰	۵،۴۱۲،۹۶۰،۰۰۰
۴	تامین بتن مصرفی	مترمکعب	۳۵۱	۱۰،۰۰۰،۰۰۰	۳،۵۱۰،۰۰۰،۰۰۰
۵	کابل استرند روکش‌دار	کیلوگرم	۲۲،۰۰۰	۳۱۹،۰۰۰	۷،۰۱۸،۰۰۰،۰۰۰
۶	کپره و گوه	عدد	۱،۶۰۰	۷۱۰،۰۰۰	۱،۱۳۶،۰۰۰،۰۰۰
	جمع کل				۲۸،۰۴۶،۹۶۰،۰۰۰

٤-۲- مقایسه فنی

جدول (۳) مقایسه فنی این دو سیستم را نشان می‌دهد.

جدول (۳) مقایسه فنی سیستم عرشه فولادی و بتنی پیش‌تنیده

ردیف	شرح	سیستم فلزی	سیستم بتنی
۱	هزینه اولیه	حدود ۱۰،۰۰۰،۰۰۰،۰۰۰ ریال	حدود ۸،۰۰۰،۰۰۰،۰۰۰ ریال
۲	ارماتور مورد نیاز	۴ تن	۶۲.۷ تن
۳	تامین بتن	یک سوم حالت بتنی	۳ برابر حالت فلزی
۴	مدت زمان اجرا	حدود ۱۰ روز	حدود ۴۰ روز
۵	ابزار مورد نیاز برای زیرسازی و قالب بندی	ابزاری نیاز نمی‌باشد	قالب و ابزار مربوط مورد نیاز است
۶	محدودیت زمان‌بندی اجرا	ندارد	دارد
۷	تاثیر در سایر بخش‌های پروژه	ندارد	دارد
۸	ریسک تامین و کنترل بتن با مشخصات ویژه	کم	زیاد
۹	تغییر شکل دراز مدت	۳.۱۹ cm	۲.۲۶ cm
۱۰	وزن سازه	۴۴۰ تن	۹۹۰ تن

۵- نتیجه‌گیری

در این پژوهش پس از درک مفهوم بازشو و عملکرد آن در مجتمع‌های تجاری، به بررسی سازه‌ای بازشو با مقیاس بزرگ در یکی از بزرگترین مراکز در حال ساخت تجاری کشور به عنوان نمونه موردی پرداخته شد.

همانطور که در بخش قبل اشاره شد، بخشی از سازه پروژه مرکز تجاری تفریحی سیتادیوم رشت به ابعاد ۲۴ در ۸۵ متر توسط برنامه ADAPT به صورت مجزا و با سیستم پیش‌تنیده بتنی از نوع پس‌کشیده مدل سازی گردید. این بخش از سازه، دارای دو بازشو بزرگ به ابعاد ۲۹۳ و ۲۶۰ مترمربع می‌باشد. طراحی اولیه محدوده مورد مطالعه از پروژه، دارای سقف عرشه فولادی بود. هدف از این پژوهش، مقایسه سیستم بتنی پیش‌تنیده با سیستم در نظر گرفته شده اولیه، از دیدگاه فنی و اقتصادی بود. همچنین نتایج به دست آمده در طراحی نرم افزار، در نمونه اجرا شده با ابعاد واقعی بارگذاری شده و از این طریق اعتبار سنجی گردید که طبق گزارش نقشه‌برداری، سازه اجرا شده با نرم‌افزار تطابق قابل قبولی دارد و این موضوع نشان دهنده صحت مدل‌سازی می‌باشد.

در ادامه نیز اهم نتایج به‌دست آمده از این پژوهش به‌صورت مختصر عنوان می گردد.

- استفاده از سیستم دال پیش‌تنیده پس‌کشیده بتنی می‌تواند به‌عنوان راهکاری جهت طراحی سازه‌ای بازشوهای با ابعاد بزرگ در پروژه‌ها، خصوصا پروژه‌های تجاری مورد استفاده قرار گیرد.
- در مقایسه دو سیستم سقف عرشه فولادی و دال بتنی پیش‌تنیده با ابعاد این پژوهش، هزینه اجرای سیستم بتنی از سیستم فلزی پایین‌تر خواهد بود. علاوه بر این، هزینه اولیه نیز در سیستم بتنی پایین‌تر می‌باشد.

- استفاده از سیستم بتنی در مقایسه با سیستم فلزی، مصرف بتن را تا ۳ برابر افزایش می‌دهد که این موضوع امکان قطع بتن را بخش‌های مختلف سقف کاهش می‌دهد.
- مدت زمان اجرا در روش بتنی پیش‌تنیده با توجه به تعدد مراحل اجرای این سیستم، نسبت به روش فلزی بالاتر است و در صورتی که سایر بخش‌های سازه نیز به صورت بتنی باشد، روی سرعت اجرای سایر بخش‌ها نیز اثر گذار خواهد بود. لذا سیستم فلزی سرعت به مراتب بالاتری نسبت به سیستم بتنی دارد.
- تغییرشکل دراز مدت در روش فلزی نسبت به روش بتنی پیش‌تنیده بالاتر است که با توجه به تاثیر این موضوع در کف‌سازی نهایی طبقات، روش بتنی پیش‌تنیده اولویت بالاتری دارد.
- وزن سازه در روش فلزی نسبت به روش بتنی پیش‌تنیده به مراتب کمتر می‌باشد.

٦-منابع مورد استفاده

ازهری، مجتبی، و سید رسول میرقادری. ۱۳۸۹. طراحی سازه‌های فولادی (جلد دوم). اصفهان: نشر ارکان دانش.

ایرانی، فریدون. ۱۳۷۶. طراحی سازه فولادی به روش ضریب بار و مقاومت. مشهد: دانشگاه فردوسی.

ساعدی، علیرضا. ۱۳۹۸. مقایسه عددی رفتار دال بتن‌آرمه معمولی و پیش‌تنیده دارای بازشو تحت اثر بارهای استاتیکی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه محقق اردبیلی.

کازرونیان، سید علیرضا، و جعفر گشمردی. ۱۳۹۸. مطالعه پارامتری تاثیر بازشوها بر سختی درون صفحه دال‌های دوطرفه مجوف. نشریه پژوهش‌های نوین علوم مهندسی.

Chee Khoon Ng. Timothy Julius Edward. Daniel Kim Tee Lee. 2008. Theoretical Evaluation on Effects of Opening on Ultimate Load-carrying Capacity of Square Slabs. Electronic Journal of Structural Engineering 8.

ACI Committee, 2019. Building code requirements for structural concrete (ACI 318-19) and commentary. American Concrete Institute.

۷- چکیده انگلیسی

Today, the design of structures with modern architecture requires the use of different structural systems. According to the various requirements of today's constructions, in some cases creating openings in the roofs is inevitable. This issue is especially important in commercial projects. In construction engineering, it is very important to provide the necessary resistance for a structure against all kinds of loads that are applied to it during the useful life of the structure along with the economy of the design and providing the necessary space for the optimal use of the structure. In this article, a part of the structure of Rasht Citadium project with dimensions of 24 x 85 meters, which has two large openings with dimensions of 293 and 260 square meters, is designed by the prestressed concrete roof system in ADAPT software, and according to the implementation of the said design with real scale at the project site, its implementation steps are displayed. Also, by applying loading on a part of the structure, the results obtained from the software have been checked and validated. Then, the technical and economic analysis of this system with the steel deck roof system that was included in the initial design was done, and the advantages and disadvantages of each of the mentioned systems were also analyzed. Finally, according to the results obtained in this research and according to the mentioned conditions, the use of prestressed and retracted concrete system with the dimensions of this research can be considered as a suitable option to replace the steel deck system.

Key Words: Post-Tensioned Slab, Large Opening, Steel Deck, Technical and Economic Comparison.