

Comparison of Traditional Structural Systems and Flat Shell Systems in Terms of Construction Time and Cost in Residential Buildings

1. Davod Pourian*: Department of Civil Engineering, Shahr-Qods Branch, Islamic Azad University, Shahr-Qods, Iran.

2. Reza Abrari: Department of Civil Engineering, Shahr-Qods Branch, Islamic Azad University, Shahr-Qods, Iran

*Corresponding Author's Email Address: dr.dpouriyan@iau.ir

How to Cite: Pourian, D., & Abrari, R. (2024). Comparison of Traditional Structural Systems and Flat Shell Systems in Terms of Construction Time and Cost in Residential Buildings. *Manifestation of Art in Architecture and Urban Engineering*, 2(3), 129-150.

Abstract:

The purpose of this study is to compare structural performance, construction time, and total cost between traditional building systems and flat shell systems in residential construction. This analytical–descriptive study was conducted using nonlinear numerical analysis in Abaqus and limited field observations. The models consisted of a three-story masonry building and a flat concrete shell system with a thickness of 7–10 cm. Cost estimation was performed using the national schedule of rates and engineering quantity surveying. Seismic behavior was assessed through friction pendulum isolation modeling and the Iranian Standard 2800 spectrum. Thermal loading, concrete type C25 properties, soil type III characteristics, and the steel shell fabrication process—including cutting, welding, assembly, and quality control—were also evaluated. Results indicated that traditional systems, due to large wall thickness, heavy weight, and weak tensile and shear resistance, perform poorly under seismic forces. In contrast, the flat shell system, benefiting from reinforced concrete and high ductility, demonstrated significantly improved performance. Fire analysis showed that traditional systems become unstable within 10 minutes, while shell systems maintain integrity longer due to concrete confinement and increased buckling capacity. Economically, steel consumption in the shell system was reduced by about 55% compared with steel structures, and overall construction costs were approximately 35% lower than traditional systems. Moreover, diagonal stiffener connections exhibited 30% higher load capacity compared with parallel stiffeners. The study concludes that flat shell systems offer superior seismic resistance, thermal behavior, material efficiency, and cost-effectiveness compared with traditional construction methods. Proper connection detailing, well-designed shell geometry, and nonlinear analysis significantly enhance structural safety and overall performance.

Keywords: Flat shell system; traditional construction; flat slab; construction cost; execution time; nonlinear analysis; reinforced concrete; seismic isolation.

Received: 23 September 2024

Revised: 17 November 2024

Accepted: 19 November 2024

Published: 30 November 2024



مقایسه سیستم سنتی و پوسته‌های صاف از نظر مدت‌زمان ساخت و هزینه در ساختمان‌های مسکونی

۱. داوود پوریان^{1*}: گروه مهندسی عمران، واحد شهر قدس، دانشگاه آزاد اسلامی، شهر قدس، ایران. (نویسنده مسئول)

۲. رضا ابراری²: گروه عمران، واحد شهر قدس، دانشگاه آزاد اسلامی، شهر قدس، ایران

*پست الکترونیک نویسنده مسئول: dr.dpouriyan@iau.ir

نحوه استناددهی: پوریان، داوود، و ابراری، رضا. (۱۴۰۳). مقایسه سیستم سنتی و پوسته‌های صاف از نظر مدت‌زمان ساخت و هزینه در ساختمان‌های مسکونی. تجلی هنر در معماری و شهرسازی، ۲(۳)، ۱۵۰-۱۲۹.

چکیده

هدف این پژوهش مقایسه عملکرد سازه‌ای، زمان اجرا و هزینه ساخت در سیستم‌های سنتی و سیستم‌های پوسته‌ای صاف در ساختمان‌های مسکونی است. این پژوهش به روش توصیفی-تحلیلی انجام شده و داده‌ها از طریق تحلیل عددی غیرخطی با نرم‌افزار Abaqus و بررسی میدانی محدود به‌دست آمده‌اند. مدل‌سازی شامل یک ساختمان بنایی سه‌طبقه و یک سیستم پوسته‌ای با ضخامت ۷ تا ۱۰ سانتی‌متر بوده است. همچنین برای مقایسه هزینه ساخت از فهرست‌بها و روش متره مهندسی استفاده شده و تحلیل رفتار لرزه‌ای با بهره‌گیری از مدل‌سازی ایزولاسیون اصطکاکی و استاندارد ۲۸۰۰ انجام شده است. در ادامه، بارگذاری حرارتی، خواص بتن C۲۵، ویژگی‌های زمین و فرایند ساخت اسکلت فلزی پوسته‌ای نیز مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. نتایج نشان داد سیستم سنتی به دلیل وزن بالا، ضخامت زیاد دیوارها و ضعف در مقاومت کششی و برشی، عملکرد مناسبی در برابر نیروهای لرزه‌ای ندارد. در مقابل، سیستم پوسته‌ای با بهره‌گیری از بتن مسلح، شکل‌پذیری بالاتر و ضخامت کم، مقاومت مطلوبی ارائه داد. تحلیل‌ها نشان داد که در شرایط آتش‌سوزی، سازه سنتی طی کمتر از ۱۰ دقیقه ناپایدار می‌شود، در حالی که سیستم پوسته‌ای به‌دلیل محصورشدگی بتن در ستون‌ها و افزایش مقاومت کمانشی عملکرد بهتری دارد. از نظر اقتصادی، مصرف فولاد در سیستم پوسته‌ای حدود ۵۵٪ کمتر از سازه فولادی و هزینه ساخت آن در مقایسه با سازه سنتی حدود ۳۵٪ کمتر گزارش شد. همچنین اتصالات با سخت‌کننده قطری حدود ۳۰٪ بارپذیری بیشتری نسبت به سخت‌کننده‌های موازی نشان دادند. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که سیستم پوسته‌ای از نظر مقاومت لرزه‌ای، رفتار حرارتی، صرفه‌جویی در مصالح و کاهش هزینه ساخت، گزینه‌ای مناسب‌تر نسبت به سیستم سنتی است. همچنین به‌کارگیری اتصالات مناسب، طراحی همگن پوسته‌ها و استفاده از تحلیل غیرخطی می‌تواند ایمنی سازه و پایداری آن را به‌طور چشمگیری افزایش دهد.

کلیدواژگان: پوسته صاف، سیستم سنتی، دال تخت، هزینه ساخت، زمان اجرا، تحلیل غیرخطی، بتن مسلح، ایزولاسیون لرزه‌ای.

تاریخ دریافت: ۲ مهر ۱۴۰۳

تاریخ بازنگری: ۲۷ آبان ۱۴۰۳

تاریخ پذیرش: ۲۹ آبان ۱۴۰۳

تاریخ انتشار: ۱۰ آذر ۱۴۰۳



مقدمه

در دهه‌های اخیر صنعت ساخت‌وساز با تغییرات گسترده‌ای در فناوری، مواد و روش‌های اجرایی مواجه شده است. یکی از مهم‌ترین مباحث، مقایسه عملکرد سیستم‌های سنتی ساخت با پوسته‌های صاف به‌ویژه در پروژه‌های مسکونی است. رشد نیاز به سرعت ساخت بیشتر، کاهش هزینه‌ها و بهبود کیفیت اجرا سبب شده است که انتخاب سیستم سازه‌ای به یک تصمیم راهبردی در پروژه‌های عمرانی تبدیل شود (1). سیستم‌های سنتی ساختمان‌سازی، که معمولاً شامل تیرها، ستون‌ها و سقف‌های تیرچه‌بلوک یا دال‌های با تیر هستند، دهه‌هاست در ایران و بسیاری از کشورها مورد استفاده قرار می‌گیرند. این سیستم‌ها به دلیل آشنایی نیروهای اجرایی، در دسترس بودن مصالح، و نیاز کمتر به تجهیزات مدرن، همچنان رایج هستند. با این حال، پیچیدگی قالب‌بندی و مراحل متعدد ساخت اغلب موجب افزایش مدت‌زمان اجرا می‌شود (2). در مقابل، سیستم‌های پوسته صاف یا دال تخت به دلیل حذف تیرها، کاهش حجم قالب‌بندی و ساده‌سازی فرآیند ساخت، در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته‌اند. این سیستم‌ها نه تنها سرعت اجرا را افزایش می‌دهند، بلکه آزادی عمل بیشتری در معماری داخلی ایجاد می‌کنند، زیرا نیاز به تیرهای میانی وجود ندارد (3). یکی از مهم‌ترین شاخص‌ها در انتخاب سیستم سازه‌ای، مدت‌زمان ساخت است. تحقیقات نشان داده‌اند که استفاده از دال‌های تخت می‌تواند زمان اجرا را به طور قابل توجهی کاهش دهد، زیرا مراحل قالب‌بندی، آرماتوربندی و بتن‌ریزی نسبت به سیستم سنتی کمتر و یکپارچه‌تر است. در پروژه‌های مسکونی که سرعت تحویل واحدها اهمیت بالایی دارد، این مزیت برجسته است (4). عامل مهم دیگر هزینه ساخت است. در سیستم‌های سنتی هزینه‌ها عمدتاً ناشی از حجم زیاد قالب‌بندی، نیروی کار، و زمان طولانی پروژه است. در حالی که در دال تخت، با وجود افزایش احتمالی در میزان مصرف آرماتور یا ضخامت دال، کاهش زمان اجرا و کاهش قالب‌بندی می‌تواند هزینه کل را کاهش دهد یا حداقل بهینه‌تر کند (5). از منظر اقتصادی، بسیاری از پژوهش‌ها نشان داده‌اند که سیستم‌های پوسته صاف در پروژه‌های بلندمرتبه و مسکونی مقرون‌به‌صرفه‌تر هستند، زیرا هزینه‌های غیرمستقیم ناشی از تأخیر اجرا و هزینه‌های مدیریت پروژه کاهش می‌یابد. در مقابل، در پروژه‌های کوچک مقیاس، سیستم سنتی ممکن است از نظر هزینه اولیه مصالح ارزان‌تر به نظر برسد (6). از نظر فنی، حذف تیر در سیستم‌های پوسته صاف می‌تواند موجب کاهش ارتفاع طبقات، افزایش سطح مفید و انعطاف در طراحی داخلی شود. این ویژگی به‌ویژه در ساختمان‌های مسکونی اهمیت دارد، زیرا بهره‌گیری از فضا برای ساکنین و طراحان اهمیت زیادی دارد (7). با این حال، انتخاب سیستم پوسته صاف بدون چالش نیست. این سیستم نسبت به سیستم سنتی حساسیت بیشتری به برش پانچ در ستون‌ها دارد و نیازمند طراحی دقیق‌تر، نظارت قوی‌تر، و نیروی متخصص‌تر است. این موضوع ممکن است در برخی پروژه‌ها هزینه‌های مهندسی را افزایش دهد (8). علاوه بر هزینه و زمان، کیفیت ساخت نیز در مقایسه سیستم‌ها اهمیت دارد. دال‌های تخت معمولاً به دلیل یکپارچگی بیشتر، عملکرد بهتری در انتقال بارها و رفتار لرزه‌ای مناسب‌تر ارائه می‌دهند؛ البته مشروط بر اینکه طراحی و اجرای آن‌ها مطابق استانداردهای بین‌المللی انجام شود (9). با توجه به نیاز روزافزون صنعت ساختمان به کاهش هزینه و افزایش سرعت، بررسی علمی و دقیق تفاوت‌های سیستم سنتی و پوسته صاف اهمیت ویژه‌ای دارد. مقایسه این دو سیستم از نظر سرعت اجرا، هزینه، کیفیت ساخت، و الزامات فنی می‌تواند مدیران پروژه، مهندسان و کارفرمایان را در اتخاذ بهترین تصمیم یاری دهد. بنابراین، انجام پژوهش‌های تحلیلی در این زمینه نقش مهمی در ارتقای فناوری ساخت‌وساز در پروژه‌های مسکونی خواهد داشت (10). لذا، این پژوهش با هدف مقایسه عملکرد سازه‌ای، زمان اجرا و هزینه ساخت در سیستم‌های سنتی و سیستم‌های پوسته‌ای صاف در ساختمان‌های مسکونی انجام شد.

روش تحقیق

روش کار این پژوهش بر اساس تحلیل‌های عددی، مطالعات پیشین، و جمع‌آوری داده‌های کتابخانه‌ای و میدانی طراحی شده است. تمامی مشخصات فنی، خواص مکانیکی و استانداردهای مورد استفاده در انتخاب مصالح، طراحی سازه و ارزیابی عملکرد بر اساس معتبرترین آیین‌نامه‌ها، دستورالعمل‌های فنی و یافته‌های پژوهشی روز تهیه شده است. در ادامه گام‌های اصلی روش تحقیق ارائه می‌شود.

گام اول: تعریف ابعاد و حدود مسأله

در این مرحله، ابعاد هندسی و شرایط مرزی سازه با توجه به استانداردهای موجود و نیازهای واقعی پروژه تعیین شد. مدل پایه شامل یک ساختمان سه طبقه بنایی و یک سیستم سازه‌ای پوسته‌ای انتخاب گردید. نمونه پوسته مورد مطالعه دارای طول و ارتفاع ۶ متر و ضخامت نهایی ۷ تا ۱۰ سانتی‌متر بوده و بر روی فونداسیون با تکیه‌گاه گیردار قرار گرفته است. انتخاب این ابعاد با هدف شبیه‌سازی شرایط واقعی و حصول نتایج کاربردی انجام شد.

گام دوم: انتخاب مصالح و تعیین ویژگی‌های مکانیکی

در این گام، نوع مصالح تشکیل‌دهنده سیستم پوسته‌ای شامل بتن، میلگرد و صفحات فولادی مشخص شد. ویژگی‌های مکانیکی نظیر مقاومت فشاری بتن، تنش تسلیم فولاد، مدول الاستیسیته و سایر خواص مرتبط با رفتار سازه‌ای بر اساس آیین‌نامه‌ها و مطالعات معتبر تعیین گردید. یافته‌های پژوهش‌های قبلی نشان می‌دهد که مصالح شکل‌پذیر حتی در صورت داشتن مقاومت کمتر، عملکرد لرزه‌ای مطلوب‌تری در برابر نیروهای جانبی ارائه می‌دهند. این نتیجه، مبنای انتخاب مصالح و ترکیب آن‌ها در طراحی پوسته قرار گرفت.

گام سوم: طراحی لایه‌بندی و ترکیب مصالح در پوسته

در این مرحله، نحوه چیدمان مصالح در لایه‌های مختلف پوسته تعیین شد. بر اساس مطالعات موجود، از بتن مسلح با شبکه مش و میلگرد به‌عنوان لایه اصلی پوسته استفاده شد. برای دو سطح بیرونی و داخلی، پوشش بتنی نازک و سبک با ضخامت مناسب اعمال گردید به‌طوری‌که ضخامت نهایی پوسته اول از ۷ سانتی‌متر تجاوز نکند. پوسته دوم نیز مشابه پوسته اول طراحی شد، با این تفاوت که شکل‌پذیری آن به‌صورت کنترل‌شده کاهش یافت. فضای بین دو پوسته با مصالح سبک نظیر پوکه و به ضخامت ۱۰ سانتی‌متر پر شد. هر دو پوسته سهم مشترکی در فونداسیون داشته و به‌صورت یک سیستم یکپارچه مدل شدند.

روش تحلیل عددی

با توجه به پیشرفت چشمگیر نرم‌افزارهای تحلیل سازه‌ای در دهه‌های اخیر، استفاده از روش‌های خطی برای تحلیل رفتار واقعی سازه‌ها کافی نیست؛ به‌خصوص در مواردی مانند تحلیل شکست، رفتار غیرخطی بتن، تحلیل لرزه‌ای پیشرفته و بررسی عملکرد سدها. از آنجا که سختی سازه در سیستم‌های غیرخطی وابسته به تغییر مکان است، نمی‌توان از اصل جمع آثار قوا استفاده کرد و لازم است هر حالت بارگذاری به‌صورت مستقل تحلیل شود. در تحلیل غیرخطی ضمنی، ماتریس سختی سازه باید به‌طور مداوم و در هر گام بارگذاری محاسبه و معکوس شود که این امر موجب افزایش زمان تحلیل نسبت به تحلیل‌های خطی می‌گردد. در مقابل، تحلیل صریح با وجود سرعت بیشتر، به دلیل محدودیت‌های پایداری زمانی گام‌های تحلیل، زمان محاسبات غیرخطی را افزایش می‌دهد. با توجه به این

ملاحظات، در پژوهش حاضر از روش تحلیل غیرخطی با استفاده از نرم افزار Abaqus بهره گرفته شده است تا رفتار واقعی تری از سیستم پوسته‌ای تحت بارهای ثقلی و جانبی ارائه شود.

روش و ابزار گردآوری اطلاعات

گردآوری داده‌ها عمدتاً از طریق روش‌های کتابخانه‌ای، مطالعات پژوهشی منتشرشده، جستجو در پایگاه‌های اطلاعاتی و بررسی محدود میدانی انجام گرفت.

ابزار اندازه‌گیری و تحلیل داده‌ها

برای تجزیه و تحلیل داده‌ها و ارزیابی عملکرد سازه‌ای سیستم پوسته‌ای و سیستم ستی، از تحلیل‌های عددی مبتنی بر رایانه و نرم افزار Abaqus استفاده شد. این نرم افزار به دلیل قابلیت تحلیل غیرخطی، شبیه‌سازی رفتار مصالح و امکان اجرای بارگذاری‌های پیچیده، ابزار اصلی پژوهش محسوب می‌شود. شبیه‌سازی شرایط واقعی بارگذاری، ویژگی‌های مصالح، اثرات نیروهای جانبی و رفتار تغییر شکل‌پذیر سازه در محیط نرم افزار اجرا گردید. همچنین برای تحلیل مقایسه‌ای هزینه‌ها و زمان اجرا از روش متره و برآورد مهندسی و ابزارهای محاسباتی مرتبط استفاده شد. داده‌های خروجی نرم افزار در صورت نیاز جهت رسم نمودارها و تحلیل‌های تکمیلی در محیط Excel پردازش شدند.

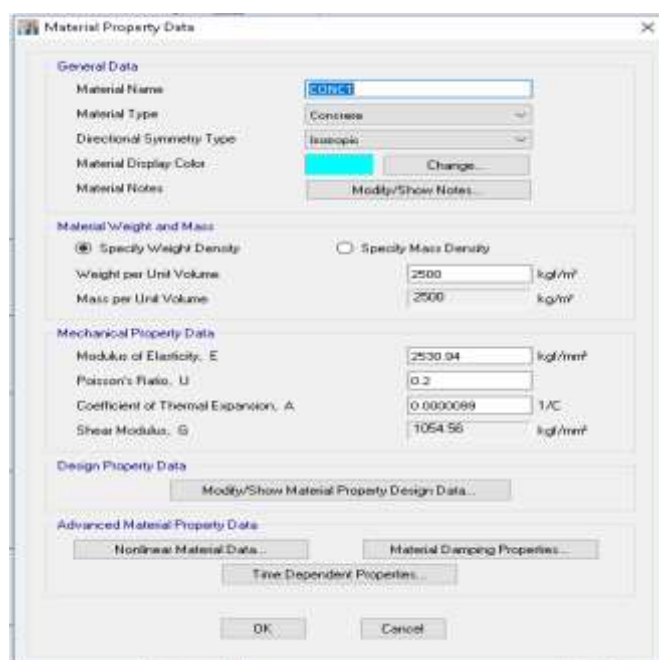
یافته‌ها

یکی از روش‌های کنترل سازه‌ها در زلزله استفاده از ایزولاسیون‌ها لرزه‌ای در زیر فونداسیون سازه‌ها می‌باشد. این روش بجای افزایش سختی یا میرایی برای تحمل یا استهلاک انرژی ورودی به سازه باعث می‌گردد انرژی کمتری به آن وارد شود. استفاده از ایزولاسیون‌های لرزه‌ای از حدود دهه ۶۰ میلادی آغاز شد. در این بخش به معرفی و بررسی رفتار نوعی ایزولاسیون که در مناطق روستایی استان رشت، به خصوص در اطراف رامسر مورد استفاده قرار گرفته است، می‌پردازیم این نوع ایزولاسیون که به طریق هوشمندانه‌ای طی قرن‌ها مورد استفاده اهالی بومی بوده تا بحال به خوبی مطالعه و معرفی نشده است. این نوع فونداسیون در آزمایشگاه طبیعی زلزله رودبار و منجیل و لوشان، عملکرد بسیار مناسبی از خود نشان داد. این نوع فونداسیون از تعداد الوار چوبی با مقاطع دایره‌ای و دوزنقه‌ای تشکیل شده است که به صورت عمود برهم، روی زمین قرار می‌گیرند. وجود اصطکاک بین الوارها چوبی، امکان غلطیدن آن‌ها بر روی هم به اضافه خاصیت شکل پذیری الوارها چوبی و... نقش عمده‌ای در کاهش انرژی ورودی به ساختمان از خود نشان داده اند.

بنابراین عمده حرکت چوب‌ها بر روی هم اصطکاکی خواهد بود. نکته قابل توجه در اینگونه پی‌ها این است که آن‌ها نمی‌توانند هیچ گونه نیروی کششی را تحمل کنند به همین علت رفتار اینگونه پی‌ها چوبی به وسیله مدل ایزولاسیون پاندول اصطکاکی با نیروی فشاری در المان متناسب می‌باشند. و المان امکان تحمل نیروی کششی را ندارد. این موضوع با شرایط فونداسیون‌های موجود کاملاً تطبیق دارد. جهت کارهای تحلیلی در این مرحله از نرم افزار SAP ۲۰۰۰ و المان ISOLATOR۲ استفاده شده است این المان توانایی مدل کردن یک ایزولاتور اصطکاکی با اعمال ضرائب اصطکاکی در حالت سکون و حرکت میرایی لازم را دارا می‌باشد.

بتن محصلی یکدست، یکپارچه متشکل از مواد یا ترکیبی ازموادی خاص با سیمان و دارای ویژگی چسبندگی است. سیمان به کار رفته در بتن عملکردی مشابه چسب میان سنگدانه‌های موجود را دارد و به تنهایی در میزان کیفیت مقاومت بتن حاصل شده نقش موثری ندارد. بتن پس از آب، هم روده ی فولاد از

پراکاردترین مصالح در ساخت و ساز و عملیات‌های عمرانی است. از بارزترین ویژگی‌های بتن در دسترس بودن مواد اولیه، دوام و ارزانی آن است. بتن مورد نیاز شما وابسته به عملکرد و نوع بهره‌برداری در سازه‌های مختلف، متفاوت و دارای ویژگی‌های منحصر به فردی هستند. بتن پس از ۱۷۰ سال از پیدایش سیمان پرتلند دستخوش تحولات زیاد و پیشرفت‌های چشم‌گیری شده است. جالب است بدانید مصرف مواد سیمانی از گذشته‌های بسیار دور رایج بوده است، مصریان قدیم گچ تکلیس شده ناخالص را استفاده می‌نمودند، یونانیان و رومی‌ها سنگ آهک تکلیس شده را به کار می‌بردند و در نهایت دریافتند که به مخلوط آهک و آب، ماسه و سنگ خرد شده یا آجر و سفال‌های شکسته را نیز اضافه کنند. این اولین نوع بتن در تاریخ بود. رومی‌ها برای ساخت بناهایشان در زیر آب، آهک و سنگ و خاکستر آتشفشانی یا پودرخیلی نرم سفال‌های سوخته شده را با هم آسیاب کرده و استفاده می‌کردند. سیمان پوزولانی را از اسم دهکده Pozzuoli که در نزدیکی آتشفشان وزو قرار گرفته است و برای اولین بار خاکستر آتشفشانی را در این محل پیدا نمودند گرفتند. سیلیسیوم و آلومین فعال موجود در خاکستر و سفال با آهک مخلوط شده و سیمان پوزولان را تولید می‌کند. از نمونه ساختمان‌های رومی که در آن‌ها این نوع از سیمان به کاررفته میتوان Coliseum در روم، و Pont du Gard در نزدیکی Nimes و سازه‌های بتنی مانند ساختمان Pantheon در روم را نام برد که مواد سیمانی آن‌ها هنوز سخت و پایدار است. بعد از قرون وسطی و انحطاطی که در کیفیت و عملکرد سیمان بوجود آمد برای اولین بار سیمان پرتلند در سال ۱۸۲۴ میلادی در جزیره ی پرتلند انگلستان توسط «Joseph Aspdin» تولید و به ثبت رسید. او با پختن آهک و خاک رس دردمای بالا و آسیاب کردن آن ابتدایی ترین شکل سیمان امروزی را کشف نمود و از آن برای ساخت فانوس دریایی بهره برد. بدلیل آنکه سیمان بعد از پخت به رنگ سبزینه مشابه سنگ‌های جزیره پرتلند انگلستان در آمد به آن پرتلند می‌گویند. گفتنی است این سیمان پرتلند علاوه بر اینکه موفق به کسب لوح تقدیر از جورج چهارم انگلستان شد، به علت مقاومت بالا در ساخت پارلمان جدید انگلستان که در طی سال‌های ۱۸۴۰ تا ۱۸۵۲ تکمیل شد، استفاده گردید و بدین صورت بتن یعنی اولین محصول صنعتی دارای استاندارد تولید به جهانیان معرفی شد. در این پژوهش از بتن نوع C۲۵ با مشخصات زیر استفاده شده است.

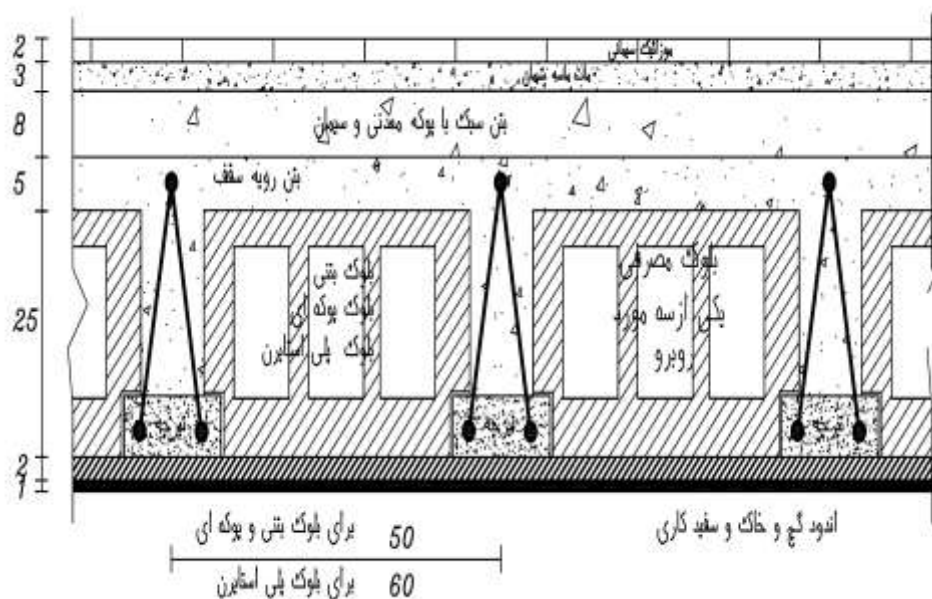


شکل ۱. مشخصات مربوط به بتن مصرفی

نوع زمین	T_0	T_s	خطر نسبی کم و متوسط		خطر نسبی زیاد و خیلی زیاد	
			S_0	S	S_0	S
I	۰/۱	۰/۴	۱	۱/۵	۱	۱/۵
II	۰/۱	۰/۵	۱	۱/۵	۱	۱/۵
III	۰/۱۵	۰/۷	۱/۱	۱/۷۵	۱/۱	۱/۷۵
IV	۰/۱۵	۱/۰	۱/۳	۲/۲۵	۱/۱	۱/۷۵

شکل ۲. پارامترهای مربوط به نوع زمین

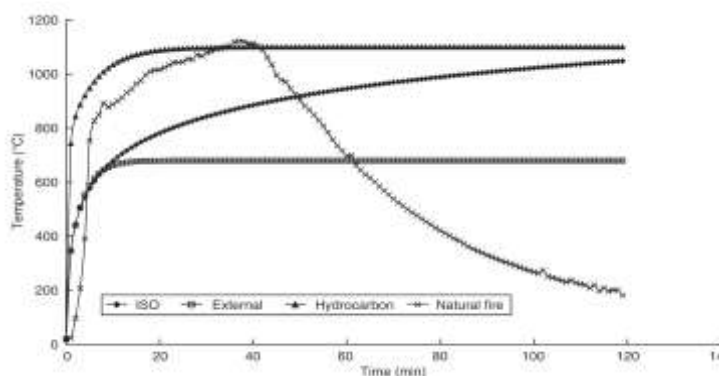
در روابط ارائه شده T_s ، T_0 و S عواملی هستند که با توجه به نوع زمین و میزان خطر پذیری مناطق مختلف می‌باشند، در استاندارد ۲۸۰۰ ایران این عوامل برای چهار نوع خاک و دو دسته خطر پذیری که هر دسته شامل دو سطح خطر پذیری است ارائه شده است که بر مبنای آن‌ها طیف پاسخ سازه محاسبه می‌گردد. عوامل اثر گذار بر این طیف پاسخ علیرغم ساختار و مشخصات سازه، با توجه به نوع خاک و لایه‌های زیر ساخت خاک محاسبه می‌گردند و عبارتند از: زمین شناسی محل احداث بنا، فاصله رو مرکز، بزرگای زلزله طرح، مدت زلزله طرح، خصوصیات چشمه لرزه زا و غیره. نوع زمین و لایه‌های آن بر روی حرکات و ارتعاش زمین اثر دارد که مجموعه اثرات محلی یا موضعی نامگذاری شده است. موج فشاری P در مسیر فاصله کانونی زلزله تا ساختمان مورد نظر لایه‌های زمین را فشرده می‌کند و موج برشی S در جهت عمود بر مسیر ارتعاش زمین اثر می‌گذارد. اما نباید از نظر دور داشت که بین سرعت موج برشی و خواص ژئوتکنیکی لایه‌های زمین رابطه‌ای وجود دارد. لیک تاکنون این وابستگی چندان روشن نشده است. در هر حال گفته می‌شود که سرعت موج برشی مناسبترین عامل برای بررسی اثر موضعی خاک بر مشخصات حرکات زمین می‌باشد. از اینرو در استاندارد ۲۸۰۰ ایران ضمن طبقه بندی و توصیف چهار نوع زمین رابطه‌ای برای بدست آوردن سرعت موج برشی متوسط در فاصله ۳۰ متری عمق زمین ارائه کرده است تا با در اختیار داشتن آن و به کمک آن نوع زمین تعیین شود. در این پژوهش جهت محاسبه ضریب بازتاب و نیروی وارد به سازه، از خاک تیپ III استفاده شده است و جهت کاهش حجم محاسبات از طیف استاندارد مندرج در بند ۲-۵-۱ آیین نامه ۲۸۰۰ ویرایش ۴ استفاده می‌شود و از محاسبات مربوط به طیف طرح ویژه ساختگاه صرفنظر می‌گردد. همچنین از اثر اندرکنش خاک و سازه و تحریکات ناشی از خواص فیزیکی و دینامیکی خاک مندرج در پیوست ۶ استاندارد ۲۸۰۰ صرفنظر گردیده است.



شکل ۳. مقطع سقف تیرچه بلوک در مصالح بنایی

■ بارگذاری حرارتی سازه

برابر نشریه ۱۱۱ سازمان برنامه و بودجه (محافظت ساختمان در برابر حریق) و استاندارد اروپا EN۱۳۶۳ تغییرات درجه حرارت داخلی آتش سوزی بر حسب زمان در کاربری‌های معمولی مسکونی از منحنی استاندارد زیر پیروی می‌کند. (نموار تغییرات درجه حرارت داخلی بر حسب زمان کاربری معمولی مسکونی)



این استاندارد مقدار درجه حرارت آتش سوزی داخلی را بر حسب دقیقه، در رابطه زیر فرموله نموده است.

$$\Theta_g = 20 + 345 \log_{10}(8t + 1)$$

Θ_g : حرارت قسمت‌های داخلی بر حسب درجه سانتی گراد

t : زمان بر حسب دقیقه

مطابق نشریه ۱۱۲ سازمان برنامه و بودجه، دستورالعمل اجرایی محافظت ساختمانها در برابر آتش سوزی و بند ۱-۲-۱ ناظر بر ضوابط الزامی مقاومت بنا در برابر آتش سوزی، حداقل زمان مقاومت تمامی بناها و تاسیسات ساختمانی مشخص شده است. برابر این دستورالعمل و جدول (۱-۲-الف) ساختمانها به سه

نوع تقسیم می‌شود و ساختمانهای مسکونی با اعضای غیر قابل احتراق و غیر محافظت شده معمولی با کاربری مسکونی (نوع ۱ تیپ ب) بایستی اعضای سازه‌ای مانند تیرها، تیر پلها، خرپاها، ستون‌ها و دیوارهای باربر کفایت باربری در هنگام آتش سوزی طرح را در حداقل ۲ ساعت برابر ۱۲۰ دقیقه داشته باشند. بر آورد هزینه ساخت:

از مصالح بنای و خشتی و مصالح پوسته‌ای بتنی و فلزی از فهرست بها مصوب سال ۹۷ سازمان برنامه و بودجه استفاده می‌شود. جهت آشنایی بیشتر به روشی که در این پژوهش جهت برآورد هزینه ساخت طی شده که همان روش توصیه شده توسط فهرست بهاست، توضیحات ارائه شده توسط فهرست بها ارائه می‌گردد.

- فولاد منظور شده در این پژوهش فولاد با استاندارد ST۳۷ است، مگر اینکه استفاده از سایر فولادها به صراحت ذکر شده باشد.
- در تمام ردیف‌های این پژوهش هزینه برشکاری، جوشکاری، سنگ زدن و مانند آن جزو بها واحد هر ردیف منظور شده است.
- هزینه اجرای اتصال شاخه‌ای استاندارد، در ردیف‌های مربوط منظور شده است. بابت جوشکاری یا وزن مصالح مربوط به آن هیچ گونه پرداختی به عمل نمی‌آید.

- قیمت‌های ردیف‌های مربوط به تهیه و نصب ستون، شامل:
- تهیه، بردیدن، جوشکاری، ساییدن و نصب ورق‌ها و تسمه‌های لازم، به منظور اتصال یا تقویت عضوهای اصلی
- تهیه، بریدن، جوشکاری و نصب عضو اصلی
- تهیه، برش، سوراخ کردن، و نصب کف ستون و اتصالات بین کف ستون و ستون، جوشکاری‌های مربوط و ساییدن.
- به طور کلی در مورد اتصال دو عضو که برای بهای واحد هر یک ردیف جداگانه پیش بینی شده و از اتصال آن‌ها در ردیف مربوط یادی نشده باشد، چنانچه اتصال مستقیماً به وسیله جوش یا پیچ و مهره انجام شود، طول جوش یا وزن پیچ و مهره، جداگانه طبق نقشه محاسبه شده و بهای آن بر اساس ردیف‌های مربوط پرداخت می‌شود.
- در مورد ردیف‌هایی که پرداخت بهای آنها، بر اساس وزن کار صورت می‌گیرد، وزن کار، طبق ابعاد درج شده در نقشه‌ها، مشخصات، دستور کارها و صورت جلسه‌های تنظیمی و به ماخذ جدول‌های استاندارد مربوط یا جدول‌های کارخانه سازنده محاسبه و منظور خواهد شد.
- هزینه‌های مربوط به تهیه و مصرف الکترود، مفتول یا سیم آرماتوربندی در قیمت‌های واحد مربوط منظور شده و از این بابت اضافه بها یا اضافه وزن پرداخت نمی‌شود.

- متره و بر آورد:

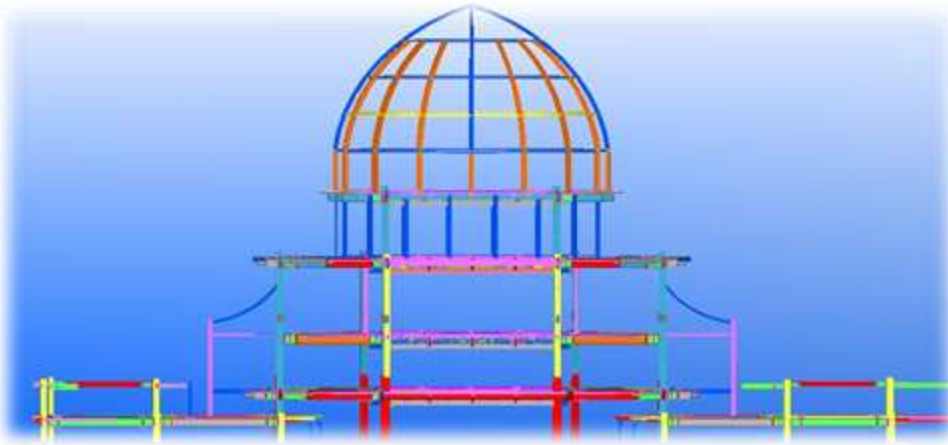
با عنایت به نوع و ساختار متره مورد نظر فهرست بها نسبت به متره و برآورد اقدام می‌گردد.

موضوع: روند ساخت اسکلت فلزی سازه پوسته ای

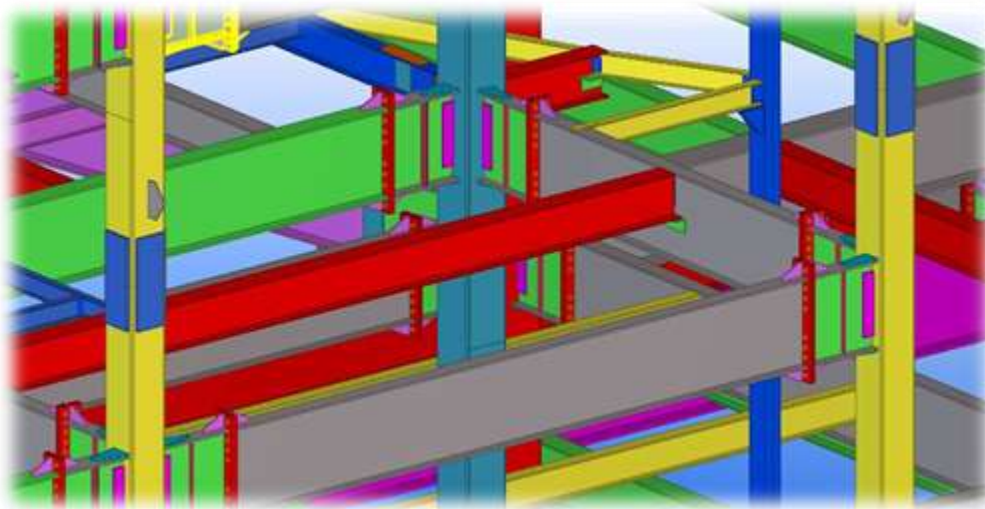
۱- واحد فنی و مهندسی

این واحد با بکارگیری مجرب ترین مهندسان که در بخش طراحی و نقشه کشی و جوش تسلط دارند خدماتی به شرح ذیل ارائه میدهند:

۱- تهیه مدل ۳ بعدی با استفاده از نرم افزار تکلا استراکچر



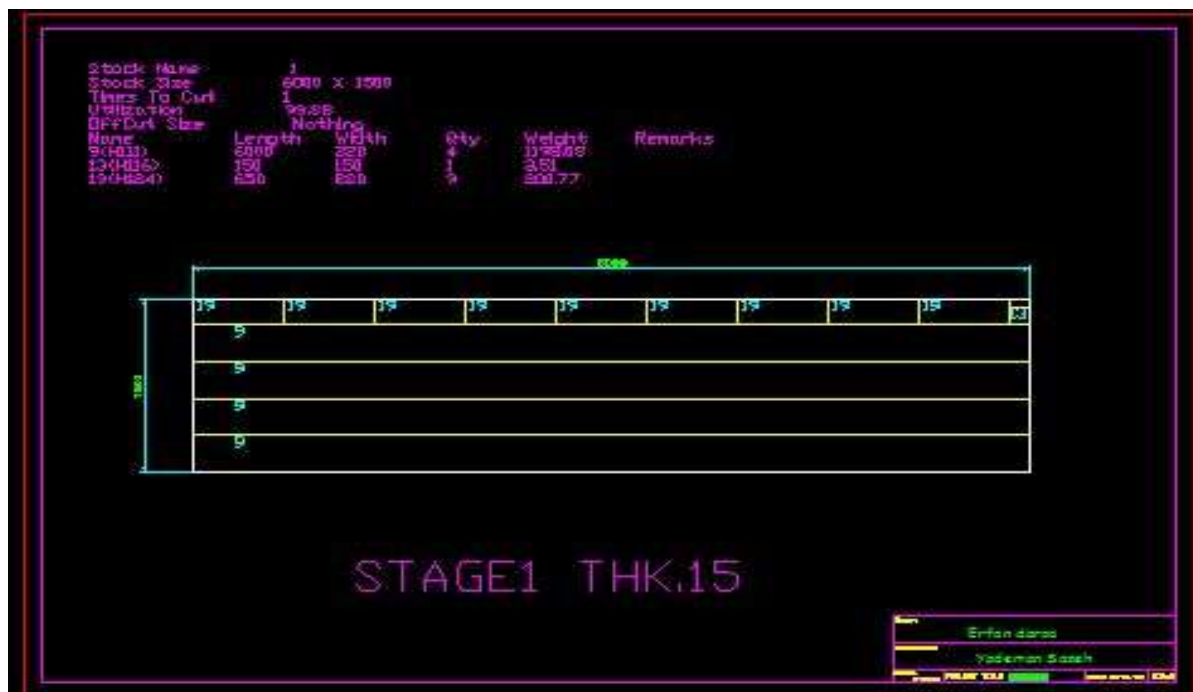
۲- تهیه نقشه‌های سازه و دتایل‌های اجرایی سازه پوسته‌ای فلزی



۳- تهیه نقشه‌های ساخت کارگاهی



۴- تهیه نقشه‌های سازه پوسته‌ای فلزی جهت برشکاری



۵- تهیه متریال لیست براساس ضخامت و عرض ورق (کمترین پرت براساس عرض قطعات)

MATRIAL LIST GRINDING PLANT_t3		
ردیف	شرح	تعداد
1	PL 6000x1200x8	18
2	PL 6000x1500x10	19
3	PL 6000x1500x20	1
4	UNP140 L=6000	160
5	Z180*3 L=5990	60
6	O 121*5 L=6000	20

۶- تهیه فایلال بوک (گزارش قطعات ارسالی و فرم روند جوشکاری و تغییرات نقشه و.....)



WELDING PROCEDURE SPECIFICATION (WPS)								
General Information		5: WPS NO.: [01]		Project No: EASTERN PARK VILLAGE BUILDING				
1: Company Name: MEMRADCO		6: Revision: 00		Date: 97/01/18		By: MOJIBEMMATI		
2: Welding Process (s): GMAW		7: Authorized by: DEBRAHIMI		Date: 97/01/18				
3: Supporting PROCEDURE: Prequalified According to AWS D1.1		8: Type: Manual		Semi-Automation				
4: Reference Code: AWS D1.1		Automation		Machine:				
JOINT DESIGN USED				POSITION				
9: Type: GROOVE (CJP)				26: Position of Groove: ☒ 1G ☐ Fillet: ☐				
Single: ☒ Double Weld: ☐				27: Vertical Position: Up: ☐ Down: ☐				
10: Backing: Yes: ☐ No: ☒				ELECTRICAL CHARACTERISTICS				
Backing Material: <u> </u>				28: Transfer Mode (GMAW):				
11: Root Opening: 3-4 mm				13: Root Face Dim: 2-3 mm				
12: Groove Angle: 60-10				14: Radius (R): ---				
15: Back gouging: Yes: ☐ No: ☒				29: Current: AC: ☐ DCEP: ☒ DCEN: ☐ Pulse: ☐				
Method: GRINDING				30: Other: ☐				
BASE METALS				31: Tungsten Electrode (GTAW):				
16: Material Spec: A36 (ST37) to A56 (ST37)				Size: ---				
17: Type or Grade: ☐				Type: ---				
18: Thickness (mm): T1: 15-35 to T2: 15-35				TECHNIQUE				
19: Diameter (Pipe): ---				32: Stringer or Weave Bead: Both				
FILLER METALS				33: Multi-pass or Single Pass (per side): Multi Pass				
20: AWS Specification: A5.18				34: Number of Electrodes: One				
21: AWS Classification: ER70S-2				35: Contact Tube to Work Distance: 10-15 mm				
22: Trade Name: AMA				36: Preheat: N/A				
SHIELDING				37: Inter pass Cleaning: BRUSHING				
23: Gas: MIX Composition: 82% (Ar) - 18% (CO2) Flow rate: 11-14 L/min Gas Cup Size: 10-13				POSTWELD HEAT TREATMENT				
PREHEAT				38: Temp: N/A				
24: Preheat Temp. (Min): 30 to 200 mm 10°C - 20 to 30 mm 65°C				39: Time: N/A				
25: Interpass Temp. Min: 0°				39: Time: N/A				
WELDING PROCEDURE								
40: Pass or Weld Layer(s)	41: Direction	42: Filler Metals		43: Current		44: Voltage	45: Travel Speed (mm/min)	46: Joint Details
		Class	Size (mm)	Type & Polarity	Range of Wire Feed Speed			
1st	DOWN	ER70S-2	08L	DCEP	180-280	23-33	23 in	
PREPARED BY:		CHECKED BY:		APPROVED BY:				

بر اساس نقشه‌های کاتینگ که دفتر فنی به کارگاه ابلاغ میکند به دو روش قابل اجرا می‌باشد ۱-روش سرد (گیتین) ۲-روش گرم (راسته بر)

۲-نقشه‌های کارگاهی که به کارگاه ابلاغ میشود سه تپ می‌باشد:

۱- نقشه‌های قطعات (سینگل) ۲- نقشه دستک (ساب اسمبلی) ۳- نقشه‌های اسمبلی

نقشه قطعات به نقشه‌ای گفته می‌شود که جهت قطع زنی که عملیات برشکاری یا سوراخکاری داشته باشد مورد استفاده قرار می‌گیرد.



نقشه دستک جهت ساخت به صورت جدا می‌باشد که در زمان مونتاژ نهایی روی قطعه اصلی در تراز ارتفاعی خود مونتاژ می‌شود.

نقشه اسمبلی نقشه‌ای می‌باشد که قطعاتی که به صورت سینگل یا ساب اسمبلی که ساخته شده روی تیر یا ستون جهت تکمیل قطعه می‌باشد.

قطعاتی که نیاز به عملیات سوراخکاری داشته باشد با توجه به امکانات کارگاه، با دستگاه رادیال و پانچ جهت عملیات سوراخکاری انجام می‌شود. CNC

قطعه فوق چنانچه نیاز به مونتاژ داشته باشد به قسمت مونتاژ و در غیر این سته بندی و به کارگاه نصب حمل می‌گردد.

لازم به ذکر می‌باشد تمامی قطعات دارای شناسنامه می‌باشند و پس از تأیید کنترل کیفیت و فرم تأیید به مرحله بعدی خواهد رفت.

۲- واحد تولید:

واحد تولید یا مدیر تولید زیر مجموعه مدیر کارخانه می‌باشد و مسئولیت تولید بالا و باکیفیت می‌باشد ولی با توجه به اینکه سرعت با کیفیت تداخل دارد به

همین علت واحد کنترل کیفیت تمام قطعات چک کرده و پس از تأیید به مرحله بعد می‌رود.

واحد تولید هماهنگ کننده بین واحد مهندسی و مدیر کارخانه با پرسنل کارگری می‌باشند و بر اساس

نقشه‌های کارگاهی و گزارش‌های که واحد برنامه ریزی به مدیر تولید اعلام می‌کنند تناژ کارگاهی باید مشخص شود.

۲- واحد کنترل کیفیت:

این واحد که در کارگاه مستقیم زیر نظر مدیر عامل یا مدیر پروژه می‌باشند وظیفه این واحد این است که تمام قطعات که عملیات دارند کنترل کرده و پس از تأیید به مرحله بعدی خواهد رفت.

لازم به ذکر می‌باشد چنانچه کارفرما، نظارت مقیم در داخل کارگاه داشته باشد باید قطعه ساخته شده را در هر قسمت تحویل نماینده کارفرما بر اساس فرم گزارش‌ای تی پی بدهد.

تمام قطعات در هر مرحله باید گزارش تحویل به نظارت مقیم کارگاه داشته باشند.

انواع جوش‌های کارگاهی:

۱- جوش زیر پودری: جوش زیرپودری یک روش خودکار است. در جوشکاری به روش زیرپودری، ماده محافظت کننده جوش به صورت پودر روی درز ریخته می‌شود.

۲- جوش تحت حفاظت گاز با الکتروود مصرفی: در این روش الکتروود مفتول لخت و پیوسته‌ای است که از میان گیره الکتروود گذشته و با یک قرقره تغذیه می‌شود. حفاظت در این روش با سپری گاز غیرفعال (آرگون) و فعال صورت می‌گیرد.

۳- جوشکاری دستی با الکتروود روکش دار: (CO₂)

جوشکاری دستی متداول ترین فرایند جوشکاری در کارگاه‌های ساختمانی است که در تمام حالات تخت، افقی، سربالا، و سقفی قابل اجرا می‌باشد. وسایل موردنیاز آن شامل مولد، مدار، انبر، ماسک و الکتروود روکش دار و جوشکار ماهر می‌باشد.

بعد از تکمیل شدن قطعه و تأیید آن قطعه به مرحله بعد رفته و نقاشی شده آماده حمل به سایت می‌باشد.



با توجه به مشکلات ریختن بتن و ویبره کردن در زمان بتن ریزی در بعضی از مواقع جابجای انکربولت اتفاق بیافتد و برای گرفتن خطا بوجود آمده باید قبل از مونتاژ بیس پلیت به ستون، نقشه برداری از وضعیت فونداسیون موجود بعمل آوریم.



و بعد از نصب ستون‌ها و شاقول کردن و کلاف کردن باید بادبندها را در صورت امکان نصب کرد.



و بعد از نصب بادبند رفترا را شروع به نصب می کنند. اولین کاری که برای نصب رفترا وسط انجام می دهند این است که پائین رفترا را به هم مونتاژ کرده و پیچ و مهره را سفت کرده و بعد از تمام این مراحل رفترا را نصب می کنند.



بعد از نصب رفترا باید پرلین های و بادبندها سقف را نصب بکنیم.



بعد از اتمام قاب اصلی ساختمان اگر سازه دارای نیم طبقه و راه پله باشد باید آن ها را نصب بکنیم. و بعد از تمام مراحل نصب قطعات باید سفت کاری پیچ و مهره ها را انجام داد و به ناظر پروژه باید قطعات نصب شده را تحویل داد.



بحث و نتیجه گیری

سازه‌های پوسته‌ای طوری طراحی شده‌اند تا به سهولت در برابر تغییر در دوره زندگی خود پاسخ دهند. مزایای چنین رویکردی در طراحی قابل ملاحظه است، چنین طرحی قابلیت استفاده برای مدت زمان بیشتری را داراست. از طرفی همیشه این سوال مطرح است که چگونه از فرم سازه‌ای می‌توان به جزئیات معماری دست یافت؟ سازه‌های پوسته‌ای دارای قابلیت فرم‌پذیری و انعطاف مطلوبی است که از خصوصیت این نوع سازه است. علاوه بر تأمین پایایی ساختمان می‌تواند از جنبه‌ی معماری نیز کاربردی واقع شود. انعطاف از فرم خارجی می‌تواند به تزیینات و معماری داخلی امتداد پیدا کرده و صداقت کالبدی و معنایی را بازگو نماید. در واقع سازه‌های پوسته‌ای فراتر از پوشش عمل می‌کند و به صورت همزمان در سه حیطه‌ی سازه، معماری و معماری داخلی پیوستگی به وجود می‌آورند. بتن مسلح از مصالح متداول این سازه می‌باشد.

با عنایت بند ۱ و ۲ یافته‌ها در مدت زمان ۲ ساعت مطابق با توصیه نشریه ۱۱۲، دمای داخلی این ساختمانها برابر نشریه ۱۱۲ به ۱۰۴۶ درجه سانتی گراد بایستی برسد. حال اینکه در این دما مطابق دستورالعمل مبحث ۹ ساختمان، مصالح بتن و فولاد کاملاً مقاومت فشاری خود را از دست می‌دهند و مقاومت تسلیم فولاد و مقاومت فشاری بتن به صفر می‌رسد و عملاً سازه کاملاً ناپایدار می‌گردد.

نکته جالبی در تیرها وجود دارد و آن این است که تنش‌های مربوط به لنگرهای ناشی از بارها رنج تنش کمی را به تیرها وارد می‌کند و بیشترین مقادیر تنش مربوط به تنش محوری می‌باشد و مقادیر این تنشها در تمامی تیرها تقریباً با هم برابر است، پس دو نتیجه گیری می‌توان کرد ۱- در صورت وقوع آتش سوزی و گذشت ۱۰ دقیقه از آتش سوزی تقریباً تمامی تیرها با هم ناپایدار شده و منجر به سقوط طبقات به صورت یکجا می‌گردد که ایجاد نیروی دینامیکی می‌نماید و این نیروی دینامیکی به علاوه وزن طبقات باعث ایجاد تخریب پیشرونده می‌گردد و شاهد بروز خرابی کامل سازه خواهیم بود

۲- بدلیل نامعینی بالای سازه‌های قاب خمشی به راحتی می‌توان با استقرار جداگرهای محوری به صورت کاملاً امن این نیرو را مهار نمود و از ایجاد ناپایداری در تیرها جلوگیری نمود و شاهد حوادثی مانند ساختمان پلاسکو نبود.

به کارگیری سیستم سازه‌ای پوسته‌ای RCS باعث صرفه جویی در حدود نصف، در مصرف فولاد نسبت به ساختمان کاملاً فولادی شده است. این موضوع به سبب افزایش نیروی کمانشی مجاز ستون رخ داده است، به گونه‌ای که ستون فلزی دور بتن محصور (CFT) و یا ستون فلزی که دور بتن محصور می‌باشد (RCS)

به مانند کلاف بتنی رفتار کرده و رفتار کمانشی بتن را بشدت افزایش می دهند. بتن همچنین به افزایش ظرفیت خمشی و برشی ستون کمک می کنند و در هنگام آتش سوزی مانند یک منبع انباشت حرارت رفتار کرده و به نسبت ستون های فولادی دارای مقاومت بیشتری در برابر آتش هستند.

از بعد انجام متره و برآورد تمامی بخش های سازه ای، هزینه کل ساختمان بدست آمد، که بر حسب این مقادیر استفاده شده براساس جداول مقایسه ای به شرح ذیل می باشد:

میزان فولاد مورد نیاز در سیستم پوسته ای در سازه های ۳ طبقه با دو دهانه ۵ متری، نسبت به روش سنتی از افزایش حداقل ۵۵ درصدی و نسبت به سازه سنتی ۳۵ درصد اختلاف داشته و برخوردار می باشد. و در کل هزینه ساخت سازه پوسته ای در سازه های ۳ طبقه با دو دهانه ۵ متری، نسبت به روش سنتی از افزایش هزینه ساخت حداقل ۳۵ درصدی که این رو نسبت به روش پوسته ای ۱۵ درصدی که این اختلاف در سازه می رسد. این واقعیت است که رفتار و شکل پذیری ستون ها در سیستم پوسته ای بسیار تغییر شکل نسبت به سازه سنتی دارد. و طراحان با اطمینان خاطر شکل پذیری مورد نظر خود را که از سازه های فولادی انتظار دارند، در سازه های پوسته ای هم می توانند دست یابند.

در اتصالات با سخت کننده های قطری نتایج حاصل از تحلیل اتصالات پوسته ای از نوع ستون عبوری نشان داد که (کاور پلیت و سخت کننده ها)، اتصالات با ضخامت ۱۰ میلیمتر عملکرد بهتری از نظر شکل گیری مفصل پلاستیک و مقاومت (بارپذیری) نسبت به سخت کننده های موازی از خود نشان می دهند به طوری که ماکزیمم نیرو اتصال با سخت کننده قطری ۳۰٪ بیش تر از سخت کننده موازی می باشد و همچنین نواحی تشکیل مفصل پلاستیک نیز در این اتصال بر خلاف سخت کننده موازی در تیر اتفاق می افتد. با بررسی ضخامت های مختلف سخت کننده مشاهده می گردد که افزایش ضخامت سخت کننده تاثیری در عملکرد اتصالات از لحاظ بار پذیری و شکل گیری مفصل پلاستیک ندارد.

دستورالعمل های ساختمانی ما برای حریق بسیار ضعیف عمل می نماید و عملاً ساختمان های با تیر فولادی بسیار در برابر حریق طرح آسیب پذیرند و به راحتی دچار واژگونی کامل می شوند. این مقادیر محاسباتی زمانی بحرانی و تاثیر گذار است که بدانیم ما در این پژوهش مدت زمانی برابر ۱/۱۲ میزان مطرح شده در دستورالعمل ۱۱۲ را برای سازه در نظر گرفتیم.

با توجه به اینکه مدلسازی های عددی توسط ETABS انجام پذیرفته است، انجام آزمایشات و شبیه سازی در اشل آزمایشگاهی به دلیل هزینه بالا و عدم تامین هزینه های تحقیقاتی، امکان انجام این آزمایشات نبوده است؛ بنابراین این مسئله از محدودیت های تحقیق بوده است. جهت صحت سنجی محاسبات انجام گرفته در این آزمایش نسبت به انجام مطالعات آزمایشگاهی بر پایه اطلاعات ارائه شده در این آزمایش اقدام نمایند. همچنین نسبت به مدلسازی و مطالعه رفتار سازه با استفاده از انواع مختلف مقاطع سازه پوسته ای در اشکال مختلف اقدام نمایند تا شاهد رفع ابهام در زمینه به کارگیری مقاطع سیستم برای طراحان سازه باشیم و در پی آن کاربرد این روش اقتصادی، گسترش یابد. همچنین با توجه به اهمیت اجرای روش پوسته ای در انتخاب نوع و نحوه اجرای اتصالات، از آنجایی که اکثر تحقیقات انجام شده روی اتصال نوع تیر پیوسته می باشد (نوع ۱) و حتی آیین نامه موجود برای طراحی اتصالات پوسته ای نیز بر مبنای نوع تیر پیوسته انتشار یافته است، بررسی بیشتری بروی نوع خرابی اتصالات تیر عبوری (شامل خرابی پانل برشی و خرابی تکیه گاهی قائم که این شکست با چرخش تیر در اتصال به دلیل خردشدگی بتن بالا و پائین اتصال اتفاق می افتد. بسیار مهم و در گسترش اجرای این روش حائز اهمیت است. و در مورد نوع دیگر اتصال (ستون عبوری) بررسی بیشتری بروی نقاط ضعف و قوت آن متمرکز نمود (هر دو نوع سخت کننده موازی و قطری) تا رد یا جایگزینی اتصال تیر عبوری اقدام گردد.

مشارکت نویسندگان

در نگارش این مقاله تمامی نویسندگان نقش یکسانی ایفا کردند.

تشکر و قدردانی

از تمامی کسانی که در طی مراحل این پژوهش به ما یاری رساندند تشکر و قدردانی می‌گردد.

تعارض منافع

در انجام مطالعه حاضر، هیچ‌گونه تضاد منافی وجود ندارد.

حمایت مالی

این پژوهش حامی مالی نداشته است.

موازن اخلاقی

در انجام این پژوهش تمامی موازن و اصول اخلاقی رعایت گردیده است.

خلاصه مبسوط

Extended Abstract

Introduction

In recent decades, the construction industry has undergone substantial transformations in building materials, structural systems, and execution technologies, prompting a reassessment of traditional load-bearing systems relative to emerging alternatives. Among these alternatives, flat shell systems have attracted significant attention due to their potential advantages in speed, cost-efficiency, and structural performance. While traditional systems—primarily masonry or framed structures with beams and joists—have long remained prevalent due to the familiarity of labor crews and the availability of materials, their construction often requires extensive formwork, multiple sequential operations, and therefore longer execution time (2). At the same time, the growing need for faster delivery of residential units, reductions in total project cost, and improvements in seismic and fire performance have made the evaluation of alternative systems increasingly important (1).

Flat shell systems, characterized by thin reinforced concrete shells with minimized or eliminated beams, offer practical advantages by simplifying formwork, decreasing structural dead load, and providing greater architectural flexibility. Research has demonstrated that flat slab systems can markedly decrease construction time and streamline scheduling by reducing the number of required construction stages (3). Additionally, economic analyses reveal that such systems often reduce formwork and labor costs, and can therefore provide more cost-efficient outcomes despite potential increases in reinforcement demand

(5). However, the suitability of flat shell systems depends on careful evaluation of structural behavior, including punching shear vulnerability, detailing of reinforcement, and adequacy of connection design (8).

Comparative studies also highlight important differences in quality and seismic performance. Traditional systems, particularly masonry structures, are hindered by heavy wall sections, weak tensile and shear resistance, and poor energy dissipation—factors that lead to deficiencies under earthquake loading. Conversely, flat shell systems achieve favorable seismic behavior due to their ductility, reduced weight, and improved load distribution, provided that the design adheres to structural standards and nonlinear analysis principles (9). From an architectural standpoint, the absence of intermediate beams and the reduction in story height may also improve spatial efficiency and functional value for residential buildings (7). Finally, market-driven concerns—including project duration, labor availability, and material price fluctuations—underscore the need for a rigorous technical and economic comparison between these systems (10).

Considering the industry's increasing need for faster construction, cost optimization, and improved safety, the present study compares traditional structural systems with flat shell systems in residential buildings in terms of structural behavior, execution time, and construction cost. The synthesis of numerical modeling, field observation, and engineering cost analysis provides a comprehensive basis for determining the relative advantages of each system. This study is therefore conducted with the aim of analyzing and comparing structural performance, construction duration, and overall cost between traditional systems and flat shell systems in residential buildings.

Methods and Materials

This study was conducted using an analytical–descriptive approach, combining nonlinear numerical modeling with limited field evaluation and engineering cost estimation. Two structural configurations were modeled: a three-story masonry building representing the traditional system and a thin reinforced concrete shell system with a final thickness of 7–10 cm. Geometrical dimensions, loading conditions, material properties, and boundary constraints were defined based on practical residential construction scenarios.

Material characteristics—including concrete compressive strength, steel yield strength, and relevant elastic properties—were selected in accordance with engineering standards and typical construction practice. The flat shell system was modeled as a layered assembly: an inner and outer reinforced concrete shell, each designed to maintain thin cross-sections while ensuring adequate ductility, with a lightweight infill material placed between the shells to reduce weight and improve performance.

Nonlinear numerical analysis was carried out using the Abaqus software, chosen for its capability to capture complex material behavior, cracking, nonlinear stiffness degradation, and the effects of both lateral and gravitational loads. The analysis incorporated soil conditions consistent with Iranian Standard 2800, assuming Soil Type III, and used the standard seismic spectrum rather than site-specific spectra in order to maintain modeling efficiency. Thermal loading behavior was also evaluated following the thermal curve specified by European Standard EN 1363.

Data collection for cost evaluation relied on the Iranian national schedule of rates (Fhehrest-e-Bahā) and a systematic quantity-surveying process. Steel fabrication processes—including cutting, welding, assembly, and quality control—were documented to assess construction time and labor intensity. The study also included analysis of foundation isolation mechanisms using SAP2000, modeling friction-pendulum isolators in cases where traditional rural foundations exhibited such behavior.

All modeling outputs were analyzed to compare structural safety margins, failure mechanisms, fire resistance, material consumption, and overall economic impact between traditional and shell systems.

Findings

Numerical results reveal significant structural advantages for the flat shell system. Due to its reduced wall thickness, lightweight configuration, and use of reinforced concrete, the shell system performed markedly better under seismic loading than the traditional masonry system. The traditional system exhibited substantial weaknesses in tensile and shear capacity, resulting in poor resistance to lateral forces, greater displacement demands, and higher vulnerability to collapse mechanisms.

Fire behavior analysis demonstrated sharp contrasts between the two systems. Traditional structures, owing to their reliance on unprotected steel reinforcement in rigid beam-column connections, exhibited instability within less than ten minutes of exposure to the standard fire curve. In contrast, the shell system—benefiting from concrete confinement around steel components—maintained integrity significantly longer, enhancing fire safety margins and delaying structural failure.

Foundation isolation modeling indicated that friction-based isolators traditionally used in rural regions of Rasht performed well in dissipating input energy during strong ground motions, confirming observational evidence from historical earthquakes. The study showed that these isolators effectively restricted tensile forces and provided substantial displacement-based energy reduction.

Material analysis found that steel consumption in the shell system was reduced by approximately 55% compared with conventional steel building systems, and overall construction costs were about 35% lower than those of traditional masonry structures. Additionally, connection studies revealed that diagonal stiffeners in shell connections supported 30% higher load capacity than parallel stiffeners, and plastic hinge formation occurred more favorably in beams rather than columns.

Time-related findings showed that the flat shell system significantly reduced execution time because of simpler formwork, integrated reinforcement placement, and reduced dependence on step-by-step construction. This efficiency contributed to lower indirect costs and improved scheduling reliability.

Discussion and Conclusion

The results demonstrate that flat shell systems provide substantial advantages over traditional structural systems in residential construction. The shell system's enhanced seismic behavior—supported by higher ductility, lower mass, and improved energy dissipation—indicates superior performance under strong lateral loading. The fire resistance comparison also highlights a critical safety benefit, as traditional systems rapidly lose strength under elevated temperatures, whereas the shell system maintains load-bearing capacity for significantly longer durations.

Economically, the reduction in steel consumption, formwork, and labor requirements translates directly into lower construction costs. These cost savings, combined with shorter execution time, make flat shell systems especially attractive for residential projects requiring rapid delivery and budget efficiency. The improved performance of diagonal stiffener connections further suggests that careful detailing can enhance both safety and constructability.

Despite the advantages demonstrated, the study acknowledges the need for further physical testing and laboratory-scale validation, as numerical analyses alone cannot fully capture complex real-world behaviors. Future research should expand to include alternative shell geometries, additional connection types, and experimental verification of fire and seismic performance.

In conclusion, flat shell systems constitute a structurally efficient, economically viable, and execution-friendly alternative to traditional residential construction systems. Their superior seismic resistance, improved fire performance, reduced material consumption, and shortened construction time collectively highlight their potential as a modern and practical solution for the residential sector.

References

1. Smith B, Coull A. Tall building structures: Analysis and design: Wiley; 2018.

2. Chudley R, Greeno R. Building construction handbook: Routledge; 2016.
3. Poston R, Collins M. Flat slab construction and design considerations. Structural Engineering International. 2020;30(4):522-31.
4. Al-Khafaji Z, Hasan R, Al-Azzawi A. Time and cost analysis of flat slab versus traditional slab systems in residential buildings. Journal of Construction Engineering. 2021;12(3):44-55.
5. Metha P, Monteiro P. Concrete: Microstructure, properties, and materials: McGraw-Hill; 2014.
6. García M, López R. Economic comparison between traditional beams-slab systems and flat slab systems in housing projects. International Journal of Civil Engineering Research. 2019;7(2):78-89.
7. Park R, Gamble W. Reinforced concrete slabs: Wiley; 2017.
8. Nawy E. Reinforced concrete: A fundamental approach: Prentice Hall; 2013.
9. Nilson A, Darwin D, Dolan C. Design of concrete structures: McGraw-Hill; 2015.
10. Kim S, Lee H. Efficiency of flat slab systems in modern residential construction projects. Engineering Structures. 2020;215:110-28.