نشریه علمی - پژوهشی مهندسی سازه و ساخت، دوره ۵، شماره ویژه ۳، سال ۱۳۹۷، صفحه ۲۱۰ تا ۲۲۹

ویژه نامه نشریه مهندسی سازه و ساخت
(علمی - پژوهشی)

www.jsce.ir

Journal of Structural and Construction Engineering
JSCE
نشریه علمی-پژوهشی مهندسی سازه و ساخت

یادداشت فنی: طراحی بهینه سقف سبک نوین پانلی از نوع ساندویچی پیش ساخته با رویه‌های مقاوم و هسته بتن سبک

اشکان ترابی[1*]، الله داد احمدی [2]

۱- استادیار، گروه مهندسی عمران، واحد مرودشت، دانشگاه آزاد اسلامی، مرودشت، ایران
۲- دانشجوی دکتری مهندسی عمران، گروه مهندسی عمران، واحد مرودشت، دانشگاه آزاد اسلامی، مرودشت، ایران

چکیده

در این مقاله یک سیتم سقف سازه ای نوین پانلی ساندویچی معرفی شده است؛ این سیستم سقف متشکل از سه نوع پانل ساندویچی پیش ساخته می‌باشد: پانل سر ستون، پانل تیری (بین ستونی) و پانل میانی. پانل‌های ساندویچی این سقف متشکل ازسه لایه می‌باشند، این لایه‌ها عبارتند از یک لایه بتن مسلح پرمقاومت به عنوان لایه فوقانی. یک لایه ضخیم از بتن سبک مسلح به عنوان لایه میانی یا هسته و یک لایه بتن مسلح معمولی به عنوان لایه تحتانی، این پانل‌ها بوسیله اتصال خاصی که در لبه‌های آنها بکار رفته به یکدیگر متصل می‌شوند و یک سیستم سقف سازه‌ای جدید با قابلیت اجرای سریع و آسان را پدید می‌آورند. در این تحقیق از نرم افزار ABAQUS برای مدل‌سازی و آنالیز استفاده شده است. جهت بهینه سازی سقف ساندویچی برای پوشش سقف ساختمان‌ها با دهانه‌های مختلف یک برنامه رایانه‌ای با نرم افزار MATLAB تهیه گردیده است؛ با وارد کردن مشخصات مقاطع فولادی و پانل‌های ساندویچی بتنی در محیط برنامه و انجام محاسبات لازم ترکیب‌های بهینه اجزا مختلف سقف برای پوشش دهانه‌های مختلف تعیین شده و به صورت نمودار و جدول نشان داده شده است؛ هدف این بهینه سازی بدست آوردن ارزانترین و سبک ترین گزینه‌ها می‌باشد. باتوجه به امکان تولید صنعتی پانل‌های پیش‌ساخته تحت شرایط استاندارد و سادگی ساخت و ساز، سیستم سقف حدید می‌تواند جایگزین مناسبی برای سیستم‌های سقف معمولی باشد. علاوه بر این، سیستم جدید باعث صرفه جویی قابل توجهی در مصالح ، زمان، نیروی کار و هزینه ساخت ساختمان می‌شود.

کلمات کلیدی: بهینه سازی، هسته، بتن سبک، پانل ساندویچی، پیش ساخته، اتصالات برشی.

سابقه مقاله:					شناسه دیجیتال:
دریافت	بازنگری	پذیرش	انتشار آنلاین	چاپ	doi: 10.22065/jsce.2017.67981.1005
۱۳۹۵/۰۹/۰۱	۱۳۹۶/۰۴/۱۱	۱۳۹۶/۰۳/۳۱	۱۳۹۶/۰۳/۳۱	۱۳۹۷/۰۸/۳۰	http://dx.doi.org/10.22065/jsce.2017.67981.1005

[*]نویسنده مسئول: اشکان ترابی

پست الکترونیکی: ashkantorbi@miau.ac.ir

Technical note: Optimum Design of an Innovative Lightweight Precast Sandwich- Type floor panels with resisting facings and lightweight concrete core

AshkanTorabi [1]*, Allahdad Ahmadi [2]

1- Assistant Prof, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Azad Islamic University, Marvdasht, Iran.
2- Ph.D. candidate, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Azad Islamic University, Marvdasht, Iran.

ABSTRACT

In this study، a new roofing system made of precast composite sandwich panels is introduced. This sandwich panels floor system consists of three kinds of precast concrete sandwich panels including capital panels، beam or between columns panels، and slab or middle panels. This panels are built of three layers; A high strength reinforced concrete as top layer، a thick layer of light-weight concrete as a middle layer or core and the third layer or lowest layer is an ordinary reinforced concrete. These panels are connected together with special connectors at their edges. In this study، ABAQUS software has been used for modeling and analyzing the sandwich panels floor system. Moreover، to optimize the design of the sandwich floor panels with different spans، a MATLAB code has been was developed; By entering the properties of steel sections and mechanical properties of concrete used in construction of the sandwich panel in this program the optimum design variables for panels of different، spans، loading and boundary conditions and design constraints was determined which are shown by means of curves and tables; The objective of this optimization was to obtain the lightest and most economical options. Due to possibility of industrial production of precast panels under standard conditions and simplicity of construction, the introduced novel floor system can be a viable alternative for common floor systems. Besides، the novel system can save amount of material، labor، time، and cost in building construction.

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

ARTICLE INFO

Received: 21/11/2016
Revised: 02/07/2017
Accepted: 22/07/2017

Keywords:
optimize
lightweight concrete core
Sandwich Panel
precast
Connection

doi: 10.22065/jsce.2017.67981.1005

*Corresponding author: Ashkan Torbi.
Email address: ashkantorbi@miau.ac.ir

۱- مقدمه

ساختمان سازی با استفاده از سیستم‌های رایج که بصورت غیر صنعتی می‌باشد دارای مشکلات کمی وکیفی فراوانی است. در سال‌های اخیر نیاز شدید به افزایش بهره وری در بخش ساختمان این واقعیت را آشکار کرده است که استفاده از سیستم‌های سنتی در امر ساخت و ساز جوابگوی نیاز جامعه نبوده و استفاده از فن آوری‌های نوین در این بخش اجتناب ناپذیر می‌باشد. بنظر می‌رسد که سیستم های ساختمانی با پتانسیل تولید صنعتی و پیش‌ساخته می‌توانند نیازهای کمی و کیفی صنعت ساختمان را برآورده کنند. یکی از روش‌های صنعتی ساخت و ساز جهت سبک سازی ساختمان‌ها و صرفه جویی در مصالح که در چند دهه اخیر در رشته مهندسی ساختمان‌ها مورد توجه مهندسین قرار گرفته است، استفاده از صفحات ساندویچی می‌باشد. پیشرفت ها و تحولات زیادی در سبک سازی دیواره‌ها، سقف‌ها، بدنه هواپیماها، عرشه کشتی‌ها و پل‌ها در سال‌های گذشته با استفاده از صفحات ساندویچی انجام گرفته که بتدریج این تحولات در صنعت ساختمان سازی مخصوصا در رشته مهندسی سازه و زلزله مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند. در سال‌های اخیر با توجه به پیشرفت‌های علمی پژوهشی در سطح جهانی وزن هر متر مربع سقف ساختمان‌ها یعنی قسمت اعظم بار مرده آن بتدریج کاهش یافته و باعث تقلیل شتاب پایه و نیروهای واژگونی وارد به ساختمان‌ها و سبک سازی آنها در اثر زلزله شده است، با توجه به حجم ساختمان‌هایی که در سال‌های آینده قرار است ساخته شود، در صورت بدست آمدن طرح‌های مناسب اقتصادی و بهینه که از لحاظ مقاومت در مقابل نیروهای وارد به سازه و ایجاد محیط آرامی از لحاظ کاهش انتقال صوت، حرارت و مقاومت در مقابل آتش سوزی، قدم بزرگی در راه صرفه جویی مصالح، نیروی کار و منابع ملی خواهد بود.

نظر به اینکه مقدار نیروی زلزله وارد به ساختمان تابع وزن سازه می‌باشد (V=CW), قسمت اعظم وزن سازه (W) بار مرده است که سهم عمده آنرا وزن سقف تشکیل می‌دهد؛ بنابراین هرچه وزن سازه بخصوص سقف سبکتر باشد نیروی وارده به سازه کمتر می‌شود و باعث کاهش وزن کل سازه ودرنتیجه کاهش هزینه سازه می‌گردد. یکی از فن آوری‌های نوین در راستای سبکسازی و صنعتی کردن ساختمان استفاده ازسیستم سقف ساندویچی پیش‌ساخته با رویه‌های مقاوم و هسته بتن سبک می‌باشد.

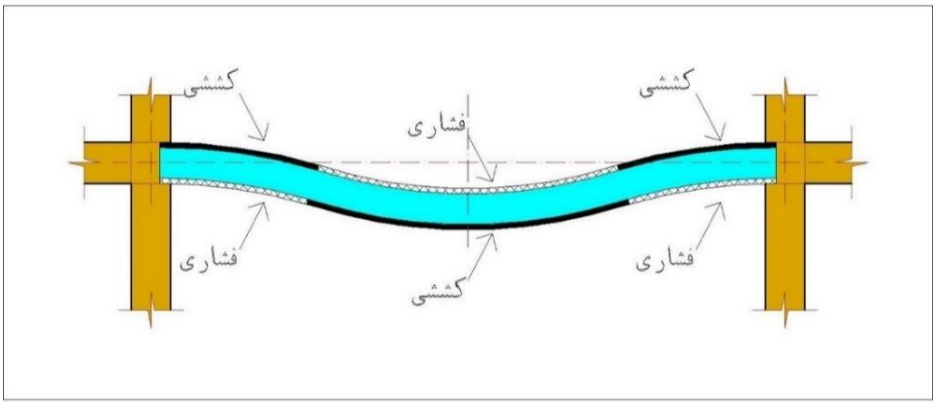
در چند دهه اخیر تحقیقات زیادی در مورد پانل‌های ساندویچی پیش ساخته انجام شده است. ظاهرا اولین بار در سال ۱۹۶۷ میلادی سیستم پانل‌های پیش ساخته ساندویچی تری دی[1]توسط شخصی به نام ویکتور وایزمن در ایالت کالیفرنیای آمریکا به ثبت رسید و تحت عنوان پانل های ساندویچی به روش بتن پاشی درپای کار(شاتکریت) به بازار جهانی معرفی شد و در صنعت ساختمان مورد استفاده قرار گرفت. درمیان پژوهش‌های انجام شده می‌توان به تحقیق امین اینیا و همکارانش درسال ۱۹۹۴ اشاره نمود که یک سیستم پانل ساندویچی بتن پیش ساخته با یک مقاومت حرارتی بالا و کارایی سازه‌ای بهینه را مورد بررسی قرار دادند[۱۱]. همچنین اریکا شومن وهمکارانش درسال۲۰۰۸ سیستم ساندویچی بتن سبک FRP هیبریدی را جهت بهبود سیستم دال ساندویچی پیش ساخته مورد بررسی قرار دادند [۹،۸،۷]. بنایون و همکارانش درسال ۲۰۰۷ و۲۰۰۸ ظرفیت مقاومت محوری (بار محوری) و رفتار سازه‌ای پانل‌های ساندویچی پیش ساخته بتنی را بررسی کردند [۴،۵،۶]. احمد و محمود درسال۲۰۱۱ رفتار سازه‌ای پانل‌های ساندویچی بتنی پیش ساخته سبک را از نظر زیست محیطی و هم از نظر سازه‌ای و گرمایشی بررسی کردند[۱۰]. محمد حسین علی داوود در سال ۲۰۱۳ رفتار سازه‌ای پانل‌های دال ساندویچی مرکب را بررسی کرد[۱۴].محمد نوریده و همکارانش در سال ۲۰۱۴ رفتار سازه‌ای پانل‌های ساندویچی فوم بتن سبک وزن با اتصالات خرپایی برشی تحت بار خمشی را مورد بررسی قرار دادند[۱۵]. مجاهد امران و همکارانش در سال۲۰۱۶ پانل‌های ساندویچی بتن فوم را تحت بارگذاری خمشی مورد بررسی قرار دادند[16].

اهداف این تحقیق بررسی رفتار تغییر شکل و پارامترهای تاثیرگذار یک مدل در رفتار حمل بار (باربری)، بهبود و توسعه دال بتنی ساندویچی هیبریدی برای سقف سازه‌ها و سبک سازی ساختمان‌ها با استفاده از سقف‌های ساندویچی با لایه‌های خارجی مقاوم و لایه میانی سبک می باشد، که موضوع جالب و مطرحی در مهندسی سازه می‌باشد.

[1] panel 3D sandwich

۲- سیستم سقف ساندویچی پیش ساخته

باتوجه به رفتار سقف در برابر نیروهای ثقلی و تغییر شکل، سقف مطابق شکل (۱) رفتار خواهد کرد، در وسط دهانه لنگر مثبت حاکم بوده و رویه سقف در فشار و زیر سقف درکشش می‌باشد؛ در تکیه گاه‌ها این لنگر منفی شده و جهت کشش و فشار بر عکس می‌باشد؛ در نواحی کششی که با رنگ مشکی در طول دهانه سقف مشخص شده است, فولادهای کششی کارایی داشته ودر نواحی فشاری که با هاشور در طول دهانه سقف مشخص شده‌اند بتن فشاری کارایی دارد. بطورکلی در وسط دهانه سقف، در روی سقف بتن فشاری مهم می‌باشد و در زیر سقف، فولاد یا میلگرد های کششی و در کناره‌ها این نیروها بر عکس خواهند شد.



شکل ۱: شکل فرضی تغییر شکل سقف‌ها با تحلیل نیروهای وارده در حالت خنثی(بدون زلزله و نیروهای جانبی)

سقف ساندویچی مورد مطالعه اساساً برای کاربرد در ساختمان توسعه یافته است در حالی که می‌تواند در موارد دیگر ساخت و ساز نیز استفاده شود. این سیستم سقف متشکل ازسه نوع پانل ساندویچی پیش ساخته می‌باشد: پانل سر ستون[۲]پانل تیری (بین ستونی) و پانل میانی. پانل‌های ساندویچی این سقف متشکل ازسه لایه می‌باشند. این لایه‌ها عبارتند از: یک لایه بتن مسلح پرمقاومت به عنوان لایه فوقانی، یک لایه ضخیم از بتن سبک مسلح به عنوان لایه میانی یا هسته و یک صفحه فلزی نازک مسطح یا کنگره‌ای و یا یک لایه بتن یا اندود مسلح مقاوم در مقابل کشش به عنوان لایه تحتانی.

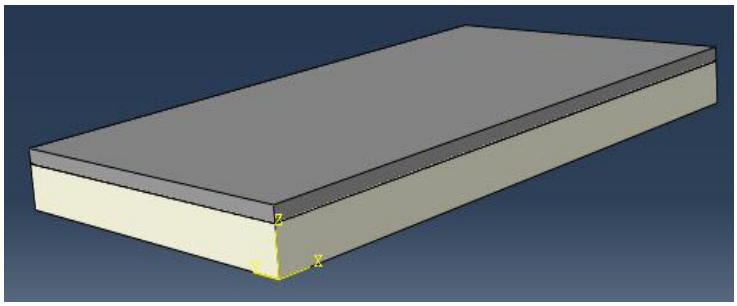
این سیستم ساندویچی جهت پوشش سقف سیستم‌های سازه‌ای مانند: دیوار باربر- برشی از نوع بنایی, قاب بتن مسلح با دیوار برشی , اسکلت فلزی خمشی یا بادبندی شده می‌توانند بکار روند. در صورتی که سیستم باربر قائم و جانبی از نوع دیوارهای بنایی یا قاب‌های بتن مسلح بادیوار برشی باشند, پوشش سقف باپانل‌های مناسب تیری یا دالی انجام می شود. درحالتی که سیستم باربر قائم وجانبی ازنوع اسکلت فلزی باشد,دراین حالت سیستم باربر قائم از ستون‌های فلزی که ممکن است از نوع قوطی مربعی توخالی, لوله‌های سازه‌ای و یا ستون‌های مرکب ازتیرآهن یا ناودانی تشکیل شده و سیستم مقاوم در مقابل بارهای جانبی بصورت قاب خمشی یا بادبند فلزی می‌باشد, در این حالت پوشش سقف نظیر سقف‌های تخت[۳]در سازه‌های بتن مسلح عمل خواهد کرد و متشکل از پانل سرستون، پانل‌های بین ستونی یا تیری و پانل‌های دالی میانی متصل به هم خواهد بود. در صورتی که تحت بارهای زنده سنگین (جهت پارکینگ‌های چند طبقه)یا برای ساخت دهانه‌های بزرگ قرار گیرد, ضخامت پانل سر ستون‌ها, پانل بین ستونی(تیری) و پانل دالی میانی می‌توانند از یکدیگر متفاوت باشند. یکی از مزایای مهم این سیستم سازه‌ای جدا کردن وظیفه سقف از وظایف حمل بارهای قائم وجانبی اسکلت سازه می‌باشد . در این حالت سیستم مقاوم دربرابربارهای قائم , دیوارها, ستون‌های قاب‌ها خواهند بود و سیستم مقاوم در برابر بارهای جانبی ناشی از باد, زلزله و ضربه, عمل قاب خمشی, دیوارهای برشی و یا بادبندهای فولادی با تیرهای رابط خواهند بود که مستقل ازسقف عمل خواهند کرد.

[2] Capital
[3] Flat-Plate

جهت بهینه سازی طرح سقف پیشنهادی برای پوشش سقف ساختمان‌های آپارتمانی با دهانه‌های مختلف، یک برنامه رایانه‌ای در محیط نرم افزارMATLAB تهیه گردیده است. با وارد کردن مشخصات مقاطع فولادی و پانل‌های ساندویچی بتنی در محیط برنامه و انجام محاسبات لازم، ترکیب‌های بهینه اجزا مختلف سقف برای پوشش دهانه‌های مختلف تعیین شده و به صورت نمودار و جدول نشان داده شده است. هدف این بهینه سازی بدست آوردن ارزانترین و سبک ترین گزین‌ها می باشد. بر اساس مقایسه اقتصادی و وزنی انجام شده با احتساب وزن بار مرده و زنده، مطابق مبحث ششم مقررات ملی ساختمان, سقف ساندویچی بتنی سبکتر از سیستم سقفی تیرجه بلوک و دال بتنی متداول می‌باشد، استفاده از این نوع سقف باعث کاهش زیادی در وزن سازه و نیروهای جانبی ناشی از زلزله به سازه، کاهش زمان ساخت، افزایش کیفیت و در نتیجه صرفه جویی قابل توجهی درمصرف مصالح بتنی و یا فولادی مورد نیاز برای ساخت تیرها, ستون ها و فونداسیون می‌شود.

۱-۲ - انواع پانلهای سقف ساندویچی

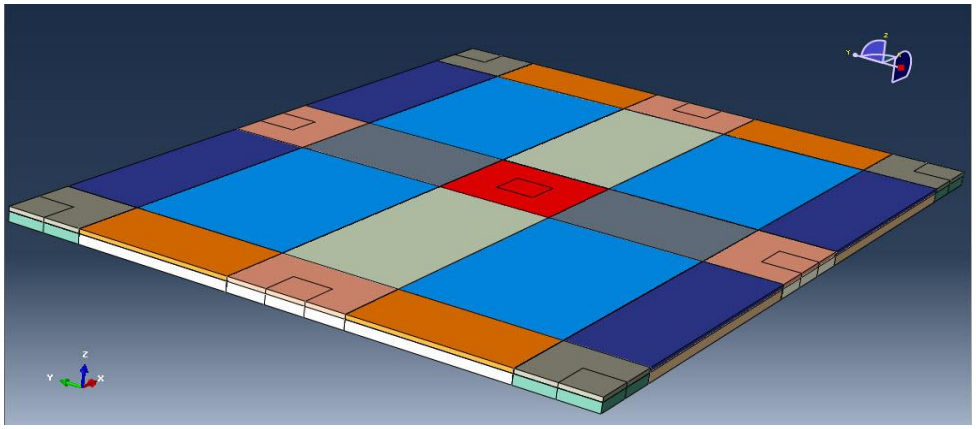
در این تحقیق پس ازطراحی و مقایسه رفتار چند نمونه از پانل‌های ساندویچی پیش ساخته بتنی با هسته بتن سبک در نرم افزار ABAQUS مدل بهینه انتخاب شده است[1]. مدل بهینه پانل ساندویچی بتنی پیش ساخته از دو لایه بتن مسلح شامل یک لایه بتن مقاوم بعنوان لایه فوقانی و یک لایه بتن سبک ضخیم و اتصال دهنده‌های برشی می‌باشد. این مدل بهترین عملکرد در برابربار گسترده و متمرکز با تکیه گاه‌های ساده در اطراف بصورت یکطرفه ودو طرفه و سبکسازی را داراست شکل(۲) .



شکل ۲: مدلسازی پانل ساندویچی بتنی پیش ساخته با دو لایه بتن (دال بهینه) در نرم افزار ABAQUS

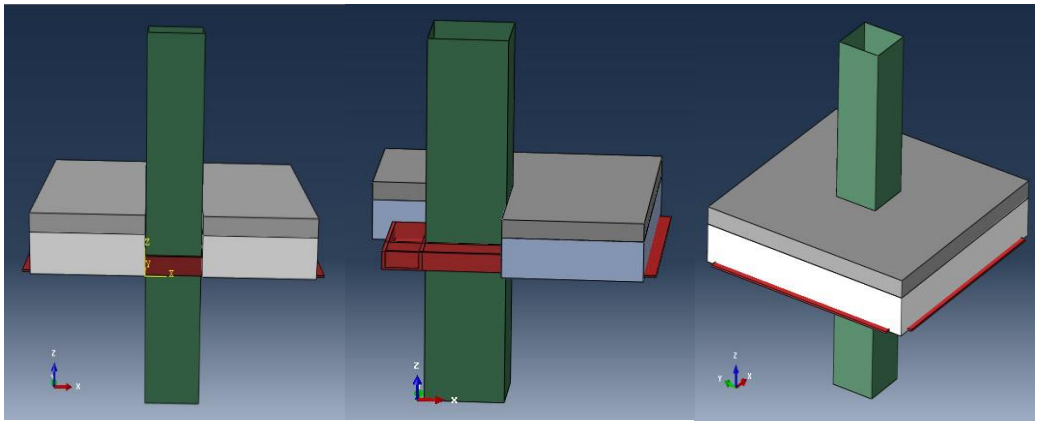
سقف ساندویچی مورد مطالعه از تعدادی پانل یکطرفه و دوطرفه ساندویچی پیش ساخته تشکیل شده است, این پانل‌ها شامل دو لایه بتن مقاوم رویه و یک لایه بتن سبک میانی و یک شبکه میلگرد با اتصالات برشگیر می باشد که در شکل9 نشان داده شده است. چون بتن رویه پایین دال فقط نقش پوشاندن فولاد را دارد و ضخامت حداقل را داراست. می توان از اعمال آن صرفنظر کرد و از بتن سبک میانی که می‌تواند همین نقش را بازی کند استفاده کنیم, در شکل2 نشان داده شده است.

بطورکلی سقف ساندویچی مطابق شکل (3) از سه نوع پانل ساندویچی بتنی پیش ساخته به شرح زیر ساخته می‌شودکه درادامه به بررسی اجزای سقف می‌پردازیم.



شکل۳: مدلسازی پلان سقف با تعداد ۲۵ عدد پانل ساندویچی پیش‌ساخته در نرم افزار ABAQUS

الف- پانل سرستون: وظیفه این پانل ایجاد تکیه‌گاه جهت پانل‌ها ی بین ستون‌ها و انتقال بار آنها و برش ناشی از وزن اطراف آن به ستون‌ها می‌باشد؛ این پانل‌ها می‌بایست بتوانند مقاومت برشی سوراخ کننده[4]زیادی داشته باشند و همچنین چون در اطراف ستون‌ها لنگر منفی در دو جهت ایجاد می‌شود باید بتوانند این لنگرهای منفی را تحمل کنند؛ در این پانل‌ها جهت اتصال پانل به ستون از اتصالات خاصی مانند ناودانی که در لبه‌های آنها بکار رفته بصورت مفصلی یا گیردار استفاده می‌شود؛ و همچنان که درشکلهای ارائه شده دیده می‌شود توسط قطعات ناودانی که به ستونها متصل می‌شوند در مقابل برش سوراخ کننده مقاومت می‌کنند. شکل(۴)

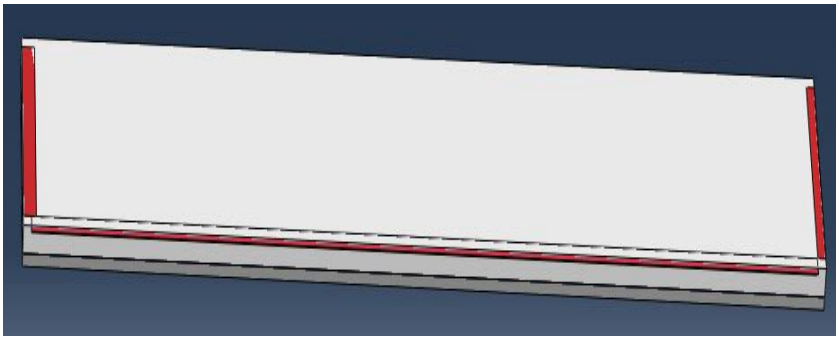


الف: اتصال پانل سرستون به ستون میانی ب: اتصال پانل سرستون به ستون گوشه ج: اتصال پانل سرستون به ستون کناری

شکل ۴: .مدلسازی اتصال پانل سر ستون به ستون در نرم افزار ABAQUS

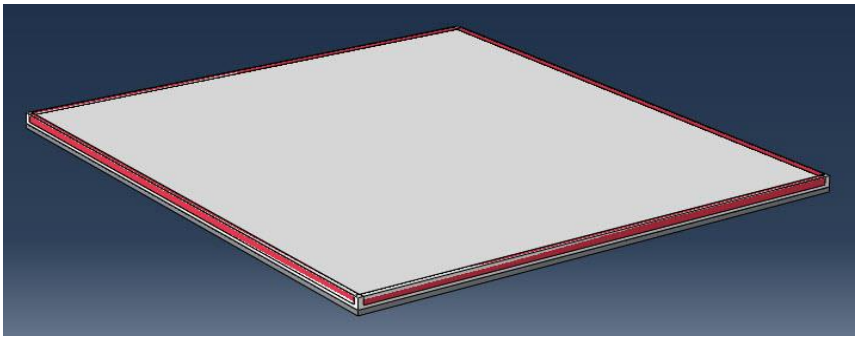
ب- پانل بین ستونی: وظیفه این پانل‌ها انتقال بار روی خودشان و بار پانل میانی به پانل‌های سرستون در طرفین می‌باشد و نقش تیرهای پهن را بازی می‌کنند؛ چون از یک یا دو طرف آنها بار پانل‌های میانی به آنها وارد می‌شود باید مقاومت کافی جهت حمل بارهای لبه ای را داشته باشند. این پانل‌ها بوسیله نبشی‌های اتصال یا اتصال خاصی که در لبه‌های آنها بکار رفته بصورت مفصلی به پانل سر ستون و پانل میانی متصل می‌شوند (شکل5).

[4] Punching shear



شکل ۵: مدلسازی پانل بین ستونی و محل قرار گرفتن نبشی اتصال در لایه زیرین پانل در نرم افزار ABAQUS

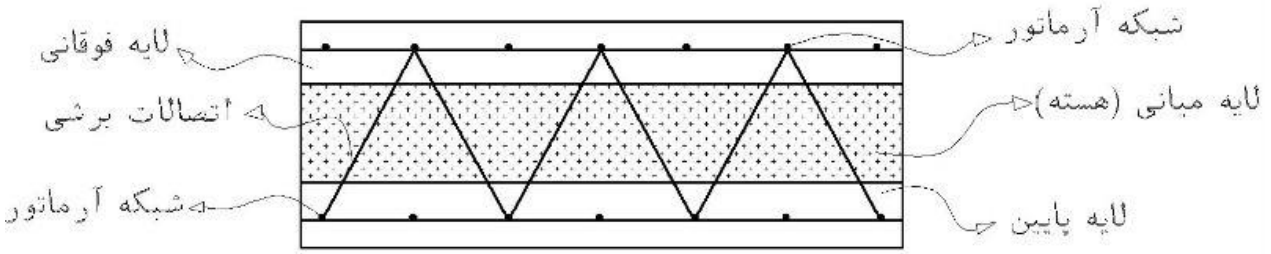
ج- پانل میانی: وظیفه این پانل‌ها انتقال بار مرده و زنده خودشان به پانل‌های بین ستون‌ها می‌باشد. جهت اتصال این پانل به پانل بین ستونی از اتصالات خاصی مانند نبشی که در لبه‌های آنها بکار رفته بصورت مفصلی استفاده می شود. (شکل6).



شکل۶: مدلسازی پانل میانی و محل قرارگرفتن نبشی اتصال درلایه زیرین در نرم افزار ABAQUS

۲-۲ - اعضاء پانل های ساندویچی پیش ساخته

پانل‌های ساندویچی پیش ساخته با اتصال دهنده‌های برشی خرپایی شکل همانگونه که در شکل (۷) نشان داده شده است از رویه‌های مقاوم و بتن سبک بعنوان هسته تشکیل شده است که به وسیله میلگردهای خرپایی شکل (اتصال دهنده های برشی) با فواصل مساوی در طول پانل به یکدیگر متصل شده اند. ترتیب و فواصل اتصالات در پانل‌های ساندویچی بتن پیش ساخته به عواملی مانند: عملکرد کامپوزیتی مطلوب، بار اعمال شده، دهانه پانل و نوع اتصالات برشی بستگی دارد.



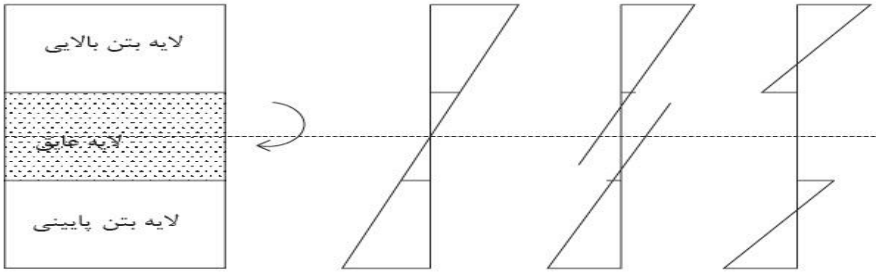
شکل ۷: مقطعی از پانل ساندویچی

ساختار سازه‌های ساندویچی عموما از رویه بالایی، هسته و رویه پایینی تشکیل می‌شود. سفتی هسته در راستای عمود بر رویه‌ها باید به اندازه‌ای باشد که بتواند رویه‌ها را در فاصله طراحی شده نگه داشته و سفتی خمشی کلی سازه را تامین نماید. استحکام برشی هسته نیز باید به اندازه کافی باشد تا در هنگام خمش سازه، رویه‌ها نسبت به یکدیگر لغزش نداشته باشد. در غیر این صورت خاصیت ساندویچ بودن از بین می‌رود و رویه‌ها مانند تیر یا ورق‌های مجزا عمل می‌کنند. نسبت به درجه ی عملکرد کامپوزیت به دست آمده، یک پانل ساندویچی بتنی پیش ساخته ممکن است به عنوان یک پانل کاملا کامپوزیت، نیمه کامپوزیت یا غیر کامپوزیت در نظر گرفته شود [5,6].

کاملا کامپوزیت : در این پانل دو صفحه بتنی به صورت یک واحد یکسان و با هم در برابر بارهای اعمال شده تا لحظه شکست عمل می‌کنند. پانل کاملا کامپوزیت با شکسته شدن بتن و یا جاری شدن آرماتورهای طولی لایه ی بتن مسلح، بدون گسیختگی اتصال دهنده‌های برشی گسیخته می‌شود (شکل۸- الف).

پانل نیمه کامپوزیت :در پانل‌های نیمه کامپوزیت اتصال دهنده‌های برشی، فقط بخشی از کل برش طولی را که در حالت کاملا کامپوزیت منتقل می‌شود را انتقال می‌دهند. در این نوع پانل، اتصال دهنده های برشی قبل از شکسته شدن بتن و یا جاری شدن فولادهای طولی گسیخته می‌شوند(شکل۸- ب).

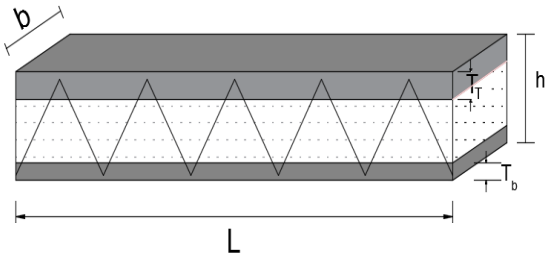
پانل غیرکامپوزیت: اگر اتصال دهنده‌های برشی که دو لایه ی بتن مسلح را به یکدیگر متصل می‌کنند، ظرفیت تحمل انتقال کامل برش طولی را نداشته باشد، عملکرد مستقل لایه ی بتنی باعث می‌شود پانل به صورت غیر مرکب عمل کند(شکل۸- ج).



ج)غیر کامپوزیت ب)نیمه کامپوزیت الف)کاملا کامپوزیت

شکل۸: توزیع کرنش در پانل تحت خمش [6]

پانل‌های ساندویچی سقف مورد مطالعه متشکل ازسه لایه می‌باشند; یک لایه بتن مسلح پر مقاومت به عنوان لایه فوقانی به ضخامت ۵۰ میلی متر و شبکه میلگردهای طولی و عرضی مسلح کننده بتن به قطر ۶ میلی متر با چشمه ۱۰۰*۱۰ میلی متر، پوشش بتنی روی میلگردها ۲۵ میلی متر ,لایه میانی شامل یک بتن سبک به ضخامت ۸۰ میلی متر می‌باشد. لایه تحتانی شامل یک بتن مسلح معمولی به ضخامت ۳۰ میلی متر, و شبکه میلگردهای طولی و عرضی کششی به قطر اسمی ۱۰ میلی متر و پوشش بتنی ۲۰ میلی متر می‌باشد. دو لایه بتن مسلح نیز با اتصال دهنده های برشی خرپایی که از میلگرد به قطر ۶ میلی متر تشکیل شده و در فواصل ۲۵۰ میلی متر از یکدیگر قرار دارند به یکدیگر متصل شده‌اند شکل (9).



شکل۹: مقطعی از پانل ساندویچی

الف) لایه فوقانی: این لایه از بتن مقاوم و با ضخامت T_t می‌باشد در پانل‌های با تکیه گاه‌های ساده فولاد داخل آن فولاد حداقل (A_{st}) بوده و به میزان آرماتور افت و حرارت بتن محدود می‌شود و نقش ساختمانی ندارد. در صورتی که تکیه‌گاه گیر دار باشد میزان آرماتورهای لازم می‌بایست تامین گردد.

جدول ۱: مشخصات مکانیکی لایه فوقانی

بتن	Fc=30mpa	r=0.2	Ec =27386mpa	$W_{c=2400\ Kg/m^3}$
فولاد	F_y =300mpa	r=0.3	Es =210000mpa	$W_{s=7850\ Kg/m^3}$

ب) لایه میانی (هسته): این لایه از بتن سبک می‌باشد,که دو هدف را ارضاء می‌کند: یکی دادن ارتفاع لازم جهت ایجاد بازوی خمش گیر در پانل که هر چه بیشتر باشد مقاومت خمشی دال بیشتر می‌شود و دیگری اینکه نیروی برشی در پیرامون دال را تحمل می‌کند و مقداری نیز در حمل فشار ناشی از خمش کارایی داشته و کمک می‌کند. یکی از مهمترین وظایف آن این است که از کمانش اعضای فشاری داخل بتن که از میلگردهای مورب بصورت خرپاهای دو طرفه تشکیل شده اند جلوگیری کند و باعث گردد که این میله ها بتوانند حداکثر مقاومت فشاری ناشی از برش خود را به ظهور برسانند.

جدول۲: مشخصات مکانیکی لایه میانی(هسته)

بتن	Fc=7.5mpa	r=0.15	Ec=3000mpa	$W_{c=800\ Kg/m^3}$

ج) اتصال دهنده های برشی: میلگردهای فشاری- کششی خرپایی دو طرفه(A_{sd}) داخل بتن سبک که نقش آنها گرفتن برش مخصوصا در دو انتهای پانل است، نیروی برشی توسط بتن سبک و همچنین توسط میلگردهای خرپایی (اتصال دهنده های برشی) مقاومت می شود، این میلگردها بیشتر نقش خط دوم دفاع را بازی خواهند کرد و اضافه نیروی برشی را تحمل خواهند نمود؛ همچنین این میلگردها باعث اتصال لایه‌های فوقانی و تحتانی گردیده و از جدایی آنها بعلت ترک خوردگی بتن سبک میانی جلوگیری می‌کند؛ در ضمن اتصال خاص میلگردهای میانی به میلگردهای موجود در لایه های فوقانی وتحتانی نقش برشگیر را در دال‌های کامپوزیت ایفا کرده و از لغزش لایه فوقانی و تحتانی نسبت به لایه میانی جلوگیری می‌کند.

جدول۳: مشخصات مکانیکی اتصالات برشی

فولاد برشی	Fy=300mpa	r=0.3	Es=210000mpa	$W_{s=7850\ Kg/m^3}$

د) لایه تحتانی: این لایه از بتن مقاوم با ضخامت T_b می باشدکه در حالت کششی ترک خواهد خورد ولی در داخل آن آرماتور دو جهته (A_{sb}) وجود دارد که نقش گیرنده کشش ناشی از خمش را بازی می‌کند، بتن این لایه نقش پوشاننده میلگرد را از لحاظ مقاومت در مقابل زنگ زدگی و آتش سوزی دارد و دارای ضخامت حداقل می‌باشد. در بعضی حالت‌ها بتن سبک لایه میانی می‌تواند همین نقش را بازی کند و بتن مقاوم لایه تحتانی را به دلیل اینکه خاصیت سازه‌ای ندارد می‌توان حذف کرد. همچنین بر اساس نوع کاربرد و عملکرد سقف

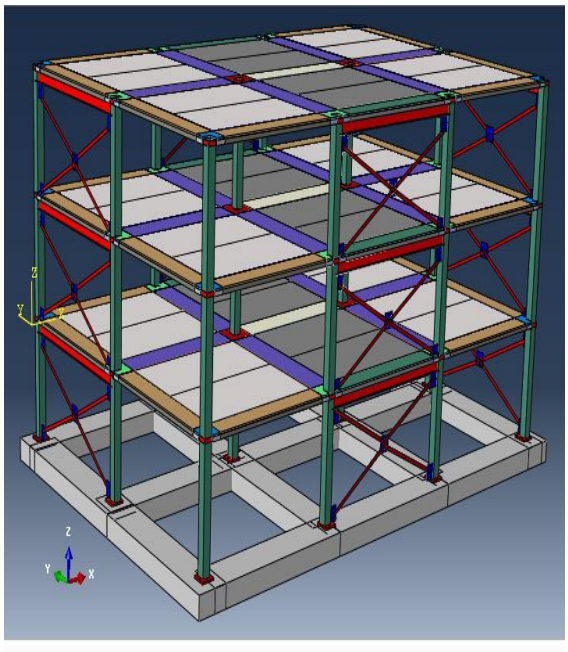
بجای این لایه می‌توان از یک صفحه فلزی نازک مسطح یا کنگره ای و یا یک لایه بتن یا اندودمسلح مقاوم در مقابل کشش یا FRP استفاده کرد.

جدول۴: مشخصات مکانیکی لایه تحتانی

بتن	Fc=21mpa	r=0.2	Ec =22913mpa	$W_{c=2350\ Kg/m^3}$
فولاد	F_y=400mpa	r=0.3	Es=210000mpa	$W_{s=7850\ Kg/m^3}$

۳ - روش اجرا ونصب سیستم سقف ساندویچی پیش ساخته

دراین روش ستون‌ها از مقاطع قوطی تشکیل شده‌اند، مهاربندها از ناودانی دوبل و تیرها از IPE تشکیل شده‌اند. به جز تیرهایی که در دهانه بادبندی استفاده شده‌اند. سایر تیرها حذف گردیده و نوارهایی باعرض های مختلف از پانل‌های پیش ساخته بین ستون‌ها نقش تیرهای فلزی را ایفامی‌کنند.اتصال پانل‌های سرستون به ستون‌ها صلب و اتصال بین پانل‌های بین ستونی, پانل‌های میانی و سرستون مفصلی می‌باشد, این روش شامل پانل‌های مورد نیاز برای سقف طبقات در سطح زمین و بالا بردن آنها تا موقعیت خودشان می‌باشد. بدین ترتیب که بعد اجرای فونداسیون ونصب ستون‌ها و بتن ریزی پانل‌های سقف و گذشت مدت زمان لازم جهت رسیدن آنها به مقاومت لازم، ابتدا پانلهای سر ستون در ارتفاع و نقطه مورد نظر بطور دقیق نصب می‌شوند, سپس به ترتیب پانل‌های بین ستونی و پانل‌های میانی با اتصالات مکانیکی به یکدیگر متصل و بطور کامل در بالای ستون‌ها نصب می‌شوند. دال‌های طبقات تا موقعیت متوالی خود بالا می‌روند. بررسی‌های لازم جهت اطمینان از قرار گرفتن دال‌ها بر روی تمام ستون‌ها در ارتفاع و نقطه‌ی مورد نظر بعمل می آید. پس از اجرای سقف جهت سیستم مقاوم دربرابر بارجانبی ناشی از باد یا زلزله از بادبندهای فولادی ضربدری و تیر رابط در پانل‌های مورد نیاز استفاده می‌شود که مستقل از سقف بوده و به ستون‌های فلزی متصل می‌باشند (شکل10).



شکل ۱۰: مدلسازی ساختمان سه طبقه اسکلت فلزی با سقف سبک پانلی از نوع ساندویچی پیش ساخته در نرم افزار ABAQUS

۴- ویژگی‌های سیستم سقف ساندویچی پیش ساخته

دراین سیستم تحلیل سازه‌ای و ارزیابی اجرایی و اقتصادی مد نظر قرار گرفته است. ازلحاظ اجرایی بعلت قطعه قطعه بودن پانل‌های بکار رفته در این سیستم اجرای آن بسیار ساده تر از اجرای سقف‌های تخت یکپارچه بتن مسلح از نوع دال‌های تخت یا دال‌های تخت بلند شونده[۵] می‌باشد و احتیاجی به استفاده از جرثقیل‌های متعدد و سنگین ندارد. در صورتی که تحت بارهای زنده سنگین (جهت پارکینگ‌های چند طبقه) یا برای ساخت دهانه‌های بزرگ قرار گیرد، ضخامت پانل سر ستونها، پانل بین ستونی(تیری) و پانل دالی میانی می‌توانند از یکدیگر متفاوت باشند؛ لذا این سیستم سقف می‌تواند دارای مزایای دال‌های تخت با سرستون‌های قارچی ودال‌های متکی بر تیرهای پهن نیز باشد؛ یکی ازمزایای مهم این سیستم سازه‌ای جدا کردن وظیفه سقف از وظایف حمل بارهای قائم و جانبی اسکلت سازه می‌باشد، در این حالت سیستم مقاوم در برابر بارهای قائم، دیوارها و ستون‌های قاب‌ها خواهند بود و سیستم مقاوم در برابر بارهای جانبی ناشی از باد ، زلزله و ضربه، عمل قاب خمشی، دیوارهای برشی و بادبندهای فولادی با تیرهای رابط خواهند بود که مستقل ازسقف عمل خواهند کرد. در این سیستم به جز تیرهایی که در دهانه بادبندی استفاده شده‌اند. سایر تیرها حذف گردیده و نوارهایی باعرض‌های مختلف از پانل‌های پیش ساخته بین ستون‌ها نقش تیرهای فلزی را ایفا می‌کنند. همچنین در سیستم با اتصالات مفصلی بین پانل‌ها در سقف ساندویچی پیش ساخته هیچگونه لنگری از یک پانل به پانل دیگر منتقل نمی‌گردد, این یک مزیت مهم می‌باشد چون بر خلاف عملکرد پانل‌های دو طرفه مقادیر زیادی لنگر خمشی و پیچشی به نواحی اتصال و پانل‌های بین ستونی و ستون‌ها منتقل نمی‌شود. دراین سیتم بتن سبک لایه میانی بستگی به مورد می‌تواند از نوع سازه‌ای و یا حتی غیر سازه‌ای باشد و طبق استانداردهای بتن سبک تهیه می‌گردد که می‌تواند از نوع بتن حباب دار[۶]باشد, نقش آن ایجاد فاصله مناسب بین لایه فوقانی و زیرین و در برگرفتن آرماتورهای خرپایی میانی و تحمل برش است. لازم است ذکر شود که این لایه بتن سبک به قسمت‌هایی از آرماتورهای خرپایی که تحت فشار می‌باشند و ممکن است کمانه کنند ایجاد تکیه‌گاه جانبی نموده و از کمانه کردن آنها در نیروهای کم جلوگیری خواهد کرد و از طرف دیگر آرماتورها نیز به بتن سبک میانی کمک نموده و از ترک خوردگی زودرس و متلاشی شدن آن در اثر برش جلوگیری خواهند کرد و محاسبات انجام شده نشان می‌دهد که تعاملات این دو عضو باعث بالا رفتن مقاومت کل دال می‌گردد.

۵- مدل رفتاری بتن

در این تحقیق از نرم افزار ABAQUS به دلیل قابلیت‌هایی از جمله «محیط گرافیکی مناسب، امکان تولید مدل‌های پیچیده، دقت و سرعت بالا، سهولت اعمال تغییر در مدول‌های مختلف برنامه و امکان تعریف خسارت و خروجی‌های بسیار متنوع و...» استفاده شده است.[3] در مدل سازی سعی شده است که ساده سازی به حداقل برسد و مدل ساخته شده از نظر هندسی و سایر مشخصات کاملا مشابه با نمونه اصلی و قابل اجرا باشد؛سیستم واحدهای انتخابی در نرم افزار ABAQUS: طول (m)، نیرو (N)، زمان (s) و سایر واحدها بر مبنای این واحدها می باشد.
در این تحقیق از یکی از معروفترین مدل‌های رفتاری بتن غیر محصور یعنی مدل Park، Kent [12] استفاده شده است؛ رابطه این مدل به صورت زیر می‌باشد:

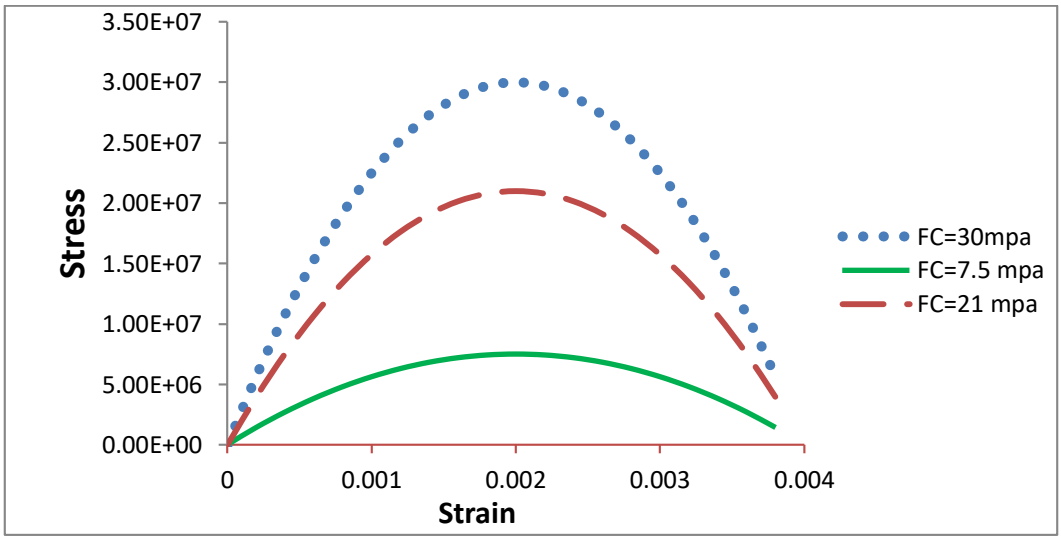
$$\sigma_c = F'_c\left[2\left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon'_c}\right)-\left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon'_c}\right)^2\right] \qquad (1)$$

که در این رابطه σ_c و ε_c به ترتیب تنش و کرنش فشاری، F'_c و ε'_c به ترتیب مقاومت فشاری نمونه استوانه‌ای بتن و کرنش متناظر با آن

می‌باشند. Paulay و Park [13] مقدار ε'_c را حدود ۰.۰۰۲ گزارش کرده‌اند. در این تحقیق مقدار این پارمتر برابر ۰.۰۰۲ در نظر گرفته

۵- Lift- slab
۶- Foam Concrete

می‌شود. این رابطه یک سهمی ایجاد می‌کند. البته رفتار آن پس از رسیدن به مقاومت فشاری بتن به صورت غیرخطی در می‌آید و در ادامه این خط تا حدود ۲۰ درصد مقاومت فشاری نمونه استوانه‌ای بتن ادامه یافته و قطع می شود که این امر با توجه به اینکه بتن در کرنش‌های فشاری بالا حدود ۲۰ درصد از مقاومت فشاری خود را حفظ می‌کند دور از واقعیت نیست.



شکل ۱۱: مقایسه نمودارهای رفتار تنش-کرنش بتن استفاده شده در پانل‌های ساندویچی

۶- بهینه سازی سقف‌های ساندویچی پیش ساخته بتنی باهسته بتن سبک

جهت بهینه سازی پانل‌های ساندویچی با هسته بتن سبک برای پوشش سقف‌ها با دهانه‌های مختلف، یک برنامه رایانه‌ای در محیط نرم افزار MATLAB تهیه شده است. در این مدل بهینه سازی تابع هدف عبارت از هزینه یک متر مربع سقف تحت اثر بار مشخص می‌باشد, در این مسئله ضخامت بتن مقاوم رویه فوقانی, ضخامت هسته مرکزی ساخته شده از بتن سبک و میزان فولاد مصرفی در لایه تحتانی همچنین میزان فولاد مصرفی جهت برشگیری در داخل هسته بتن سبک از متغییرهای طراحی می‌باشند, قیود طراحی برای انواع شرایط تکیه‌گاهی در نظر گرفته شده است و مسئله بهینه سازی توسط نرم افزارMATLAB انجام شده است. در ضمن با وارد کردن مشخصات مقاطع فولادی و پانل‌های ساندویچی بتنی در محیط برنامه و انجام محاسبات، بهینه ترین ترکیب‌های استفاده شده از اجزا مختلف سقف برای پوشش دهانه‌های مختلف تعیین شده و به صورت نمودار و جدول نشان داده شده است؛ نتیجه این بررسی‌ها بدست آوردن ارزانترین و سبک ترین گزینه‌ها از لحاظ عملکرد سازه‌ای و اقتصادی می‌باشد. دال ساندویچی مورد مطالعه یکی از انواع سقف‌های مورد استفاده در ساختمان ها می‌باشد؛ در این نوع سقف از تعدادی پانل یکطرفه و دوطرفه ساندویچی پیش ساخته استفاده می‌شود. این پانل‌ها شامل دو لایه بتن مقاوم رویه و یک لایه بتن سبک میانی و شبکه میلگرد با اتصالات برشگیر می‌باشد شکل (۷). چون بتن لایه پایین دال فقط نقش پوشاندن فولاد را دارد و دارای ضخامت حداقل است می‌توان از اعمال آن صرفنظر کرد و از بتن سبک میانی که می‌تواند همین نقش را بازی کند استفاده کنیم. با توجه به مزایای این سیستم و کاربرد آن در ساختمان‌ها, بهینه سازی آن می‌تواند کمک شایانی به دست‌اندرکاران در اجرا و طراحی نماید.

۶-۱- مسائل بهینه سازی

مسائل بهینه سازی را در حالت کلی می‌توان به دو گروه مسائل بدون قید و مسائل مقید تقسیم نمود. در بهینه سازی سازه‌ها به دلیل وجود قیود متعدد برای محدود نمودن تنش‌ها، تغییر شکل‌ها و مصالح مصرفی، غالبا با مسائل مقید سر و کار داریم. مسئله بهینه سازی سقف ساندویچی نیز یک مسئله بهینه سازی سازه‌ای مقید می‌باشد؛ برای تبدیل یک مسئله مقید به یک مسئله بدون قید روش های مختلفی

وجود دارد که رایج ترین آنها استفاده از تابع جریمه است که نوع به کار رفته در تحقیق حاضر می‌باشد. حال به بیان مسئله بهینه سازی کلی می‌پردازیم. یک مسئله بهینه سازی (کمینه سازی) را می‌توان به صورت زیر مطرح نمود [۲].

$$minimize: F\ (\{X\}) \tag{2}$$

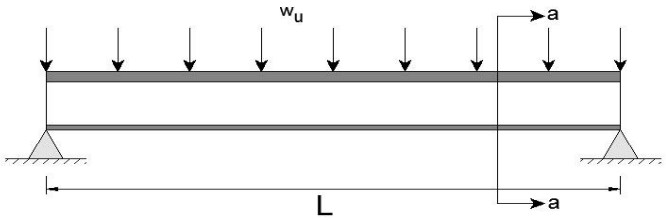
$$subject: \begin{Bmatrix} g_i(\{X\}) \le 0 \\ h_j(\{X\}) = 0 \end{Bmatrix} \begin{vmatrix} i = 1.2. \ldots . n \\ j = 1.2. \ldots . m \end{vmatrix} \tag{3}$$

$$(X_{l)} \le (X) \le (X_u) \tag{4}$$

در رابطه (۲) بردار $\{X\}$ نمایانگر متغیرهای طراحی و نماد F نشان دهنده تابع هدف مسئله بهینه سازی بوده که معیاری برای طرح‌های مختلف و انتخاب طرح برتر به شمار می‌آید. واضح است که کمینه سازی تابع هدف نباید اثر نامطلوبی بر رفتار سازه و کارایی آن داشته باشد. از اینرو لازم است نقطه کمینه تابع هدف نابرابری های رابطه (۳) را که قیود مسئله نامیده می‌شوند، برآورده نماید. نمادهای g و h در برگیرنده شرایطی است که توانایی سازه برای تحمل بارهای وارده و نیز سایر معیارهای کاربردی آن را تضمین می‌کند. از این میان می‌توان محدودیت‌های بیشترین تنش و بیشترین تغییر مکان را نام برد. سرانجام رابطه (۴) نشان دهنده محدودیت هایی است که به دلیل ملاحظات غیر رفتاری سازه مانند مسائل اجرا بر متغیرهای طراحی وارد می‌گردند. [۲]

۷- تحلیل دال ساندویچی

آنالیز به دو روش تنش مجاز و روش حالات حدی یا ضرا ئب بار مقاومت آمریکا بسته به انتخاب کاربر می‌تواند انجام شود. در واقع آنالیز شامل کنترل یک سری قیدها یا محدودیت ها و پارامترهای طراحی جهت بدست آوردن متغییرهای طراحی بر اساس بارهای وارده می‌باشد. هدف بهینه سازی بدست آوردن قیمت یک متر مربع سقف ساندویچی شامل بتن لایه فوقانی، بتن سبک لایه میانی، بتن لایه تحتانی و آرماتورها می‌باشد.



شکل۱۲: بارگذاری دال ساندویچی یکطرفه

$$L_L = 200\frac{kg}{m^2} \qquad D_L = 600\frac{kg}{m^2} \qquad w_u = 1.2\ D_L + 1.6L_L = 1000\frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

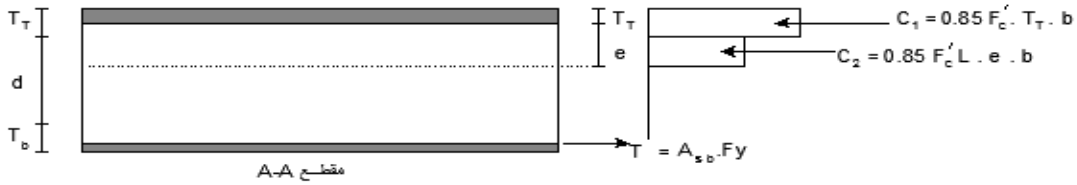
تابع هدف: جهت بدست آوردن قیمت بهینه یک متر مربع سقف ساندویچی از تابع هدف استفاده می‌شو د.

$$\boldsymbol{Z = L * b[f_{c_n}(T_t + T_b) + f_{cL}(h - (T_t + T_b)\ + f_s(A_{sd} + A_{sb} + A_{St})]} \tag{۵}$$

جدول ۵: پارامترهای طراحی

$F_y(\frac{kg}{cm^2})$	$F_c(\frac{kg}{cm^2})$	$F_{cL}(\frac{kg}{cm^2})$	$f_{cn}(\frac{Rial}{cm^3})$	$f_{cL}(\frac{Rial}{cm^3})$	$f_{s(\frac{Rial}{cm^3})}$	A_{st}	A_{sd}	Asb	Z
3000	300	75	۰۱.۰	۰,۰۰۵	۱,۷۵	-	-	-	-
تنش تسلیم فولاد	مقاومت نهایی بتن معمولی	مقاومت نهایی بتن سبک	قیمت بتن معمولی	قیمت بتن سبک	قیمت فولاد	مساحت آرماتور لایه فوقانی	مساحت آرماتور خرپایی	مساحت آرماتور لایه تحتانی	قیمت یک متر مربع سقف ساندویچی

L: طول پانل (cm) b : عرض پانل (cm) h: ارتفاع (cm) T_t: ضخامت بتن لایه فوقانی T_b: ضخامت بتن لایه تحتانی



شکل۱۳: مقطع دال ساندویچی

$$\sum F_y = 0 \;\rightarrow\; 0.85\, b\,[T_t F_c + e\, F_{CL}] = A_{sb}\,.F_y \rightarrow \quad A_{sb} = \frac{0.85\, b\,(T_t F_c + e\, F_{CL})}{F_y}$$

متغیرهای طراحی: (design variables)

$h\,،\,T_t\,،\,A_{sb}\,،\,A_{sd}$

پارامترهای طراحی: (design parameters)

$F_y\,،F_c\,،F_{cL}\,،\,L\,،\,b\,،\,f_{cn}\,،\,f_{cL}\,،\,f_s\,،\,T_b\,،\,Ast$

قیود مسئله :

الف: فولاد حد اقل رویه فوقانی(As_t): این فولاد مربوط به گرفتن افت ناشی از تغییرات درجه حرارت است و نقش ساختمانی ندارد.

$$A_{ST} = 0.002(b * T_t) \qquad (7)$$

ب: بتن رویه پایین دال: این لایه بتن فقط نقش پوشاندن فولاد را دارد و ضخامت حداقل را داراست؛ بنابراین از اعمال آن صرفنظر شده و از بتن سبک میانی که می‌تواند همین نقش را بازی کند استفاده شده است، بنابراین فولاد کششی در داخل بتن سبک قرار گرفته است.

$$T_b = 0 \qquad (8)$$

ج: کنترل مقاومت خمشی سقف تحت اثر بارگذاری:

$$\sum M_A = 0.85[T_t F_c \left(h - \frac{T_t}{2}\right) + e\, F_{CL}(h - (T_t + \frac{e}{2}))] * ۱۰۰ \geq \frac{w_u L^2}{8}$$

$$\rightarrow M_{max} \geq \frac{w_u L^2}{8} \qquad (9)$$

د: کنترل مقاومت برشی سقف: فرض می‌شود برش توسط فولاد خرپایی میانی و بتن سبک گرفته شود و زاویه سطح مقطع فولاد میانی نیز ۴۵ درجه باشد.

$$d.b\, F_{VcL} + A_{sd}\sqrt{\frac{2}{2}}F_y \geq \frac{w_u L}{2} \qquad d = h - (T_T + T_b)$$

$$\rightarrow V_{max} \geq \frac{w_u L}{2} \qquad (10)$$

ه : کنترل خیز وسط سقف در مقابل بار زنده برای طراحی حالت الاستیک:

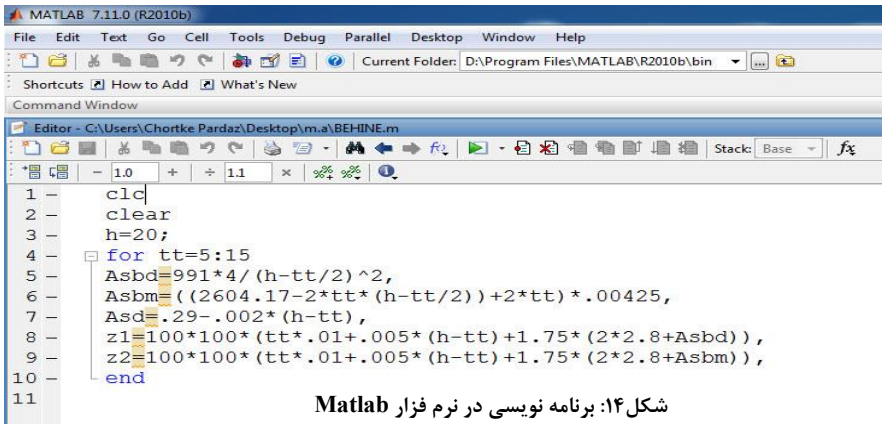
$$\frac{\Delta_{\max}}{L} \leq \frac{1}{360}$$

$$\frac{5}{384}\frac{w_L L^4}{EI} \leq \frac{L}{360} \times 1.6 \qquad \rightarrow EI \geq \frac{5 * (L_L) L^3 * 360}{384 * 1.6}$$

$$\rightarrow \Delta_{max} \leq \frac{L}{360} \qquad (11)$$

۸- بهینه یابی سقف ساندویچی

برای بدست آوردن حالت بهینه سقف ساندویچی، محاسبه برای یک متر مربع سقف انجام می‌شود . با حل این مسئله(رابطه۵) متغییرهای طراحی بدست می‌آید. که بهینه است و چهار متغییر مستقل می‌باشد. برای این منظور با در نظر گرفتن $w_u = 1000 \frac{kg}{m^2}$ یک برنامه رایانه‌ای با استفاده از پارامترهای طراحی و قیود مسئله و تابع هدف در نرم افزار MATLAB جهت بدست آوردن دال بهینه تهیه شده است. سپس نمودارها بر اساس T_t و A_{sb} جهت بدست آوردن دال بهینه ترسیم شده است.



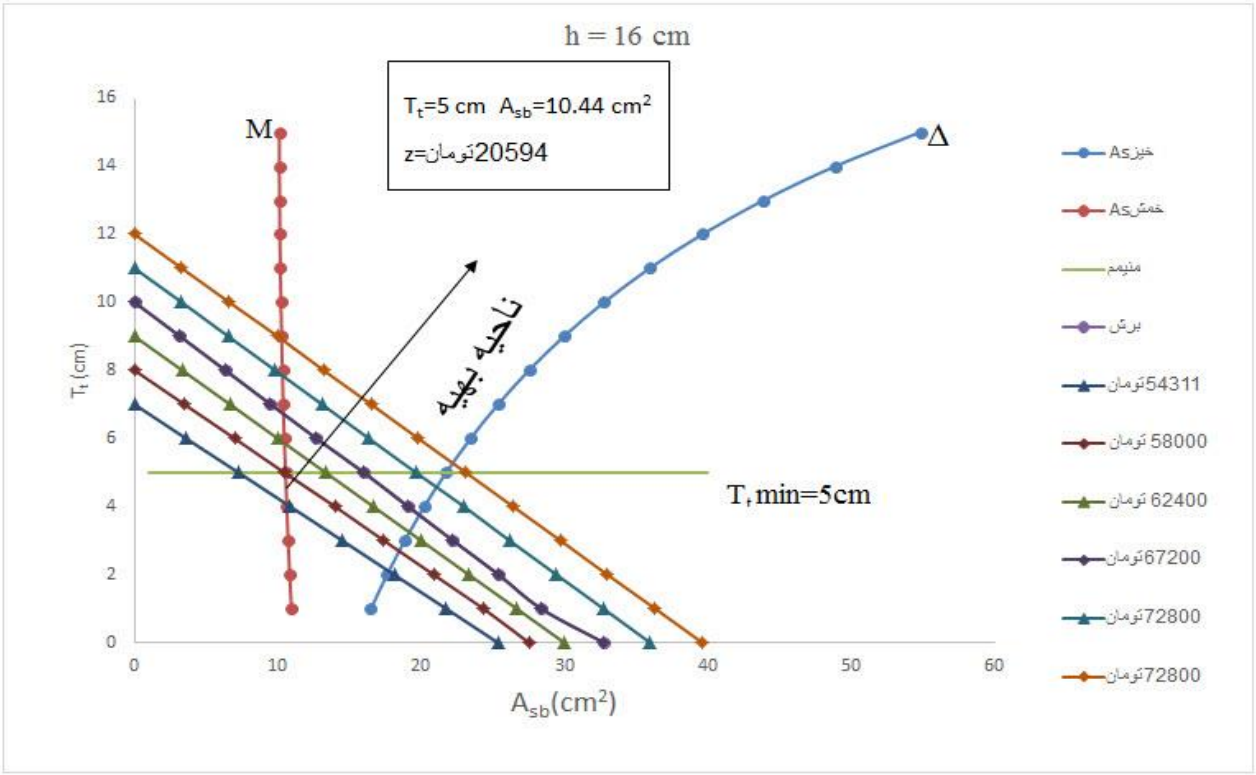
شکل۱۴: برنامه نویسی در نرم فزار Matlab

۱-۸-نمودار بهینه‌یابی قیمت یک مترمربع سقف ساندویچی

محاسبه قیمت یک متر مربع سقفهای با ضخامت ۱۶, ۱۸ ,۲۰,۲۳ و۲۵سانتیمتر با استفاده از فرمول تابع هدف(رابطه۵) و قیود مسئله و پارامترهای طراحی انجام می‌شود. برای این منظور با در نظر گرفتن ضخامت مختلف لایه فوقانی (T_t) وآرماتورکششی متغییر (A_{sb}) در لایه تحتانی نمودارهای شکل۱۵الی ۱۹ بر اساس مقاومت خمشی (رابطه۹) , خیز (رابطه۱۱) , تابع هدف و محدودیت ضخامت حداقل برای لایه رویه ($T_t = 5cm$) ، برای دال های ساندویچی با ضخامت های ۱۶, ۱۸,۲۰,۲۳و ۲۵جهت بدست آوردن قیمت بهینه یک متر مربع سقف ساندویچی ترسیم شده است. با ترسیم هر نمودار ناحیه بهینه بین نمودارهای خمش و خیز و ضخامت حداقل قرار می گیرد, در این ناحیه دال بهینه با حداقل قیمت با توجه به ضخامت لایه فوقانی (T_t) و مقدار آرماتور کششی (A_{sb}) مورد نیاز بدست می‌آید. سپس نمودار شکل(۲۰) با توجه قیمتهای بدست آمده در ناحیه بهینه برای هر متر مربع و ضخامت دال_ها ی ساندویچی ترسیم شده است؛ همانطور که نمودار نشان می‌دهد دال با ضخامت ۱۸ سانتیمتر دال بهینه می‌باشد.

الف: قیمت یک متر مربع سقف ساند ویچی با ضخامت ۱۶ سانتیمتر

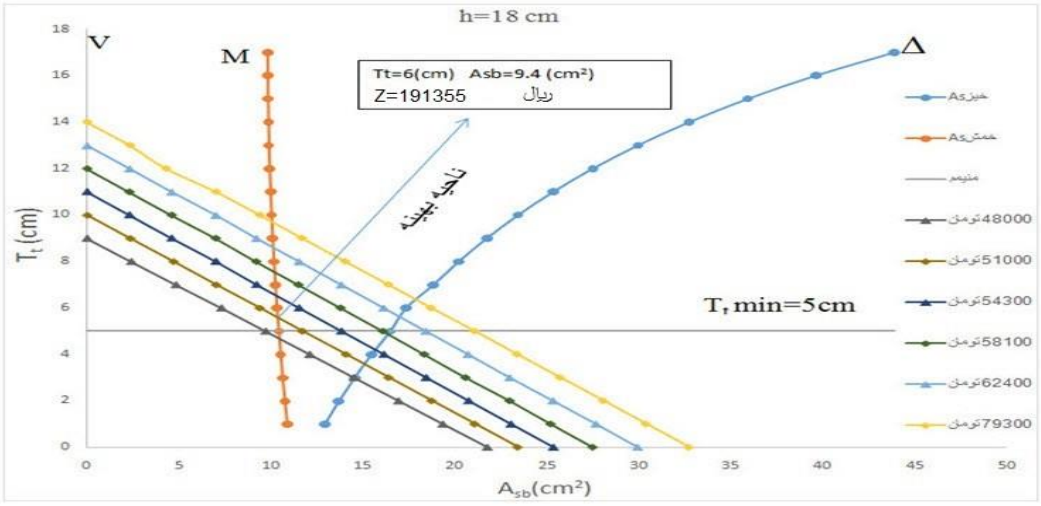
برای بدست آوردن قیمت یک متر مربع سقف با ضخامت cm۱۶ پس از بدست آمدن مقدار آرماتور کششی (A_{sb}) قیمت یک متر مربع سقف برای ضخامت‌های مختلف بوسیله تابع هدف (رابطه۵) بدست آمده است؛ با رسم نمودار خمش و خیز و نمودارهای تابع هدف با مشخص شدن حداقل ضخامت لایه فوقانی سقف ساندویچی, ناحیه بهینه بدست آمده است؛ بدلیل اینکه محل تقاطع نمودار خمش و خزش (نقطه بهینه) پایین تر از ضخامت حداقل می باشد محل تقاطع نمودار ضخامت حداقل و نمودار خمش و نمودار بدست آمده از تابع هدف بعنوان نقطه بهینه انتخاب شده است که در نمودار شکل۱۵در ناحیه بهینه مشخص شده و مشخصات آن در کادر مستطیلی نوشته شده است.



شکل۱۵: نمودارتعیین ناحیه بهینه دال ساندویچی با ضخامت ۱۶ سانتیمتر

ب: قیمت یک متر مربع سقف ساند ویچی با ضخامت ۱۸ سانتیمتر

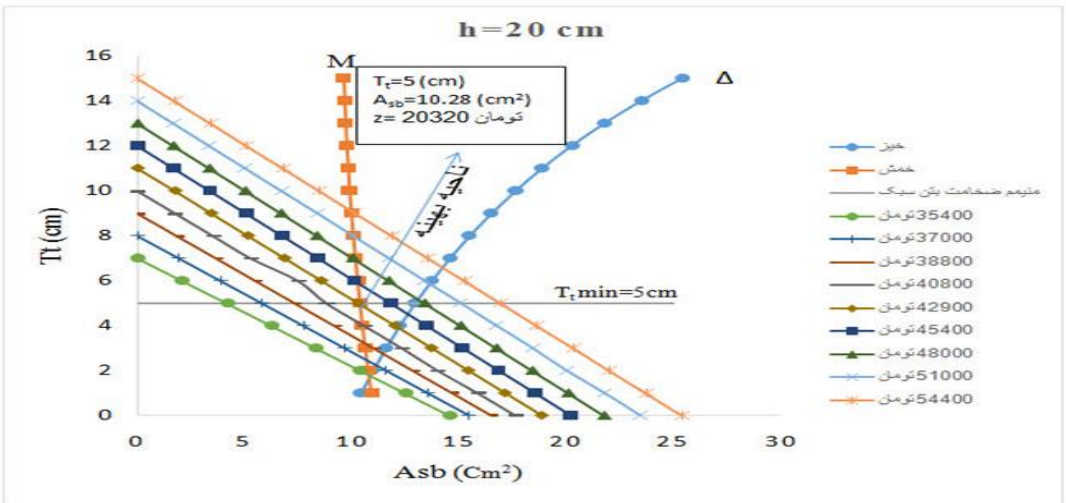
در ناحیه بهینه نمودارهای دال ساندویچی با ضخامت۱۸ سانتیمتر بدلیل اینکه محل تقاطع(نقطه بهینه) نمودار خمش و خزش پایین تر از ضخامت حداقل می‌باشد محل تقاطع نمودار ضخامت حداقل و نمودار خمش و نمودار بدست آمده از تابع هدف بعنوان نقطه بهینه انتخاب شده است؛ مشخصات نقطه بهینه در کادر مستطیلی نوشته شده است(شکل۱۶).



شکل۱۶: نمودار تعیین ناحیه بهینه دال ساندویچی با ضخامت ۱۸ سانتیمتر

ج: قیمت یک متر مربع سقف ساندویچی با ضخامت ۲۰ سانتیمتر

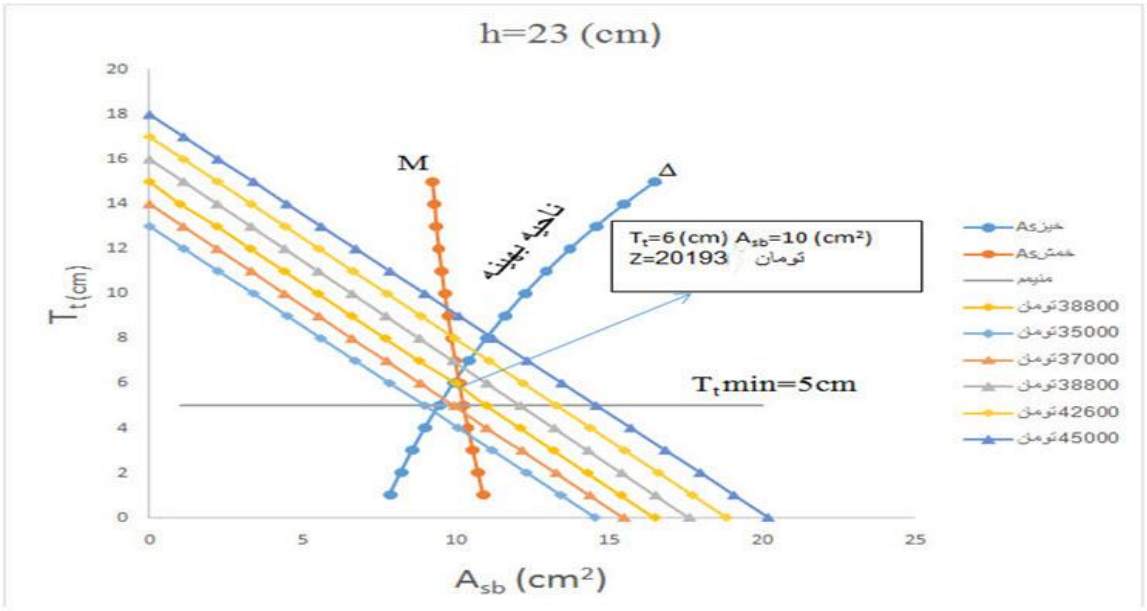
در ناحیه بهینه نمو دارهای دال ساندویچی با ضخامت ۲۰ سانتیمتر بدلیل اینکه محل تقاطع(نقطه بهینه) نمودار خمش و خزش پایین تر از ضخامت حداقل می‌باشد محل تقاطع نمودار ضخامت حداقل و نمودار خمش و نمودار بدست آمده از تابع هدف بعنوان نقطه بهینه انتخاب شده است؛ مشخصات نقطه بهینه در کادر مستطیلی نوشته شده است(شکل۱۷).



شکل۱۷: نمودار تعیین ناحیه بهینه دال ساندویچی با ضخامت ۲۰ سانتیمتر

د: قیمت یک متر مربع سقف ساند ویچی با ضخامت ۲۳ سانتیمتر

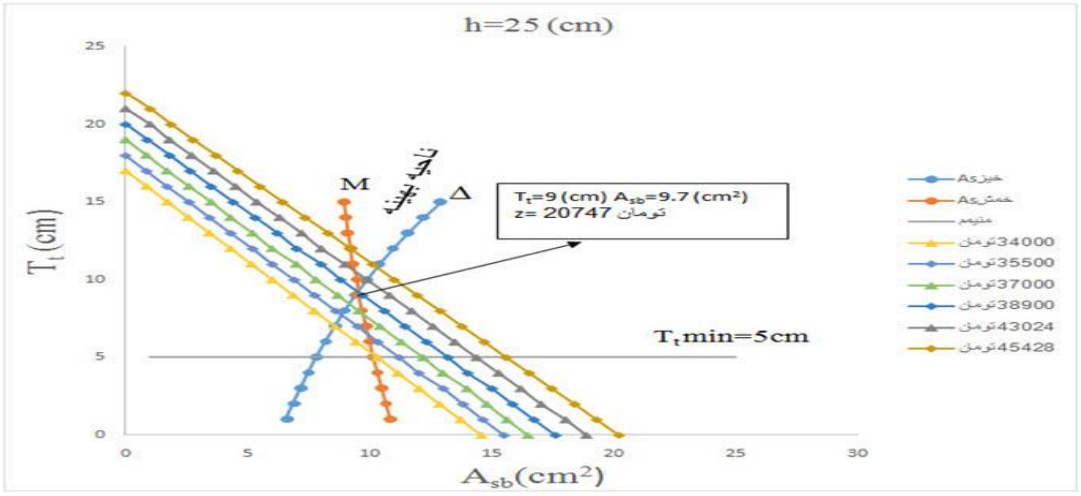
در ناحیه بهینه محل تقاطع نمودار ضخامت حداقل و نمودار خمش و نمودار بدست آمده از تابع هدف بعنوان نقطه بهینه انتخاب شده است، مشخصات نقطه بهینه در کادر مستطیلی نوشته شده است(شکل۱۸).



شکل۱۸: نمودارتعیین ناحیه بهینه دال ساندویچی با ضخامت ۲۳ سانتیمتر

ه: قیمت یک متر مربع سقف ساند ویچی با ضخامت ۲۵سانتیمتر

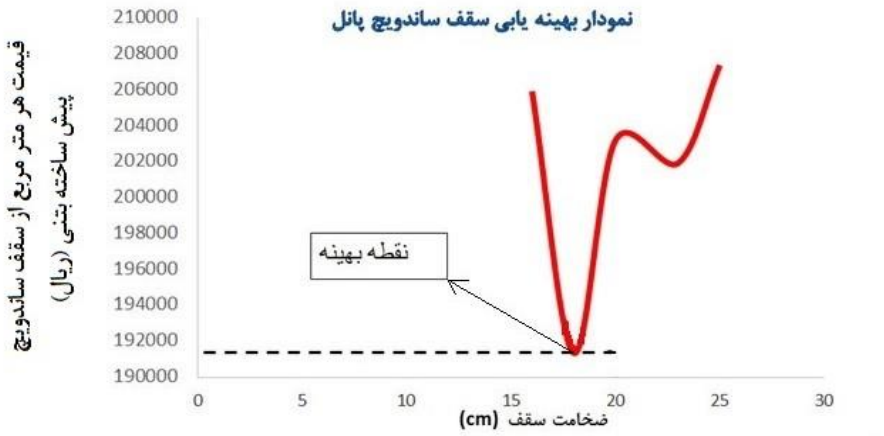
در ناحیه بهینه نمو دارهای دال ساندویچی با ضخامت۲۵ سانتیمتر محل تقاطع نمودارهای خمش و خیز و نمودارهای بدست آمده از تابع هدف قیمت بهینه با T_t =۹ cm و A_{sb} =۹,۷ cm^2 بدست آمده است(شکل۱۹).



شکل۱۹: نمودار تعیین ناحیه بهینه دال ساند ویچی با ضخامت۲۵ سانتیمتر

جدول۷: جدول بهینه یابی سقف ساندویچ پانل

جدول بهینه یابی قیمت یک متر مربع سقف ساندویچ پانل					
$H_{(c\ m)}$	$T_{t\ (c\ m)}$	$A_{sb(c\ m^2)}$	$A_{sd(c\ m^2)}$	$A_{st\ (c\ m^2)}$	قیمت(ریال)
16	5	10/44	0/268	1	205940
18	6	9/4	0/266	1/2	191355
20	6	10/28	0/256	1	203200
23	5	10	0/254	1/2	201930
25	9	9/7	0/26	1/8	207470



شکل۲۰: نمودار تعیین قیمت بهینه یک مترمربع سقف ساندویچی

۹- نتیجه گیری

۱- استفاده از بتن سبک در هسته پانل‌های ساندویچی باعث کاهش وزن و صرفه اقتصادی در سایر اجزای باربر سازه از جمله ستون‌ها، تیرها و فونداسیون می‌گردد.

۲- اتصالات مفصلی بین پانل‌ها در دال ساندویچی پیش ساخته باعث می‌شود لنگر بسیار کمی از یک پانل به پانل دیگر منتقل گردد.

۳- با سیستم سقف پانلی ساندویچی پیش‌ساخته می‌توان با سبک‌سازی قابل ملاحظه سازه در کشورهای لرزه خیز به کاهش اثرات بحرانی زلزله کمک کرد.

۴- در بهینه سازی دال‌های ساندویچی با ضخامت‌های مختلف با در نظر گرفتن متغیرهای طراحی, پارامترهای طراحی, قیود مسئله و استفاده از روش بهینه یابی دال ساندویچی می توان ضخامت دال بهینه و سایر متغییرهای طراحی مناسب را بدست آورد.

۵- سقف ساندویچی پیش ساخته می‌تواند بعنوان سقف و کف درتمامی سازه‌ها اعم از فولادی و بتنی مورد استفاده قرار گیرد و چندین سقف ساندویچی پیش ساخته را می‌توان بطور همزمان اجرا کرد که باعث سرعت بالای اجرا وکاهش هزینه می‌شود.

۶- سقف پانلی ساندویچی پیش ساخته از لحاظ اجرایی و فنی بعلت قطعه قطعه بودن و تولید بصورت پیش‌ساخته کنترل کیفیت آن آسانتر و اجرای آن بسیار ساده می‌باشد. که باعث کاهش هزینه, امکان تولید بصورت انبوه, بالا رفتن سر عت حمل و نقل و سهولت اجرای ساختمان می‌شود.

۷- در بهینه سازی دال‌های ساندویچی با ضخامت ۱۶, ۱۸,۲۰,۲۳ و۲۵ سانتیمتر با در نظر گرفتن پارامترهای طراحی و قیود مسئله و استفاده از فرمول تابع هدف متغیرهای طراحی بدست آمده است, با رسم نمودارها بر اساس ضخامت لایه فوقانی و آرماتور کششی لایه تحتانی، دال ساندویچی با ضخامت۱۸سانتیمتر بعنوان دال بهینه از لحاظ عملکرد سازه‌ای و اقتصادی بدست آمد.

مراجع

[1] Ahmadi, Allahdad. and Razani, Razani. (2014). Designing and comparison of some samples of prefabricated concrete sandwiched ceiling slabs with Lightweight concrete core. Journal of Research and Development Vol. 2, No.2, 2014-Page 9-20.

[2] Ghasemi, M. and Ataryany, M. (2008). Optimization flooring composite include Concrete pan on steel beams with ant colony algorithm. Civilica: Reference knowledge.

[3] ABAQUS, Finite Element Program Theory Manual (version 6. 12. 1). Hibbit, Karlssson & Sorenson Inc. USA,1993.

[4] Benayoune, A. Abang Ali, A. Abdul samad, A. And trikha, D. (2007). Flexural analysis of composite one-and two-way sandwich slabs with truss-shaped connectors. Journal, The Institution of Engineers, Malaysia vol. 68, No. 1March 2007.

[5] Benayoune, A. samad, A. A. A. Abang Ali, A. A. and trikha, D. N. (2007). Response of pre-cast reinforced composite sandwich panels to axial loading. Journal of Construction and building materials, page 677-685.

[6] Benayoune, A. Abdul samad, A. A. Trikha, D. N. Abang Ali, A.A., and Elianna, s. H. M. (2008). Flexural behavior of pre- cast concrete sandwich composite Panel-Experimental and theoretical investigations. science direct. Journal of Construction and Building Materials, page 580-592

[7] Schaumann, E. Vallee, T. and Keller, T. (2008). Direct load transmission in sandwich slabs with lightweight concrete core. Tailor Made Concrete Structures-Walraven& Stoelhorst (eds) 2008 Taylor & Francis Group, London, lSBN 978-0-415-47535-8.

[8] Schaumann, E. vallee, T. and Keller, T. (2008). Direct load transfer of hybrid FRP-concrete sandwich structure for bridge decks. Fourth International Composites in Civil Engineering. CICE2008. 22-24 July, Zurich, Switzerland.

[9] Schaumann, E. (2008). Hybrid FRP-lightweight concrete sandwich system for Engineering structures. Thesis, Dipl. Lag. Vniversitat Karlsruhe Allemagne et De Nationalite Allemande.

[10] Ahmad, I. and Mohamad, N. (2011). Sructural behaviour of precast lightweight concrete sandwich panel under Eccentric Load: An over view. University Tun Hussein Onn Malaysia.

[11] Einea, A. Salmon, D. Tadros, M. and Culp, T. (1994). A new structurally and thermally efficient precast sandwich panel system. PCI, Journal, July-August1994,90-101.

[12] Kent D.C. and park R. (1971). Flexural Members with Confined Concrete, Journal of Structural Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers, Vo l.97, No. ST7,1969-1990

[13] Park R. and parlay T. (1975). Reinforced Concrete Structures, Johen Wiley and Sons.

[14] Mohammed Hussin, A. D. (2013). Structural Behavior of Composite Sandwich Slab Panels. Journal of Engineering and Development, Vol. 17, No.4, October 2013, ISSN 1833-7822.

[15] Noridah, Mohammad. A. I. Khalil, A. A. Abdul Samad, and W.I. Goh. (2014). Structural behavior of Precast Light-Weight Foam Concrete Sandwich Panel with Double Shear Truss Connectors under Flexural Load. Hindawi Publishing corporation ISRN Civil Engineering Volume 2014, 7 Pages.

[16] Mugahed Amran, Y. H. Raizal, S.M. Rashid, Farzad Hejazi, Nor Azizi Safiee, A. A. Abang Ali. (2016). Response of precast foamed concrete sandwich panels to flexural loading. Journal of Building Engineering,7 (2016)143–158.