بررسی استفاده از خرپای معادل در تحلیل چلیک مرکب

پرویز شهبازی
مربی گروه عمران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد مراغه
سیف اله یو خانلار
استاد دانشگاه معماری و عمران، باکو، آذربایجان
علاءالدین بهروش
استاد مهندسی عمران - سازه، دانشگاه آزاد مهاباد
(تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۸۸/۶/۱۴تاریخ پذیرش مقاله:۱۳۸۸/۱۲/۲۳)

چکیده

تحلیل سازه های فضاکار مرکب که شامل سازه فضاکار با پوسته بتنی می باشد چندی است که از سوی محققان مورد توجه بوده و روشهای مختلفی برای تحلیل چنین سازه های ارائه می شود. در این مقاله که برگرفته از پاره سازی و تئوری مقطع معادل می باشد. ضمن تحلیل مدل واقعی سازه ، نوارعرضی از آن به تنهایی مورد تحلیل قرار داده شده تا نشان داده شود که در صورت تقارن سازه ای و بارگذاری می توان نوار واحدی از عرض سازه را بجای کل آن مورد تحلیل قرار داد و جهت سهولت با استفاده از تئوری مقطع معادل، سازه مرکب شامل خرپای فلزی و پوسته بتنی را نیز به خرپای معادل تبدیل نمود . در این راستا سه مدل سازه ای که شامل ، سازه اصلی، المان واحدی از عرض سازه و خرپای معادل می باشد با شرایط سازه ای و بارگذاری یکسان از طریق نرم افزار SAP مدلسازی و تحلیل شده است. بمنظور بررسی و مقایسه نتایج حاصل ضمن استفاده از تقارن ، نتایج تحلیلی در چهار قسمت از سازه مورد ارزیابی و مقایسه قرار داد شده و نتایج حاصل از تحلیل مدلها در جداول جمع بندی و بمنظور بررسی به گرافهای مربوطه تبدیل شده است. این نتایج نشان می دهد در تحلیل و ارزیابی عملکرد سازه چلیکی مرکب می توان بجای کل سازه از نوار عرضی واحد یا خرپای معادل آن در مطالعات موردی و پژوهشی استفاده کرد.

کلید واژه‌ها: تحلیل سازه، سازه فضاکار مرکب، چلیک، پوسته بتنی، مدلسازی، نوار واحد عرضی، مقطع معادل، خرپای معادل

۱- مقدمه

سازه های فضاکار از جمله سازه های اسکلتی سه بعدی هستند که برای پوشانه فضاهای بزرگ با کاربردهای مختلف طراحی و اجرا می شوند. این سازه ها علاوه بر ساختار سه بعدی و مقاوم از نظر معماری نیز جالب هستند و معمولاً بصورت سازه اکسپوز در معماری بکار گرفته می شوند. سازه های فضاکار تک لایه، دو لایه و چند لایه و سازه های فضاکار تخت و منحنی شکل که چلیک ها و گنبدها را شامل می شود. هرکدام از این سازه ها بر حسب انتظارات سازه ای و معماری از سوی طراحان انتخاب می شوند.

امروزه بمنظور جبران بعضی ضعف های احتمالی و یا برای افزایش مقاومت و توان باربری، این سازه ها بصورت ترکیبی با صفحات و پوسته های فلزی و بتنی طراحی و اجرا می شوند. با ابداع چنین سازه هایی مقالات و تحقیقات مختلفی از سوی محققان و مهندسین برای طراحی و اجرای این سازه ها در مجامع علمی ارائه شده و تحقیقات در این راستا همچنان ادامه دارد. یکی از رایجترین این سازه های مرکب چلیک های دو لایه با پوسته ای بتنی هستند که از قابلیت سازه ای و معماری بالایی برخوردار می باشند. آنچه در این میان از اهمیت بالایی برخوردار می باشد طراحی این سازه هاست. در این مقاله با استفاده از

روش پاره سازی و مقطع معادل روش ساده ای برای تحلیل و ارزیابی این سازه ها ارائه داده شده است.

۲- مدلهای تحلیلی

بمنظور تحلیل و مقایسه نتایج حاصل از این تحقیق سه مدل مختلف از یک سازه چلیک ارائه می شودکه مشخصات کل سازه شامل طول دهانه، ارتفاع، فاصله دو لایه و المان پوسته ای و المانهای تحتانی و قطری و مشخصات مصالح مصرفی در هر یک از این مدلها یکسان در نظر گرفته شده است .

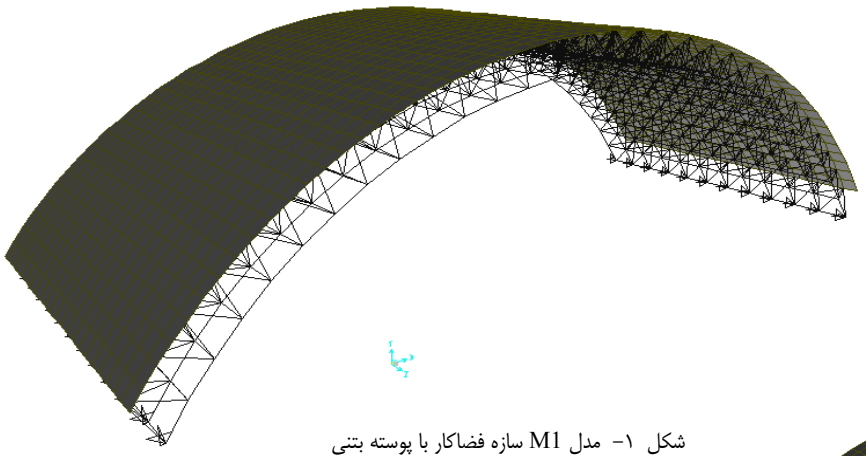
هر چند در خرپا و سازه فضاکار که یک خرپای سه بعدی است به جهت مکانیزم توزیع نیرو، مفصلی یا گیرداری المانها تاثیر چندانی در نتایج ندارد با این حال المانهای سازه فضاکار بصورت مفصلی و پوسته بتنی ومعادل آن در مدل خرپای معادل بصورت یکپارچه وگیردار مدل شده است.

مدل M1 **:** مدل واقعی سازه بوده که بصورت سازه فضاکار ترکیب شده با پوسته بتنی است. این سازه به دهانه ۴۵ متر و ارتفاع ۱۲ متر بوده و از شبکه ۲*۲ شکل گرفته است و فاصله شبکه تحتانی و پوسته بتنی ۱/۵ متر می باشد که با المانهای قطری حفظ شده است.

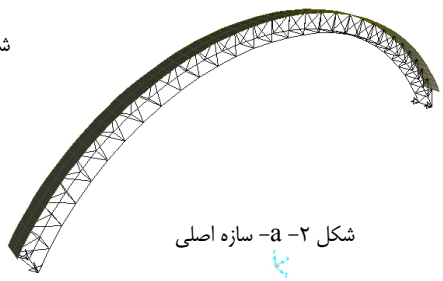
در این سازه المانهای فلزی سازه فضاکار از پروفیل فولادی P100*5 در نظر گرفته شده است. لایه فوقانی این سازه المان فلزی نبوده بلکه پوسته بتنی است و المانهای قطری با اتصالات فلزی به این پوسته متصل می شوند، پوسته بتنی که علاوه برپوشانه نقش سازه ای نیز دارد از بتنی با ضخامت ۱۵ سانتی متر در نظر گرفته شده است. این مدل در شکل (۱) نشان داده شده است .

مدل M2 **:** المان واحدی از عرض سازه بوده که بمنظور ساده سازی و سهولت و کاهش عملیات محاسباتی از سازه اصلی جدا شده است. این مدل یک خرپای فلزی با همان المانهای مدل اصلی M1 بوده که المان فوقانی آن نیز همان پوسته بتنی به ضخامت ۱۵ سانتی متر و با عرض ۲/۰۳۴۵ متر می باشد. که در شکلهای ۲- a و ۲- b نشان داده شده است.

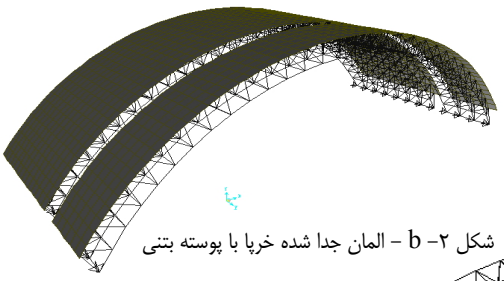
مدل M3 **:** این مدل معادل شده مدل M2 می باشد که در آن با استفاده از تئوری مقطع معادل و بر اساس مدول الاستیسیته فولاد و بتن و نسبت آنها $n=E_S/E_C$ پوسته بتنی لایه فوقانی خرپا به المان معادل از فولاد تبدیل شده است. با توجه به اینکه مدول الاستیسیته فولاد مصرفی در این سازه $E_S=2.039E+10$ و مدول الاستیسیته بتن بر حسب مقاومت آن $E_C=2.535E+09$ می باشد. نسبت مدولار $n=8.0434$ خواهد بود.



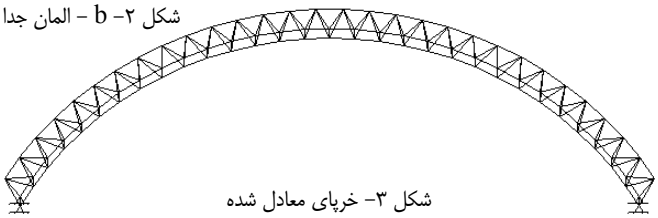
شکل ۱- مدل M1 سازه فضاکار با پوسته بتنی



شکل ۲- a- سازه اصلی



شکل ۲- b - المان جدا شده خرپا با پوسته بتنی



شکل ۳- خرپای معادل شده

۳- بارگذاری

از آنجائی که این مقاله بر مبنای تحلیل استاتیکی استوار است بارگذاری سازه نیز بصورت استاتیکی بوده و شامل وزن سازه می باشد که بصورت یک بارگسترده یکنواخت روی پوسته بتنی اعمال شده است. در مدل M1 این بارگذاری بصورت یک بارگسترده یکنواخت ۵۰۰kg/m^2 روی پوسته بتنی اعمال شده و در مدلM2 نیز همین بارگسترده یکنواخت روی پوسته بتنی به عرض ۲/۰۳۴۵ متر و جدا شده از سازه اصلی گردیده است ولی در مدل M3 به جهت تبدیل پوسته بتنی به المان طولی فولادی ، بارگذاری بصورت بار متمرکز روی گره های فوقانی خرپا اعمال می شود که برآیند بارگسترده یکنواخت روی پوسته بتنی بوده و بصورت بار متمرکز به گره اعمال شده است. از آنجائی که هر گره فوقانی بار چهار المان پوسته ای متصل به آن را خواهد گرفت لذا نیروی متمرکز به هر گره بصورت زیر تعین می شود.

$S=1.0348\ m^2$

$F1=1.0348*4*500\ kg/m^2=2069.6\ kg$

به گره های فوقانی ابتدا و انتهای خرپا دو المان پوسته ای متصل میشود لذا بار متمرکز آن برآیند بارگسترده دو المان پوسته ای خواهد بود یعنی:

$F2=1.0348*2*500\ kg/m^2=1034.8\ kg$

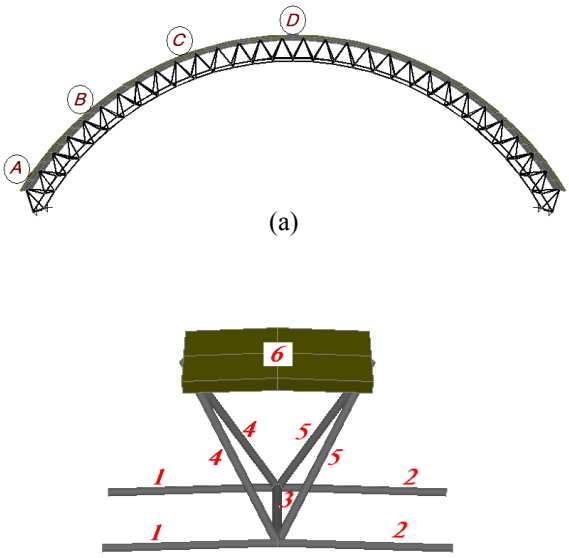
٤ – تحلیل مدلها

برای تحلیل مدلهای پیشنهادی تحت بارگذاری عنوان شده از نرم افزار SAP استفاده شده است. به جهت تعداد زیاد المانها در مدلهای تحلیلی، بررسی و مقایسه نیروهای تمامی المانهای مدلها مقدور نمی باشد.

از آنجائیکه به جهت اتصالات مفصلی توزیع نیرو در سازه فضاکار بصورت نیروی محوری بوده و به دلیل قوسی بودن سازه نیروی درون صفحه ای F_{11} پوسته بتنی نقش اصلی را در انتقال بار داشته و دیگر نیروهای داخلی پوسته بتنی ناچیز وکم اهمیت می باشند لذا از نتایج آنالیز مدلهای تحلیلی، نیروی محوری تعدادی از المانهای مشابه سازه فضاکار و نیروی درون صفحه ای F_{11} تعدادی از المانهای مشابه پوسته بتنی در مدلهای تحلیلی جهت مقایسه با همدیگر انتخاب شده است. این المانها به جهت تقارن سازه از چهار ناحیه نیمه چپ سازه که شامل بر تکیه گاه، دو قسمت میانی و راس سازه میباشد مطابق شکل (۴ – a) انتخاب شده است.

٤-۱- تحلیل مدل F_{11}

مدلM1 سازه اصلی با پوسته بتنی است که تحت بار گسترده یکنواخت در نرم افزار SAP مدلسازی و آنالیز شده است. بمنظور مقایسه نتایج حاصل از این مدل با مدلهای دیگر، المانهای نوار عرضی از ۱/۴ طول سازه انتخاب شده است. نتایج المانهای نیمه چپ این نوار عرضی در چهار ناحیه A,B,C,D بر حسب شماره المانها در شکل (۴- b) در جدول (۱) ثبت شده است. در المانهای پوسته ای نیروی F_{11} نیرو در واحد طول می باشد که به جهت تغییرات آن در عرض، میانگین آن تعیین و با توجه به ابعاد المانهای پوسته ای به یک نیروی معادل تبدیل شده است .



شکل ۴–طرح شماتیک المان بندی، a) چهار ناحیه انتخابی از نیمه چپ سازه، b) شماره المانهای انتخابی

جدول ۱ : نتایج حاصل از تحلیل مدل M1

SECTION	E1 kgf	E2 kgf	E3 kgf	E4 kgf	E5 kgf	E6 kg/m	E6 kgf
A	-16053	-14852	357	781.5	-2073	-295	-600
B	-9810	-7655	523	2162	-2905	-4319	-8786
C	923	2675	138	2125	-1984	-11953	-24318
D	6468	6468	-46	266.5	266.5	-15416	-31365

٤-۲- تحلیل مدل M2

مدل M2 یک نوار عرضی از کل سازه می باشد که با همان بارگذاری گسترده روی پوسته به عرض ۲/۰۳۴۵ متر در نرم افزار SAPمدلسازی و تحلیل شده است . در این مدل نیز نتایج حاصل از تحلیل برای نیمه چپ مدل در چهار ناحیه بر حسب A,B,C,D شماره المانها در شکل (۴- b) در جدول (۲) ثبت شده است . نیروی F_{11} در واحد طول المانهای پوسته ای نیز به نیروی معادل تبدیل شده است

جدول ۲ : نتایج حاصل از تحلیل مدل M2

SECTION	E1 kgf	E2 kgf	E3 kgf	E4 kgf	E5 kgf	E6 kgf	E6 kgf
A	-17194	-16229	594	412	-1858	-272	-552
B	-11063	-8776	352	2261	-3119	-3537	-7197
C	390	2263	47	2260	-2146	-11448	-23290
D	6314	6314	-224	273	273	-15228	-30981

٤-۳- تحلیل مدل M3

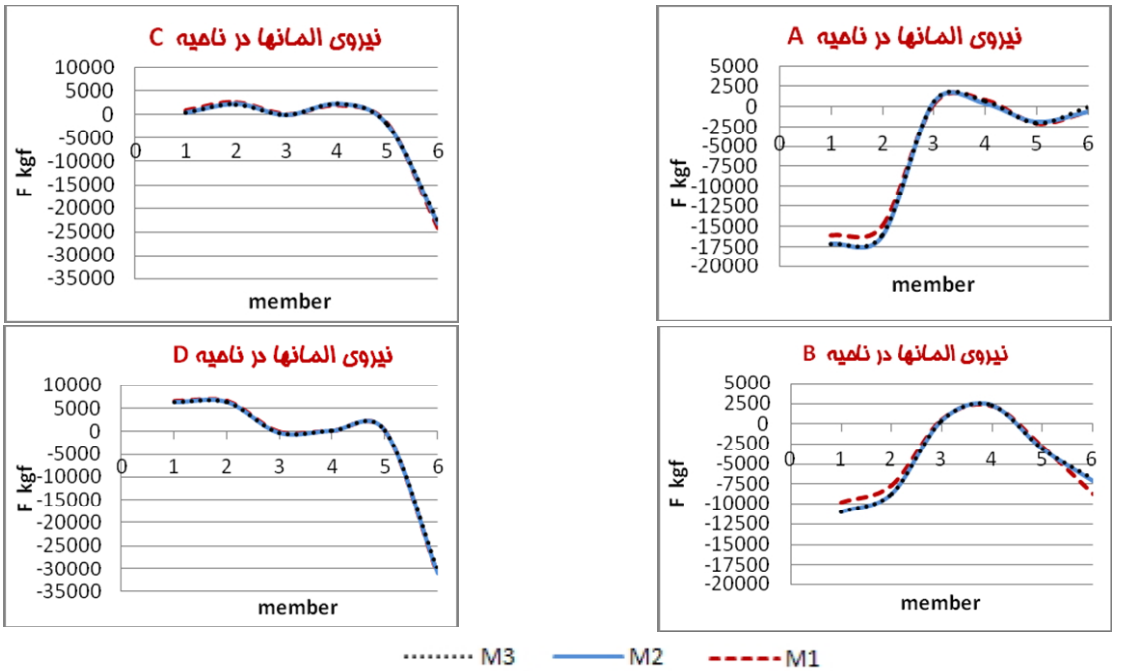
مدل M3 معادل شده مدل M2 می باشد که بصورت یک خرپای سه بعدی با بارگذاری منفرد حاصل از برآیند بار گسترده یکنواخت روی مدل M2 بوده و در نرم افزار SAP مدلسازی و تحلیل شده است . نتایج حاصل از تحلیل برای نیمه چپ مدل در چهار ناحیه A,B,C,D بر حسب شماره المانها در شکل (۴-b) در جدول (۳) ثبت شده است .

جدول ۳ : نتایج حاصل از تحلیل مدل M3

SECTION	E1 kgf	E2 kgf	E3 kgf	E4 kgf	E5 kgf	E6 kgf
A	-17185	-16062	585	611	-2045	-67
B	-10957	-8692	346	2255	-3102	-6841
C	383	2237	-46	2250	-2137	-22806
D	6248	6248	-220	269	269	-30382

٥- بررسی و مقایسه نتایج حاصل از تحلیل مدلها

بمنظور بررسی و مقایسه نتایج حاصل از تحلیل مدلهای پیشنهادی، نتایج قید شده در جداول ۱, ۲, ۳ در چهار ناحیه A,B,C,D از مدلهای مختلف به گراف تبدیل شده و مورد ارزیابی قرارگرفته است .



شکل۵ – گراف نیروی المانها در ناحیه A,B,C,D

نتایج و گرافهای حاصل از آن نشان می دهد که المانهای قطری سازه درمقاطع مختلف A,B,C,D از سازه بر هم منطبق بوده یا اختلاف جزئی با همدیگر دارند. ولی نتایج المانهای تحتانی و پوسته فوقانی درهر یک از مدلهای تحلیلی نشان می دهد که در نواحی تکیه گاهی A,B نتایج بدست آمده از مدل واقعی سازه M1 با نتایج حاصل از مدلهای M2 و M3 اختلاف داشته و بطور متوسط حدود ۸٪ خطاء دارد. از طرفی گرافهای مربوطه نشان می دهد، نتایج حاصل از تحلیل خرپا با پوسته بتنی M2 با نتایج تحلیلی خرپای معادل M3 بر هم منطبق بوده یا اختلاف جزئی و قابل صرفنظر با هم دارند.

٦ – نتایج

۱- سازه فضاکار مرکب یک سازه ترکیبی و مختلط می باشد که از سازه فضاکار فلزی با پوسته بتنی طراحی میشود و تحت بارهای ثقلی پوسته بتنی در فشار بوده و المانهای فلزی سازه نیز در مقاطع مختلف بر حسب انتقال بار تحت کشش و فشار قرار دارند.

۲– در نواحی تکیه گاهی A,B به جهت انتقال بار از پوسته به سازه فضاکار بیشتر بار روی المانهای تحتانی سازه متمرکز بوده و نتایج حاصل از تحلیل برای المانهای تحتانی از مدل واقعی سازه M1 و دیگر مدلهای پیشنهادی M3 , M2 بطور متوسط اختلاف ۱۲/۴٪ را برای المانهای تحتانی نشان می دهد.

۳– در نواحی میانی و در راس سازه بیشتر بار سازه به پوسته بتنی تحت فشار، متمرکز بوده و نتایج حاصل از تحلیل مدل واقعی سازه M1 و دیگر مدلهای پیشنهادی M3 , M2 بطور متوسط اختلاف ۶/۷ ٪ را برای پوسته بتنی نشان می دهد.

۴– آنچه مسلم است اینکه سا زه های فضاکار بخصوص نوع ترکیبی آن که دارای المانهای سازه ای زیادی هستند و در مطالعات تحلیلی، بررسی و مطالعه تمامی المانهای سازه مقدور و ضروری نیست لذا به جهت صرفه جویی در وقت و تسریع در بررسی نتایج، در مطالعات موردی و پژوهشی می توان از نوار عرضی واحد مدل M2 یا خرپای معادل آن مدل M3 در ارزیابی و عملکرد سازه بهره جست.

۷– مراجع

1- Moghadm, Hassan, Seismic Behaviour of Space Structures, International Journal of Space Structures, Vol.15, No.2, 2000.

2- Zhao, H., L., Zhao, J. Ma, C.Q., Sheet Space Structure System, Structural Principles and Analysis Method, International Journal of Space Structures, Vol.14 , No.4, 1999..

3- EI.Sheikh, A.I., Nonlinear Numerical Analysis of Composite Space Trusses, International Journal of Space Structures, Vol.9, No.4, 1994.

4- Parsa, K., Hollaway, L., Application of Advanced Composites to a Double Layer Stressed Skin Roof Structure, International Journal of Space Structures, Vol.12 , No.2, 1997.

A Servey of Using Eqale Truss in Analysis of Composite Double-Layer Barrel Vaults

Shahbazi Rovishti, P.
Islamic Azad University- Maragheh Branch
Azarbaijan -Bako- Archtectur and Constraction University
Email: Psh_120@yahoo.com

Youkhanlar, S.
Prof., Azarbaijan-Bako-Archtectur and Constraction University of Tabriz

Behravesh, A.
Prof., Islamic Azad University- Mahabad Branch

Abstract

Analysis of composite structures, including space frame structures with concrete shell have been taking meny attention from researchers and different methods is being used for analyzing such structures. In this paper, based on the substructures metod and the theory of equivalent section, analyzing the actual structural model, a transverse strip alone has been analyzed to show that if the structural and loading symmetry can be a single strip from the entire structure or not. For the ease, using the theory of equivalent section, composite structure including steel truss structure and concrete shell can also be changed to a equivalent of truss. On this way, three models including main structure, a single element of structure and equivalent steel truss, modeling and analyzing havebeen done by using SAP. In order to review and compare the results, while using symmetry, the results in four parts of the structure have been evaluated.Then the results of analyzing the models. Have been summarized in the tables and then changed to the graphs.The results show that in analyzing and studying the behavior of composite double-layer barrel vaults, we can make use of the single strip composite truss or its equivalent steel truss in place of the whole structure in case studies.

Keywords: Composite Structures, Space frame, Concrete Shell, Analyse