سازمان مدارک علمی ایران
مرکز مدارک

۱۳۷۹ /۵/ ۱

وزارت فرهنگ و آموزش عالی

دانشگاه علوم وفنون مازندران

پایان نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

رشته عمران گرایش سازه

موضوع

تحلیل سازه های چند مرتبه متشکل از دال و دیوار بصورت ورقهای تا شده بر روی دیافراگم های انتهائی، به کمک سری فوریه

دانشجو

محمد ناوی

-8415

استاد راهنما

دکتر رسول میر قادری

زمستان ۱۳۷۸

۳۱۰۹

وزارت فرهنگ و آموزش عالی

دانشگاه علوم و فنون مازندران

پایان نامه

مقطع کارشناسی ارشد

رشته : عمران گرایش سازه

عنوان موضوع: تحلیل سازه های چند مرتبه متشکل از دال ودیوار به صورت ورقهای تاشده بر روی دیافراگم های انتهائی به کمک سری فوریه

استاد راهنما :دکتر رسول میرقادری

استاد/ان مشاور:دکترکاظمی ،دکتر واثقی

دانشجو:محمد ناوی

۳۱۰۰۹

بنام خدا

سپاسگزاری

با سپاس و تشکر از زحمات کلیه اساتید بویژه زحمات بیدریغ و فداکاریهای خالصانه استاد گرانقدر آقای دکتر رسول میرقادری که در طول تحصیل راهبر و راهنمای من بوده اند.

فهرست

عنوان : صفحه

فهرست علائم: ۴

چکیده ۶

فصل اول:شکل و انواع عمومی ورقهای تا شده ۷

مقدمه ۸

۱-۱) شکل و رفتار عمومی ورقهای تا شده ۱۰

۱-۲) مزیت سیستم ورقهای تا شده ۱۲

۱-۳) تاریخچه نحوه آنالیز ورقهای تاشده ۱۳

فصل دوم :تحلیل صفحات تاشده ۱۵

۲-۱) روشهای مختلف تحلیل صفحات تا شده ۱۶

۲-۲-۱-۲) روش تحلیل عددی ورقهای تا شده با استفاده از سری فوریه ۲۰

۲-۱) روش حل لوی برای تحلیل ورقهای مستطیل شده ۲۱

۲-۳) تشریح روش تحلیل صفحات تاشده به همراه دیافراگم های انتهائی ۲۶

۲-۴) استفاده از تحلیل ماتریسی سازه ها در تحلیل ورقهای تا شده ۴۴

فصل سوم :

تحلیل ورقهای تاشده به همراه المانهای الحاقی ۴۹

۳-۱) تحلیل سازه های ورق تا شده به همراه تیرهای تقویت کننده عرضی ۵۱

۳-۲) تحلیل ورقهای تاشده به همراه تیر های تقویت کننده طولی ۵۱

فصل چهارم :

تحلیل عددی سازه های متشکل از صفحات تاشده ۵۴

۴-۱)کلیاتی در تحلیل عددی سازه های متشکل از صفحات تاشده ۵۵
چند مثال در تحلیل صفحات تاشده ۶۶

ضمیمه A

راهنمای استفاده از برنامه کامپیوتری تحلیل سازه های تاشده

A-۱) نحوه استفاده از برنامه تحلیل صفحات تاشده ..... یک
A-۱-۱) الگوریتم کلی برنامه تحلیل صفحات تاشده ..... یک
A-۲) مقدمه ..... سه
A-۳) نحوه دریافت اطلاعات ورودی ..... پنج
A-۴) دریافت اطلاعات و مشخصات به صورت فایل ورودی ..... هشت

ضمیمه۲ A

معادلات سختی ورق های تاشده به همراه تقویت کننده های عرضی

A۲ -۱) تحلیل ورق های تاشده به همراه المانهای الحاقی .....یازده

فهرست علائم

t,a,b به ترتیب ابعاد صفحه در جهت طولی و عرضی و ضخامت صفحه

ν,G,E به ترتیب مدول الاستیسیته ،مدول برشی و ضریب پواسون

$D = \frac{Et^3}{12(1-\nu^2)}$ سختی خمشی ورق

x,y,z = محورهای مختصات محلی

w,v,u = به ترتیب جابجایی در جهت x,y,z

v_{ij}, u_{ij}, w_{ij}= به ترتیب مقادیر u, v, w در امتداد لبه i در صفحه i-j می با شد

θ_i = چرخش صفحه در امتداد لبه i

v_{ij}, N_{ij}, S_{ij} =به ترتیب مقادیر برش طولی بر واحد طول ،نیروی محوری بر واحد طول

نیروی برشی عرضی بر واحد طول در امتداد لبه i

M_{ij} = لنگر بر واحد طول صفحه در امتداد لبه i

m = تعداد جملات سری فوریه

$\bar{w}_{ijm}, \bar{v}_{ijm}, \bar{u}_{ijm}$ =به ترتیب دامنه مقادیر w,v,u در امتداد لبه i در مود m ام

$\bar{\theta}_{im}$ = دامنه چرخش صفحه در لبه i ام در مود m ام

$\bar{V}_{ijm}, \bar{N}_{ijm}, \bar{S}_{ijm}$ =به ترتیب مقادیر w,v,u در امتداد لبه i ام در مود m ام

ξ , η = جابجایهای متعامد در مختصات عمومی

$\bar{k'}_m$ = ماتریس سختی صفحه در مختصات محلی در مود m ام

d'_m = بردار دامنه تغییر مکانهای لبه صفحه در مود m ام و در مختصات محلی

$\bar{r'}_m$ =بردار دامنه نیروهای انتهایی صفحه در مود m ام و در مختصات محلی

$\bar{r'}_{fm}$ =بردار دامنه نیروهای گیرداری انتهایی صفحه در مود m ام و در مختصات محلی

$\bar{k}_m$ = ماتریس سختی صفحه در مختصات عمومی در مود m ام

$\bar{d}_m$ = بردار دامنه تغییر مکانهای صفحه در مود m ام و در مختصات عمومی

$\bar{r}_m$ = بردار نیروهای انتهایی صفحه در مود m ام و در مختصات عمومی

r_{fm} = بردار نیروهای گیرداری انتهایی صفحه در مود m ام و در مختصات عمومی

$\bar{k}_m$ = ماتریس سختی کل سیستم در مود m ام

$\bar{D}_m$ = بردار دامنه تغییر مکانهای کلی در مود m ام

$\bar{R}_m$ = بردار دامنه نیروهای خارجی در مود m ام

R_{fm} = بردار دامنه نیروهای گیرداری کلی در مود m ام

چکیده

سازه های تشکیل شده از ورق کاربرد وسیعی در زمینه سازه های مهندسی دارند،سازه های ورق تاشده با توجه به عملکرد آن مورد توجه بوده و از انواع پوششهای مناسب برای فضاهای بزرگ می باشند در این پایان نامه سعی شده با ارائه روشی مبتنی بر استفاده از سری فوریه در حل معادلات حاکم بر رفتار صفحات یک روش تحلیلی فراهم آید. برای این منظور ابتدا تحلیل سازه های ورق تاشده تحت اثر بارهای خمشی و غشائی بررسی شده و در ادامه با استفاده از سری فوریه در حل معادلات دیفرانسیل حاکم بر رفتار صفحات روش مناسبی برای تحلیل اینگونه از سازه ها ارائه می گردد.

سازه های ورق تاشده که در این پایان نامه مورد مطالعه قرار گرفته است ،متشکل ازمجموعه ای از ورقهای تاشده که بر روی دیافراگم های انتهائی قرار دارند بوده ،بطوریکه شرایط مرزی حل لوی برای آنها بر قرار می باشد.با توجه به مجزا بودن جوابهای سری فوریه در این ورقها ،معادلات حاکم برای مجموعه ورقهای تاشده بر حسب تغییر مکانهای داخل صفحه ای و خارج از صفحه ای لبه پیوسته ورق نوشته شده و کل سیستم ورقهای تاشده بر حسب این تغییر مکان تحلیل می گردد.و سپس نیروهای داخلی در هر یک از ورقها بدست می آید .در پایان یک نرم افزار کامپیوتری برای تحلیل این ورقها تهیه گردیده و مثالهائی برای نشان دادن کارائی روش فوق، مورد تحلیل قرار گرفته است.

فصل اول

شکل و انواع عمومی ورقهای تاشده

مقدمه :

سیستم سازه های ورق تا شده که تحلیل آن براساس روش مبتنی بر استفاده از سری فوریه،در این پایان نامه مورد بررسی قرار می گیرد، یکی از انواع سازه های تشکیل شده از ورق می باشد که رفتار قابل توجه ای تحت اثر بارهای خمشی وغشایی دارد، این سیستم سازه ای را می توان برای پوشش سطح های وسیع استفاده نمود و با توجه به پیشرفت در روش های اجرا یی وقابلیت هماهنگی این نوع سازه با روشهای اجرائی ، می توان استفاده بیشتری از این نوع سیستم سازه ای نمود. در این پایان نامه سعی شده با ارائه روشی مبتنی بر استفاده از سری فوریه در حل معادلات حاکم بر رفتار صفحات ، یک روش تحلیلی عملی و دقیق فراهم آورد.برای این منظور ابتدا تحلیل سازه های ورق تا شده منشوری تحت اثر بارهای خمشی و غشایی بررسی شده و روابط حاکم به دست می آید، در مرحله بعد این روابط برای سازه های ورق تا شده همراه با اعضاء تقویت کننده مانند تیرهای طولی وعرضی بسط داده می شودو با توجه به روابط بدست آمده برنامه کامپیوتری ارائه شده که استفاده کننده می تواند براحتی سازه ورق مورد نظر خود را تحلیل نماید.

در این روش هر ورق بدون توجه به ابعاد آن یک المان کامل سازه ای فرض شده و بدین ترتیب تعداد المانها در کل سازه به حداقل می رسد .بنابراین از حجم اطلاعات ورودی وخروجی، زمان تحلیل وحافظه مورد نیاز کامپیوتر کاسته شده ومحاسبه نتایج به سهولت انجام می شود. برای افزایش دقت محاسبات بر خلاف روشهای دیگر، تعداد المانها تغییر نکرده و فقط جمله های بیشتری از سری فوریه در نظر گرفته می شود و بدلیل استفاده از توابع شکلی مناسب همگرایی سریعی با استفاده از چند گام اولیه فراهم می آید.در حالیکه تحلیل این نوع سیستم سازه ای به روش های تقریبی گذشته خالی از خطا نبوده و استفاده عملی از نرم افزارهای موجود نیز به آسانی صورت نمی گیرد زیرا برای افزایش دقت، لازم است تعداد المانها افزایش یافته بنا بر این حجم اطلاعات ورودی و خروجی افزایش یافته وکنترل نتایج به راحتی مقدور نمی باشد و در بعضی از مواقع اضافه نمودن المانهای

تقویتی مانند تیرهای طولی وعرضی، مشکلات عددی متعددی را در تحلیل فراهم می آورد. با توجه به مشکلات یاد شده وجود نرم افزاری مناسب برای تحلیل سازه های ورق تا شده ضرورت می یابد.

در فصل اول : با شکل و رفتار سیستم های ورق تا شده آ شنا می شویم وبه مزیت های این سیستم پی می بریم ونحوه آنالیز این نوع سیستم را مرور می کنیم.

در فصل دوم : رفتار سیستم ورق تا شده منشوری ساده تحت اثر بارهای خمشی وغشایی را بررسی نموده و روشهای تحلیل این نوع سیستم سازه ای ارائه می گردد.

در فصل سوم : تحلیل سیستم سازه ای ورق تا شده همراه اعضاء تقویت کننده، مانند تیرهای طولی را بررسی می کنیم، در این فصل روابط حاصل در فصل قبل را توسعه داده و روابط کلی برای صفحات تا شده همراه با تقویت کننده های طولی را بدست می آوریم و روابط بدست آمده را برای استفاده در یک برنامه کامپیوتری مرتب می کنیم.

در فصل چهارم : روند اجرای برنامه برمبنای روابط بدست آمده در فصل دوم و سوم تشریح شده سپس مثالهای مختلف از سازه های ورق تا شده به کمک نرم افزار فوق تحلیل شده ومقایسه نتایج جالب توجه بوده و نشاندهنده کارایی این روش برای سازه های ورق تا شده می با شد. سپس ار نتایج حاصل از فصل چهارم ،نتیجه گیری انجام شده که نشان می دهد استفاده از روش فوق در تحلیل سازه های ورق تا شده نسبت به روش های دیگر تحلیل مزیت دارد . زیرا در این روش هر ورق یک المان سازه ای فرض شده و تعداد المانهای در نظر گرفته شده به حداقل می رسد.

بنا براین از تعداد درجات آزادی کاسته شده وتعداد معادلات حاکم بر رفتار سازه به حداقل می رسد در نتیجه از حجم اطلاعات ورودی و خروجی وحافظه کامپیوتر کاسته شده وسرعت تحلیل افزایش می یابد.در این روش نحوه دریافت اطلاعات ورودی ساده بوده وبرخلاف روشهای دیگر افزایش دقت تنها با افزایش تعداد جملات سری فوریه امکان می یابد وتعداد المانها تغییر نمی کند.در این روش تعداد اعضاء تقویت کننده بر تعداد درجات آزادی ومعادلات حاکم بر رفتار ورق تا ثیری ندارد .

در فصل ضمیمه ۱: نحوه و روند اجرای برنامه شرح داده شده است .

در فصل ضمیمه ۲: نحوه بدست آمدن ماتریس سختی ورقهای تاشده به همراه تقویت کننده های عرضی شرح داده شده است.

۱-۱)شکل و رفتار عمومی ورقهای تاشده

ورقهای تا شده که خطوط تقاطع ورقهای ساده تشکیل دهنده آن ، بموازات امتداد خاصی است ورقهای تا شده منشوری خوانده می شود و در این پایان نامه آنالیز این نوع ورقهای تا شده مورد بررسی قرار می گیرد.

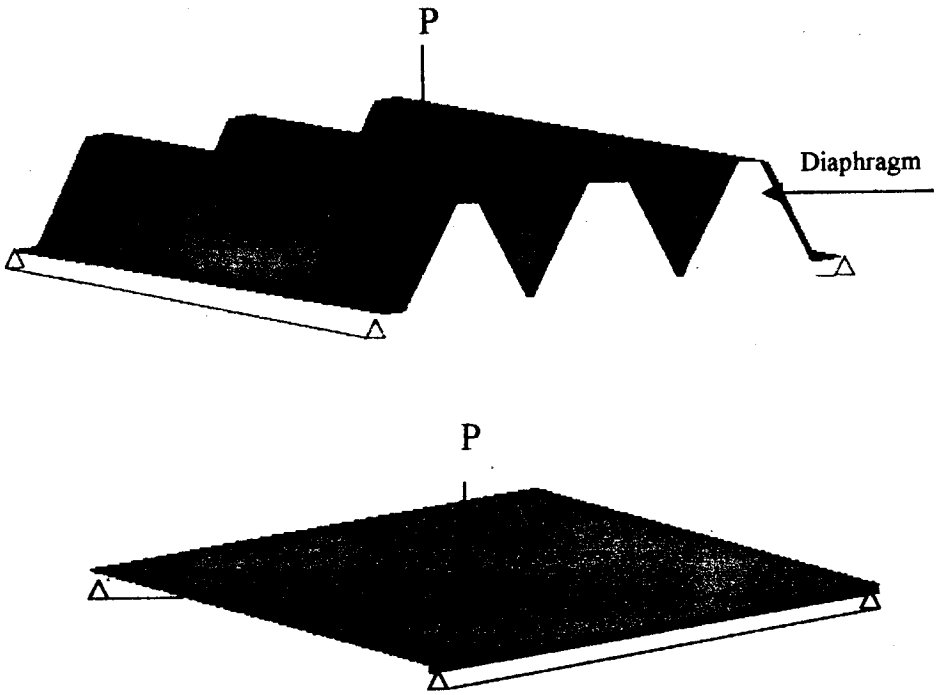
ورقهای تا شده را می توان از خانواده سازه های پوسته ای به شمار آورد. از این دیدگاه ، ورقهای تا شده پوسته هایی هستند که تغییر انحناء آنها نا پیوسته بوده واز نظر ریاضی تاوه های تشکیل دهنده اینگونه از سازه ها ، دارای شعاع انحناء بینهایت می با شند.

منظور نمودن ورقهای تا شده در شمار سازه های پوسته ای فقط یک اقدام ظاهری نبوده زیرا از لحاظ رفتار مکانیکی ومکانیسم انتقال نیرو ،شباهتهای زیادی بین ایندو وجود دارد.مهمترین وجه اشتراک بین ورقهای تا شده وپوسته ها از نظر رفتاری ،در یکسانی مکانیسم اصلی انتقال نیرو در آن سازه‌ها می باشد .سازه های پوسته ای ،نیروهای خارجی را بوسیله میدان غشایی به تکیه گاهها منتقل می کنند و لنگر خمشی وپیچشی وتنشهای حاصل از آنها ، مکانیسم های ثانویه انتقال نیرو بشمار می روند و در شرایط خاصی نیاز به دخالت آنها پیش می آید.ورقهای تاشده نیز با آنکه کاملا فرم پیوسته ای ندارند ، با این وجود از ویژگیهای رفتاری سازه های پوسته ای برخوردار هستند. در یک ورق تا شده بخش زیادی از اثر بار خارجی به وسیله نیروهای داخلی واقع در صفحه تاوه ها به تکیه گاهها منتقل میشوند.

ورقهای تا شده ،چنانکه از نامشان مشخص است ، سازه هایی هستند که از اتصال چند صفحه ساده مایل با زوایایی نسبت به سطح افق تشکیل می یابند . برای آشنایی بیشتر نسبت به عملکرد این سازه ،تجربه ساده ای انجام می دهیم .

یک ورق کاغذ ،که تاوه ساده ای است را بر روی دو تکیه گاه قرار می دهیم.این ورق کاغذ نمی تواند باری را تحمل کند و حتی تحت اثر وزن خود نیز تغییر شکل زیادی می دهد وعلت این امر آن است که لنگر دوم سطح مقطع ورق ناچیز می باشد.اکنون اگر ورق

فوق را تا کنیم و همان تجربه را انجام دهیم مشاهده می کنیم که در این حالت نه تنها ورق تاشده وزن خود را بدون خم شدن تحمل می کند بلکه می تواند مانند یک تیر وزن خود را نیز تحمل کند .زیرا با خم نمودن ورق کاغذ ،مصالح را از محور خمش دورتر نموده و درنتیجه لنگر دوم سطح نسبت به محور خنثی افزایش می یابد.شکل (۱-۱).
این تجربه ساده بیان کننده ویژگی اصلی رفتار مکانیکی ورقهای تا شده می باشد.



شکل (۱-۱) ویژگی اصلی ورق های تا شده

مساله تعیین شکل ورق و انتخاب ماده آن ، به طوری که دارای بیشترین مقاومت در برابر مجموعه نیروهای وارده در شرایط مورد نظر باشد ،مربوط به فرایند طراحی است .از این رو ، ارائه یک فهم اساسی و دقیق از رفتار ماده و مناسب ترین شکل قرارگیری ورقها در کنار هم، کاری ضروری می باشد .طراحی ورقها عمدتا متکی بر آنالیز تنش و تغییر شکل آنهاست ، که مبحث اصلی این پایان نامه در این راستا قرار دارد.

۱-۲)مزیت سیستم ورقهای تاشده

ورقهای تا شده برای پوشش فضاهای وسیع مانند کارخانه ها ،سالنهای اجتماعات ، انبارها تالارها و سالنهای ورزشی و نیز در عناصر ساختمانی قوطی شکل، مورد استفاده قرار می گیرد.

سطوحی که به تنهایی ویا از تداخل وترکیب با یکدیگر بتوانند سازه ای را بوجود آورند و یا فضایی را بپوشانند را سیستم با سطح فعال گویند.سیستم ورقهای تا شده یکی از سیستم های با سطح فعال می باشد. و این سیستم بر اساس تا کردن صفحات برای تغییر جهت نیروها بوجود می آید.این سطوح به علت طبیعت پوششی چه از نظر سقف وچه از نظر نما ساده ترین و ابتدایی ترین صورتهای شکل گیری معماری هستند.این سیستم با مبنای صحیح ساختمانی به تنهایی فضا را پوشانده و احتیاج به سیستم دیگری ندارد.

مقاومت سطوح در مقابل نیروهای فشاری وکششی اولین مشخصه سیستم با سطح فعال است و مناسب ترین مکانیزم تحمل بار در یک سیستم با سطح فعال هنگامی است که سطح ، موازی جهت نیروی وارده باشد وضعیف ترین مکانیزم هنگامی است که سطح ، عمود بر بار وارده باشد. ورقهای تا شده یکی از سیستمهای با سطح فعال می باشد.

یکی دیگر از سیستم های با سطح فعال ، سیستم های پوسته ای هستند.در مقایسه ورقهای تا شده با سیستم های پوسته ای ، با وجود شباهت در رفتار مکانیکی مزیت های زیادی دیده می شودکه به عنوان نمونه می توان از موارد زیر یاد کرد.

۱-سادگی قالب بندی ، زیرا از سطوح صاف وبدون انحناء استفاده می شود.

۲-استفاده مناسب از قالب های پیش ساخته ومتحرک که باعث سرعت اجرای کار می گردد. (سادگی در ایجاد دیافرگم نسبت به موارد مشابه برای پوسته ها) .

۳-تحلیل و طراحی ساده تر.

٤-از نظر زیبایی ، به دلیل داشتن هندسه مشخص وموزون ، همانند پوسته ها جلوه می کنند.

۳-۱)تاریخچه نحوه آنالیز ورقهای تا شده

برای نخستین بار در سال ۱۹۲٤ سیستم ورقهای تاشده توسط G.Ehlers بـرای یـک انبـار وسیع زغال سنگ در آلمان استفاده گردید. اولین مقاله در مورد ورقـهای تاشـده در سـال ۱۹۳۰ توسط G.Ehlers [5][1] منتشر گردید.و درآن گره های طولی بصورت مفصل فـرض شده و از انتقال لنگر به ورقها و تغییر مکان گرهها صرف نظر شده اسـت .در سـال ۱۹۳۲ Gruber با در نظر گرفتن تغییر مکان گره ها وپیوستگی صفحات باعث پیشرفت در نحـوه تحلیل صفحات تاشده گردید.و در روش خود از یک سـری معـادلات دیفرانسـیل مرتبـه چهار استفاده نمود که بوسیله سری هایی که بسرعت همگرا می شوند قابل حل بود روش وی نشان داد که فرض مفصلی وگیردار بودن گرهها اثر قابل توجه ای برروی نتـایج لنگـر وتنشهای صفحه می گذارد .در سال ۱۹۵۳ Graemer در مقاله خود با توجه به نسبت طول به عرض هر تاوه ،ورقهای تا شده را به دو گروه کوتاه وبلند طبقه بندی نمود.و نتایج خود را اعلام نمود . یک پیشرفت مهم در تحلیل ورقهای تا شده در سال ۱۹٤۷ توسـط Wiinter و Pei صورت گرفت . در این روش که مشابه روش قدیمی توزیـع لنگـر بـود از روابـط جبری محاسبه توزیع تنش کاسته شد و چون از تغییر مکـان گرهـها صـرف نظـر گردیـد روش مفیدی برای حل ورقهای تا شده کوتاه بـود در سـال ۱۹٤۸ Grikman بـا در نظـر گرفتن تغییر مکان گرهها و اثر آنها بر روی لنگرهای عرضی و تنشهای طولی باعث توسعه در نحوه آنالیز ورقهای تا شده گردید .نتایج این روش از حل معادلات چنـد مجـهولی بـر اساس لنگرهای عرضی بدست می آید .

در سال ۱۹٥٤ Gaafar[6] با در نظر گرفتن اثر تغییر مکان گرهـها روش Winter و Pei را اصلاح نمود .

در سال ۱۹٥۷ توسط Goldberg روش جالبی برای آنالیز ورقهای تا شده منشـوری ارائـه شد. روش وی مشابه روش شیب افت در حل قابها می باشد.

در سال ۱۹٥۸ توسط Simpson [7] یک روش جدید و پیشـرفته مبتنـی بـر اثـر لنگـر و توزیع تنش ارائه گردید.درسال ۱۹٥۹ Whitney با تغییراتی در روش Girkman یک روش

۱- منبع شماره ٥