Archive of SID

تعمیر و تقویت صفحه مربعی با بریدگی مرکزی بوسیله وصله‌های تک لایه کامپوزیتی

جلیل رضایی پژند[1*]، هادی صبوری[2]

۱- استادیار گروه مکانیک، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد

*مشهد، صندوق پستی ۱۱۱۱- ۹۱۷۷۵

jrezaeep@ferdowsi.um.ac.ir

(دریافت مقاله: تیر ۱۳۸۲، اردیبهشت ۱۳۸۳)

چکیده ـ در تحقیق حاضر، اصول و مبانی تعمیر و تقویت سازه‌ها به کمک مواد مرکب شرح داده می شود. روش اجزای محدود ـ که عنوان روشی مناسب و انعطاف‌پذیر در زمینه تحلیل و بررسی اتصالات وصله‌های کامپوزیتی به سازه‌های فلزی شناخته شده ـ و روش سه لایه‌ای، برای تبدیل مدلهای سه بعدی این گونه اتصالات به مدلهای دوبعدی بررسی می‌شود. یک صفحه مربعی آلومینیمی با بریدگی دایروی در مرکز به عنوان یک جزء سازه‌ای آسیب دیده یا ضعیف در نظر گرفته شده و با استفاده از تک لایه برن- اپوکسی، ترمیم یا تقویت یک‌طرفه آن به کمک مواد مرکب بررسی می‌شود. در این مطالعه، فرکانس پایه به عنوان معیار تحلیل و طراحی وصله در نظر گرفته شده و با استفاده از وصله‌های تک لایه مربعی، مربعی توخالی، دایروی و حلقوی، و تغییر زاویه الیاف آنها، چگونگی تغییرات نسبت فرکانسی صفحه ترمیم یا تقویت شده نسبت به صفحه سالم مورد توجه قرار می‌گیرد. با توجه به بررسیهای انجام گرفته، مشاهده می شود که در هر حالت، می توان وصله‌ای را پیشنهاد کرد که با استفاده از آن صفحه دارای بریدگی، فرکانس پایه نزدیکی به صفحه نمونه سالم داشته باشد.

کلید واژگان: تعمیر؛ تقویت؛ مواد مرکب پلیمری؛ فرکانس پایه؛ روش اجزای محدود.

۱- مقدمه

در بسیاری از موارد، تعمیر یک جزء سازه‌ای با استفاده از مواد مناسب، عملی‌تر و اقتصادی‌تر از تعویض آن به نظر می رسد. از طرفی مواد مرکب پلیمری، از خواص و مزایای قابل توجهی نسبت به مصالح سنتی برخوردارند. مهمترین این خواص عبارت است از:

- نسبت استحکام به وزن بالا،
- نسبت سفتی به وزن بالا،
- مقاومت در برابر خوردگی،
- سادگی کار با آنها،
- تنوع روشهای تولید.

لذا این مواد در سالهای اخیر به‌شدت مورد توجه مهندسان و طراحان قرار گرفته‌اند و لذا در برخی از موارد، تعمیر و تقویت سازه‌ها با استفاده از آنها عملی و مفید به نظر می‌رسد.

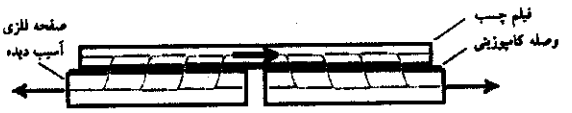
ایده استفاده از وصله‌های کامپوزیتی، در سال ۱۹۷۰ در آزمایشگاههای تحقیقات هوانوردی استرالیا توسط

www.SID.ir

Archive of SID

بیکر[1] برای تعمیر هواپیمای نیروی هوایی آن کشور پیشنهاد شد و به‌سرعت مورد توجه قرار گرفت [۱].

از مهمترین مسائل در این روش، ایجاد اتصال مناسب بین قطعه مبنا و وصله تقویت‌کننده کامپوزیتی است. در بیشتر موارد با استفاده از لایه نازک چسب مناسب می‌توان اتصال مطلوبی را بین دو جزء برقرار کرد. به این ترتیب امکان تغییر مسیر بار از سازه آسیب دیده به وصله کامپوزیتی، به شکلی فراهم می شود که وصله تقویت‌کننده، مانند یک پل، تنش ایجاد شده در ناحیه خسارت دیده را به سایر نواحی انتقال می دهد. واسطه این انتقال، لایه چسب است. مکانیزم عملکرد ورق تقویت‌کننده در شکل ۱ نشان داده شده است[۱].



شکل ۱ مکانیزم عملکرد وصله تقویت‌کننده

در تعمیر سازه، ممکن است قسمتهای آسیب دیده، از قطعه جدا شده و قطعه ای از جنس مواد مرکب، محل بریدگی و اطراف آنرا پر کند. اما در مبحث تقویت، معمولاً به حذف قسمتی از سازه نیاز نیست و با استفاده از مواد مرکب، فقط اطراف محل بریدگی پوشانده می‌شود. تعمیر و تقویت اجزای سازه‌ای، شباهت زیادی با یکدیگر داشته و برای دستیابی به اهداف زیر انجام می‌شود [۲-۷]:

- باز گرداندن استحکام و سفتی از دست رفته استاتیکی و یا پایداری الاستیک،
- افزایش دوام در بارگذاری خستگی،
- ارتقای ظرفیت باربری سازه.

در هر حال، وصله‌های کامپوزیتی به دلیل دارا بودن استحکام و سفتی بالا، قسمتی از بار وارد بر جزء سازه‌ای را تحمل می‌کنند. از طرف دیگر، وصله موجب کاهش ضریب حساسیت تنش یا ضریب تمرکز تنش در قطعه مبنای ترک خورده یا آسیب دیده می‌شود [۵].

مهمترین وصله های مورد استفاده در اتصالات چسبی، کربن(گرافایت)- اپوکسی و برن- اپوکسی است که در این میان، برن- اپوکسی به دلیل داشتن ضریب انبساط حرارتی متناسب با آلومینیم، بیشترین کاربرد را در صنایع هوا- فضا دارد [۸]. برخی از معیار های انتخاب روش ترمیمی مناسب عبارت است از [۲]:

- حداقل بودن هزینه تمام شده،
- حداقل بودن افزایش وزن،
- ساده بودن فرایند ترمیم،
- حداقل بودن زمان متوقف سازی (یا تعطیلی) جزء سازه‌ای برای تعمیر.

به این ترتیب با توجه به این معیارها و خواص مواد مرکب، می توان استفاده از آنها را در ترمیم و تقویت سازه‌ها مناسب و معقول دانست.

۲- مرور تحقیقات انجام گرفته

بیشتر تحقیقات انجام شده در زمینهٔ ترمیم سازه ها به کمک مواد مرکب، بر دو موضوع تعیین میدان تنش در اتصالات و ترمیم صفحات حاوی ترک متمرکز است.

اولین بررسی اتصالات چسبی در سال ۱۹۳۸ توسط ولکرسن[2] انجام شد. وی، فیلم چسب را به شکل توزیع پیوسته ای از فنرهای برشی مدل کرد. تحقیق بعدی در این زمینه در سال ۱۹٤٤ توسط گولند[3] و رایزنر[4] برای بررسی اتصال بین دو قطعه بتونی انجام شد. در این مدل، اثر عدم تقارن و خروج از مرکزی اتصال نیز در نظر گرفته شد[۹].

بین سالهای ۱۹۷۰ تا ۱۹۸۰، هارت اسمیت[5] انواع مختلفی از اتصالات چسبی با هندسه و خواص مکانیکی

1. Baker

2. Volkersen
3. Golkand
4. Risner
5. Hart Smith

www.SID.ir

Archive of SID

مختلف را بررسی کرد. نتایج تحقیقات وی به صورت نرم‌افزاری به نام A4EI ارائه شد که به‌طور گسترده ای در صنایع هوا فضا استفاده می‌شود. زیانگ[1] با ارائه حل شبه دو بعدی، توانست روش ساده‌تری را برای این گونه اتصالات ارائه دهد[۵].

بستی[2] و همکاران [۳] با استفاده از روش اجزای محدود و به کمک روش سه لایه‌ای، تعمیر و تقویت صفحه فلزی را ـ که در آن سوراخ کوچک دایروی به عنوان حفره ایجاد شده ـ با استفاده از فیلم چسب و لایه کامپوزیتی از جنس کربن- اپوکسی مدل کرده و تأثیر عواملی مانند مدول لایه کامپوزیتی، ضخامت فیلم چسب و اندازه کشش اولیه در لایه کامپوزیتی را بر درصد کاهش ضریب شدت تنش و به تبع آن، افزایش عمر صفحه در بارگذاری خستگی بررسی کردند.

شوبه[3] و مال[4] [٤] با استفاده از تست تجربی و مدلسازی اجزای محدود به روش سه لایه‌ای، تعمیر یکطرفه ورق ضخیم آلومینیمی را ـ که در مرکز آن شیاری به عنوان ترک اولیه ایجاد شده بود ـ با استفاده از کامپوزیت برن- اپوکسی بررسی کردند. نتایج حاصل از روش عددی و آزمایشگاهی، حاکی از کاهش مؤثر ضریب شدت تنش و در نتیجه افزایش عمر صفحه ترمیم شده نسبت به حالت اولیه و صحت روش سه لایه‌ای در مدلسازی اتصالات باندی بود.

یانگ[5] و چن[6] [٦] با تعریف دو المان چند لایه سه بعدی به نامهای چندلایه بدون وصله[7] و چندلایه حاوی وصله[8]، ارتعاشات آزاد صفحات ترکدار کامپوزیتی را که به‌وسیله وصله های کامپوزیتی به صورت متقارن یا نامتقارن تعمیر شده بود ـ بررسی کردند. در تحقیق آنها، تأثیر پارامترهای مختلف هندسی وصله مانند طول، عرض، ضخامت و محل قرارگیری نسبی آن در روی صفحه ترکدار و همچنین اندازه ترک، در فرکانس پایه صفحات تعمیر شده با شرایط مرزی مختلف از قبیل ساده، گیردار و آزاد بررسی شد.

یه[9] و یو[10] [۷] با استفاده از روش اجزای محدود دوبعدی، معادلات ماتریسی حاکم بر ارتعاشات آزاد صفحات چند لایه کامپوزیتی را ـ که به‌وسیله اتصال تک پله ای[11] به یکدیگر متصل شده بودند ـ به دست آورده و با تعیین کوچکترین مقدار ویژه دستگاه معادلات، فرکانس پایه اتصال را در حالتهای مختلف محاسبه کردند. در مطالعه آنان، تاثیر پارامترهایی مانند آرایش زاویه‌ای لایه‌ها و سفتی و ضخامت فیلم چسب بر تغییرات فرکانس طبیعی اصلی اتصال بررسی شد.

چو[12] و لین[13] [۱۰] نقش وصله دوطرفه‌ای از جنس چند لایه برن - اپوکسی با آرایش‌های زاویه‌ای مختلف الیاف را بر تعمیر یک صفحه آلومینیمی ـ که روی آن ترک مایلی با زاویه ٤٥ درجه ایجاد شده و تحت بارگذاری دو محوری قرار داشت را بر تغییرات ضریب شدت تنش ترک مطالعه و زاویه بهینه قرارگیری الیاف چند لایه کامپوزیتی را تعیین کردند.

پای[14] و همکاران [۱۱] با بهره گیری از نرم افزار MSC/NASTRAN، تعمیر صفحه آلومینیمی حاوی ترک مرکزی را با استفاده از تک لایه کامپوزیتی از جنس برن- اپوکسی، به صورت دو بعدی مدلسازی و تأثیر محل و میزان جدایش در محل اتصال را بر تغییرات استحکام استاتیکی، فرکانسهای طبیعی، مد شیپ‌ها و بار کمانشی صفحه ترمیم شده نسبت به صفحه سالم بررسی کردند.

چای[15] [۱۲] ارتعاشات آزاد صفحه کامپوزیتی دارای

1. Xiong
2. Basetti
3. Shubbe
4. Mall
5. Yang
6. Chen
7. MLTUP
8. MLTPH
9. Yeh
10. You
11. single steped joint
12. Chue
13. Lin
14. Pai
15. Chai

www.SID.ir

Archive of SID

بریدگی مرکزی دایروی را به روش اجزای محدود و با کمک ANSYS مطالعه کرد. به این ترتیب که با ثابت نگاه داشتن جنس، تعداد لایه‌ها و ترتیب چیدن آنها و تغییر شرایط مرزی و ابعاد نسبی بریدگی، نقش عوامل فوق را در تغییرات فرکانسهای طبیعی صفحه دارای بریدگی بررسی کرد.

همانطور که ملاحظه می شود، بسیاری از بررسی های انجام گرفته در این زمینه به شکل عددی بوده و غالباً به روش اجزای محدود انجام شده است. روش اجزای محدود، روشی مناسب و نسبتاً دقیق برای تحلیل اولیه اتصالات چسبی بوده و تخمین بسیار مناسبی در مقدار و توزیع تنشها و کرنشها ارائه می دهد[۹]. مدلهای تهیه شده به این روش، معمولاً قابلیت بحث بر روی تأثیر خواص مکانیکی و ابعاد هندسی مختلف را در ویژگیها و کارایی اتصال را داشته و از این نظر، انعطاف پذیرند [٥].

جدا از مبحث ترک ـ که یکی از عیوب درون اجزای سازه‌ای است ـ انواع بریدگیها نیز سبب ایجاد ضعف و نقص در سازه می‌شوند. این بریدگیها ممکن است بر اثر کارکرد سازه به‌وجود آمده باشد، مانند اثابت پرتابه به بدنه؛ یا اینکه بر طبق نظر طراح در سازه‌ایجاد شده باشد؛ مانند بریدگیهایی که درون سازه هواپیما برای هدایت خطوط هیدرولیک، خطوط انتقال سوخت یا کابهای انتقال جریان الکتریکی تعبیه می شود. در هر یک از این حالتها، برای تعمیر یا تقویت این اجزا می توان از وصله‌های کامپوزیتی استفاده کرد. بدین منظور، مطالعه رفتار استاتیکی یا دینامیکی اعضا پس از ترمیم یا تقویت، ضروری به نظر می‌رسد. یکی از مباحث مهم در رفتار دینامیکی سازه‌ها، مبحث ارتعاشات آزاد و فرکانس طبیعی است. با توجه به اهمیت موضوع فرکانس طبیعی و اثر کارکرد در حوزه آن، باید از اندازهٔ تغییرات فرکانس طبیعی در حین تغییر وضعیت سازه از حالت سالم به وضعیت حاوی بریدگی و پس از ترمیم یا تقویت، آگاهی داشت. در این میان، فرکانس طبیعی اول ـ که به عنوان فرکانس طبیعی اصلی یا فرکانس پایه شناخته می شود ـ اهمیت ویژه ای دارد [٦، ١٢].

در تحقیق حاضر، برای پرهیز از مسائل مربوط به تخمین خسارت در سازه، یک صفحه آلومینیمی مربع شکل با بریدگی دایروی در مرکز، به عنوان جزء سازه‌ای آسیب دیده در نظر گرفته می شود. در ادامه مطالعات مؤلفان [١٣، ١٤]، انواع دیگری از ترمیم ها بررسی و فرکانس پایه در حالات صفحه سالم، پس از ایجاد بریدگی و پس از ترمیم یک‌طرفه، با انواع مختلف وصله‌ها تعیین می‌شود. وصله‌ها به شکل تک لایه اورتوتروپیک از جنس برن- اپوکسی با مساحت یکسان و شکلهای متفاوت در نظر گرفته شده و زاویه الیاف در آنها تغییر می‌کند. در هر حالت فرکانس پایه صفحه ترمیم یا تقویت شده، تعیین و سعی خواهد شد وصله‌ای معرفی شود که فرکانس پایه صفحه تعمیر و تقویت شده را به فرکانس پایه صفحه سالم نزدیک گرداند.

٣- مدلسازی اتصال به روش سه لایه‌ای

روش سه لایه‌ای که بر اساس تئوری صفحات میندلین[1] پایه گذاری شده، مدل سه بعدی شامل صفحه مبنا، فیلم چسب و لایه کامپوزیتی را به سه صفحه تبدیل کرده و یک مدل دو بعدی ارائه می‌کند. بدین ترتیب، زمان تحلیل به شدت کاهش یافته و بعضی از مسائل مربوط به تحلیل اجزای محدود سه بعدی برطرف می‌شود. صحت این روش در تعدادی از مقالات به اثبات رسیده است [٣، ٤]. در این مطالعه نیز از روش سه لایه‌ای برای مدلسازی استفاده می‌شود.

٤- شرح مدل

صفحه مبنا به شکل مربعی به ابعاد ١×٢٠٠×٢٠٠ میلیمتر از جنس آلومینیم 2024-T3 انتخاب شده است. در مرکز

1. Mindlin

www.SID.ir

Archive of SID

این صفحه یک بریدگی دایروی به شعاع ۳۰ میلیمتر به عنوان خسارت در نظر گرفته می شود. وصله کامپوزیتی از جنس کامپوزیت برن- اپوکسی B5.6/5505 به شکل مربع با ابعاد ۱×۱۰۰×۱۰۰ میلیمتر و فیلم چسب از خانواده اپوکسی به ابعاد ۰/۲×۱۰۰×۱۰۰ میلیمتر انتخاب شده است. خواص مواد فوق در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱ خواص مواد مورد استفاده

برن- اپوکسی	اپوکسی	آلومینیم
E_1=۲۰۱Gpa	E=۲/۵۵Gpa	E=۷۰/۰۲Gpa
$E_2=E_3$=۲۱/۷Gpa	υ=۰/۳۲	υ=۰/۳۲
G_{12}=۵/۴Gpa	ρ=۱۲۰۰kg/m^3	ρ=۲۷۰۰kg/m^3
υ_{12}=۰/۱۷		
ρ=۲۰۳۰kg/m^3		

۵- روش اجزای محدود مورد استفاده

برای تحلیل اجزای محدود از بسته نرم افزاری ANSYS استفاده شده است. لایه فلزی به‌وسیله المان هشت گرهی ایزوپارامتریک shell 93 با شش درجه آزادی در هر گره مش‌بندی می‌شود. از المان هشت گرهی لایه‌ای ایزوپارامتریک shell 91 برای مش‌بندی لایه کامپوزیتی و چسب استفاده می شود. به این ترتیب ماده مرکب و چسب، هر یک به عنوان یک لایه مستقل از المان لایه‌ای در نظر گرفته می شود. اتصال بین لایه فلزی و مجموعه فیلم چسب و وصله کامپوزیتی با استفاده از دستور کوپل[1] تعریف می‌شود. حل معادلات مربوط به ارتعاشات آزاد (تحلیل مدال) توسط روش زیر فضا[2] انجام گرفته و ریز کردن المانها تا رسیدن به همگرایی در پاسخها ادامه می‌یابد [۱۵].

۶- نتایج به دست آمده

فرکانس پایه صفحه سالم با استفاده از روش تحلیلی [۱۶] برابر ۷۷۱/۱۶ Rad/s و با استفاده از روش اجزای محدود برابر ۷۳۶/۶۰Rad/s به دست می آید و فرکانس پایه صفحه حاوی بریدگی به روش اجزای محدود برابر ۷۵۲/۴۷Rad/s می‌شود. فرض می شود که اتصال بین اجزای به صورت کامل برقرار بوده و هیچ گونه جدایشی در فصل مشترک صفحه فلزی و فیلم چسب و در فصل مشترک فیلم چسب و تک لایه کامپوزیتی وجود ندارد. اکنون پارامتر بدون بعد نسبت فرکانسی به صورت زیر تعریف می شود:

$$\text{نسبت فرکانسی} = \frac{\text{فرکانس پایه صفحه تعمیر یا تقویت شده با وصله}}{\text{فرکانس پایه صفحه سالم}}$$

هر دو پارامتر نسبت فرکانسی با استفاده از روش اجزای محدود تعیین می‌شود. سپس نمودار تغییرات نسبت فرکانسی بر حسب زاویه الیاف وصله ترسیم شده است. شش حالت برای تعمیر و تقویت صفحه آلومینیمی با استفاده از وصله کامپوزیتی بررسی می‌شود. در تمامی حالتها، مساحت وصله و در حقیقت مقدار ماده کامپوزیت مصرفی، ثابت بوده و بدون تغییر است. اکنون حالات بررسی شده و نتایج به دست آمده به صورت زیر ارائه می‌شود.

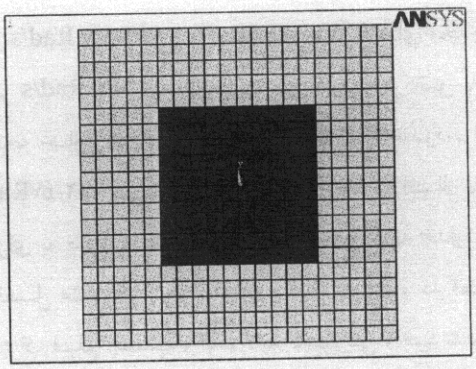
۶-۱- تقویت صفحه سالم با استفاده از وصله مربعی

در این حالت به‌منظور تقویت صفحه مربعی سالم، وصله‌ای به آن متصل می شود. این حالت در شکل ۲ و نمودار نسبت فرکانسی در شکل ۳ رسم شده است. همانطور که مشاهده می شود، با تغییر زاویه الیاف وصله از صفر تا ۹۰ درجه، نسبت فرکانسی صفحه تقویت شده (و در واقع فرکانس پایه آن) روندی صعودی- نزولی را از خود نشان می‌دهد و همیشه مقداری کمتر از واحد را اختیار می‌کند.

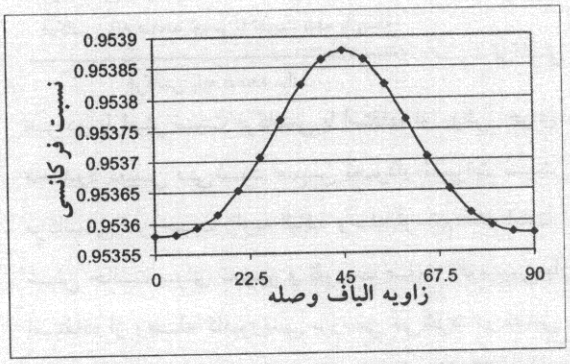
1. couple
2. subspace method

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۲ تقویت صفحه سالم با استفاده از وصله مربعی



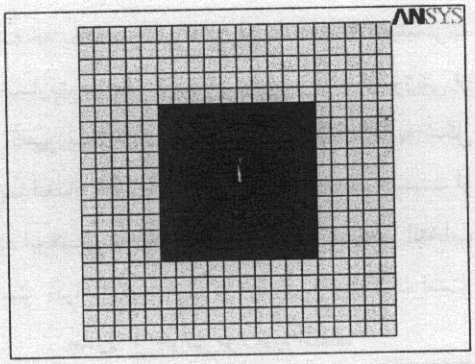
شکل ۳ تغییرات نسبت فرکانسی بر حسب تغییرات زاویه الیاف وصله برای تقویت نشان داده شده در شکل ۲

٦-٢- تعمیر صفحه حاوی بریدگی با وصله مربعی

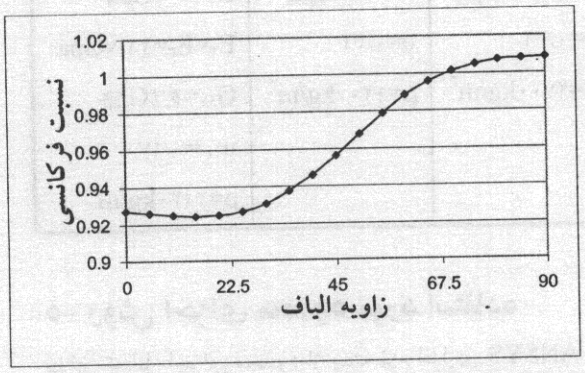
در این حالت، وصله محل بریدگی و اطراف آنرا پر می‌کند. این حالت در شکل ٤ و نمودار نسبت فرکانسی در شکل ٥ نشان داده شده است. مشاهده می شود که با افزایش زاویه الیاف وصله، نسبت فرکانسی در ابتدا سیری نزولی جزئی داشته و سپس افزایش یافته و در زاویه الیاف ٦٠ درجه برابر واحد می‌شود. این پدیده به این معنا است که اگر از تک لایه های با زاویه الیاف ٦٠ درجه برای تعمیر استفاده شود، صفحه ترمیم شده فرکانس پایه ای برابر با صفحه سالم خواهد داشت.

٦-٣- تقویت صفحه حاوی بریدگی با وصله مربعی

در این حالت، وصله، فقط اطراف محل بریدگی را پر

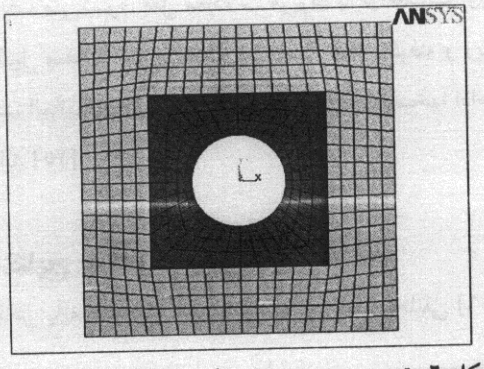


شکل ٤ تعمیر صفحه حاوی بریدگی با استفاده از وصله مربعی.



شکل ٥ تغییرات نسبت فرکانسی بر حسب تغییرات زاویه الیاف وصله برای تعمیر نشان داده شده در شکل ٤

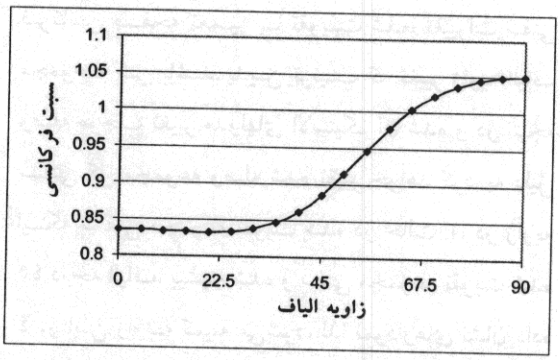
کرده است. این حالت در شکل ٦ و نمودار نسبت فرکانسی در شکل ٧ نشان داده شده است. با تغییر زاویه الیاف وصله از صفر تا ٩٠ درجه، نسبت فرکانسی در ابتدا ثابت بوده و سپس افزایش می یابد و در زاویه الیاف ٦٤ درجه، برابر واحد می شود.



شکل ٦ تقویت صفحه حاوی بریدگی با استفاده از وصله مربعی

www.SID.ir

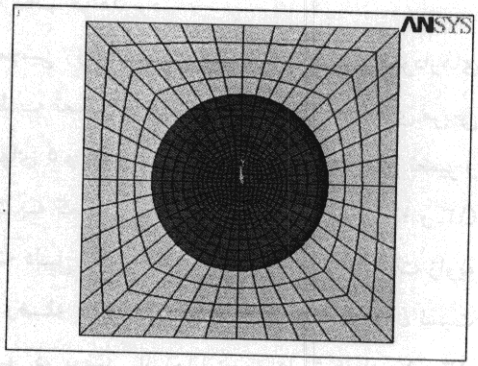
Archive of SID



شکل ۷ تغییرات نسبت فرکانسی بر حسب تغییرات زاویه الیاف وصله برای تقویت نشان داده شده در شکل ٦

٦-٤- تقویت صفحه سالم با وصله دایروی

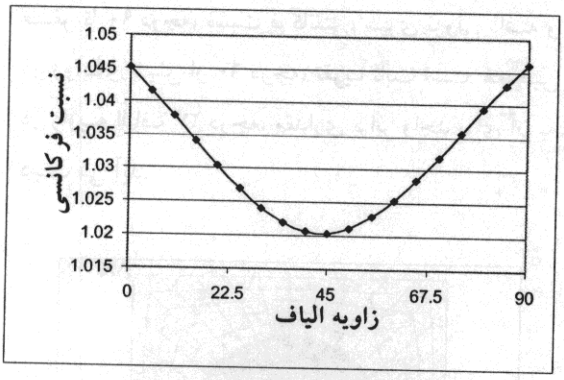
در این حالت برای تقویت صفحه مربعی سالم، وصله‌ای دایروی به آن متصل می شود. این حالت در شکل ۸ و نمودار نسبت فرکانسی در شکل ۹ رسم شده است. در اثر تغییر زاویه زاویه الیاف وصله از صفر تا ۹۰ درجه، نسبت فرکانسی صفحه تقویت شده روندی نزولی- صعودی داشته و همواره بزرگتر از واحد است.



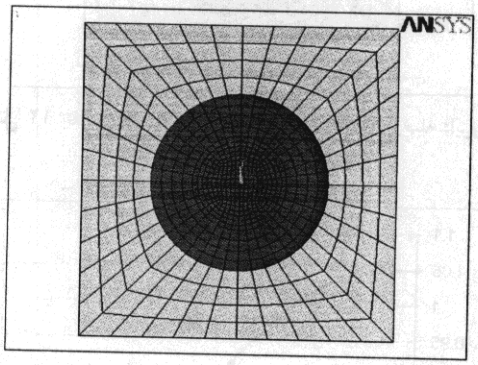
شکل۸ تقویت صفحه سالم با استفاده از وصله دایروی

٦-٥- تعمیر صفحه حاوی بریدگی با وصله دایروی

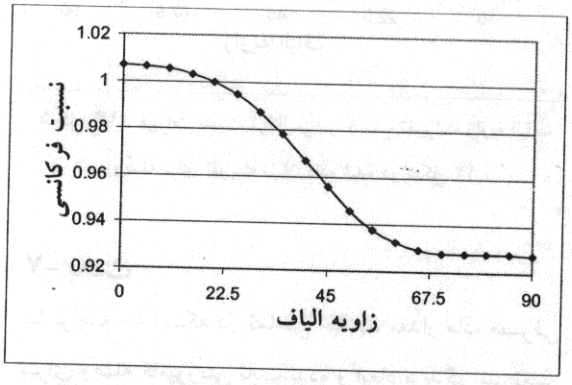
این حالت در شکل ۱۰ و نمودار نسبت فرکانسی آن در شکل ۱۱ نشان داده شده است. همان گونه که مشاهده می‌شود، در زاویه الیاف کمتر از ۲۰ درجه، نسبت فرکانسی بزرگتر از ۱ است. با افزایش زاویه الیاف وصله، نسبت فرکانسی، روندی نزولی را طی کرده و در زاویه الیاف بیش از ۷۰ درجه، مقدار نسبتا ثابتی ارائه می‌دهد.



شکل ۹ تغییرات نسبت فرکانسی بر حسب تغییرات زاویه الیاف وصله برای تقویت نشان داده شده در شکل ۸



شکل ۱۰ تعمیر صفحه حاوی بریدگی با استفاده از وصله دایروی



شکل ۱۱ تغییرات نسبت فرکانسی بر حسب تغییرات زاویه الیاف وصله برای تعمیر نشان داده شده در شکل ۱۰

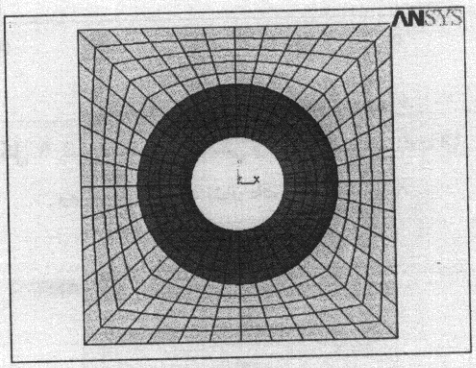
٦-٦- تقویت صفحه حاوی بریدگی با وصله دایروی

این حالت در شکل ۱۲ و نمودار نسبت فرکانسی در شکل ۱۳ نشان داده شده است. بر اثر تغییر زاویه الیاف وصله از

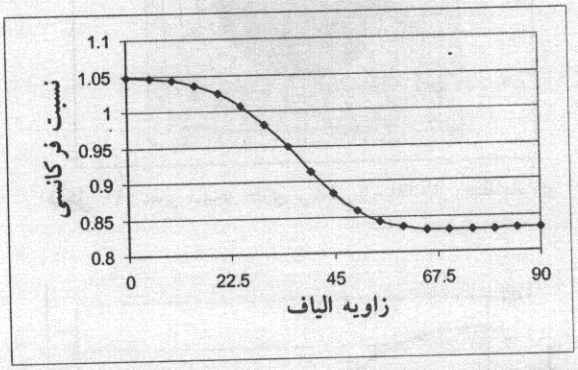
www.SID.ir

Archive of SID

صفر تا ۹۰ درجه، نسبت فرکانسی، سیری نزولی داشته و در زوایای بیش از ٦۰ درجه، تقریباً ثابت است. همچنین در زاویه الیاف ۲۷ درجه، مقداری برابر واحد برای آن به دست می آید.



شکل ۱۲ تقویت صفحه حاوی بریدگی با استفاده از وصله دایروی



شکل ۱۳ تغییرات نسبت فرکانسی بر حسب تغییرات زاویه الیاف وصله برای تقویت نشان داده شده در شکل ۱۲

۷- بحث

با توجه به اینکه در تمامی حالتها، مقدار ماده مصرفی برای وصله کامپوزیتی ثابت بوده و ابعاد بریدگی نیز تغییر نمی کند، بنابراین هم در حالتهای ۱ و ٤ و هم در حالات ۲، ۳، ۵ و ٦ جرم کل مجموعه تعمیر یا تقویت شده یکسان خواهد بود. اما از آنجا که فرکانس طبیعی سازه، رابطه‌ای مستقیم با سفتی آن و رابطه معکوس با جرم و اینرسی دارد و با توجه به ثابت بودن جرم در مجموعه حالات ذکرشده، می توان نتیجه گرفت که تنها عامل تغییر فرکانس صفحه تعمیر یا تقویت شده، تغییرات سفتی مجموعه می باشد. بدین ترتیب که تغییر زاویه الیاف وصله موجب تغییر مدولهای الاستیک آن شده و در نتیجه سفتی کل مجموعه وصله شده تغییر خواهد کرد. به دلیل اینکه سفتی مجموعه تقویت شده در حالت ۱، در زاویه ٤۵ درجه الیاف، بیشینه شده و سفتی مجموعه تقویت شده ٤ در این زاویه کمینه می‌شود، لذا نمودارهای نشان داده شده در شکلهای ۳ و ۹ به‌ترتیب روندی صعودی- نزولی و نزولی- صعودی را طی خواهند کرد. همانطور که مشاهده می شود، نسبت فرکانسی صفحه سالم تقویت شده با وصله مربعی، همواره کمتر از واحد و نسبت فرکانسی صفحه سالم تقویت شده با وصله دایروی، همواره بیشتر از واحد خواهد بود. بدین معنا که فرکانس پایه صفحه سالم تقویت شده با وصله مربعی، همواره کمتر از فرکانس صفحه سالم و فرکانس صفحه سالم تقویت شده با وصله دایروی، همواره بیش از فرکانس صفحه سالم خواهد بود.

همچنین روند صعودی نسبت فرکانسی در نمودارهای مربوط به تعمیر و تقویت به کمک وصله‌های مربعی (شکلهای ۵ و ۷) و سیر نزولی آن در نمودارهای تعمیر و تقویت به کمک وصله‌های دایروی (شکلهای ۱۱ و ۱۳) تنها به دلیل تغییر سفتی مجموعه در اثر تغییرات زاویه الیاف وصله کامپوزیتی است. به‌علاوه، ثابت بودن نسبت فرکانسی در بعضی از زوایا در نمودار شکلهای ۷ و ۱۳، به علت ثابت ماندن تقریبی سفتی کل مجموعه در این زوایا است. نسبت فرکانسی به دست آمده از این نمودارها، در بعضی از زوایا کمتر و در بعضی از زوایا بیشتر از ۱ بوده و در زاویه خاصی برابر واحد می‌شود. بدین معنا که در این حالت، ترمیم یا تقویت ارائه شده، موجب یکسان شدن فرکانس پایه صفحه حاوی بریدگی وصله شده با صفحه سالم می‌شود. مقدار زوایای مربوط به این حالت به ترتیب برای نمودار شکلهای ۵، ۷، ۱۱ و ۱۳ برابر ٦۸، ٦٤، ۲۰ و ۲۷ درجه است.

www.SID.ir

Archive of SID

۸- نتیجه گیری

در تحقیق حاضر، مبانی و اهداف تعمیر و تقویت سازه‌ها به کمک مواد مرکب شرح داده شد. روش اجزای محدود به عنوان روشی کارا و انعطاف پذیر در زمینه تحلیل و طراحی این گونه اتصالات معرفی شده و تکنیک سه لایه‌ای برای این منظور بررسی شد. از آنجا که این گونه اتصالات را از دیدگاههای مختلفی می‌توان تحلیل و بررسی کرد، معیار فرکانس پایه به عنوان یکی از ملاکهای مهم در طراحی و تحلیل این گونه اتصالات انتخاب شد. فرایند تعمیر و تقویت اجزای سازه‌ای به کمک مواد مرکب برای صفحه آلومینیمی حاوی بریدگی در مرکز، با استفاده از وصله‌های تک لایه با وزن یکسان، به شکلهای مختلف مربعی و دایروی از دیدگاه اولین فرکانس طبیعی بررسی شد. با تغییر زاویه الیاف وصله در هر مورد، ترمیم یا تقویتی برای صفحه حاوی بریدگی معرفی شد که فرکانس پایه صفحه دارای بریدگی وصله شده را به فرکانس صفحه سالم نزدیک کند.

۹- منابع

[1] Baker, A. A. and Jones, R., "Bonded Repair of Aircraft Structures", Martinus Nighoff Pub., 1988.

[2] Barry, D.J., "Consideration of Repairability in Design of Polymer Composite Structures", International Conference on Design Cost Effective Composites, 1998.

[3] Bassetti, A., Colombi, P. and Nussbaumer, A., "Finite Element Analysis of Steel Members Repaired by Prestressed Composite Patch", IGF 2000, XV Congresso Nazionale Del Gruppo Italiano Frattura, Bari, 3-5 Maggio 2000.

[4] Schubbe, J.J. and Mall, S., "Modeling of Cracked Thick Metallic Structure with Bonded Composite Patch Repair Using Three-Layer Technique", Composite Structures, Vol. 45, pp. 185-193,1999.

[5] Xiong, Y., "An Analytical Model For Stress Analysis and Failure Prediction of Bonded Joints with Tapered Edges", Institute For Aerospace Research, National Research Council Canada, Ottawa, Canada, K1AOR6, 1995.

[6] Yang, Shau-Hwa and Chen, Wen-Hwa, "Free Vibration Analysis of Patched Cracked Composite Laminates Using a Multiplayer Hybrid-Stress Finite Element Method", Engineering Fracture Mechanics, Vol. 54, No. 4, pp. 557-568, 1996.

[7] Yeh, Meng-Kao and You, Yui-Long, "Vibration of Laminated Plates with Adhesive Joints", Composite Engineering, Vol. 5, pp. 983-993, 1995.

[8] Wang, .Q.Y. and Pidaparti, R.M.; "Static Characteristics and Fatigue Behavior of Composite-Repaired Aluminum Plates", Composite Structures, Vol. 56, pp. 151-155, 2002.

[9] Mortensen, F. and Thomsen, O.T., "Analysis of Adhesive Bonded Joints: a Unified Approach", Composite Science and Technology, Vol. 62, pp. 1011-1031, 2002.

[10] Chue, Ching-Hwei and Liu, Jin-Chee, "The Effects of Laminated Composite Patch with Different Stacking Sequence on Bonded Repair", Composite Engineering, Vol. 5, pp. 223-230, 1995.

[11] Pai, P. Frank, Naghshineh-Pour, Amir H., Schulz, Mark J. and Chumng, Jaycee, "Dynamic Characteristics and Buckling of Composite-Repaired Aluminum Plates", Finite Elements in Analysis and Design, Vol. 28, pp. 255-275, 1998.

[12] Chai, Gin Boay, "Free Vibration of Laminated Composite Plates with a Central

www.SID.ir

Archive of SID

Circular Hole", *Composite Structures*, Vol. 35, pp. 357-368, 1996.

[۱۳]رضائی پژند، جلیل و صبوری، هادی، "بررسی پارامترهای موثر در ارتعاشات آزاد صفحه فلزی حاوی بریدگی تقویت شده با patch (وصله) کامپوزیتی"، مجموعه مقالات اولین کنفرانس بهسازی و ایمن سازی سازه‌ها، تهران، اردیبهشت ماه ۱۳۸۱.

[۱٤]رضائی پژند، جلیل و صبوری، هادی، "رفتار ارتعاشی پنلهای تعمیر و تقویت شده با مواد مرکب چند لایه"، مجموعه مقالات اولین کنفرانس سازه‌های جدار نازک ایران، ارومیه، اسفند ماه ۱۳۸۱.

[15] ANSYS Revision 5.4 User's Manual.

[16] Vinson, Jack R., "The Behavior of Thin Walled Structures, Beams, Plates, and Shells", Kluwer Academic Publishers, 1989.

www.SID.ir