

بررسی تاثیر پارامترهای مختلف بر توزیع تنش صفحه غیرهمسانگرد حاوی بریدگی مرکزی و تحت کشش

محمد جعفری^۱، جلیل رضایی پژند^۲

^۱ دانشجوی دکتری، دانشگاه فردوسی مشهد، گروه مکانیک؛ mojaf2001@yahoo.com

^۲ دانشیار، دانشگاه فردوسی مشهد، گروه مکانیک؛ jrezaeep@ferdowsi.um.ac.ir

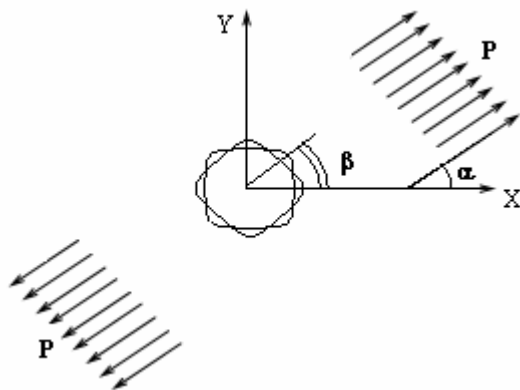
چکیده

صفحات حاوی بریدگی در کاربردهای صنعتی بسیاری دیده می‌شود. این بریدگیها در صفحات، معمولاً برای کاهش وزن سازه یا نیاز به راههای ورودی و خروجی در سازه ایجاد می‌شود. به خاطر تغییر هندسه صفحه در اثر این بریدگیها، تنش موضعی شدیدی در اطراف بریدگی ایجاد شده که تمرکز تنش نامیده می‌شود. پارامترهای متعددی از جمله شکل بریدگی، جهت گیری بریدگی (زاویه چرخش بریدگی)، زاویه بار، زاویه فایبر همچنین شعاع انحناى بریدگی بر روی توزیع تنش اطراف بریدگی در صفحات حاوی بریدگی که تحت کشش قرار می‌گیرند؛ تاثیرگذار است. در این مقاله با تکیه بر حل تحلیلی لختیستی که قبلاً فقط برای بریدگی دایره‌ای و بیضی استفاده می‌شد و بسط این حل به سایر بریدگیهای منظم هندسی، سعی شده است تا پارامترهای مذکور را مورد بررسی قرار داده و پارامترهای بهینه جهت دستیابی به کمترین ضریب تمرکز تنش معرفی گردد. این مقاله نشان می‌دهد که پارامترهای فوق بر تمرکز تنش موثر بوده و با انتخاب پارامترهای مناسب می‌توان به تمرکز تنشی حتی کمتر از بریدگی دایره‌ای دست یافت.

کلمات کلیدی: تمرکز تنش، حل تحلیلی، پارامترهای بهینه، ماده غیرهمسانگرد

فرضیات

مطابق شکل ۱ صفحه بی‌نهایتی که در مرکز دارای یک بریدگی است؛ مورد بررسی قرار می‌گیرد. ماده دارای رفتار الاستیک خطی است و صفحه تحت بار تک جهتی کششی در فاصله ای دور از بریدگی قرار می‌گیرد. مطابق شکل ۱ محور اصلی بریدگی در امتداد محور X است. زاویه چرخش بریدگی (β) نیز در این شکل نشان داده شده است. در این شکل α زاویه بار است.



شکل ۱: صفحه بی‌نهایت تحت کشش با بریدگی مرکزی

ماده بکار رفته در این تحقیق، CE9000 Glass/Epoxy

می‌باشد. که خواص آن در جدول ۱ موجود است.

جدول ۱: خواص مواد

مواد	E_1 (GPa)	E_2 (GPa)	G_{12} (GPa)	ν_{12}
CE9000 Glass/Epoxy	۴۷/۴	۱۶/۲	۷	۰/۲۶
S-glass/Epoxy	۴۳	۸/۹	۴/۵	۰/۲۷

کارهای انجام شده

با استفاده از نگاشت همنا و رابطه شوارتز محاسبه تنش ساده‌تر می‌شود. این روش اولین بار توسط ساوین^۱ [۱] مورد استفاده قرار گرفت. وی در مورد مواد همسانگرد برای بریدگیهای مختلف، و برای مواد غیرهمسانگرد فقط برای بریدگی بیضی حل‌هایی را ارائه داد. از همان روش، بریدگیهای دایره‌ای و بیضی مواد غیرهمسانگرد توسط لختیستکی^۲ [۲] مورد بررسی قرار گرفت. توزیع تنش اطراف بریدگی

مقدمه

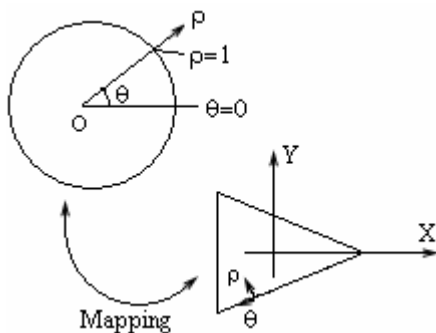
در کاربردهای عملی، طراح ناگزیر از ایجاد بریدگی در سازه است. در اثر وجود بریدگی به خاطر ایجاد تمرکز تنش قابلیت تحمل بار سازه کاهش می‌یابد. طراحی بهینه برای ساختارهای مختلف، در ارتقای طرح بسیار مهم است. برای دستیابی به این هدف اولین گام شناخت پارامترهای حاکم بر طراحی است. بعد از شناخت این پارامترها با مطالعه نحوه تاثیرگذاری آنها می‌توان برای رسیدن به طراحی بهینه گام برداشت. تحقیقات زیادی اخیراً توسط محققان مختلف در زمینه تمرکز تنش انجام شده است که خود دلیلی بر اهمیت بحث تمرکز تنش می‌باشد. اکثر این حل‌های تحلیلی و عددی برای بریدگی‌های منظمی مثل دایره و بیضی می‌باشند. این حل‌ها بطور کامل در مورد پارامترهای مختلف و حاکم بر مساله بحث نکرده‌اند. پس یک حل تحلیلی با در نظر گرفتن پارامترهای مختلف طراحی لازم به نظر می‌رسد. بررسی پارامترهای حاکم بر توزیع تنش از جمله زاویه بار، زاویه الیاف و همچنین بررسی سایر پارامترها و در نهایت معرفی پارامترها و بریدگی بهینه برای اولین بار در این مقاله مطرح شده است.

¹Savin
²Lekhniteskii

عنوان یک متغیر طراحی با در نظر گرفتن بریدگی در مرکز صفحه، بهینه سازی نمایند.

روش حل و مدل سازی

در مختصات منحنی الخط نشان داده شده در شکل ۲، تنش بصورت تابعی از دو تابع تنش $\psi_0(z_2)$ و $\phi_0(z_1)$ بیان می‌شود. توابع تحلیلی $\psi_0(z_2)$ و $\phi_0(z_1)$ علاوه بر فرم توابع انتگرالی که توسط ساوین [۱] تعریف شده‌اند؛ به فرمهای دیگری مثل سری لورنت نیز بیان می‌شوند.



شکل ۲: مختصات منحنی الخط

برای شرایط بارگذاری نشان داده شده در شکل ۱ تنش اطراف بریدگی در صفحات غیرهمسانگرد بصورت زیر بیان می‌شود:

$$\begin{aligned} \sigma_x &= 2 \operatorname{Re}[\mu_1^2 \phi_0'(z_1) + \mu_2^2 \psi_0'(z_2)] \\ \sigma_y &= 2 \operatorname{Re}[\phi_0'(z_1) + \psi_0'(z_2)] \\ \tau_{xy} &= -2 \operatorname{Re}[\mu_1 \phi_0'(z_1) + \mu_2 \psi_0'(z_2)] \end{aligned} \quad (1)$$

که $k=1,2$ می‌باشد. μ_1 و μ_2 در روابط بالا از معادله تعادل مربوط به مواد غیرهمسانگرد بدست می‌آید [۲]. با ترکیب روابط سازگاری به کمک تابع تنش $U(x,y)$ معادله تعادل برای ماده غیرهمسانگرد بصورت زیر است:

$$\begin{aligned} R_{22} \frac{\partial^4 U}{\partial x^4} - 2R_{26} \frac{\partial^4 U}{\partial x^3 \partial y} + (2R_{12} + R_{66}) \frac{\partial^4 U}{\partial x^2 \partial y^2} \\ - 2R_{16} \frac{\partial^4 U}{\partial x \partial y^3} + R_{11} \frac{\partial^4 U}{\partial y^4} = 0 \end{aligned} \quad (2)$$

در این رابطه R_{ij} اعضاء ماتریس نرمی کاهش یافته صفحه بوده که براساس فرض کرنش صفحه ای یا تنش صفحه ای تابعی از C_{ij} و S_{ij} می‌باشد. معادله فوق به کمک چهار اپراتور مشتق خطی مرتبه اول بصورت زیر بیان می‌شود [۲]:

$$D_1 D_2 D_3 D_4 U = 0 \quad (3)$$

$$D_i (i=1,2,3,4) = \frac{\partial}{\partial y} - \mu_i \frac{\partial}{\partial x}$$

که S_i جواب معادله مشخصه زیر است:

$$R_{11} \mu^4 - 2R_{16} \mu^3 + (2R_{12} + R_{66}) \mu^2 - 2R_{26} \mu + R_{22} = 0 \quad (4)$$

ثابت می‌شود که معادله فوق چهار ریشه موهومی دارد. چهار ریشه این معادله را می‌توان بصورت زیر نوشت:

$$\begin{aligned} \mu_{1,2} &= \alpha_1 \pm i\beta_1 \\ \mu_{3,4} &= \alpha_2 \pm i\beta_2 \end{aligned} \quad (5)$$

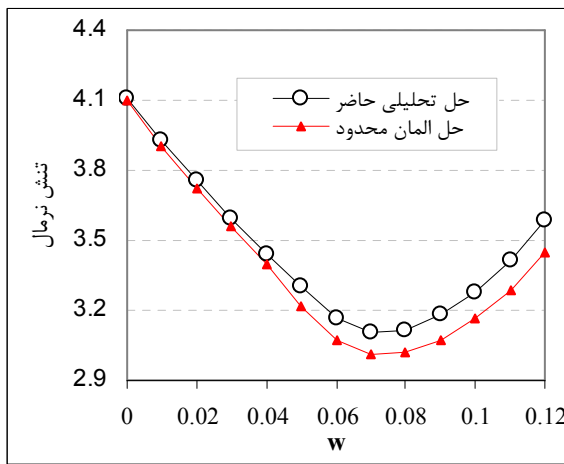
مثلث متساوی الاضلاع و تاثیر گوشه‌های بریدگی توسط تفوکاریس^۱ و پتروف^۲ [۳] بررسی شد. ابوالفتوح^۳ [۴] تنش تماسی اطراف بریدگیهای مختلفی مانند بیضی، دایره، مثلث و مربع را برای پوسته های کامپوزیتی فرمولبندی کرد. دائوست^۴ و هووا^۵ [۵] بریدگیهای مثلثی و دایره‌ای را تحلیل کردند. آنها در مقاله خود به کمک روش لختیتسکی به بررسی تاثیر شعاع انحنای بریدگی بر توزیع تنش اطراف بریدگی پرداختند؛ و با تعریف نسبت اضلاع بعنوان یک پارامتر، توانستند علاوه بر مثلث متساوی الاضلاع سایر مثلثهای با نسبت اضلاع مختلف را بررسی کنند. قاضی اسمر^۶ [۶] و همکارش با استفاده از همین روش، توزیع تنش اطراف بریدگی مربعی را در یک صفحه غیرهمسانگرد و تحت کشش مورد بررسی قرار دادند. آنها تاثیر انحنای بریدگی را نیز در نظر گرفتند. همچنین به تاثیر زاویه بار بر روی تمرکز تنش در این مقاله اشاره شده است.

در مقالاتی نیز توسط نویسندگان مقاله، بریدگیهای مختلف مورد تحلیل قرار گرفتند [۷] و [۸] و [۹]. ولی در هر یک از این مقالات تاثیر هر پارامتر به تنهایی مورد بررسی قرار گرفته است و پارامترهای حاکم بر تمرکز تنش در کنار هم مطالعه نشده‌اند. در مقاله حاضر به خوبی دیده می‌شود که تاثیر برخی از پارامترهای مختلف بر روی توزیع تنش در اطراف بریدگی به هم مرتبط هستند. این امر تاکیدی است بر اهمیت بررسی پارامترهای مذکور در کنار یکدیگر و مشخص کردن مقادیری از این پارامترها (متغیرهای طراحی) که منجر به کمترین ضریب تمرکز تنش گردد.

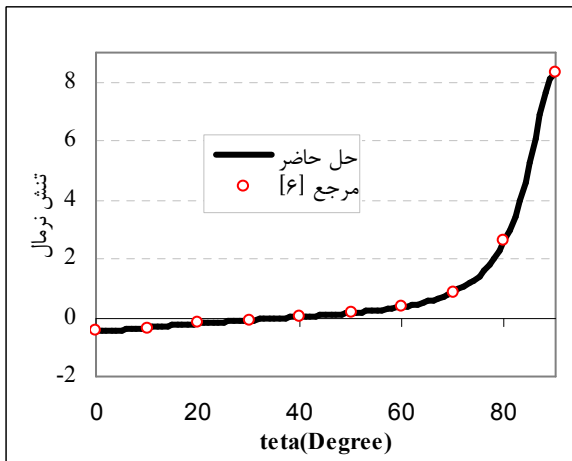
در زمینه بررسی تاثیر پارامترهای بهینه در تحلیل تنش صفحات حاوی بریدگی، تحقیقات مختصری صورت گرفته است. کالاهان^۷ و همکارش [۱۰] از اصول الگوریتم ژنتیک برای طراحی چند لایه‌های کامپوزیتی استفاده کردند. آنها با در نظر گرفتن جهت چرخش الیاف و چیدمان لایه‌ها به عنوان متغیرهای طراحی سعی در افزایش مقاومت چند لایه با کمترین وزن ممکن را داشتند. بریجنتی^۸ و همکارانش [۱۱] از روش الگوریتم ژنتیک به منظور معرفی بهترین شکل پیچ^۹ برای دستیابی به کمترین ضریب شدت تنش در یک صفحه ای که دارای ترک است، استفاده کردند. هدف در این تحقیق افزایش/کاهش برخی از خواص مکانیکی با ثابت نگهداشتن مساحت کلی پیچ (قید طراحی) بود. چو^{۱۰} و همکارانش [۱۲] توانایی روش بهینه سازی الگوریتم ژنتیک را در کاهش ضریب تمرکز تنش صفحات تحت کشش کامپوزیتی با توسعه برنامه روش اجزا محدود نشان دادند. آنها در این مقاله توانستند در هر لایه، زاویه الیاف را به

- 1. Theocaris
- 2. Petrou.
- 3. Abuefoutouh
- 4. Daoust
- 5. Hoa
- 6. Ghazi H. Asmar
- 7. Callahan
- 8. Roberto Brighenti
- 9. Patch
- 10. Cho

به توضیح است که قاضی اسمر در مقاله خود تأثیرات انحنای e با نشان داده است؛ حال آنکه در این مقاله، w نشان دهنده تأثیرات انحنای می‌باشد. در شکل ۶ برای حالت $e=1/9$ نتایج باهم مقایسه شده است.



شکل ۵: مقایسه حل تحلیلی حاضر و حل المان محدود برای بریدگی شبه مربعی در w های مختلف



شکل ۶: مقایسه توزیع تنش در اطراف بریدگی شبه مربعی حل حاضر با مرجع [۶]

مقایسه شکل بالا نزدیکی دو جواب را نشان می‌دهد. در مرجع ۶ قاضی اسمر نتایج خود را با حل لختیستکی نیز مقایسه کرده است. در مقالاتی که توسط نویسندگان این مقاله ارائه شده است؛ دلایل محکم دیگری برای تصدیق روش حل حاضر موجود می‌باشد [۹-۷].

نتایج

پارامترهایی که در این مقاله بررسی شده‌اند؛ زاویه بار، زاویه چرخش بریدگی، زاویه الیاف، انحنای بریدگی و در نهایت نوع بریدگی می‌باشند. این پارامترها را می‌توان متغیرهای طراحی نیز نامید. تابع هدف، دسترسی به کمترین مقدار تنش ممکن است. در ابتدا لازم است تا تنش مطلوب و نامطلوب که در این مقاله مورد استفاده قرار گرفته است؛ تعریف گردد. باتغییر زاویه چرخش بریدگی، در هر زاویه

در ابتدا با مشخص شدن جنس صفحه، معادله (۴) قابل حل بوده و ریشه‌های آن که مطابق رابطه (۵) دو به دو مزدوج نیز می‌باشند؛ بدست می‌آید. در ادامه به تعریف هندسه بریدگی برای اعمال شرایط مرزی و بدست آوردن تنش مطابق رابطه (۱)، نیاز است.

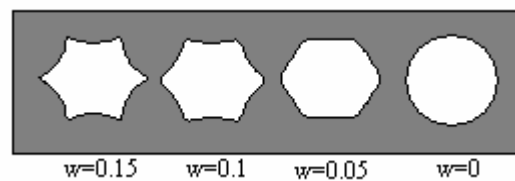
برای تعریف هندسه بریدگی از رابطه واحدی که توسط ابوالفتوح

[۴] بیان شده؛ استفاده می‌شود:

$$X = \lambda(\cos\theta + w\cos(n\theta)) \quad (6)$$

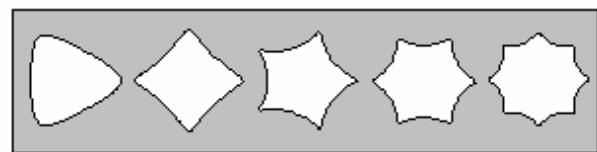
$$Y = -\lambda(\sin\theta - w\sin(n\theta))$$

در این رابطه پارامترهای مختلفی از قبیل λ و n و w و c دیده می‌شود. این پارامترها هم نوع شکل را نشان می‌دهند و هم بزرگی تیزی یا نرمی آن را. مثلاً c و n نشان‌دهنده نوع هندسه بریدگی است. λ بزرگی بریدگی را نشان می‌دهد و در بریدگیهای لبه دار، مقدار w ($w \geq 0$) مطابق شکل ۳ معیار تیزی یا نرمی انحنای بریدگی است. $w=0$ معادل بریدگی دایره‌ای است.



شکل ۳: تأثیر w برای بریدگی شش ضلعی

شکل ۴ بریدگیهای مختلف را در حالت زاویه چرخش صفر ($\beta=0$) نشان می‌دهد.



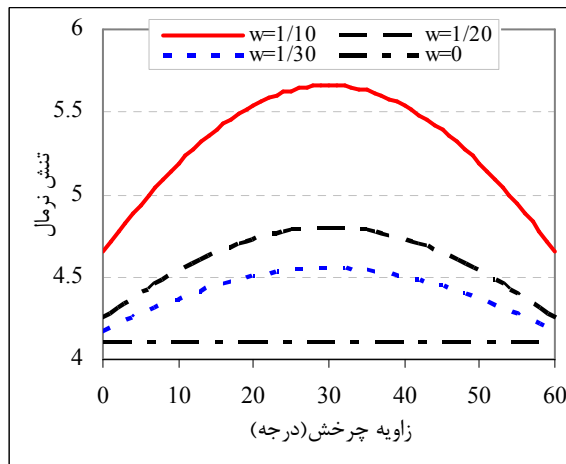
شکل ۴: بریدگیهای مختلف وقتی زاویه چرخش صفر است.

بعد از مدل کردن بریدگی، می‌توان شرایط مرزی را در اطراف بریدگی اعمال کرد و توابع تنش مناسبی را برای حل در نظر گرفت. سرانجام با داشتن توابع تنش می‌توان به تنشهای مختلف دست یافت [۴].

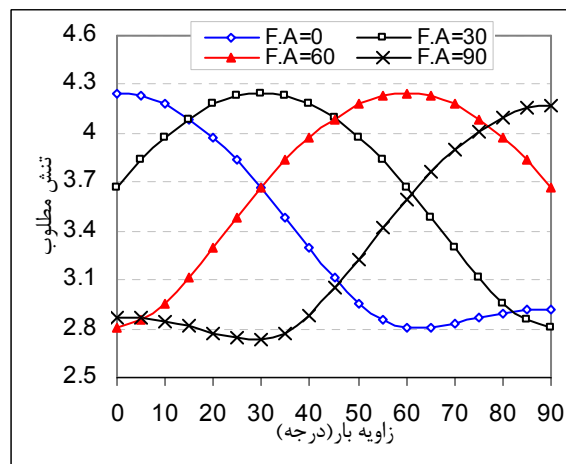
بررسی صحت نتایج

برای بررسی صحت جوابها و نتایج ارائه شده در این مقاله از روشهای عددی و کارهای انجام شده توسط دیگران استفاده شده است. شکل ۵ مقایسه بین حل حاضر و روش اجرا محدود یک صفحه غیرهمسانگرد با بریدگی شبه مربعی تحت زاویه چرخش ۴۵ درجه را نشان می‌دهد. تنش نرمال^۱ (تنش بی بعد) با تقسیم تنش مورد نظر به تنش صفحه سالم و بدون بریدگی بدست می‌آید. همخوانی نزدیکی در جوابهای ارائه شده توسط دو روش مشاهده می‌شود. شکل ۶ برای ماده S-Glass مقایسه بین حل تحلیلی حاضر و حل تحلیلی که در نتیجه تحقیقات قاضی اسمر بدست آمده را نشان می‌دهد. لازم

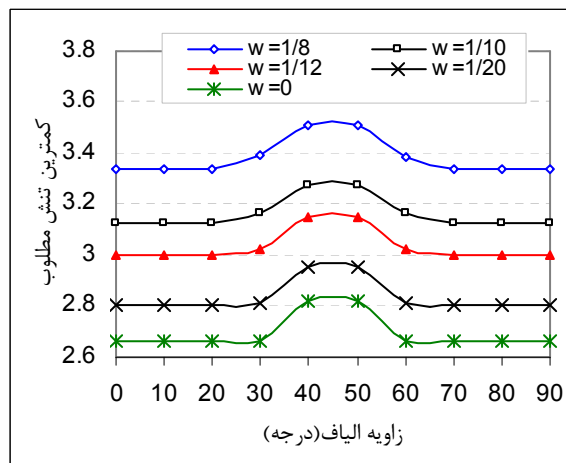
¹ Normalized Stress



شکل ۷: تاثیر زاویه چرخش روی تنش بی بعد حداکثر



شکل ۸: بررسی تاثیر زاویه بار بر روی تنش مطلوب در زوایای فایبر مختلف برای بریدگی مثلثی



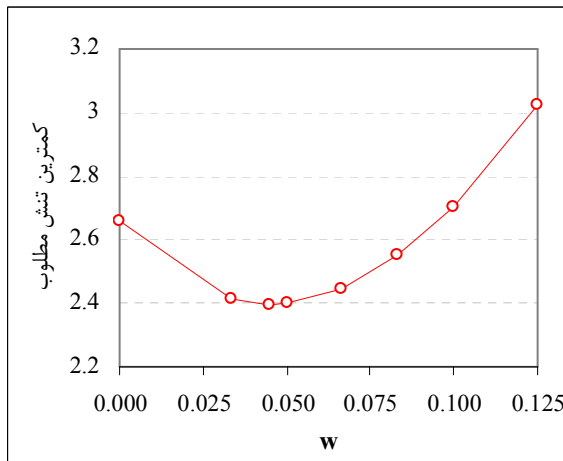
شکل ۹: کمترین تنش مطلوب بر حسب زاویه فایبر برای بریدگی مثلثی

در مورد بریدگی شبه مربعی، تنش مطلوب در زاویه ۴۵ درجه رخ می‌دهد. این نتیجه مطابق آنچه که برای بریدگی مثلثی بیان شد؛ و باتوجه به تعریف تنش مطلوب، فقط با در نظر گرفتن زاویه چرخش بریدگی به دست آمده است. اکنون لازم است تا برای این بریدگی تاثیر زاویه بار بررسی شود. در این حالت که نتیجه آن در شکل ۱۰

چرخش خاص یک تنش بی بعد ماکزیمم (بیشترین تنش ایجاد شده در اطراف بریدگی تقسیم بر تنش ایجاد شده در صفحه بدون بریدگی) در اثر کشش بدست می‌آید. پس اگر زاویه چرخش از صفر تا ۱۸۰ تغییر کند؛ به ازای هر زاویه چرخش یک تنش بی بعد ماکزیمم وجود دارد. از بین این تنشهای بی بعد ماکزیمم، کمترین و بیشترین مقدار به ترتیب تنش مطلوب و تنش نامطلوب نامیده شده است. در طراحی باید از تنش نامطلوب اجتناب کرد و به شرایط تنش مطلوب نزدیک شد. در ابتدا این مقاله از روش تحلیلی، تاثیر پارامترهای مختلف را به تنهایی نشان می‌دهد. سپس با تلفیق آنها، تاثیرات متغیرهای طراحی (پارامترهای طراحی) را در کنار یکدیگر مورد بحث قرار می‌دهد. در انتها با استفاده از جعبه ابزار نرم افزار مطلب از روش الگوریتم ژنتیک درستی جوابهای بدست آمده مورد تایید قرار می‌گیرد.

این مقاله بریدگیهای متعددی را در نظر می‌گیرد. برای هر بریدگی ابتدا زاویه چرخش بریدگی متناظر با تنش مطلوب محاسبه شده است. سپس برای یک w خاص در زوایای فایبر مختلف تاثیر زاویه بار بر روی تنش مطلوب مورد بررسی قرار گرفته، تا زاویه بار بهینه تعیین گردد. به منظور این که از نتایج غیر ضروری اجتناب گردد؛ لازم است تا مساله برای یک بریدگی بطور کامل ارائه، و سپس برای سایر بریدگیها فقط به نتایج لازم اکتفا شود. مطابق شکل ۷، برای بریدگی مثلثی زاویه چرخش بریدگی متناظر با تنش مطلوب، صفر یا ۶۰ درجه است [۱۳]. در این شکل، به دلیل رفتار تناوبی با دوره تناوب ۶۰ درجه، نتایج فقط در فاصله صفر تا ۶۰ درجه آورده شده است. اکنون مطابق با آنچه در شکل ۸ نشان داده شده؛ تاثیر زاویه بار بر تنش مطلوب در یک w خاص ($w=0.05$) مطالعه می‌شود. همانطور که از این شکل پیداست؛ تنش مطلوب تحت زوایای بار خاصی که باتوجه به مقدار زاویه فایبر تغییر می‌کند؛ کمترین است. مثلاً برای زاویه فایبر صفر درجه، کمترین تنش مطلوب در زاویه بار ۶۵ درجه رخ می‌دهد؛ ولی برای زاویه فایبر ۳۰ درجه این کمترین تنش مطلوب در زاویه بار ۹۰ درجه اتفاق می‌افتد. اگر این کمترین تنش مطلوب برای زوایای فایبر متعددی رسم شود مطابق آنچه که در شکل ۹ دیده می‌شود می‌توان نتیجه گرفت که این کمترین تنش مطلوب در بازه وسیعی از زاویه فایبر $[0 < F.A < 30]$ یا $[60 < F.A < 90]$ کمترین مقدار ممکن است. این شکل تاثیر w را نیز نشان می‌دهد. بنابراین برای این بریدگی مطابق شکل، w بهینه همان $w=0$ که مربوط به بریدگی دایره‌ای است؛ می‌باشد. زاویه چرخش بهینه صفر یا ۶۰ درجه است و زاویه فایبر بهینه می‌تواند در بازه های $(0 < F.A < 30)$ و $(60 < F.A < 90)$ بسته به مقدار زاویه بار انتخاب گردد. برای سایر بریدگیها می‌توان این کار را انجام داد سپس نتایج بریدگیهای مختلف را باهم مقایسه کرده تا به بریدگی بهین رسید. در نهایت نتایج را با روش الگوریتم ژنتیک مقایسه کرد.

بریدگی در حالتی که $w > 0.05$ است؛ زاویه بار و زاویه الیاف بهینه صفر و ۹۰ درجه است، بطوریکه اگر زاویه بار صفر درجه انتخاب شود، زاویه الیاف باید ۹۰ درجه باشد و اگر زاویه الیاف صفر است؛ زاویه بار باید ۹۰ درجه باشد. همانطور که پیشتر نیز اشاره شد؛ زاویه چرخش بهینه برای این بریدگی ۴۵ درجه می‌باشد. برای $w < 0.05$ زوایای بهینه بصورت بازه می‌باشند. مثلاً برای $w = 0.05$ ، زاویه بار بهینه بین ۷۰ و ۹۰ زاویه الیاف بین صفر و ۲۰ و زاویه چرخش نیز بین ۲۵ و ۴۵ تغییر می‌کند. در مورد انحنا بریدگی، دیگر $w = 0$ بریدگی بهینه نیست. بلکه مطابق شکل ۱۲ برای این بریدگی، w بهینه‌ای وجود دارد. مطابق این شکل با اختیار پارامترهای بهینه و انتخاب w از بازه $0 < w < 0.095$ ، کمترین تنش مطلوب بدست آمده؛ از بریدگی دایره‌ای ($w = 0$) کوچکتر است. می‌توان با تحلیل‌های دقیق‌تر و باتوجه به شکل ۱۲ نتیجه گرفت که برای بریدگی شبه مربعی، کمترین تنش مطلوب ممکن در $w = 0.045$ رخ می‌دهد. در این حالت زاویه فایبر، زاویه بار و زاویه چرخش بریدگی بترتیب صفر و ۷۰ و ۲۵ درجه می‌باشد. مقدار این تنش ۲/۳۹۶ است.



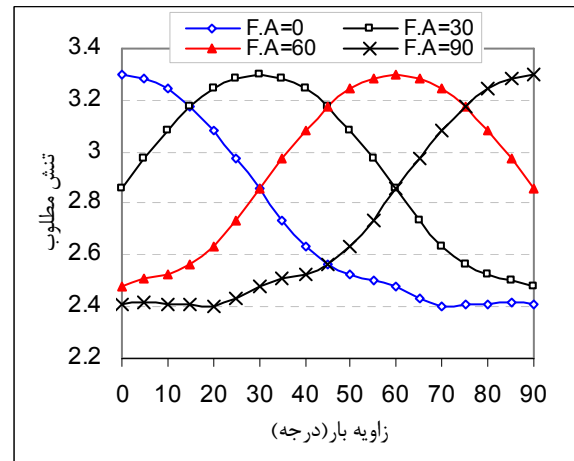
شکل ۱۲: کمترین تنش مطلوب برحسب w برای بریدگی شبه مربعی

برای بریدگی پنج ضلعی زاویه الیاف بهینه، بین صفر تا ۲۰ درجه بوده و زاویه بار بهینه بین ۶۵ تا ۸۵ درجه، و زاویه چرخش بهینه بین ۶۴ تا ۸۴ درجه است. روش انتخاب پارامترهای بهینه به این صورت است که با انتخاب یک پارامتر از بازه‌های داده شده، سایر پارامترهای بهینه مطابق با آن مشخص می‌شود. مثلاً اگر زاویه الیاف ۱۲ درجه انتخاب شود، زاویه بار بهینه، با افزودن عدد ۱۲ به کران پایین مربوط به زاویه بار (۶۵ درجه)، برابر ۷۷ درجه است و به همین ترتیب زاویه چرخش بهینه ۷۶ درجه است. برای این بریدگی نیز $w = 0$ انحنا بهینه است.

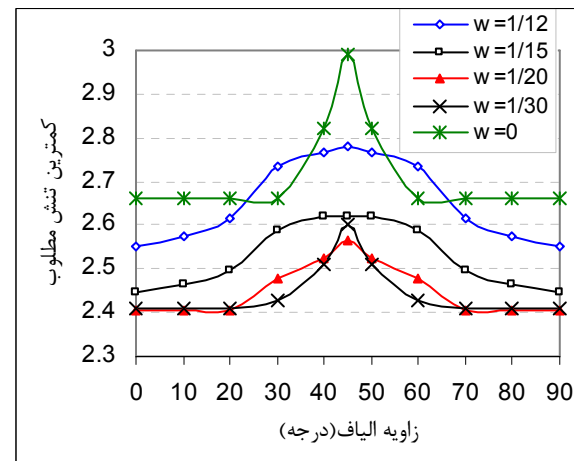
بریدگی‌های با اضلاع زوج مثل شش ضلعی و هشت ضلعی رفتار مشابهی مانند بریدگی شبه مربعی داشته و بریدگی‌های با اضلاع فرد رفتاری مشابه با بریدگی مثلثی دارند.

برای بریدگی مثلثی و شبه مربعی به منظور تأیید جواب‌های بهینه، پاسخ حاصل از روش تحلیلی حاضر با روش الگوریتم ژنتیک

دیده می‌شود؛ تنش مطلوب برای زوایای فایبر مختلف، متفاوت است. مثلاً برای زاویه فایبر صفر درجه، تنش مطلوب در زاویه بار ۷۰ درجه کمترین مقدار است. این مقدار برابر ۲/۴۰ است. برای زاویه فایبر ۳۰ درجه، کمترین تنش مطلوب در زاویه بار ۹۰ درجه اتفاق می‌افتد و مقدار آن ۲/۴۸ است. بنابراین برای هر زاویه فایبر، کمترین تنش مطلوب در زوایای بار مختلفی رخ می‌دهد. بنابراین در هر زاویه فایبر با تغییر زاویه بار، در یک زاویه بار خاص مقدار تنش مطلوب کمترین است. در شکل ۱۱ این کمترین تنش مطلوب برحسب زوایای فایبر مختلف رسم شده است. در واقع در این شکل تأثیر هر سه پارامتر زاویه بار، زاویه فایبر و زاویه چرخش در نظر گرفته شده است.



شکل ۱۰: بررسی تأثیر زاویه بار بر روی تنش مطلوب در زوایای فایبر مختلف برای بریدگی شبه مربعی



شکل ۱۱: کمترین تنش مطلوب برحسب زاویه فایبر برای بریدگی شبه مربعی

همانطور که در این شکل دیده می‌شود، برای بریدگی شبه مربعی حتی برای حالتی که بریدگی تیز است ($w = 1/12$)، مقدار کمترین تنش مطلوب برخلاف بریدگی مثلثی از حالت بریدگی دایره‌ای نیز کمتر است. مطابق شکل ۱۱ وقتی زاویه فایبر صفر یا ۹۰ است؛ مقدار کمترین تنش مطلوب برای $w < 1/12$ از حالت بریدگی دایره‌ای کمتر است. در این نوع بریدگی برخلاف بریدگی مثلثی زوایای بهینه به جز برای حالتی که مقدار w کوچک است؛ بصورت بازه نیستند. برای این

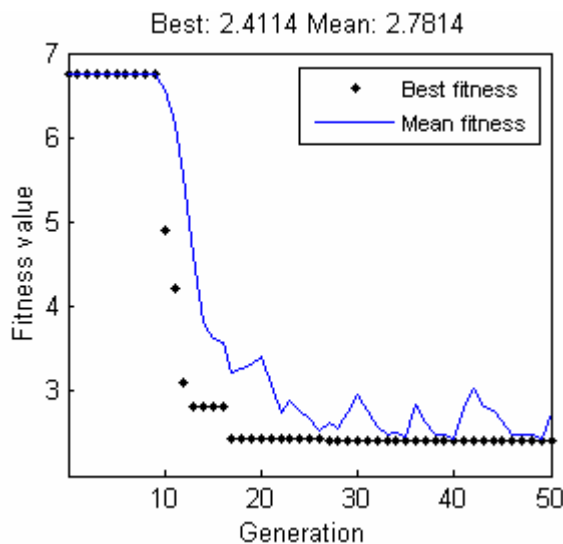
مشابه آنچه برای بریدگی مثلثی نشان داده شد؛ برای بریدگی شبه مربعی نیز مقایسه‌ای بین روش الگوریتم ژنتیک و حل تحلیلی حاضر انجام شده است. جدول ۳ این مقایسه را نشان می‌دهد. همانطور که ملاحظه می‌شود در این جدول نیز دو روش حل یکدیگر را تصدیق می‌کنند.

جدول ۳: مقایسه روش تحلیلی و روش الگوریتم ژنتیک برای بریدگی شبه

مربعی

مقدار تنش	R.A	L.A	F.A	w	تحلیلی
۲/۳۹۶	۲۵	۷۰	۰	۰/۰۴۵	تحلیلی
۲/۴۱۱۴	۱۷/۳	۶۴/۲۵	۰/۲۴	۰/۰۴۱	ژنتیک

در این حالت درصد اختلاف دو روش ۰/۶۴ درصد است که مقدار بسیار ناچیزی است.



شکل ۱۴: تغییرات میانگین و بهترین تابع هدف برحسب تولید نسل برای بریدگی شبه مربعی

در شکل ۱۴ علاوه بر مشاهده همگرایی روش الگوریتم ژنتیک، دیده می‌شود که در پنجاه و یکمین نسل، جواب مورد نظر بدست می‌آید. روش الگوریتم ژنتیک نیز نشان می‌دهد که با انتخاب مناسب متغیرهای طراحی می‌توان به تنشی کمتر از بریدگی دایره‌ای دست یافت.

نتیجه گیری

پارامترهای بسیاری هستند که بر تمرکز تنش صفحات حاوی بریدگی تاثیرگذار می‌باشند. مطالعه نحوه تاثیر این پارامترها، طراح را قادر خواهد ساخت تا به طرح مطلوبی دست یابد. در این مقاله با استفاده از نگاشت همونا بریدگیهای با اشکال مختلف، مورد تحلیل قرار گرفت. در مورد هر بریدگی تاثیر پارامترهایی از قبیل زاویه بار، زاویه الیاف، زاویه چرخش بریدگی و انحنای بریدگی بررسی شد. برای هر بریدگی پارامترهای بهینه که تحت آنها، تنش مطلوب کمترین مقدار ممکن را داشت؛ معرفی شد. در این مقاله ملاحظه شد که در صفحات حاوی بریدگی و تحت کشش، بریدگی دایره‌ای بهترین بریدگی

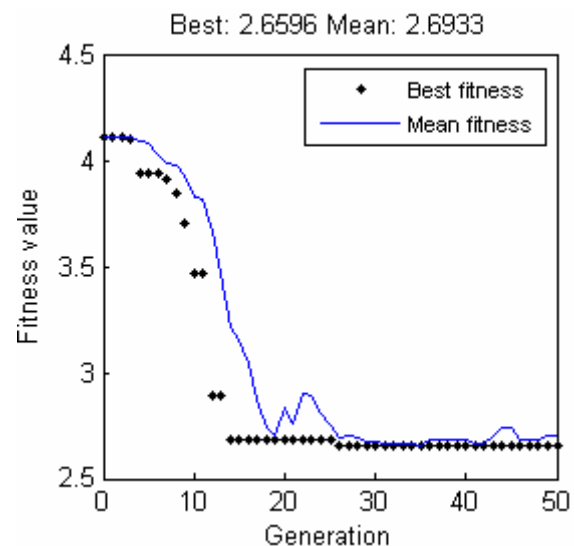
مقایسه شده است. برای سایر بریدگیها نیز این تایید صورت گرفته که از آوردن نتایج آن صرفنظر می‌شود.

در مورد بریدگی مثلثی قبلاً زوایای فایبر، بار و چرخش بریدگی بهینه بدست آمد. در این حالت $w=0$ نوع بریدگی بهینه که همان بریدگی دایره‌ای است را نشان می‌دهد. زوایای فایبر (F.A)، بار (L.A) و چرخش (R.A) در این شعاع انحنای خاص در جدول ۲ از دو روش تحلیلی و الگوریتم ژنتیک با هم مقایسه شده است:

جدول ۲: مقایسه روش تحلیلی و روش الگوریتم ژنتیک برای بریدگی مثلثی

مقدار تنش	R.A	L.A	F.A	w	تحلیلی
۲/۶۶	۱۶	۶۰-۹۰	۰-۳۰	۰	تحلیلی
۲/۶۵۹۶	۱۶	۸۸	۲۸	۰	ژنتیک

لازم به توضیح است که در مورد بریدگی دایره‌ای چرخش بریدگی چندان مفهومی ندارد. ولی چون برای بریدگیهای غیر دایره‌ای این زاویه نیز تاثیر گذار است بعنوان یک متغیر طراحی برای هر دو روش الگوریتم ژنتیک و تحلیلی در برنامه قرار داده شده است. همانطور که قبلاً نیز اشاره شد؛ در روش تحلیلی زوایای فایبر و بار بهینه بصورت یک بازه بدست می‌آیند. بنابراین با اجراهای مختلف برنامه الگوریتم ژنتیک، مقدار تنش یکسان ۲/۶۵۹۵ در زوایای مختلف فایبر، بار و چرخش بدست می‌آید. که یکی از این نتایج در جدول ۲ ارائه شده است. جوابها از دو روش کاملاً یکدیگر را تایید می‌کنند. درصد اختلاف دو روش کمتر از ۰/۰۲ درصد است، که اختلاف بسیار ناچیزی است.



شکل ۱۳: تغییرات میانگین و بهترین تابع هدف برحسب تولید نسل برای بریدگی مثلثی

شکل ۱۳ برای بریدگی مثلثی تغییرات میانگین و بهترین تابع هدف را برحسب تولید نسل، نشان می‌دهد. همچنین این شکل همگرایی این روش را تایید می‌کند. همانطور که در این شکل نشان داده شده است؛ در پنجاه و یکمین نسل جواب مورد نظر حاصل می‌شود.

نمی‌باشد. برای بریدگیهای با اضلاع زوج انحنایی وجود دارد؛ که با ایجاد بریدگی تحت آن انحنا می‌توان به تنش مطلوب کمتر از بریدگی دایره‌ای دست یافت. این رفتار در مورد بریدگیهای با اضلاع فرد ملاحظه نشد.

مراجع:

- [1]- Savin, G.N., *Stress concentration around holes*. New York: Pergamon Press.1961.
- [2]- Lekhnitskii, S.G., *Anisotropic Plates*, Gordon & Breach Science Publishers, New York, USA. 1968.
- [3] Theocaris, PS and Petrou, L., "Stress distributions and intensities at corners of equilateral triangular holes,". Int J Fract, Vol. 31, pp. 271-289, 1986.
- [4] Abulfoutouh, NM., "Preliminary Design Of Unstiffend Composite shells", Symposium Of 7th technical Conference of ASC, pp. 786-693, 1993.
- [5] Daoust, J and Hoa, S.V., "An analytical solution for anisotropic plates containing triangular holes", Composite Structures, Vol. 19, pp. 107-130, 1991.
- [6] Ghazi H. Asmar and Toni G. Jabbour., "Stress Analysis of Anisotropic Plates Containing Rectangular Holes.", International Journal of Mechanics and Solids, ISSN 0973-1881 Volume 2 Number 1, pp. 59-84, 2007.
- [7]- Rezaeepazhand, J and Jafari, M., "Stress Analysis of Perforated Composite Plates," Composite Structures, Vol. 71, pp. 463-468, 2005.
- [8]- Rezaeepazhand, J and Jafari, M., " Stress Analysis of Composite Plates with Non-circular Cutout," Key Eng. Mat., Vols. 385-387, pp. 365-368, 2008.
- [9]- Rezaeepazhand, J and Jafari, M., "Stress Concentration in Composite Plates with Special Shaped Cutout," Proceeding of 12th European Conference on Composite Materials, 29th August-1st September 2006.
- [10] Callahan, JK and Weeks, EG. "Optimum design of composite laminates using genetic algorithms". Composite Engineering, Vol. 2, pp. 149-160, 1992.
- [11] Brighenti R, Carpinteri A, Vantadori S, "genetic algorithm applied to optimization of patch repairs for cracked plates", Comput. Methods Appl. Mech. Engrg. Vol. 196, pp. 466-475, 2006.
- [12] Cho, HK and Rowlands, RE., "Reducing tensile stress concentration in perforated hybrid laminate by genetic algorithm". Composites Science and Technology, Vol. 67, pp. 2877-2883, 2007.

[۱۳]- جعفری، محمد و رضایی پزند، جلیل، " تاثیر زاویه چرخش بریدگی بر توزیع تنش صفحات حاوی بریدگی، " شانزدهمین کنفرانس سالانه مکانیک، کرمان، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ۱۳۸۷