Archive of SID

طراحی بهینه پنل‌های ساندویچی لایه‌ای متقارن، محدود شده با قیدهای کمانش موضعی تحت بارهای بیرون صفحه‌ای، با استفاده از الگوریتم ژنتیک پیشرفته

ایرج رجبی [i*]؛ محمدجعفر جمالی [ii]

چکیده

مقاله حاضر، بهینه‌سازی وزنی پنل‌های ساندویچی لایه‌ای (هسته گسترده و لانه‌زنبوری) با شرایط مرزی تکیه‌گاه ساده، تحت بار بیرون صفحه‌ای را بررسی می‌کند. چروکیدگی پوسته‌ها و کمانش درون سلولی دو نوع مهم از کمانش‌های موضعی پنل‌های ساندویچی می‌باشند که قیدهای مهم مسألهٔ بهینه‌سازی مربوطه را تشکیل می‌دهند. یک روش تحلیلی غیرخطی برای این مسأله با در نظر گرفتن تغییرشکل برشی و جابجایی صفحهٔ میانی بکار گرفته شده است. بخاطر پیچیدگی مسأله و گسسته بودن متغیرها، الگوریتم ژنتیک بر دیگر روش‌های بهینه‌سازی برتری دارد. در الگوریتم یاد شده، یک روش جدید برای بهبود بهینه‌سازیِ ترتیب لایه‌گذاری و انتخاب مواد پوسته‌ها و هسته مورد توجه واقع و در پایان، برای فشارهای مختلف، نتایج مقایسه‌ای نشان داده شده‌اند.

کلمات کلیدی :پنل ساندویچی – بهینه‌سازی – الگوریتم ژنتیک– کمانش موضعی

Optimal Design of Laminated Sandwich Panels Constrained with Local Bucklings Subjected to Out-of-Plane Load, Using Advanced Genetic Algorithm

I.Rajabi; M.J. Jamali

ABSTRACT

This paper presents weight optimization of laminated sandwich panels with simply supported edges, subjected to out-of-plane load. Face wrinkling and intracell buckling are two famous local buckling of sandwich panels that are comprised important constraints of this optimization. A nonlinear analytical method has been exhibited using shear deformation effect and midplane displacement. Because of problem complexity and discontinuity of variables, genetic algorithm is preferred for this optimization. In this algorithm, a new method has been considered to stacking sequence and selection of facing and core materials. Finally, comparative results for various loads are presented.

KEYWORDS : Sandwich panels , optimization , genetic algorithm , local buckling

تاریخ دریافت مقاله:۱۳۸٦/۸/۲۸

تاریخ اصلاحات مقاله: ۱۳۸۷/۹/۱

[i *] نویسنده مسئول و مربی دانشگاه صنعتی مالک اشتر، سازمان صنایع دریایی،: Email: iraj_rajabi@yahoo.com

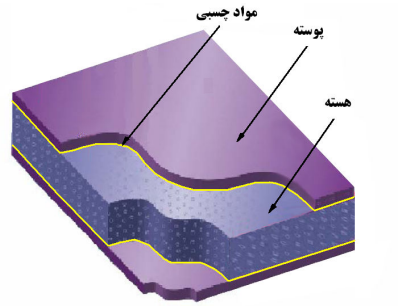
[ii] کارشناس ارشد مکانیک، سازمان صنایع دریایی، گروه شناورهای اثرسطحی شیراز،Email: mjjamali@yahoo.com

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

ساختمان پنل‌های ساندویچی شامل دو پوسته و ماده‌ای بنام هسته می‌باشند. شکل (۱) نمای کلی یک سازهٔ ساندویچی و اجزای آن را نشان می‌دهد.



شکل (۱): نمایی از یک پنل ساندویچی

در سازه‌های کامپوزیتی پلیمری، معمولا از پارچه‌های دوجهته یا تک جهتی بعنوان پوسته، استفاده می‌کنند. لایه‌های بکار رفته در پوسته‌ها از جنس پارچه‌های الیاف شیشه، کربن و کولار، در نظر گرفته می‌شوند. علت استفاده از الیاف یا پارچه‌های شیشه، مقاومت در برابر خوردگی و نیز تغییرناپذیری خواص مکانیکی آنها در مجاورت با آب و رطوبت است. در صنایع هوایی نیز بیشتر از الیاف کربن در روکش‌ها استفاده می‌شود. الیاف کربن سفتی و استحکام بیشتری نسبت به الیاف شیشه دارند، از اینرو در صنایع هوایی که مسأله وزن مهم است، کاربرد بیشتری دارند.

هستهٔ پنل‌های ساندویچی بطورکلی به دو دستهٔ هسته‌های گسترده[۱] و لانه‌زنبوری[۲]ها تقسیم می‌شوند. هسته‌های گسترده شامل انواع چوب‌ها، فوم‌ها و هسته‌های توده‌ای[۳] می‌باشند. بالساها نوع خاصی از هسته‌های چوبی هستند که در سازه‌های ساندویچی کاربرد دارند. فوم‌ها نیز از لحاظ ساختاری، پلیمری و دارای شکل اسفنجی می‌باشند. تقسیم بندی آنها شامل انواعِ ترموست‌ها، سینتاتیک‌ها، «PVC»ها، «PMI»ها و«SAN»ها می‌گردد. لانه‌زنبوری‌ها نیز با توجه به استفادهٔ معمول آنها به انواع آلومینیومی و آلیاژهای آن و پلیمرهای تقویت شده توسط الیاف شیشه[۴]، کربنی[۵] و آرامیدی[۶]، تقسیم‌بندی می‌شوند. در این مقاله فوم‌های«PVC»، بالسا و انواع لانه‌زنبوری، با توجه به کاربردشان در سازه‌های هوایی و دریایی، به عنوان انتخاب‌های بهینه مشخص شده‌اند.

تحقیقات انجام گرفته در مورد سازه‌های ساندویچی همزمان با کاربرد اینگونه مواد مرکب در صنایع مختلف شروع شد. با توجه به مرجع [۲] اولین تحقیقات انجام گرفته بر روی پنل‌های ساندویچی تحت نیروی فشاری بر لبه‌های در سال ۱۹۴۰ میلادی انجام گرفت. سپس کاربرد هسته‌های گوناگون برای این گونه مواد، بررسی شدند. در همان سال‌ها بررسی کمانش اینگونه سازه‌ها آغاز گردید و استحکام هسته‌ها و پوسته‌ها مورد بررسی قرار گرفتند. کمانش کلی پنل‌های ساندویچی با درنظرگرفتن اثرات تغییر شکل برشی نیز در سالهای بعد تحلیل شدند. بررسی گسیختگی‌های از نوع چروکیدگی پوسته‌ها با طول موج کوتاه سرآغاز بررسی موضعی اینگونه سازه‌ها بود. در سال ۱۹۶۷ وزارت دفاع آمریکا با توجه به مقالات قبلی ارائه شده مقاله ای کلی با کد استاندارد «MIL-HDBK-23A» بر روی پنل‌های ساندویچی ارائه داد. پلانتما[۳] نیز برای فرمول جدید ارائه شده برای این نوع گسیختگی، ثابتی پیشنهاد داد. البته در تحقیقات بعدی روابط غیر خطی پوسته‌ها را نیز لحاظ کردند[۴]. در سالهای اخیر نیز یک فرمول‌بندی متفاوت برای در نظر گرفتن روابط متقابل کمانش کلی و کمانش‌های موضعی سازه‌های ساندویچی تحت فشار، بر اساس هسته‌های ارتوتروپیک، توسط وادی و هانت[۵] انجام گرفت. نیو و تالرجا[۶] با استفاده از از مدل وینکلر، رابطه‌ای برای کمانش از نوع چروکیدگی برای یک لبه از پوسته‌ها ارائه کردند که کمانش مربوطه در تمام جهت‌ها برای طول موج‌های کوتاه یکسان می‌بود. یک روش تحلیلی نیز برای چروکیدگی پوسته‌ها و تعیین مقدار بحرانی آن برای هسته‌های ایزوتروپیک ضخیم توسط وناچ و رامرستورفر[۷] انجام گرفت. فاگربرگ[۸] نیز با مطالعه چگونگی انتقال کمانش‌های موضعی در پوسته به این نتیجه پی‌برد که چروکیدگی به میزان زیادی به سختی درون صفحه‌ای هسته بستگی دارد.

در زمینه بهینه‌سازی سازه‌های ساندویچی نیز مقالات زیادی ارائه گردیده است. رسیدن به حداقل وزنی با استفاده از الگوریتم‌ها وبرنامه‌های مختلف، از اهداف بیشتر مقالات بوده‌است. برای نمونه: جان کروز[۹]، به بهینه‌سازی اینگونه سازه‌ها تحت بارهای درون صفحه‌ای با روش‌های عددی پرداخته است. مالوت وگودمان[۱۰] با استفاده از الگوریتم ژنتیک، پنل‌های ساندویچی را با درنظر گرفتن اثرات ارتباط سفتی پیچشی و خمشی بهینه‌سازی کرده‌اند. کودیالام، ناگندارا و دی‌استفانو[۱۱]، برای سازه‌های فضایی، بهترین ساختار ساندویچی را تحلیل کرده‌اند. موه و هو[۱۲] کمانش کلی اینگونه پنل‌ها را بهینه‌سازی کرده‌اند. گانتونیک، گوردال و واتسون[۱۳] نیز با استفاده از الگوریتم ژنتیک و با درنظر گرفتن انواع گسیختگی‌های ناشی از بارهای درون صفحه‌ای به طراحی بهینه اینگونه سازه‌ها پرداخته‌اند. مرجع [۱۴] نیز با درنظر

www.SID.ir

Archive of SID

گرفتن قیدهای موضعی کمانش تحت بارهای درون صفحه‌ای، پنل‌های ساندویچی با هسته لانه‌زنبوری را تحت بارهای درون صفحه‌ای بهینه کرده است.

با توجه به موارد گفته شده، بیشتر مقالات در مورد بهینه‌سازی پنل‌های ساندویچی در حالت بارهای درون صفحه‌ای می‌باشند؛ بنابراین مقاله حاضر توجه خود را بر بهینه‌سازی سازه‌های ساندویچی با پوسته‌های لایه‌ای **تحت بارهای بیرون صفحه‌ای** نهاده است.

۲- تئوری و چگونگی انجام مسأله

طراحی‌های انجام گرفته بر روی سازه‌های ساندویچی بر اساس در نظر گرفتن انواع گسیختگی‌های پنل‌های ساندویچی و همچنین نوع بارگذاری و شرایط مرزی مربوطه مشخص می‌شوند. گسیختگی‌های سازه‌های ساندویچی نیز با توجه به نوع ساختار این مواد قابل تعریف است. بنابراین برای در نظر گرفتن سازوکار گسیختگی‌های این مواد باید به اجزاء تشکیل دهنده و ویژگیهای آنها توجه داشت.

با توجه به بارگذاری پنل‌های ساندویچی که از نوع بارهای بیرون صفحه‌ای می‌باشد، تنش‌های نرمال خمشی در پوسته‌ها و همچنین برشی در هسته ممکن است باعث ایجاد گسیختگی در سازه گردند، اماناپایداری‌های استاتیکی از نوع چروکیدگی پوسته‌ها و یا گسیختگی از نوع کمانش درون سلولی (که فقط برای ساندویچ‌پنل‌های با هستهٔ لانه‌زنبوری اتفاق می‌افتد) بعنوان کمانش‌های موضعی قابل پیش‌بینی ومهم‌تر می‌باشند. بنابراین قیدهایی که در این بهینه‌سازی بکار می‌روند، مربوط به کمانش‌های موضعی پنل‌های ساندویچی تحت بارهای بیرون صفحه‌ای می‌باشند و بطور خلاصه عبارتند از:

الف- قید مربوط به گسیختگی از نوع چروکیدگی پوسته‌ها

ب- قید مربوط به گسیختگی از نوع کمانش درون سلولی برای هسته‌های لانه‌زنبوری

ج- قید مربوط به محدودیت ابعادی

چون پایهٔ حل تحلیلی مسأله (تغییر فرم غیرخطی با درنظرگرفتن تغییر فرم برشی و جابجایی صفحهٔ میانی)، بر اساس فرضیاتی شکل گرفته است که در نظر نگرفتن آنها ممکن است جواب‌های اشتباه و غیرقابل قبولی را پدید آورد، آخرین قید (که مربوط به محدودیت ابعادی است)، مهم و کلیدی است.

هدف از بهینه‌سازی، کمینه کردن وزن سازه ساندویچی (تابع اصلی) می‌باشد که براساس قیدهای گفته شده انجام می‌پذیرد.

چون پنل ساندویچی در نظر گرفته‌شده از نوع لایه‌گذاری متقارن زاویه‌ای[۷] است؛ در ماتریس سفتیِ خمشی، مولفه‌های $D_{26}, D_{16} \neq 0$ می‌شوند. اما چون در این مقاله لایه‌های بکار رفته از نوع پارچه‌های ۰-۹۰ و ±۴۵ می‌باشند، برای پنل ساندویچی مربوطه: $D_{26}, D_{16} = 0$ است. همچنین با توجه به تقارن لایه‌ها مولفه‌های ماتریس سفتی خمش/کشش، $B_{ij} = 0$ می‌شود؛ که نشان‌دهندهٔ اینست که رابطه‌ای بین خمش و کشش وجود ندارد.

برای حل غیر خطی با استفاده از نتایج مرجع [۱۵]، می‌توان مقدار تنش در هر لایه از پوسته‌ها را تعیین نمود. برای در نظر گرفتن گسیختگی از نوع چروکیدگی پوسته‌ها و روابط آن، روش ذیل دنبال می‌گردد. با استفاده از تنش‌های بدست آمدهٔ فشاری ماکزیمِ σ_1 و σ_2 [۱۵]، معادل فشاری درون صفحه‌ایِ N_x و N_y، بصورت رابطه۱ تعریف می‌شوند:

$$N_x = \frac{\sum_{k=1}^{n} \sigma_{1\max}^{(k)} t^{(k)}}{n} \quad , \quad N_y = \frac{\sum_{k=1}^{n} \sigma_{2\max}^{(k)} t^{(k)}}{n} \qquad (۱)$$

که $t^{(k)}$ ضخامت لایهٔ kام و n تعداد لایه‌های پوسته تحت فشار است. آنگاه مقادیر اصلاح شدهٔ $\overline{N_x^{fw}}$ و $\overline{N_y^{fw}}$ بصورت رابطه۲ محاسبه می‌گردند [۱۳].

$$\overline{N_x^{fw}} = \left[\left(\frac{1}{N_x \left(1 + G_{compression}^{facings}\right)} \right)^3 + \left(\frac{1}{N_x^{fw}} \right)^3 \right]^{-\frac{1}{3}}$$
$$\overline{N_y^{fw}} = \left[\left(\frac{1}{N_y \left(1 + G_{compression}^{facings}\right)} \right)^3 + \left(\frac{1}{N_y^{fw}} \right)^3 \right]^{-\frac{1}{3}} \qquad (۲)$$

که در آن N_x^{fw} و N_y^{fw} به ترتیب مقادیر موجود در رابطه۳ می‌باشند:

$$N_x^{fw} = \left[\left(D_{11} - D_{12}^2 / D_{22} \right) E_c G_{xz} \right]^{\frac{1}{3}}$$
$$N_y^{fw} = \left[\left(D_{22} - D_{12}^2 / D_{11} \right) E_c G_{yz} \right]^{\frac{1}{3}} \qquad (۳)$$

مقادیر D_{ij} از ماتریس سفتی خمشی لایه‌ها با توجه به صفحه میانی فرضی گذرا از هسته پنل ساندویچی مربوطه محاسبه می‌شود. که E_c، مدول الاستیسته و G_{xz} وG_{yz}، نیز بترتیب مدول برشی هسته در صفحات x-z و y-z می‌باشند. پارامتر $G_{compression}^{facings}$ نیز با استفاده از مرجع [۱۶] قابل محاسبه است. قید مربوط به گسیختگیِ چروکیدگی پوسته‌ها بشرح رابطه۴ تعریف می‌شود:

$$G_{fw} = \min\left[\overline{N_x^{fw}} / N_x \, , \overline{N_y^{fw}} / N_y \right] - 1 \geq 0 \qquad (۴)$$

www.SID.ir

Archive of SID

برای در نظر گرفتن گسیختگی از نوع کمانش درون سلولی، نیروهای درون صفحه‌ایِ N_x و N_y، طبق (۱) بدست می‌آیند. سپس می‌توان مقادیر اصلاح شدهٔ $\overline{N_x^{fd}}$ و $\overline{N_y^{fd}}$ را از رابطه۵ محاسبه کرد.

$$\overline{N_x^{fd}} = \left[\left(\frac{1}{N_x(1+G_{compression}^{facings})}\right)^3 + \left(\frac{1}{N_x^{fd}}\right)^3\right]^{-\frac{1}{3}}$$
$$\overline{N_y^{fd}} = \left[\left(\frac{1}{N_y(1+G_{compression}^{facings})}\right)^3 + \left(\frac{1}{N_y^{fd}}\right)^3\right]^{-\frac{1}{3}} \quad (۵)$$

که در آن:

$$N_x^{fd} = \frac{9}{{t_f}^2}\left[D_{11} - D_{12}^2/D_{22}\right](t_f/t_d)^{\frac{3}{2}}$$
$$N_y^{fd} = \frac{9}{{t_f}^2}\left[D_{22} - D_{12}^2/D_{11}\right](t_f/t_d)^{\frac{3}{2}}$$

t_d نیز اندازه قطری سلول لانه‌زنبوری است.

قید مربوط به گسیختگیِ کمانش درون سلولی بصورت رابطه۶ تعریف می‌شود:

$$G_{fd} = \min\left\{\overline{N_x^{fd}}/N_x, \overline{N_y^{fd}}/N_y\right\} - 1 \geq 0 \quad (۶)$$

قید مربوط به محدودیت ابعادی که بنام قید هندسی، مشخص شده، بصورت شرط ضخامت پوسته‌ها به هسته تعیین می‌شود.

$$G_g(\vec{x}) \geq 0 \quad (۷)$$

تابع هدف برای بهینه‌سازی، تابع وزن سازه ساندویچی است، که بصورت رابطه۸ تعریف می‌شود:

$$W(\vec{x}) = \left[2\sum_{k=1}^{n} t_f^{(k)}.\rho_f^{(k)} + (t_c.\rho_c).F\right](a.b) \quad (۸)$$

$\rho_f^{(k)}$ و ρ_c بترتیب چگالی لایه‌های روکش‌ها و چگالی هسته می‌باشند. پارامترهای طراحی نیز عبارتند از:

$$\vec{x} = (t_c(q), \theta_1(p), \theta_2(p), ..., \theta_n(p), p, q) \quad (۹)$$

که θ_n، زاویه‌های لایه‌های بکار گرفته شده در پوسته‌ها می‌باشند. پارامتر p و q نیز به ترتیب جنس لایه‌های پوسته و هسته را مشخص می‌کند. در تابع وزن $W(\vec{x})$، پارامتر دیگری بنام F تعریف شده است. این پارامتر، با توجه به مسائل فرآیند ساخت ساندویچ‌پنل‌ها درنظرگرفته شده است. چون درصد جذب رزین لانه‌زنبوری‌ها و بالساها نسبت به فوم‌ها متفاوت است پس در وزن سازه، تاثیر بسزایی می‌گذارد.

بطور کلی مسألهٔ بهینه‌سازی بصورت رابطه۱۰ بیان می‌شود:

$$\min_{\vec{x}=(t_c(q),\theta_1(p),\theta_2(p),...\theta_n(p),p,q)} \left\{W(\vec{x}) = \left[2\sum_{k=1}^{n} t_f^{(k)}.\rho_f^{(k)} + (t_c.\rho_c).F\right](ab)\right\} \quad (۱۰)$$

که تعریف قیدهای آن عبارتند از:

قید چروکیدگی پوسته‌ها	$G_{fw}(\vec{x}) \geq 0$
قید کمانش درون سلولی	$G_{fd}(\vec{x}) \geq 0$
قید هندسی	$G_g(\vec{x}) \geq 0$

۳- تعریف مسأله بهینه‌سازی با الگوریتم ژنتیک

مسالهٔ بهینه‌سازی تعریف شده، دارای ساختاری پیچیده است. در نظر گرفتن ترتیب لایه‌گذاری با زاویه‌های متفاوت، لایه‌های با جنس مختلف، هسته‌های غیر یکسان با ضخامت‌های گوناگون و همچنین قیدهای پیچیدهٔ مسأله که وابسته به این خواص می‌باشند؛ باعث شده است که بهینه‌سازی بصورت گسسته درآید. متغیرهای بهینه‌سازی مربوطه عبارتند از:

تعداد لایه‌های پوسته‌های بالایی و پایینی (که در این مسألهٔ بهینه‌سازی بین ۳ تا ۹ لایهٔ کامپوزیتی انتخاب شده‌اند).

جهت لایه‌ها (قرارگیری الیاف با توجه به کاربرد پارچه‌های دوجهته بصورت ۰-۹۰ و ۴۵± در نظر گرفته شده است).

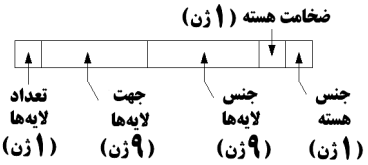
جنس لایه‌ها (که با توجه به کاربردهای مختلف شامل پارچه‌های شیشه، کربن و کولار می‌گردد).

ضخامت هسته

جنس هسته (شامل انواع هسته‌های گسترده و لانه‌زنبوری کاربردی)

با توجه به اینکه برای بهینه‌سازی اینگونه مسائل الگوریتمهای تکاملی پیشنهاد می‌شود؛ در این تحقیق الگوریتم ژنتیک برای حل مسأله انتخاب شده است. الگوریتم ژنتیک بکار گرفته شده که از عملگرهای پیشرفته نیز استفاده می‌کند، ساختار ساده‌ای دارد. این ساختار بطور کلی شامل چندین مرحله است، که این مراحل بسته به نوع مسأله ممکن است متفاوت و یا یکسان باشند. روند عملکرد این الگوریتم بصورت خلاصه در ادامه بیان می‌گردد:

ابتدا جمعیت اولیه‌ای از پارامترهای طراحی در نظر گرفته می‌شوند. این جمعیت، با توجه به نوع مسأله کدگذاری می‌شود. از این به بعد روند الگوریتم بر این افراد یا رشته‌هایِ کدگذاری شده صورت می‌پذیرد. شکل (۲)، چگونگی کدگذاری یک رشته در مسألهٔ مربوطه را نشان می‌دهد.



شکل (۲) : کروموزم متغیرها و ژن‌های مربوطه

www.SID.ir

Archive of SID

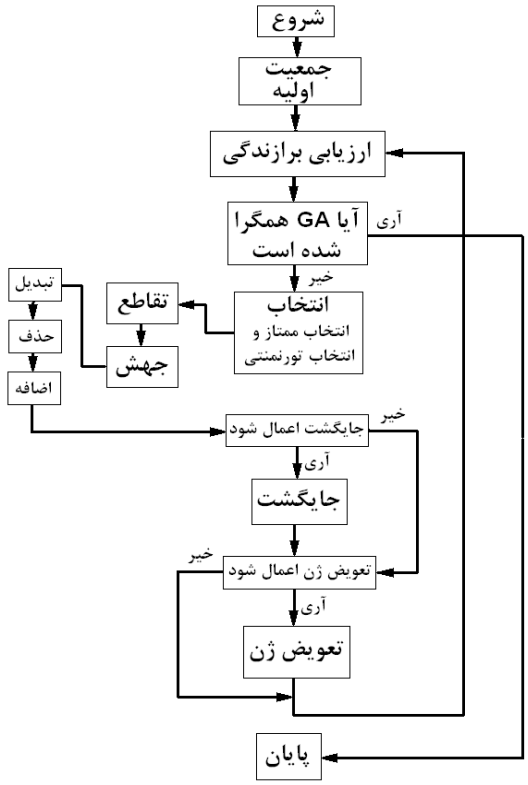
نکتهٔ مهم در این کدگذاری استفاده از روش کدگذاری اعداد صحیح است که با توجه به منابع مختلف مانند: مقالات هافتکا [۱۷]، سورمکان [۱۸] و لین [۱۹]، بهترین نوع کدگذاری در بهینه‌سازی لایه‌های کامپوزیتی تشخیص داده شده است. با توجه به برازندگی هر کدام از رشته‌های مربوطهٔ این جمعیت، تعدادی از آنها انتخاب می‌گردند. اپراتور انتخاب در این الگوریتم انتخاب ممتاز و انتخاب تورنمنتی است. دلیل انتخاب این دو عملگر برخورداری آنها از اعمال دو خصوصیت مهم بطور همزمان در الگوریتم ژنتیک است که به نام‌های ایجاد فشار و همچنین ایجاد گوناگونی رشته‌ها در جمعیت شناخته می‌شوند. برازندگی افراد با توجه به تابع هدف و قیدها تعریف می‌گردد. در این مسأله تابع برازندگی F_f، بصورت یک تابع دوتایی تعریف می‌شود:

$$F_f(\vec{x}) = \begin{cases} -W(\vec{x}) + G_{cr}\delta & G_{cr} \geq 0 \\ -W(\vec{x})(1-G_{cr})^r & G_{cr} \leq 0 \end{cases} \qquad (۱۱)$$

که $G_{cr} = \min\{G_{fw}, G_{fd}, G_g\}$ قید بحرانی، پارامتر δ جایزه[۸] و r جریمه[۹] می‌باشند. مقدار این پارامترها با توجه به نوع مسأله و بارگذاری مشخص می‌گردند. افراد انتخاب شده در ظرفی به نام ظرف جفت‌گیری بصورت تصادفی جفت‌گیری می‌کنند. در نتیجه جفت‌گیری جمعیت جدیدی از اولاد[۱۰] بوجود می‌آیند که خصوصیات والدین در آنها موثر است. چگونگی بوجود آمدن اولاد بستگی به عملگرهای بکار رفته دارد. عملگرهایی که در این فرآیند بر والدین اعمال می‌شوند؛ تقاطع، جهش پیشرفته (که شامل تبدیل، حذف و اضافه می‌گردد) و تولید دوباره می‌باشند. در عملگر تقاطع مانند آنچه که در طبیعت رخ می‌دهد، والدین ژنهای خود را بصورت تصادفی عوض کرده تا فرزندان جدید بوجود آیند.

در عملگرِ جهش، قبل از تقاطع، بر روی ژنهای فردی که بصورت تصادفی انتخاب شده، جهش رخ می‌دهد. در تولید دوباره نیز والدین بدون هیچگونه تغییر ژنی به مجموعه اولاد منتقل می‌شوند (همان عملگر انتخاب است). دو عملگر پیشرفتهٔ دیگر که جایگشت و تعویض لایه‌ها می‌باشند بطور جداگانه و ترکیبی بکار گرفته شده‌اند.

در مرحلهٔ پایانی، بر روی اولاد شرطِ رسیدن به جواب بررسی می‌شود. البته ممکن است که در بهینه‌سازی شرط رسیدن به جواب بهینه وجود نداشته باشد و به جای آن تعداد نسلی که باید این روند را تکرار کنند در نظر گرفته شود. بنابراین فرآیند مربوطه، به تعداد نسل‌های مشخص ادامه پیدا می‌کند. شکل (۳)، چگونگی فرآیند الگوریتم ژنتیک پیشرفته و چگونگی عملکرد انواع عملگرهای بکار رفته در این تحقیق را نشان داده است.



شکل (۳): فرآیند و عملگرهای الگوریتم ژنتیک این تحقیق

جنس مواد بکاررفته در پوسته‌ها به عنوان پارچه‌های کامپوزیتی لایه‌ای بهمراه رزین اپوکسی و خصوصیات مکانیکی آنها درجدول (۱) آورده شده است (مرجع[۲۰]).

جنس هسته‌های بکار رفته در این الگوریتم برای بهینه‌سازی سازهٔ ساندویچی از انواع هسته‌های گسترده و لانه‌زنبوری شکل گرفته است. این موارد شامل: هسته‌های گستردهٔ بالسا، فوم‌های PVC : دایوینیسلH و HD [۲۱]، کُرسل و رُهاسل [۲۲] و لانه‌زنبوری‌های HRH-10 و HRH-78 [۲۳] می‌باشند. جدول (۲)خواص مکانیکی انواع این هسته‌ها را نشان داده و مقایسه کرده است. در این تحقیق برای هرکدام از ابعاد مختلف پنل، برنامهٔ نوشته شده با نرم‌افزار Matlab®7، ٦ بار اجرا شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول(۱) : خواص مکانیکی پوسته‌های پارچه‌ای بهمراه رزین اپوکسی مورد استفاده در بهینه‌سازی[۲۰]

جنس مواد	چگالی (kg/m2)	E11,22 (GPa)	G12 (GPa)	υ12	S11,22 درکشش (MPa)	S11,22 در فشار (MPa)	Sshear (MPa)
الیاف شیشه	۰/۱۸۵	۱۵/۱	۴/۵	۰/۱۹	۲۲۵	۱۵۰	۸۰
الیاف کربن	۰/۱۸۰	۵۰	۱۰	۰/۲۵	۳۲۰	۲۵۰	۱۰۰
الیاف کولار	۰/۱۷۰	۳۰	۶	۰/۲	۲۹۰	۱۰۰	۹۰

دو اجرا مربوط به الگوریتم ژنتیک پیشرفته با عملگر جایگشت، دو اجرا با عملگر تعویض لایه‌ها و دو تای دیگر نیز بصورت ترکیبی می‌باشند (شکل (۴)). پارامترهای لازم برای استفاده در الگوریتم ژنتیک این تحقیق نیز درجدول (۳) آورده شده‌اند.

جدول(۲) : جنس و خصوصیات مکانیکی هسته‌های مورد استفاده

هسته‌های گسترده

Material	Balsa	Divinycell® H	Divinycell® HD	Core-Cell®	Rohacel®
Density (kg/m^3)	۹۰	۹۵	۱۰۰	۹۸	۱۱۰
E (MPa)	۶۱۳	۹۵	۹۰	۱۰۰	۱۲۵
G(MPa)	۹۶	۳۰	۲۰	۳۶	۴۵
S_{shear} (MPa)	۱/۶	۱/۲	۱/۵	۱/۲	۲/۱

هسته‌های لانه‌زنبوری

Material	Density (kg/m^3)	Cell diameter (mm)	G_{13} (MPa)	G_{23} (MPa)	S_{13} (MPa)	S_{23} (MPa)
HRH-10	۵۳	۹/۵	۳۷	۲۴/۵	۱/۱	۰/۹
HRH-78	۵۱	۷	۳۳	۲۰	۰/۸۵	۰/۷

جدول(۳) : پارامترهای الگوریتم ژنتیک مورد استفاده در بهینه‌سازی

اندازه جمعیت	۳۰
تعداد متغیرها	۲۱
احتمال جهش	۰/۱
احتمال تقاطع	۰/۷۵
احتمال جایگشت و/یا تعویض لایه‌ها	۰/۷۵

اما نکتهٔ مورد اشاره دربارهٔ برنامهٔ نوشته شده اینست که: برنامهٔ اصلی دارای ۱۵ زیر برنامه است؛ که این زیر برنامه‌ها شامل ایجاد جمعیت اولیه، اعمال قیدها، اعمال تابع اصلی و تابع برازندگی و اعمال عملگرهای الگوریتم مربوطه می‌شوند. جدول (۴) نیز نتایج تحلیل پایانی برای پنل با ابعاد خاص و بارگذاری‌های فشاری مختلف را نشان داده است که علامت‌های اختصاری G، K و C به ترتیب بیانگر الیاف شیشه، کولار و کربن هستند. همچنین با توجه به تقارن لایه‌های سازهٔ ساندویچی، فقط ترتیب لایه‌گذاری یک پوسته آورده شده است.

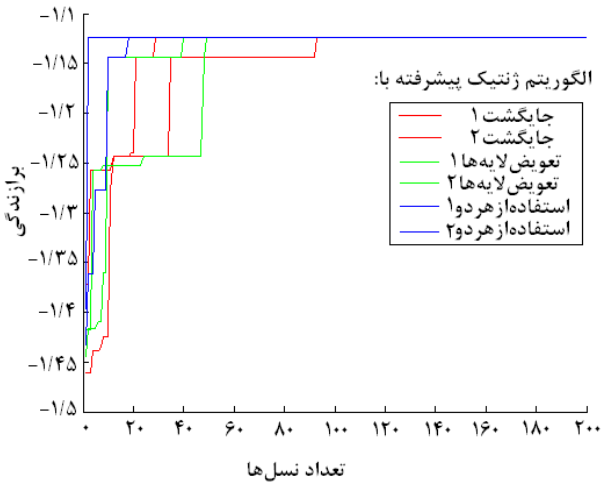
جدول(۴): نتایج اجرای الگوریتم ژنتیک (a=۸۰۰mm و b=۷۰۰mm)

F_f	جنس هسته	t_c (mm)	جنس لایه‌ها	جهت قرارگیری لایه‌ها	تعداد لایه‌ها	فشار (KPa)
−۱/۲	HRH-78	۱۲	G/C/K	±۴۵/±۴۵/۰-۹۰	۳	۱۰
−۱/۴	HRH-10	۱۲	G/C/C/K	±۴۵/۰-۹۰/۰-۹۰/۰-۹۰	۴	۲۰
−۱/۶	HRH-10	۱۵	G/G/C/C/C	۰-۹۰/۰-۹۰/±۴۵/±۴۵/±۴۵	۵	۳۰
−۱/۸	Corecel®	۱۸	G/G/K/C	±۴۵/±۴۵/۰-۹۰/۰-۹۰	۴	۴۰
−۲/۰	Div.HD	۱۸	G/C/C/K/C	±۴۵/±۴۵/۰-۹۰/۰-۹۰/۰-۹۰	۵	۵۰
−۲/۲	Div.H	۱۸	G/C/C/C/C/K	۰-۹۰/±۴۵/۰-۹۰/۰-۹۰/۰-۹۰/۰-۹۰	۶	۶۰

شکل (۴)، نمایانگر روند بهینه‌سازی پنل ساندویچی با طول a=۸۰۰mm و عرض b=۷۰۰mm است که تحت فشار یکنواخت بیرون صفحه‌ای q=۱۰KPa قرار گرفته است. همانطور که دیده می‌شود با استفاده از عملگرهای جایگشت، تعویض لایه‌ها و ترکیب هر دو، بعد از چندین نسل، الگوریتم همگرا شده است.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل (۴) : نمودار برازندگی بر حسب نسلِ الگوریتم ژنتیک پیشرفته (q=۱۰KPa، a=۸۰۰mm و b=۷۰۰mm)

٤- نتیجه

مواردی که در ادامه می‌آیند در نتیجه‌گیری از مبحث طراحی بهینه سازه‌های ساندویچی با الگوریتم ژنتیک پیشرفته، مورد توجه است:

- استفاده از عملگرهای جدید تبدیل، حذف و اضافه، به عنوان جزیی از عملگر جهش از مواردی است که در این تحقیق مهم جلوه می‌کند. این عملگرها از کارایی بالایی برای بالا بردن سرعت همگرایی الگوریتم به جواب بهینه پایانی برخوردارند. بنابراین استفاده از این سه عملگر بعنوان زیر مجموعه‌ای از عملگر جهش بخصوص برای تعیین جنس لایه‌ها و ترتیب لایه‌گذاریشان بسیار سودمند است.
- عملگرهای جدید جایگشت و تعویض لایه‌ها که بعنوان عملگرهای پیشرفتهٔ الگوریتم ژنتیک شناخته می‌شوند، توانسته‌اند بصورت مجزا کارایی خود را در طراحی بهینه لایه‌های کامپوزیتی از لحاظ جنس لایه‌ها و ترتیب زاویهٔ لایه‌چینی نشان دهند. در این مقاله برای اولین بار ترکیب این دو عملگر پیشرفته نتایج منحصربفردی را نسبت به استفادهٔ مجزا از این دو عملگر نشان داده است. این مدعا با بکارگیری جایگشت، تعویض لایه‌ها و ترکیب هر دو و همچنین اجرای چندین‌باره برای ابعاد پنل مختلف به اثبات رسیده است. از برتریهای این دو عملگر می‌توان به ایجاد فشار و پراکندگی بطور همزمان بر روی جمعیت نسل‌ها برای رسیدن به جواب بهینه، اشاره کرد.
- در تعریف مسألهٔ بهینه‌سازی با الگوریتم ژنتیک پیشرفته، تابع برازندگی F_f بصورت(۱۱) تعریف شده است. در اجرای برنامهٔ نوشته شده، این تابع نسبت به پارامترهای جایزه و جریمهٔ تعریف شده بسیار حساس است و در تعریف آن می‌بایست زیاد دقت نمود. در الگوریتم ژنتیک این مقاله پارامترهای مربوطه تابعی از فشار وارده بر پنل می‌باشند.

با حل مسأله با استفاده از الگوریتم ژنتیک و استخراج جواب‌های بهینه برای ابعاد و فشارهای مختلف، نتایجی حاصل شده‌اند که با توجه به کاربرد این سازه‌ها در صنایع مختلف قابل بررسی‌اند. این موارد عبارتند از:

- با توجه به جدول (٤)، استفاده از لانه‌زنبوری‌ها در فشارهای پایین با توجه به در نظر گرفتن ابعاد پنل و لحاظ کردن مسألهٔ کمینه کردن وزن، توجیه می‌شود. این موضوع در صنایع هوایی و بخصوص در پوستهٔ سازهٔ بال‌ها بیشتر جلوه می‌کند. در صنایع هوا دریا که هم فشارهای آیرودینامیکی و هم فشارهای هیدرودینامیکی وجود دارد، با توجه به کمتر بودن فشارهای آیرودینامیکی، برای قسمت‌هایی که تنها تحت این فشارها می‌باشند، می‌توان با هسته‌های لانه‌زنبوری خصوصیات مطلوب طراح را بدست آورد.
- همچنین نتایج جدول (۴) نشان می‌دهد که در فشارهای بالاتر (مانند فشارهای ناشی از بارگذاری هیدرودینامیکی) استفاده از لانه‌زنبوری‌ها مناسب نمی‌باشد؛ اما هسته‌های فومی و یا بالساها، کاربردی‌تر می‌باشند. نشان درستی این موضوع، استفاده از پوسته‌های ساندویچی بدنهٔ شناورهای دریایی با هسته‌های فومی یا بالسایی است، که امروزه بطور کلی جایگزین پوسته‌های تک ماده‌ای شده‌اند.

۵- تقدیر و تشکر

بیشتر تحقیقات انجام گرفته برای این مقاله، در گروه شناورهای اثر سطحی شیراز وابسته به سازمان صنایع دریایی انجام پذیرفته است؛ بنابراین نویسندگان این مقاله لازم می‌دانند که از تمامی دست‌اندرکاران این مجتمع بویژه اعضای محترم گروه پژوهشی سازه‌های دریایی سپاسگزاری نمایند.

www.SID.ir

Archive of SID

۶- مراجع

[۱] SP. Systems; Composite Engineering Materials Handbook, http://www.spsystem.com, 1999.

[۲] Zenkert, D.; Sandwich Construction, Engineering Materials Advisory Services, Ltd.,Cradley Heath, West Midlands, UK., 1997.

[۳] Plantema, F.J.; Sandwich Construction, Wiley, NewYork, 1966.

[۴] Ley, R.P., Lin, W. and Mbanefo, U.; Facesheet Wrinkling in Sandwich Structures, NASA CR-1999-208994, 1999.

[۵] Wadee, M.A., Hunt, G.W.; Interactively Induced Localized Buckling in Sandwich Structures with Core Orthotropy, J. Appl. Mech. Trans., ASME 65, 523-528, 1998.

[۶] Niu, K., Talreja, R.; Modeling of Wrinkling in Sandwich Panels under Compression, J. Eng. Mech., Vol. 125, 875-883, 1999.

[۷] Vonach, W.K. and Rammerstorfer, F.G.; A General Approach to the Wrinkling Instability of Sandwich Plates, Structural Engineering and Mechanics, 12, 363–376, 2001.

[۸] Fagerberg, L.; Wrinkling and Compression Failure Transition in Sandwich Panels, Journal of Sandwich Structures and Materials, 6(2), 129–144, 2004.

[۹] Cruz R,J.; Optimization of Composite Sandwich Cover Panels Subjected to Compressive Loadings, NASA TP-3173, December, 1991.

[۱۰] Malott, B., Averill R.C., Goodman E.D., Diny, Y. & Punch, W.F.; Use of Genetic Algorithms for Optimal Design of Laminated Composite Sandwich Panels with Bending-Twisting Coupling. In Proceedings of the 37th AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics, & Materials Conference, Pages 1871-1881, Saltlake city, UT, 1996.

[۱۱] Kodiyalam S., Nagendra, S. & deStefano J.; Composite Sandwich Construction Optimization with Application to Satellite Components, AIAA Journal, 34(3): 614-621, 1996.

[۱۲] Moh J & Hwu C.; Optimization for Buckling of Composite Sandwich Plates, AIAA Journal, Vol. 35, No5, 863-868, 1997.

[۱۳] Gantovnik V.B., Gurdal Z., Watson L. T.; A Genetic Algorithm with Memory for Optimal Design of Laminated Sandwich Composite Panels, Comp. Struc., Vol. 58, 513-520, 2002.

[۱۴] رضا ثابت سروستانی؛ بهینه‌سازی مشخصه‌های یک ورق کامپوزیتی ساندویچی با رویه‌های چندلایه و مغزی لانه‌زنبوری، تحت قیود کمانش و با استفاده از الگوریتم ژنتیک، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، بخش مکانیک ،دانشکده مهندسی ، دانشگاه شیراز، ۱۳۸۰.

[۱۵] محمدجعفر جمالی، ایرج رجبی و حیدر انصاری‌فر؛ " حل غیرخطی پنل‌های ساندویچی با هسته‌های فومی ارتوتروپیک و روکش‌های کامپوزیتی لایه‌ای در کاربردهای دریایی"، مجموعه مقالات چهاردهمین کنفرانس سالانه مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی اصفهان، اردیبهشت ۱۳۸۵.

[۱۶] محمدجعفر جمالی؛ "بهینه‌سازی وزنی سازهٔ ساندویچی (هسته گسترده و لانه‌زنبوری) با روکش‌های لایه‌ای تحت بار فشاری بیرون صفحه‌ای با استفاده از الگوریتم ژنتیک" پایان‌نامه کارشناسی ارشد، بخش مکانیک ،دانشکده مهندسی ، دانشگاه شیراز، ۱۳۸٤.

[۱۷] Haftka, R.T., Walsh, J.L.; Stacking Sequence Optimization for Buckling of Laminated Plates by Integer Programming, AIAA Journal, Vol. 30, 814-819, 1992.

[۱۸] Soremekun, G.A.E.; Genetic Algorithm for Composite Laminate Design and Optimization, M.Sc. Dissertation, Virginia Polytechnic Institute and State University, February 1997.

[۱۹] Lin, C.C., Lee, Y.J.; Stacking Sequence Optimization of Laminated Composite Structures Using Genetic Algorithm with Local Improvement, Comp. Struc., Vol. 63, 339-345, 2004.

[۲۰] مجتمع علوم و فن‌آوری هوادریا؛ خواص مکانیکی لایه‌های کامپوزیتی، گروه سازه، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، ۱۳۸٤.

[۲۱] Divinycell International AB; H & HD Grade Technical Specifications,http://www.divinycell.com.

[۲۲] Greene, E.; Marine Composites, Eric Greene Associates, Inc., England, 1999.

[۲۳] Hexcel Composites; HexWeb® HRH®-10 & 78 Product Data, http://www.hexcelcomposites.com.

۷- زیرنویس‌ها:

[۱] Extended Core
[۲] Honeycomb
[۳] Bulk Core
[٤] GFRP
[٥] CFRP
[٦] AFRP
[۷] Symmetric Angle Ply
[۸] Bonus
[۹] Penalty
[۱۰] Offspring

www.SID.ir