

## بهینه سازی پانل ساندویچی هسته منشوری بر اساس الگوریتم گروه ذرات

حسین همتیان<sup>۱\*</sup>، عبدالحسین فریدون<sup>۲</sup>، مرتضی رجب پور<sup>۲</sup>

اطلاعات مقاله	چکیده
دریافت مقاله: مهر ۱۳۸۸ پذیرش مقاله: اسفند ۱۳۸۸	
<b>واژگان کلیدی:</b> پانل ساندویچی هسته منشوری کمترین وزن قید تسلیم قید کمانش بهینه سازی گروه ذرات	پانل‌های ساندویچی به دلیل ساختار منحصر به فرد خود، دارای ویژگی‌های خاصی هستند، که مهم‌ترین ویژگی آن‌ها نسبت استحکام به وزن بالا می‌باشد. متغیرهایی که برای طراحی پانل‌های ساندویچی تعریف شده‌اند، باید به نحوی تعیین شوند، که در عین فراهم آوردن استحکام لازم، کمترین وزن را نیز داشته باشند. به همین دلیل استفاده از الگوریتم‌های بهینه سازی در طراحی این پانل‌ها از اهمیت خاصی برخوردار است. بهینه سازی گروه ذرات (PSO) یک روش تصادفی الهام گرفته از طبیعت می‌باشد که برای حل مسائل ترکیبی و چند منظوره در مهندسی به کار می‌رود. در این مقاله کاربرد این روش در بهینه سازی وزن پانل ساندویچی با هسته منشوری با رعایت قیدهای تسلیم و کمانش بیان شده است. از آنجایی که الگوریتم PSO نیاز به مشتق گیری و حدس اولیه خاص ندارد و نیز یک فرایند اتفاقی است، قادر است فضای حل وسیعی را با احتمالی مناسب جستجو کند. مقایسه نتایج نشان داد که الگوریتم PSO به جواب‌های بهتری رسیده که در تکرارهای کمتری به دست آمده است.

### ۱- مقدمه

کاربرد در سازه‌های هوشمند، مقاومت صوتی و گرمایی و قابلیت خنک‌کاری نیز از مواردی هستند که باعث افزایش کاربری این سازه‌ها شده‌اند [۸]. در یک پانل ساندویچی تحت بارگذاری استاتیکی، خمش اعمال شده به سازه توسط رویه‌ها و برش توسط هسته تحمل می‌شود [۱]. طراحی بهینه‌ی این پانل‌ها از نظر وزن با رعایت قیود طراحی مانند تسلیم و کمانش از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. بهینه‌سازی پانل‌های ساندویچی با استفاده از روش‌های مرسوم ریاضی توسط والدویت<sup>۱</sup> [۷] و با استفاده از الگوریتم ژنتیک توسط تان<sup>۲</sup> [۹] انجام شده است. همچنین بهینه‌سازی پانل‌های ساندویچی هسته منشوری

پانل‌های ساندویچی با هسته‌های منشوری، سازه‌های نوین و مهمی هستند که با روش‌های جدیدی تولید می‌شوند [۱]. پانل‌های ساندویچی فلزی با هسته‌های متفاوت خربا، منشور و پارچه ساخته شده و مورد تحلیل و آزمایش قرار گرفته‌اند [۲-۶].

برخورداری از وزن کم، مقاومت در مقابل بار مشخص و قابلیت چند منظوره بودن، کاربرد این پانل‌ها را افزایش داده است [۷]. ویژگی‌های دیگر نظیر قابلیت جذب انرژی،

\* پست الکترونیک نویسنده مسئول: hoseinhemmatian@gmail.com

۱. کارشناس ارشد، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه سمنان، سمنان

۲. دانشیار، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه سمنان، سمنان

۳. کارشناس ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد سمنان، باشگاه پژوهشگران جوان، سمنان

<sup>1</sup> Valdevit

<sup>2</sup> Tan

بر اساس قیود تسلیم و کمانش، با استفاده از روش قابلیت اعتماد صورت پذیرفته است [۱۰].	d	ضخامت صفحات رویه
الگوریتم‌های بهینه سازی کلونی مورچه ها و گروه ذرات	$d_c$	ضخامت صفحات هسته
دو الگوریتم برجسته بر اساس شبیه سازی برهم کنش‌های بین اعضای یک گونه خاص در جستجوی منبع غذا می‌باشند [۱۱]. گروه ذرات برگرفته از رفتار اجتماعی دسته پرندگان، زنبورها و ماهی ها است که حرکات فیزیکی آن‌ها را برای ایمنی و یافتن بهترین منبع غذا تنظیم می کند [۱۲ و ۱۳]. الگوریتم گروه ذرات اولین بار توسط کندی <sup>۱</sup> و ابهارت <sup>۲</sup> [۱۴] ارائه شد. این الگوریتم از جمله الگوریتم‌های تکاملی می‌باشد که در حل مسائل بهینه‌سازی کاربرد وسیعی پیدا کرده است. همچنین به دلیل عملکرد مطلوب در فضاهای جستجوی نامعین و استفاده مستقیم از مقادیر تابع و عدم نیاز به مشتق آن، کاربری آن رشد فزاینده‌ای در حل مسائل بهینه‌سازی داشته و در حل مسائل تک هدفی و چند هدفی کاربرد وسیعی دارد. این الگوریتم قوی برای طراحی های خطی، غیر خطی و چند منظوره مناسب می باشد و به آسانی برای متغیرهای پیوسته، مجزا و صحیح به کار برده می‌شود.	V	نیروی برشی ماکزیمم
	M	ممان خمشی ماکزیمم
	W	وزن سازه در واحد عرض
	E	مدول الاستیسیته
	$\Pi$	شاخص بارگذاری
	$\Psi$	شاخص وزن
	$\rho$	چگالی ماده
	$\sigma_y$	تنش تسلیم
	$\varepsilon_y$	کرنش تسلیم
	$K_c$	ضریب کمانش هسته
	$K_f$	ضریب کمانش رویه

## ۲- پانل ساندویچی با هسته‌های منشوری<sup>۵</sup>

پانل‌های ساندویچی با هسته های منشوری از هسته‌هایی تشکیل شده اند که دارای فضای خالی بوده و از شکل دهی ورق‌ها به وجود می آیند. نامگذاری این پانل‌ها براساس تعداد نیم موج های هسته می‌باشد. در شکل ۱ دو پانل با  $N=1$  و  $N=4$  و نحوه بارگذاری آن نشان داده شده است.

### ۲-۱- صورت بندی مسئله

هدف از بهینه سازی این نوع پانل، کمینه کردن وزن سازه به ازای مقدار مشخص بارگذاری عرضی با رعایت قیود تسلیم و کمانش در صفحات رویه و هسته می‌باشد. زاویه قرار گرفتن صفحات هسته که در شکل ۲ با  $\theta$  نمایش داده شده برابر با  $\theta = \tan^{-1} \sqrt{2} = 54.7^\circ$  در نظر گرفته شده است، زیرا بیشترین استحکام برشی در

تانگ یانفا<sup>۳</sup> و همکارانش [۱۵] براساس معیار های شکست و تورق و امکار<sup>۴</sup> و همکارانش [۱۶] بر اساس معیار وزن، صفحات کامپوزیتی را با استفاده از الگوریتم PSO بهینه کرده‌اند. در این مقاله، وزن پانل با واحدهای باز منشوری تحت بارگذاری عرضی، براساس قیودهای تسلیم و کمانش توسط الگوریتم گروه ذرات بهینه شده و نتایج با کار والدویت [۷] مقایسه گردیده است.

متغیرهای مورد استفاده در این مقاله عبارتند از:

N	تعداد نیم موج های هسته
$\theta$	زاویه قرار گرفتن صفحات هسته
H	فاصله صفحات رویه

<sup>1</sup> Kennedy

<sup>2</sup> Eberhart

<sup>3</sup> TANG Yuanfu

<sup>4</sup> OMKAR

<sup>5</sup> Prismatic cores sandwich panel

پانل‌های ساندویچی با هسته های منشوری تحت این زاویه ایجاد می‌گردد [۱۷].

کمانش رویه

$$g_3: 1 - \frac{48}{K_f \pi^2 N^2 \tan^2 \theta EM} \frac{V^2}{l} \left(\frac{H-d}{l}\right) \left(\frac{l}{d}\right)^3 \geq 0$$

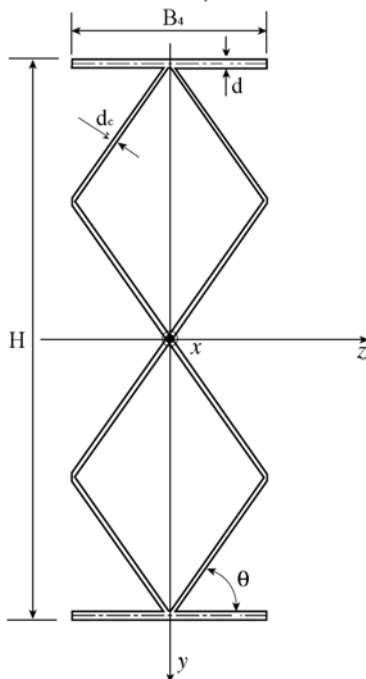
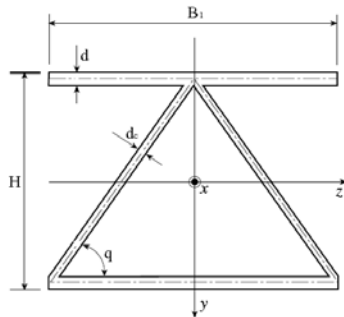
کمانش هسته

$$g_4: 1 - \frac{12}{K_c \pi^2 N^3 \sin^3 \theta EM} \frac{V^2}{l} \left(\frac{H-d}{l}\right)^2 \left(\frac{l}{d_c}\right)^3 \geq 0$$

$K_c$  و  $K_f$  نیز مطابق روابط زیر بیان می‌شوند [۱۷]:

$$K_f = \left( \frac{2.4 \cos \theta (d_c/d)^3 + 1}{1.2 \cos \theta (d_c/d)^3 + 1} \right)^2 \quad (3)$$

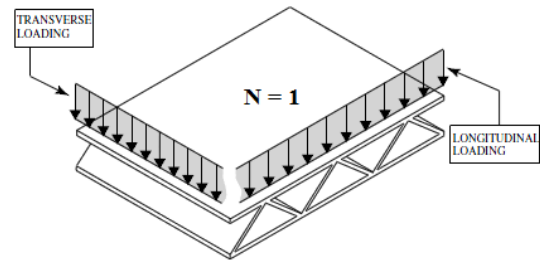
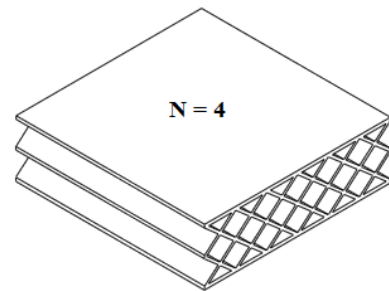
$$K_c = \begin{cases} 1.375 \left( \frac{2.2 + 1.2(d/d_c)^3 / \cos \theta}{1.6 + 0.6(d/d_c)^3 / \cos \theta} \right)^2 & N=1 \\ 1.125 & N \geq 2 \end{cases} \quad (4)$$



شکل ۲- متغیرهای طراحی و محورهای مختصات اصلی [۱۷]

صورت خلاصه مسئله بهینه سازی بصورت زیر می‌باشد:

$$S.t: g_i \geq 0 \quad \text{Min } \psi = 2 \frac{d}{l} + \frac{N}{\cos \theta} \frac{d_c}{l} \quad (5) \\ i = 1, 2, 3, 4$$



شکل ۱- پانل‌های ساندویچی با هسته های منشوری و نحوه بارگذاری آن [۱۷]

متغیرهای طراحی براساس شکل ۲ عبارتند از:  $d/l, H/l$  و  $d_c/l$  [۲]. پارامتر  $l$  به صورت نسبت  $l = M/V$  تعریف می‌شود که رابطه مستقیم با طول بارگذاری دارد [۱].

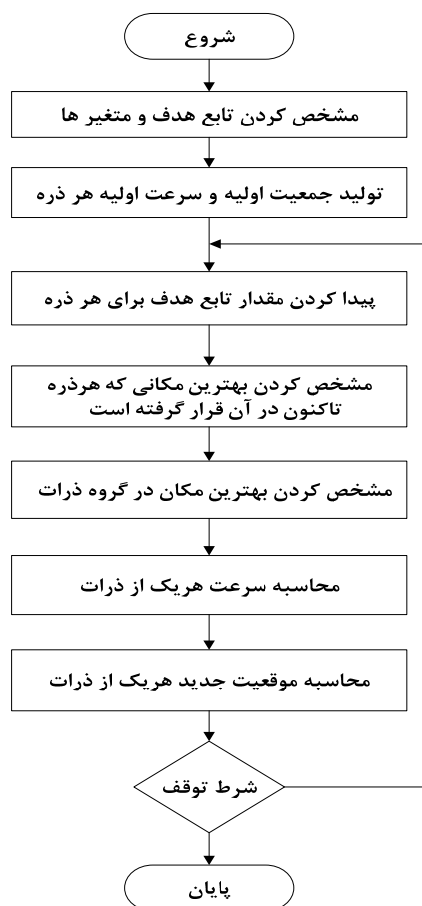
جهت سهولت در تحلیل مسئله دو پارامتر بی‌بعد  $\Psi = W/\rho l^2$  و  $\Pi = V/\sqrt{EM}$  معرفی می‌گردند که در آن  $\Pi$  شاخص بارگذاری و بیانگر بار اعمالی به سازه و  $\Psi$  شاخص وزن سازه می‌باشد. در این نوع پانل‌ها که عمدتاً هسته و رویه‌ها هر دو از یک جنس ساخته می‌شوند، وزن سازه به صورت  $W = 2\rho dl + N\rho d_c l / \cos \theta$  بیان می‌شود که در حالت بی‌بعد داریم [۱۷]:

$$\psi = \frac{W}{\rho l^2} = 2 \frac{d}{l} + \frac{N}{\cos \theta} \frac{d_c}{l} \quad (1)$$

قیدهای طراحی تسلیم و کمانش اجزاء سازه برای بارگذاری عرضی به صورت زیر می‌باشند [۱۷]:

$$g_1: 1 - \frac{V^2}{EM} \frac{E}{\sigma_y} \frac{l}{d} \left(\frac{H-d}{l}\right)^{-1} \geq 0 \quad \text{تسلیم رویه} \quad (2)$$

$$g_2: 1 - \frac{1}{N \sin \theta} \frac{V^2}{EM} \frac{E}{\sigma_y} \frac{l}{d_c} \geq 0 \quad \text{تسلیم هسته}$$



شکل ۳- فلوجارت الگوریتم پیشنهادی

### ۳-۱- شکل دهی جمعیت اولیه

در بهینه سازی، هدف یافتن یک جواب بهینه بر حسب متغیرهای مسئله است. یک آرایه از متغیرهای مسئله را که باید بهینه شوند، ایجاد می کنیم و آن را یک ذره می نامیم [۱۸]. در بهینه سازی یک مسئله  $N_{var}$  بعدی، یک ذره، یک آرایه سطری با  $N_{var}$  درایه است. این آرایه به صورت زیر تعریف می شود.

$$Particle = [p_1, p_2, p_3, \dots, p_{N_{var}}] \quad (7)$$

برای شروع الگوریتم، باید تعدادی از این ذرات (به تعداد ذرات اولیه الگوریتم) ایجاد شوند. بنابراین ماتریس کل ذرات به صورت تصادفی تشکیل می شود.

رابطه ۵ بیان می کند که هدف از بهینه سازی، مینیمم کردن وزن با رعایت قیود تسلیم و کماتش است. ضمناً دامنه متغیرهای طراحی نیز به صورت زیر می باشد:

$$\begin{aligned} 0.001 < d/l < 0.01 \\ 0.0001 < d_c/l < 0.003 \\ 0.01 < H/l < 0.2 \end{aligned} \quad (6)$$

### ۳- الگوریتم گروه ذرات (PSO)

ایده اصلی الگوریتم گروه ذرات، از حرکات منظم جمعی پرندگان و ماهی ها اقتباس شده است. برای مدلسازی نظم موجود در حرکت جمعی این جانداران دو دیدگاه در نظر گرفته شده است. یک بعد، تعاملات اجتماعی موجود بین اعضای گروه است و بعد دیگر امتیازات فردی می باشد که ممکن است هر یک از اعضای گروه واجد آن ها باشد. در بعد اول همه اعضای گروه موظف اند همواره موقعیت خود را با تبعیت از بهترین فرد گروه تغییر دهند و در بعد دوم لازم است تک تک اعضا بهترین موقعیت را که شخصاً تجربه کرده اند در حافظه خود نگهداری کرده و تمایلی نیز به سمت بهترین موقعیت درک شده گذشته خود داشته باشند، زیرا ممکن است هر یک از اعضا خود رهبر گروه شوند، به طوریکه بقیه اعضا وظیفه تبعیت از آن ها را داشته باشند [۱۸].

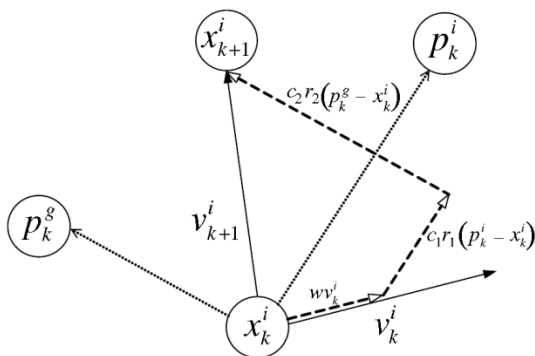
شکل ۳ فلوجارت الگوریتم گروه ذرات را نشان می دهد. مانند دیگر الگوریتم های تکاملی، این الگوریتم نیز با تعدادی جمعیت اولیه تصادفی که هر کدام از آن ها یک "ذره" نامیده می شوند، شروع می شود. بهترین عنصر جمعیت به عنوان بهترین فرد گروه انتخاب می شود. این ذره بسته به قدرتش، ذرات دیگر را با یک روند خاص که در ادامه می آید، به سمت خود می کشد. با گذشت زمان، ذرات از لحاظ قدرت به بهترین فرد گروه نزدیک تر خواهند شد و شاهد نوعی همگرایی خواهیم بود.

<sup>1</sup> Particle

همانطور که در شکل ۴ نشان داده شده، سرعت ذرات (۷) در هر مرحله با توجه به رابطه زیر محاسبه و موقعیت ذره (x) به روز می‌شود [۱۹].

$$\begin{aligned} v_{k+1}^i &= wv_k^i + c_1 r_1 (p_k^i - x_k^i) + c_2 r_2 (p_k^g - x_k^i) \\ x_{k+1}^i &= x_k^i + v_{k+1}^i \end{aligned} \quad (11)$$

که  $r_1$  و  $r_2$  دو عدد تصادفی در بازه [۰,۱] می باشند [۲۰].  $P_k^g$  و  $P_k^i$  به ترتیب، بهترین مکانی که تا کنون ذره در آن قرار گرفته و بهترین پاسخ بدست آمده تا این مرحله می‌باشد.



شکل ۴- نحوه به روز رسانی سرعت و موقعیت ذرات [۱۹]

ضرایب  $c_1$  و  $c_2$ ، فاکتور یادگیری<sup>۳</sup> نامیده می شوند و به ترتیب میزان فرمان پذیری ذره از بهترین تجربه شخصی و میزان فرمان پذیری ذره از بهترین تجربه جمع را نشان می دهند، که مجموع آن ها باید کمتر از ۴ باشد [۱۹].

ضریب  $w$  اینرسی وزنی<sup>۴</sup> نامیده می‌شود. ضریب اینرسی بیشتر، باعث گسترش بیشتر در فضا بدون توجه به تجربه شخصی و گروه می‌شود و ضریب اینرسی کمتر، باعث جمع شدن و حرکت در محدوده اطراف موقعیت فعلی می‌گردد. مقدار این ضریب باید کوچک‌تر از ۱ باشد. ضریب اینرسی در هر بار تکرار الگوریتم با توجه به رابطه زیر کاهش می‌یابد [۱۹].

$$w_{k+1} = w_k - \frac{w_k}{n} \quad (12)$$

<sup>3</sup> Learning factor  
<sup>4</sup> Inertia weight

$$\begin{aligned} Particle &= \begin{bmatrix} particle_1 \\ particle_2 \\ particle_3 \\ \vdots \\ particle_N \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} p_{1,1}, p_{2,1}, p_{3,1}, \dots, p_{N_{var},1} \\ p_{1,2}, p_{2,2}, p_{3,2}, \dots, p_{N_{var},2} \\ p_{1,3}, p_{2,3}, p_{3,3}, \dots, p_{N_{var},3} \\ \vdots \\ p_{1,N}, p_{2,N}, p_{3,N}, \dots, p_{N_{var},N} \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (8)$$

هزینه‌ی یک ذره با ارزیابی تابع  $f$  به ازای متغیرهای  $(p_1, p_2, p_3, \dots, p_{N_{VAR}})$  به دست می‌آید. بنابراین:

$$cost_i = f(p_1, p_2, p_3, \dots, p_{N_{VAR}}) \quad (9)$$

$i = 1, 2, 3, \dots, N$

ذره ای که دارای کمترین مقدار هزینه باشد به عنوان بهترین فرد گروه<sup>۱</sup> (بهترین تجربه) در نظر گرفته می‌شود. لازم به ذکر است که سرعت اولیه نیز برای هر ذره به صورت تصادفی تشکیل می‌گردد.

$$V = \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \\ \vdots \\ v_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_{1,1}, v_{2,1}, v_{3,1}, \dots, v_{N_{var},1} \\ v_{1,2}, v_{2,2}, v_{3,2}, \dots, v_{N_{var},2} \\ v_{1,3}, v_{2,3}, v_{3,3}, \dots, v_{N_{var},3} \\ \vdots \\ v_{1,N}, v_{2,N}, v_{3,N}, \dots, v_{N_{var},N} \end{bmatrix} \quad (10)$$

### ۳-۲- نحوه حرکت هر یک از ذرات

پس از تولید جمعیت اولیه (ذرات) و در نظر گرفتن یک سرعت اولیه برای هر ذره، کارایی هر ذره بر اساس موقعیتش مورد محاسبه قرار می‌گیرد. هر ذره سرعتش را براساس بهترین پاسخ به دست آمده در گروه ذرات (بهترین فرد گروه) و بهترین مکانی که تاکنون در آن قرار گرفته است<sup>۲</sup> تغییر می‌دهد. در تغییرات زمان واحد، این سرعت با موقعیت ذره جمع شده، موقعیت جدید ذره را بدست می‌آید.

<sup>1</sup> Best global solution  
<sup>2</sup> Best particle position

می‌باشد. برای جلوگیری از واگرایی و همگرایی زودرس، ماکزیمم و مینیمم سرعت محدود گردیده است، در ضمن شرط توقف الگوریتم ۵۰ تکرار در نظر گرفته شده است. پارامترهای مورد نیاز برای الگوریتم بهینه سازی گروه ذرات در جدول ۱ آورده شده که این مقادیر با بررسی پارامترهای مختلف به دست آمده است. پارامترهای PSO نقش موثری در رسیدن به بهینه کلی و سرعت همگرایی دارند که در انتهای مقاله با ارائه نمودارهای همگرایی در این مورد بیشتر بحث خواهد شد.

جدول ۱- پارامترهای PSO

تعداد ذرات	(تعداد متغیر) $N_{var}$	$w$	$c_1$	$c_2$	$v_{max}$
۴۰	۳	۰.۹	۲	۱.۹	۰.۱

جنس پانل ساندویچی، آلیاژ آلومینیوم با  $\varepsilon_y = \sigma_y / E = 0.007$  در نظر گرفته شده است. الگوریتم، پانل با تعداد آرایه مشخص (N) را به ازای مقادیر مختلف بار ( $\Pi$ ) در نظر گرفته و سبک وزن ترین پانل ( $\Psi$ ) که بار اعمالی معین را تحمل کند تعیین می‌کند. نتایج بهینه سازی برای تعداد نیم موج های ۱، ۲، ۴ و ۸ به ازای شاخص بارهای ۰.۰۰۱ و ۰.۰۰۲ در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۲- شاخص وزن و متغیرهای به دست آمده برای هر N

N	$\Pi$	$d/l$	$d_c/l$	$H/l$	$\Psi$
۱	۰.۰۰۱	۰.۰۰۴۳۰۳	۰.۰۰۰۹۶۶	۰.۰۳۷۵	۰.۰۱۰۲۷۸
	۰.۰۰۲	۰.۰۰۸۵۷۳	۰.۰۰۲۴۵	۰.۰۷۵۲۳۱	۰.۰۲۱۳۷۶
۲	۰.۰۰۱	۰.۰۰۳۰۴۴	۰.۰۰۰۶۶۲	۰.۰۴۹۹۷۵	۰.۰۰۸۳۷۸
	۰.۰۰۲	۰.۰۰۶۰۶۶	۰.۰۰۱۶۷۱	۰.۱۰۰۲۶۴	۰.۰۱۷۹۱۸
۴	۰.۰۰۱	۰.۰۰۲۱۵۵	۰.۰۰۰۴۱۷	۰.۰۶۸۴۵۶	۰.۰۰۷۱۹۳
	۰.۰۰۲	۰.۰۰۴۲۹۹	۰.۰۰۱۰۵۱	۰.۱۳۷۲۳۵	۰.۰۱۵۸۷۵
۸	۰.۰۰۱	۰.۰۰۱۵۲۵	۰.۰۰۰۲۶۲	۰.۰۹۵۲۲	۰.۰۰۶۶۸۱
	۰.۰۰۲	۰.۰۰۳۰۵	۰.۰۰۰۶۶۱	۰.۱۹۰۴۱	۰.۰۱۵۲۴۹۲

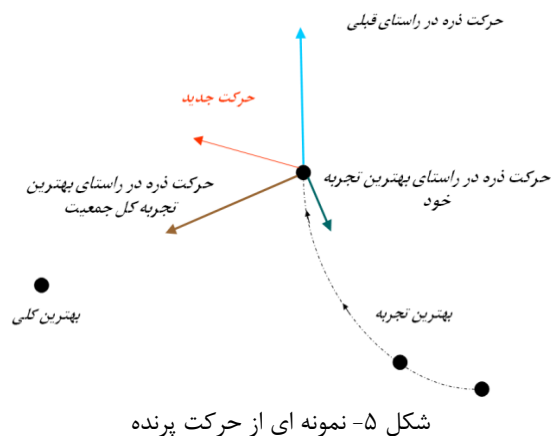
نمودارهای  $d/l$ ،  $d_c/l$ ،  $H/l$  و  $\Psi$  برحسب  $\Pi$  برای تعداد آرایه‌های مختلف در شکل‌های ۶ تا ۹ آورده شده است.

که  $n$  تعداد تکرار الگوریتم می باشد. برای پایداری الگوریتم باید شروط زیر بین ثابت های  $c_1$  و  $c_2$  و  $w$  برقرار باشد [۱۳].

$$0 < c_1 + c_2 < 4$$

$$\frac{c_1 + c_2}{2} - 1 < w < 1 \quad (13)$$

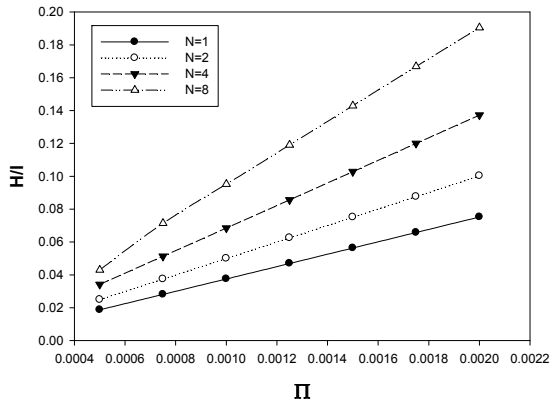
پس از به دست آوردن سرعت جدید، هر ذره به موقعیت جدید خود می رود. اگر ذره به موقعیت بهتری از بهترین مکانی که تاکنون در آن قرار گرفته است برسد، آنگاه موقعیت مذکور به عنوان بهترین مکانی که تاکنون ذره در آن قرار گرفته (بهترین تجربه شخصی) در نظر گرفته می‌شود. علاوه بر این در صورتیکه بهترین پاسخ بدست آمده در این مرحله، از بهترین پاسخ بدست آمده تا کنون بهتر باشد، آنگاه این موقعیت نیز به عنوان بهترین پاسخ بدست آمده (بهترین تجربه جمع) در نظر گرفته می‌شود. نحوه حرکت پرنده به مکان جدید خود در شکل ۵ نشان داده شده است.



#### ۴- نتایج و بحث

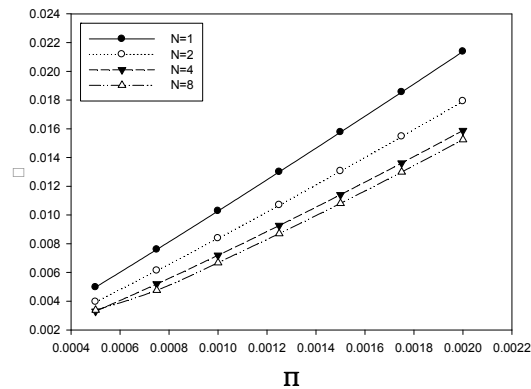
برنامه PSO در نرم افزار متلب<sup>۱</sup> نوشته شده که شامل چهار بخش می باشد: (۱) برنامه اصلی (۲) الگوریتم PSO (۳) تابعی برای تابع هدف (۴) تابعی شامل قیدها. این برنامه قابلیت افزودن متغیرها و قیدهای جدید را نیز دارا

<sup>۱</sup> MATLAB software



شکل ۸- ضخامت پانل (H/l) برحسب شاخص بار Π برای مقادیر مختلف تعداد آرایه (N)

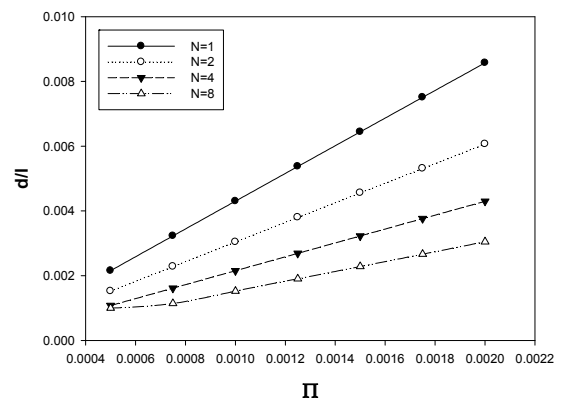
در شکل ۹ مشاهده می‌شود که با افزایش تعداد آرایه‌ها، وزن بهینه کاهش یافته است. همچنین با افزایش تعداد آرایه‌ها، نرخ افزایش وزن به ازای افزایش بار کاهش می‌یابد. افزایش تعداد آرایه‌ها از  $N=1$  تا  $N=4$  کاهش قابل توجهی در وزن ایجاد می‌کند، در حالیکه با افزایش  $N=4$  تا  $N=8$  این کاهش کمتر می‌شود.



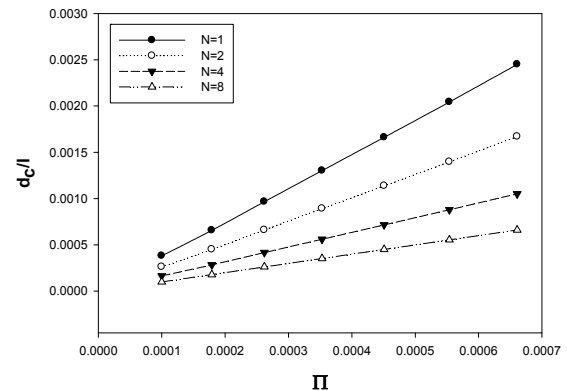
شکل ۹- شاخص وزن (Ψ) برحسب شاخص بار Π برای مقادیر مختلف تعداد آرایه (N)

مقایسه شاخص وزن با کار والدویت [۷] در شکل ۱۰ آورده شده است. مقایسه نشان می‌دهد که الگوریتم PSO به وزن پایین‌تری نسبت به مرجع [۷] رسیده است.

شکل‌های ۶ و ۷ بیان می‌کنند که با افزایش بارگذاری برای آرایه‌های مختلف،  $d/l$  و  $d_c/l$  افزایش می‌یابد تا از تسلیم و کمناش رویه و هسته جلوگیری کند. علاوه بر این برای یک بارگذاری معین، با افزایش تعداد آرایه،  $d/l$  و  $d_c/l$  جهت عدم تسلیم و کمناش کاهش می‌یابد، که منجر به کاهش وزن پانل ساندویچی می‌گردد.



شکل ۶- ضخامت رویه (d/l) برحسب شاخص بار Π برای مقادیر مختلف تعداد آرایه (N)

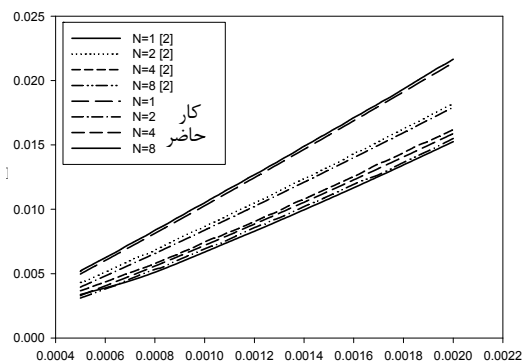


شکل ۷- ضخامت هسته ( $d_c/l$ ) برحسب شاخص بار Π برای مقادیر مختلف تعداد آرایه (N)

همانطور که در شکل ۸ نشان داده شده، با افزایش شاخص بارگذاری برای آرایه‌های مختلف،  $H/l$  افزایش می‌یابد تا از تسلیم و کمناش رویه و هسته جلوگیری کند. علاوه بر این برای یک بارگذاری معین، با افزایش تعداد آرایه،  $H/l$  افزایش می‌یابد.

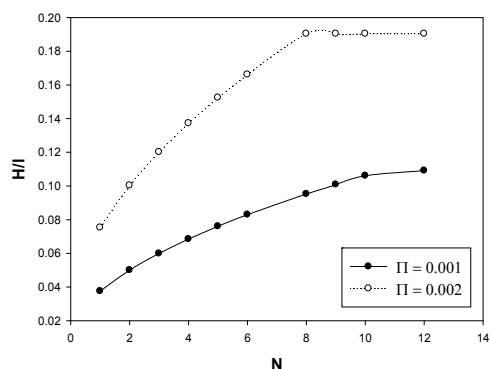
نظر گرفته شود، برای اینکه پانل ساندویچی تحت بارگذاری بیشتر دچار تسلیم و کمانش نگردد، وزن پانل باید افزایش یابد. ولی برای یک بارگذاری معین می توان با افزایش تعداد آرایه وزن پانل را کاهش داد.

ضخامت بهینه هسته و رویه با افزایش N کاهش یافته، ولی ارتفاع کلی پانل با افزایش N افزایش یافته است. از آنجا که با افزایش N بعد از N=4 تغییر زیادی در کاهش وزن رخ نمی دهد، پانل با هسته لوزی شکل (N=4) دارای کارایی سازه ای قابل توجه نسبت به پانل با هسته تک آرایه ای می باشد. البته اگر چنانچه محدودیت فضا مطرح نباشد N=12 بهترین سازه است. ضمن اینکه به علت محدودیت متغیرها و قیود، با افزایش N، وزن به یک مقدار مشخص همگرا می شود.

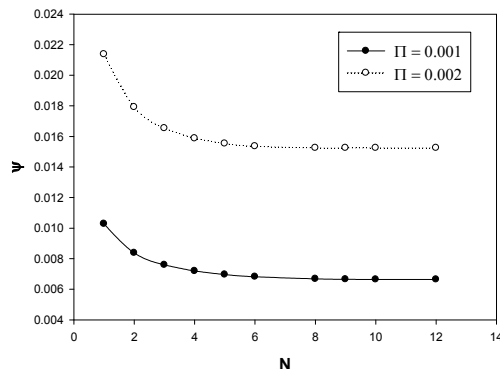


شکل ۱۰- مقایسه شاخص وزن ( $\Psi$ ) برحسب شاخص بار  $\Pi$  برای مقادیر مختلف تعداد آرایه (N) با کار والدویت [۷]

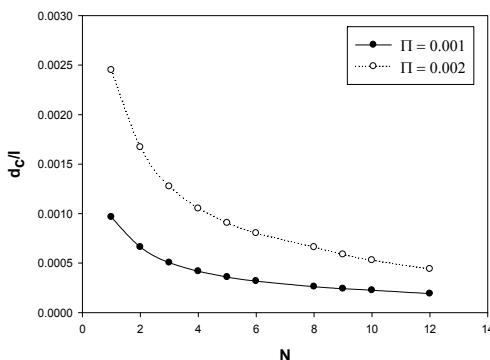
در شکل ۱۱ نمودارهای  $\Psi$ ،  $H/l$ ،  $d_c/l$  و  $d/l$  برحسب N برای بارهای  $\Pi = 0.001$  و  $\Pi = 0.002$  نشان داده شده است. همانطور که مشخص است، در تعداد آرایه معین با افزایش شاخص بار،  $d_c/l$ ،  $d/l$  و  $H/l$  و  $\Psi$  افزایش می یابند. یعنی اگر چنانچه تعداد آرایه ثابت در



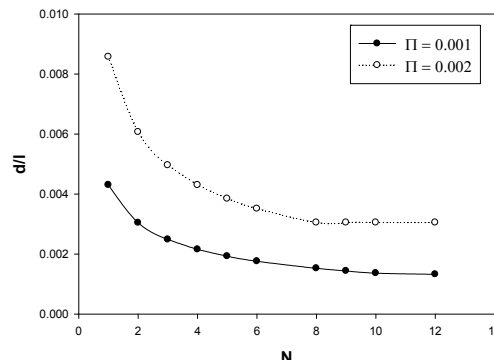
(ب) ضخامت پانل



(الف) شاخص وزن



(د) ضخامت هسته



(ج) ضخامت رویه

شکل ۱۱- نمودارهای شاخص وزن، ضخامت پانل، ضخامت رویه و ضخامت هسته برحسب تعداد آرایه (N) برای  $\Pi = 0.001$  و  $\Pi = 0.002$



### ۵- نتیجه گیری

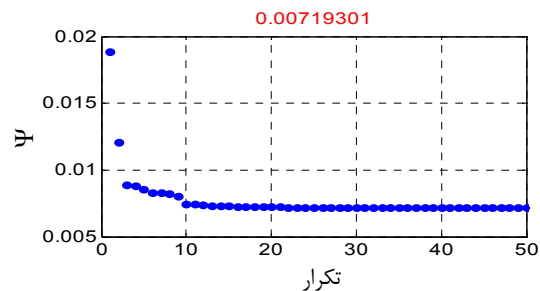
در این مقاله بهینه سازی پانل ساندویچی با هسته منشوری با استفاده از الگوریتم بهینه سازی گروه ذرات مورد بررسی قرار گرفت. وزن بهینه با توجه به قیود تسلیم و کمانش برای بارگذاری های عرضی و تعداد آرایه های مختلف هسته بدست آمد. بررسی ها نشان داد که با افزایش شاخص بارگذاری برای آرایه های مختلف،  $d_c/l$  و  $H/l$  افزایش می یابند.

علاوه بر این برای یک بارگذاری معین، با افزایش تعداد آرایه ها،  $d_c/l$  و  $d/l$  کاهش و  $H/l$  افزایش می یابد، یعنی ضخامت هسته و رویه با افزایش  $N$  کاهش و ارتفاع کلی پانل با افزایش  $N$  افزایش یافته است. نتایج نشان داد که با افزایش تعداد آرایه های هسته وزن پانل کاهش می یابد. همچنین با افزایش تعداد آرایه ها، نرخ افزایش وزن به ازای افزایش بار کاهش می یابد و پانل با هسته لوزی شکل دارای کارایی سازه ای قابل توجه نسبت به پانل با هسته تک آرایه ای می باشد.

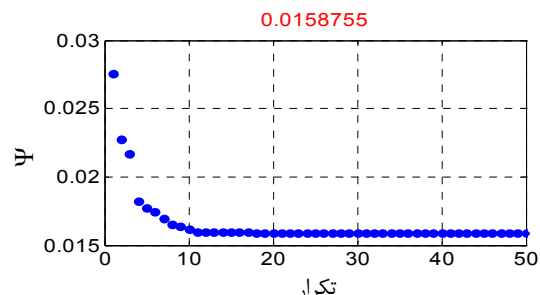
الگوریتم PSO در مقایسه با نتایج والدویت به جواب های بهتری دست یافته است که توانایی آن را در رسیدن به بهینه کلی با استفاده از متغیرهای پیوسته، نشان می دهد. این الگوریتم در مسائلی که نیاز به بهینه سازی کلی باشد بسیار مفید و قابل رقابت با سایر الگوریتم های فرا ابتکاری است. ضمن اینکه پارامترهای در نظر گرفته شده برای این الگوریتم، تغییرات زیادی را برای دست یافتن به جواب بهینه ممکن می سازد.

به منظور بررسی روند الگوریتم جهت رسیدن به حل بهینه، نمودارهای  $\Psi$  برحسب تکرار برای  $N=4$  و بارگذاری  $0.002$  و  $0.001$  در شکل ۱۲ نشان داده شده است. این نمودارها که نمودارهای همگرایی الگوریتم هستند، به خوبی نشان دهنده توانایی الگوریتم در دستیابی به حل بهینه می باشند.

همانطور که در شکل ۱۲ مشاهده می شود الگوریتم در کمتر از بیست تکرار به جواب بهینه رسیده، که برای سایر موارد نیز الگوریتم به نتایج مشابهی دست یافته است. پارامترهای PSO نقش موثری در رسیدن به بهینه کلی و سرعت همگرایی دارند، مقادیر متفاوتی برای این پارامترها در نظر گرفته شده و بهینه سازی انجام گردیده است. همانطور که نتایج و نمودارهای همگرایی نشان می دهند، مقادیر پارامترهای ارائه شده در جدول ۱، مقادیر مناسبی برای این مسئله می باشند.



$\Pi=0.001$



$\Pi=0.002$

شکل ۱۲- نمودارهای  $\Psi$  برحسب تکرار برای  $N = 4$

### مراجع

- [1] Haydn, N., Norman, A., Anthony, G. (2003), "Fabrication and structural performance of periodic cellular metal sandwich structures", Composites Science and Technology, Vol. 63, pp. 2331-2343.

- [2] Ashby, M.F., Evans, A.G., Fleck, N.A., Gibson, L.J., Hutchinson, J.W., Wadley, H.N.G. (2000), "Metal Foams: A Design Guide", Butterworth Heinemann, Boston.
- [3] Budiansky, B. (1999), "On the minimum weights of compression structures, International Journal of Solids and Structures", Vol. 36, pp. 3677–3708.
- [4] Wicks, N., Hutchinson, J.W. (2001), "Optimal truss plates, International Journal of Solids Structures", Vol. 38, pp. 5183–6165.
- [5] Zok, F.W., Rathbun, H.J., Wei, Z., Evans, A.G. (2003), "Design of metallic textile core sandwich panels, International Journal of Solids Structures", Vol. 40, pp. 5707–5722.
- [6] Evans, A.G., Hutchinson, J.W., Fleck, N.A., Ashby, M.F., Wadley, H.N.G. (2001), "The topological design of multifunctional cellular metals", Progress in Materials Science, Vol. 46, pp. 309–327.
- [7] Valdevit, L., Hutchinson, J., Evans, A. (2004), "Structurally optimized sandwich panels with prismatic cores", International Journal of Solids and Structures, Vol. 41, pp. 5105–5124.
- [8] Zok, F., Waltner, S., Wei, Z., Rathbun, H., Mc Meeking, R., Evans, A. (2004), "A protocol for characterizing the structural performance of metallic sandwich panels; application to pyramidal truss cores", International Journal of Solids and Structures, Vol. 41, pp. 6249–6271.
- [9] Tan, X., Soh, A. (2007), "Multi-objective optimization of the sandwich panels with prismatic cores using genetic algorithms", International Journal of Solids and Structures, Vol. 44, pp. 5466–5480.
- [۱۰] فریدون، ع.، محمدیان، م.، همتیان، ح. (۱۳۹۰)، "بهینه سازی پانل ساندویچی با هسته منشوری براساس روش قابلیت اعتماد"، نشریه علمی و پژوهشی مهندسی عمران، دانشگاه فردوسی مشهد، سال ۲۲، شماره ۱.
- [11] Dorigo, M., Maniezzo, V., Colomi, A. (1996), "The ant system: optimization by a colony of cooperating agents", IEEE Trans. Syst. Man. Cybernet. B, Vol. 26, pp. 29–41.
- [12] Eberhart, R., Kennedy, J. (1995), "New optimizer using particle swarm theory", In: Sixth international symposium on micro machine and human science, Nagoya, Japan, pp. 39–43.
- [13] Kennedy, J., Eberhart, R.C. (2001), "Swarm intelligence, Morgan Kaufman Publishers".
- [14] Kennedy, J., Eberhart, R.C. (1995), "Particle swarm optimization", In: IEEE international conference on neural networks, Piscataway, NJ, 5, pp. 1942–1948.
- [15] Yuanfu, T., Jianqiao, C., Wenjie, P. (2009), "Probabilistic Optimization of Laminated Composites Considering Both Ply Failure and Delamination Based on PSO and FEM", Tsinghua Science and Technology, Vol. 14, pp. 89–93.
- [16] Omkar, S.N., Khandelwal, R., Ananth, T.V.S., NarayanaNaik, G., Gopalakrishnan, S. (2009), "Quantum behaved Particle Swarm Optimization (QPSO) for multi-objective design optimization of composite structures", Journal of Expert Systems with Applications, Vol. 36, pp. 11312–11322.
- [17] Gu, S., Lu, T., Evans, A. (2001), "On the design of two-dimensional cellular metals for combined heat dissipation and structural load capacity", Int. J. Heat Mass Transfer, Vol. 44, pp. 2163–2175.
- [18] Clerc, M. (2006), "Particle Swarm Optimization", ISTE Ltd, United States.
- [19] Perez, R.E., Behdinan K. (2007), "Particle swarm approach for structural design optimization, Computers and Structures", Vol. 85, pp. 1579–1588.
- [20] Li, L.J., Huang, Z.B., Liu, F., Wu, Q.H. (2007), "A heuristic particle swarm optimizer for optimization of pin connected structures", Computers and Structures, Vol. 85, pp. 340–349.

## OPTIMIZATION OF PRISMATIC CORE SANDWICH PANEL BASED ON PARTICLE SWARM ALGORITHM

H. Hemmatian<sup>1,\*</sup>, A. Fereidoon<sup>2</sup>, M. Rajabpour<sup>3</sup>

1. M.Sc. Student, Faculty of Mechanical Engineering, Semnan University, Semnan
2. Associate Professor, Faculty of Mechanical Engineering, Semnan University, Semnan
3. M.Sc. Student, Young Researchers Club, Semnan Branch, Islamic Azad University, Semnan

\*Corresponding Author: hoseinhemmatian@gmail.com

---

### ARTICLE INFO

---

#### Keywords:

Prismatic core sandwich panel, Lowest weight, Yielding criteria, Buckling criteria, Particle swarm optimization.

### ABSTRACT

---

High strength to weight ratio is significant specific of sandwich panels due to trait particular of special structure of them. The variables that defined for design of sandwich panels should be determined with procedure that it has lowest weight with appropriate strength. Due to this reason, utilization of optimization algorithms to design of these panels has a particular importance. Particle swarm optimization (PSO) algorithm is a random method that is adopted from nature for solving couple and multi objective problems in engineering. In this paper the application of this method in weight optimization of prismatic core sandwich panels based on yield and buckling criteria is proposed. Because of the PSO algorithm, doesn't need the derivative and special preliminary guess and also is a random procedure, this algorithm is able to search the extended solving space with appropriate probability. Comparison of results represented that PSO algorithm in few iterates can achieve to better results.

---