

بهینه‌سازی پانل ساندویچی بر اساس قیود تسلیم و کماتش با استفاده از الگوریتم رقابت استعماری

عبدالحسین فریدون^{۱*}، حسین همتیان^۲، آرش محمدزاده^۲، احسان‌اله عصاره^۲

۱- دانشیار، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه سمنان، سمنان

۲- دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه سمنان، سمنان

* afereidoon@semnan.ac.ir، ۳۵۱۹۵-۳۶۳، صندوق پستی

چکیده- پانل‌های ساندویچی به دلیل ساختار منحصر به فرد، دارای نسبت استحکام به وزن بالا می‌باشند. متغیرهایی که برای طراحی پانل‌های ساندویچی تعریف شده‌اند، باید به نحوی تعیین شوند که ضمن فراهم آوردن استحکام لازم، کمترین وزن را نیز داشته باشند. در این مقاله از الگوریتم رقابت استعماری (ICA) برای بهینه‌سازی وزن پانل ساندویچی هسته منشوری با رعایت قیدهای تسلیم و کماتش استفاده شده است. الگوریتم رقابت استعماری الهام گرفته از رقابت‌های استعماری می‌باشد و بر دو رکن اصلی سیاست جذب و رقابت استعماری استوار است. برای کمینه کردن وزن پانل، تعداد آرایه‌ها، ضخامت هسته و رویه و ارتفاع پانل به عنوان متغیرهای طراحی در نظر گرفته شده‌اند. نتایج نشان داد که با افزایش بار برای تعداد آرایه معین، ضخامت هسته و رویه و ارتفاع کلی پانل افزایش می‌یابد و با افزایش تعداد آرایه‌ها برای یک بار معین، ضخامت هسته و رویه کاهش و ارتفاع کلی افزایش یافته و وزن پانل کاهش می‌یابد. پانل با هسته لوزی شکل دارای بالاترین کارایی سازه‌ای می‌باشد. مقایسه نتایج نشان داد که الگوریتم رقابت استعماری به دلیل استفاده مستقیم از مقادیر تابع و عدم نیاز به مشتق در مسائلی که نیاز به بهینه‌سازی کلی باشد بسیار مفید و قابل رقابت با سایر الگوریتم‌های ابتکاری است.

کلیدواژه‌ها: پانل ساندویچی هسته منشوری، کمترین وزن، قید تسلیم، قید کماتش، الگوریتم رقابت استعماری.

Sandwich panel optimization based on yielding and buckling criteria by using of imperialist competitive algorithm

A. Fereidoon^{1*}, H. Hemmatian², A. Mohammadzadeh², E. Assareh²

1- Assoc. Prof., Faculty of Mech. Eng., Semnan Univ., Semnan, Iran.

2- PhD. Student, Faculty of Mech. Eng., Semnan Univ., Semnan, Iran.

* P. O. B. 35139-363, Semnan, Iran. afereidoon@semnan.ac.ir

Abstract- Sandwich panels have high strength to weight ratio because of their special structure. The variables which are defined for designing sandwich panels should be determined with applying necessary strength and lowest weight. In this paper, the imperialist competitive algorithm (ICA) has been used for minimizing the weight of a sandwich panel with prismatic core based on yielding and buckling criteria. ICA is inspired of imperialist competitions and it is based on two special criteria as recruitment policy and stable imperialist competition. Arrays numbers, core and surface thickness and panel height are assumed as design variables for decreasing panel weight. The results were shown that core and surface thickness and the total height of panel has been increased by increasing loading for given number of arrays. Also the core and surface thickness have been decreased and the total height has been increased by increasing array number for a determined loading and so panel weight has been decreased. A panel with diamond core has highest structure efficiency. By comprising the results, it was shown that ICA is so useful and competitive than the other heuristic algorithms because of direct using of function values and not required to derivation in some problems which was required to the total optimization.

Keywords: Prismatic Core Sandwich Panel, Lowest Weight, Yielding Criteria, Buckling Criteria, Imperialist Competitive Algorithm.

۱- مقدمه

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

برخورداری از وزن کم، مقاومت در مقابل بار مشخص و قابلیت چندمنظوره بودن، کاربرد این پانل‌ها را افزایش داده است [۷]. ویژگی‌های دیگر نظیر قابلیت جذب انرژی، 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 بهینه این پانل‌ها از نظر وزن با رعایت قیود طراحی مانند تسلیم و کمانش از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. بهینه‌سازی پانل‌های ساندویچی هسته منشوری با استفاده از روش‌های مرسوم ریاضی توسط والدویت [۷] و با استفاده از الگوریتم ژنتیک توسط تان [۹] انجام شده‌است. همچنین بهینه‌سازی این پانل‌ها براساس قیود تسلیم و کمانش، با استفاده از روش قابلیت اعتماد بررسی شده است [۱۰]. بهینه‌سازی استحکام پانل‌های ساندویچی فلزی در معرض خمش نیز توسط راتبان انجام گرفته است [۱۱].

استفاده از الگوریتم‌های ابتکاری که بیشتر آنها برگرفته از طبیعت هستند در مسائل بهینه‌سازی مهندسی مکانیک رو به افزایش است. الگوریتم‌های بهینه‌سازی کلونی مورچه‌ها و گروه ذرات دو الگوریتم برجسته بر اساس شبیه‌سازی برهم‌کنش‌های بین اعضای یک گونه خاص در جستجوی منبع غذا می‌باشند [۱۲]. هادسون و همکارانش بهینه‌سازی چندمنظوره پانل‌های ساندویچی کامپوزیتی کف وسایل نقلیه ریلی را با استفاده از الگوریتم کلونی مورچه‌ها بررسی کرده‌اند [۱۳]. بهینه‌سازی پانل‌های ساندویچی هسته منشوری براساس قیود تسلیم و کمانش نیز با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی گروه ذرات توسط همتیان و همکارانش انجام شده است [۱۴].

الگوریتم رقابت استعماری نیز یکی از الگوریتم‌های ابتکاری می‌باشد که از رقابت‌های استعماری الهام گرفته شده است. این الگوریتم، از چندین کشور در حالت اولیه شروع می‌شود.

کشورها در حقیقت جواب‌های ممکن مسأله و معادل کروموزوم در الگوریتم ژنتیک و ذره در بهینه‌سازی گروه ذرات هستند. همه‌ی کشورها، به دو دسته تقسیم می‌شوند: امپریالیست و مستعمره. کشورهای استعمارگر با اعمال سیاست جذب (همگون‌سازی) در راستای محورهای مختلف بهینه‌سازی، کشورهای مستعمره را به سمت خود می‌کشند. رقابت امپریالیستی در کنار سیاست همگون‌سازی، هسته‌ی اصلی این الگوریتم را تشکیل می‌دهد و باعث می‌شود که کشورها به سمت کمینه تابع حرکت کنند [۱۵].

از این الگوریتم برای بهینه‌سازی سازه‌های مهندسی، فرایند جوشکاری، پوسته‌های مخروطی از جنس مواد تابعی و خرپا در مهندسی مکانیک استفاده شده است [۱۶-۱۹]. همچنین بهینه‌سازی صفحات کامپوزیتی نیز با استفاده از الگوریتم رقابت استعماری برای کمینه کردن وزن و هزینه براساس معیارهای شکست مورد بررسی قرار گرفته است [۲۰، ۲۱].

این الگوریتم تکاملی به دلیل عملکرد مطلوب در فضاهای جستجوی نامعین و استفاده مستقیم از مقادیر تابع و عدم نیاز به مشتق آن، در حل مسائل تک‌هدفی و چندهدفی کاربرد وسیعی پیدا کرده است و به آسانی برای متغیرهای پیوسته، مجزا و صحیح به کار برده می‌شود.

در این مقاله، وزن پانل با واحدهای باز منشوری تحت بارگذاری عرضی، براساس قیودهای تسلیم و کمانش با استفاده از الگوریتم رقابت استعماری بهینه شده و نتایج با کار والدویت [۷] و همتیان [۱۴] مقایسه شده است.

۲- پانل ساندویچی با هسته‌های منشوری

پانل‌های ساندویچی با هسته‌های منشوری از هسته‌هایی تشکیل شده‌اند که دارای فضای خالی بوده و از شکل‌دهی ورق‌ها به وجود می‌آیند. نامگذاری این پانل‌ها براساس تعداد نیم‌موج‌های هسته آنها می‌باشد. در شکل ۱ پانل با $N=1$ و نحوه بارگذاری آن نشان داده شده‌است.

۲-۱- صورت‌بندی مسأله

هدف از بهینه‌سازی این 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

شاخص بارگذاری و بیانگر بار اعمالی به سازه و Ψ شاخص وزن سازه می‌باشد. در این نوع پانل‌ها که عمدتاً هسته و رویه‌ها هر دو از یک جنس ساخته می‌شوند، وزن واحد عرض سازه مطابق رابطه $W = 2\rho dl + N \rho d_c l / \cos \theta$ بیان می‌شود که در حالت بی‌بعد به صورت زیر خواهد بود [۷]:

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

قیدهای طراحی مربوط به تسلیم و کمانش اجزاء سازه برای بارگذاری عرضی به صورت زیر می‌باشند [۷]:

قید تسلیم رویه:

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

قید تسلیم هسته:

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

قید کمانش رویه:

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

قید کمانش هسته:

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

K_c و K_f نیز مطابق روابط زیر بیان می‌شوند [۷]:

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

$$N = 1 : K_c = 1.375 \left(\frac{2.2 + 1.2(d/d_c)^3 / \cos \theta}{1.6 + 0.6(d/d_c)^3 / \cos \theta} \right) \quad (4)$$

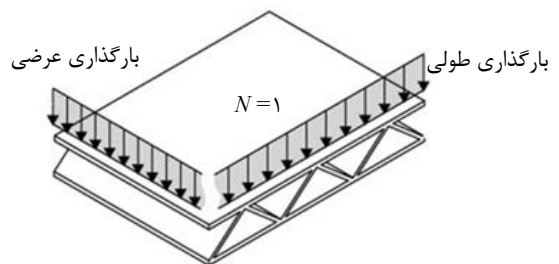
$$N \geq 2 : K_c = 2.125$$

صورت خلاصه مسأله بهینه‌سازی بصورت زیر است:

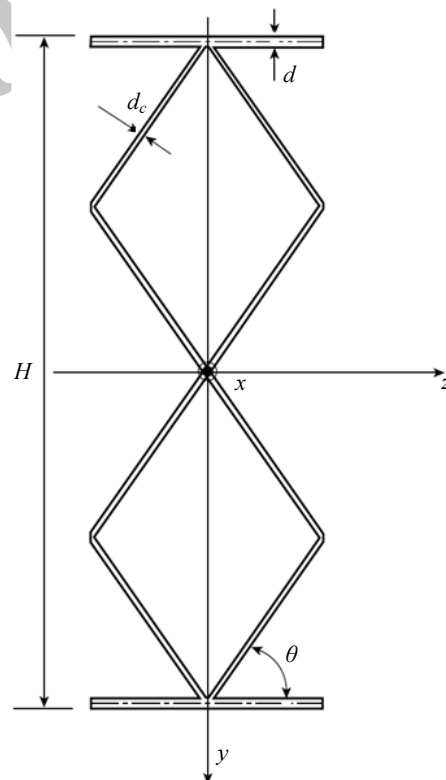
$$\text{Min } \Psi = 2\frac{d}{l} + \frac{N}{\cos \theta} \frac{d_c}{l} \quad \text{St} : g_i \geq 0 \quad i = 1, 2, 3, 4 \quad (5)$$

رابطه (۵) بیان می‌کند که هدف از بهینه‌سازی، کمینه کردن وزن با رعایت قیود تسلیم و کمانش است. دامنه متغیرهای طراحی نیز به صورت $0.001 < d/l < 0.01$ و $0.0001 < d_c/l < 0.003$ و $0.01 < H/l < 0.2$ در نظر گرفته شده است.

هسته که در شکل ۲ با θ نمایش داده شده برابر با $\theta = \tan^{-1} \sqrt{2} = 54.7^\circ$ در نظر گرفته شده است، زیرا بیشترین استحکام برشی در پانل‌های ساندویچی با هسته‌های منشوری تحت این زاویه ایجاد می‌شود [۲۲].
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].



شکل ۱ پانل‌های ساندویچی با هسته‌های منشوری و نحوه بارگذاری



شکل ۲ متغیرهای طراحی و محورهای مختصات اصلی

برای سهولت در تحلیل مسأله دو پارامتر بی‌بعد $\Psi = W / \rho l^2$ و $\Pi = V / \sqrt{EM}$ معرفی می‌شوند که

۳- الگوریتم رقابت استعماری

الگوریتم رقابت استعماری اولین بار در سال ۲۰۰۷ توسط آتش‌پز و کارولوکس مطرح شد [۲۳]. با توجه به قدرت این الگوریتم در یافتن نقطه بهینه سراسری مسائل پیچیده، سریعاً مورد استقبال محققان در زمینه‌های مختلف قرار گرفت.

این الگوریتم نظیر سایر روش‌های بهینه‌سازی ابتکاری با یک جمعیت اولیه آغاز می‌شود. در این الگوریتم هر عنصر جمعیت یک کشور (معادل کروموزوم در الگوریتم ژنتیک) نامیده می‌شود. کشورها نیز به دو دسته کشورهای درحال توسعه^۱ و کشورهای توسعه‌یافته^۲ تقسیم می‌شوند. هر کشور توسعه یافته، بسته به قدرت خود، تعدادی از کشورهای درحال توسعه را به سلطه خود در آورده و در مجموع یک امپراطوری را تشکیل می‌دهد. برای پیاده‌سازی این الگوریتم، در ابتدا یک آرایه $1 \times N_{var}$ بعدی (کشور) از متغیرهای مسأله $P_1, P_2, \dots, P_{N_{var}}$ در نظر گرفته می‌شود.

$$Country = [p_1, p_2, p_3, \dots, p_{N_{var}}] \quad (6)$$

در حل یک مسأله بهینه‌سازی، این روش به دنبال یافتن کشوری با بهترین موقعیت می‌باشد، که در حقیقت معادل یافتن بهترین پارامترهای مسأله است که کمترین مقدار تابع هزینه را تولید می‌کنند. هزینه یک کشور با ارزیابی تابع هزینه f در متغیرهای طراحی به دست می‌آید:

$$cost_i = f(Country_i) = f(p_1, p_2, \dots, p_{N_{var}}) \quad (7)$$

برای شروع الگوریتم، تعداد N_{coun} کشور اولیه به صورت تصادفی ایجاد می‌شود. تعداد N_{imp} تا از بهترین اعضای این جمعیت (کشورهای دارای کمترین مقدار تابع هزینه) به عنوان کشورهای توسعه یافته انتخاب شده و بقیه آنها (N_{col}) کشورهای در حال توسعه را تشکیل می‌دهند. برای تقسیم کشورهای در حال توسعه اولیه بین امپراطوری‌ها، به هر امپراطوری تعدادی کشور متناسب با قدرت آنها تعلق می‌گیرد. تعداد اولیه کشورهای در حال توسعه یک امپراطوری به صورت رابطه (۸) تعیین می‌شود [۲۳]:

$$N \cdot C_n = \text{round} \left\{ \frac{cost_n}{\sum_{i=1}^{N_{imp}} cost_i} \right\} \times N_{col} \quad (8)$$

1. Colony
2. Imperialist

در این رابطه $N \cdot C_n$ ، تعداد اولیه کشورهای در حال توسعه امپراطوری m ام و N_{col} تعداد کل کشورهای درحال توسعه موجود در جمعیت کشورهای اولیه است. پس از تعیین تعداد کشورهای درحال توسعه هر امپراطوری، تعداد $N \cdot C_n$ تا از کشورهای درحال توسعه اولیه به صورت تصادفی انتخاب شده و به امپراطوری m ام اختصاص داده می‌شود.

قدرت کل یک امپراطوری به صورت مجموع قدرت کشور توسعه یافته ($cost_{imp}$) به اضافه درصدی از میانگین قدرت کشورهای در حال توسعه ($\text{mean}(cost_{col})$) آن تعریف می‌شود [۲۳]:

$$T \cdot C_n = cost_{imp} + \% \xi (\text{mean}(cost_{col})) \quad (9)$$

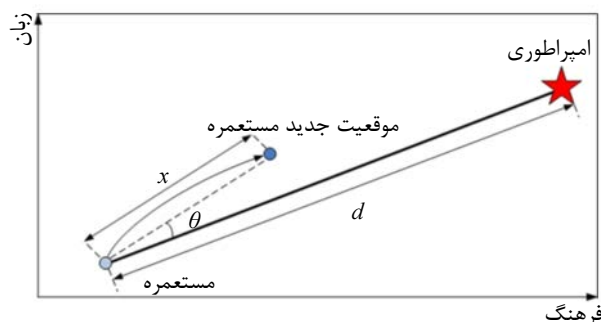
در رابطه (۹)، $T \cdot C_n$ قدرت کل امپراطوری m ام و ξ عددی مثبت و معمولاً بین صفر و یک و نزدیک به صفر در نظر گرفته می‌شود. برای مقادیر کوچک ξ قدرت کل یک امپراطوری، تقریباً برابر با هزینه حکومت مرکزی آن (کشور توسعه یافته) می‌شود.

دو رکن اصلی این الگوریتم، سیاست جذب و رقابت استعماری است. بر اساس سیاست جذب، کشورهای توسعه یافته سعی در به تحت سلطه کشیدن کشورهای در حال توسعه با تغییر در فرهنگ و رسوم آنها دارند. این سیاست منجر به گرایش کشورهای در حال توسعه به طرف کشورهای توسعه یافته می‌شود. در شکل ۳ این پدیده به تصویر کشیده شده است [۲۴].

در شکل ۳، پارامترهای θ و x اعدادی تصادفی با توزیع یکنواخت و d فاصله بین کشور در حال توسعه و توسعه یافته است:

$$\theta \approx U(-\gamma, \gamma) \quad (10)$$

$$x \approx U(0, \beta \times d), \beta > 1$$



شکل ۳ حرکت واقعی مستعمرات به سمت امپراطوری [۲۳]

می‌کند و فقط به داشتن تابع چگالی احتمال^۲ نیاز دارد [۲۴]. در نهایت الگوریتم رقابت استعماری منجر به حالتی می‌شود که تنها یک امپراطوری باقی می‌ماند. این حالت در الگوریتم رقابت استعماری وقتی اتفاق می‌افتد که به نقطه بهینه برسد و الگوریتم متوقف شود. در این مقاله هر کشور دارای سه متغیر پیوسته d/l , H/l و d_c/l می‌باشد و شاخص وزن به عنوان تابع هزینه آن محاسبه می‌شود.

۴- ارائه نتایج و بحث

برنامه بهینه‌سازی الگوریتم رقابت استعماری در نرم‌افزار مت‌لب^۳ نوشته شده که قابلیت افزودن متغیرها و قیدهای جدید را نیز دارا می‌باشد. برای اعمال قیود و ارزش کمی آنها از تابع جریمه استفاده شده، که مقدار تابع نهایی (جهت بهینه سازی) به صورت مجموع مقدار تابع هدف مسأله و مقدار تابع جریمه تعریف شده است:

$$Fitness_{final} = \text{abs}(fitness_{real}) + \text{abs}(Function_{amerce}) \quad (13)$$

شرط توقف الگوریتم ۲۰۰ تکرار در نظر گرفته شده و پارامترهای مورد نیاز برای الگوریتم رقابت استعماری در جدول ۱ آورده شده که این مقادیر با بررسی پارامترهای مختلف بدست آمده است. پارامترهای الگوریتم نقش مؤثری در رسیدن به بهینه کلی و سرعت همگرایی دارند که با ارائه نمودارهای همگرایی در این مورد بیشتر بحث خواهد شد.

پائل ساندویچی از جنس آلیاژ آلومینیوم با $\varepsilon_y = \sigma_y / E = 0.007$ در نظر گرفته شده است. الگوریتم، پائل با تعداد نیم‌موج مشخص (N) را به ازای مقادیر مختلف بار (II) در نظر گرفته و سبک وزن ترین پائل (Ψ) که بار اعمالی معین را تحمل کند تعیین می‌کند.

جدول ۱ پارامترهای الگوریتم رقابت استعماری

تعداد تکرار	ε	β	γ	امپراطوری‌های اولیه	کشورهای اولیه
۲۰۰	۰/۰۲	۲	۰/۵	۸	۸۰

نتایج بهینه‌سازی برای نیم‌موج‌های ۱، ۲، ۴ و ۸ برای

که β و γ اعداد اختیاری بوده و معرف محدوده‌ای هستند که کشورهای در حال توسعه به‌طور تصادفی در اطراف کشور توسعه یافته در حال جستجو می‌باشند. اگر در حین این حرکت، یک کشور در حال توسعه نسبت به کشور توسعه یافته، به موقعیت بهتری دست پیدا کند، جای آن دو با هم عوض می‌شود. به عبارتی کشور در حال توسعه، کل کشورهای آن امپراطوری را تحت سلطه خود در می‌آورد و به یک کشور توسعه یافته تبدیل می‌شود.

بر اساس رقابت استعماری، هر امپراطوری که نتواند بر قدرت خود بیفزاید و قدرت رقابت خود را از دست بدهد، حذف خواهد شد. این حذف شدن، به صورت تدریجی صورت می‌گیرد. بدین معنی که به مرور زمان، امپراطوری‌های ضعیف، کشورهای در حال توسعه امپراطوری ضعیف‌تر، رقابتی میان کلیه امپراطوری‌ها ایجاد می‌شود. برای محاسبه احتمال تصاحب این کشورها توسط هر امپراطوری، ابتدا باید از روی هزینه کل هر امپراطوری، هزینه نرمالیزه شده آن را تعیین کرد.

$$N \cdot T \cdot C_n = \max_i \{T \cdot C_n\} - T \cdot C_n \quad (11)$$

در این رابطه $T \cdot C_n$ هزینه کل امپراطوری n ام و $N \cdot T \cdot C_n$ هزینه کل نرمالیزه شده آن امپراطوری می‌باشد. حال با داشتن هزینه کل نرمالیزه شده، احتمال تصاحب کشور در حال توسعه، توسط هر امپراطوری به دست می‌آید:

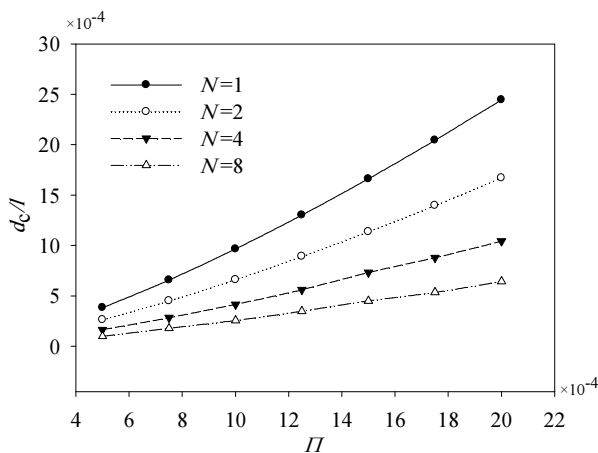
$$P_{P_n} = \frac{N \cdot T \cdot C_n}{\sum_{i=1}^{N_{imp}} N \cdot T \cdot C_n}, n = 1, 2, \dots, N_{imp} \quad (12)$$

باید توجه داشت که کشورهای در حال توسعه مذکور توسط قوی‌ترین امپراطوری تصاحب نخواهند شد، بلکه امپراطوری‌های قوی‌تر احتمال تصاحب بیشتری دارند. مکانیزمی همانند چرخه رولت مورد نیاز است تا کشور در حال توسعه مورد رقابت را با احتمالی متناسب با قدرت امپراطوری‌ها در اختیار یکی از آنها قرار دهد. در کنار امکان استفاده از چرخ رولت، مکانیزم جدیدی در این فرایند استفاده شده است که نسبت به چرخ رولت هزینه محاسباتی بسیار کمتری دارد. این مکانیزم، عملیات نسبتاً زیاد مربوط به محاسبه تابع توزیع جمعی احتمال^۱ که در چرخه رولت مورد نیاز است را حذف

2. Probability Density Function (PDF)
3. MATLAB

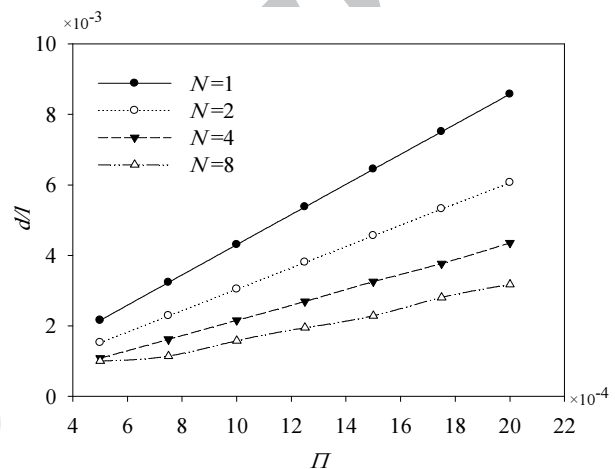
1. Cumulative Distribution Function (CDF)

علاوه براین برای یک بارگذاری معین، با افزایش تعداد آرایه، d/l و d_c/l به منظور جلوگیری از تسلیم و کماتش کاهش می‌یابد که منجر به کاهش وزن پانل می‌شود. همان طور که در شکل ۶ نشان داده شده، با افزایش شاخص بارگذاری برای آرایه‌های مختلف، H/l افزایش می‌یابد تا از تسلیم و کماتش رویه و هسته جلوگیری کند. علاوه براین برای یک بارگذاری معین، با افزایش تعداد آرایه، H/l افزایش می‌یابد.



شکل ۵ ضخامت هسته (d_c/l) برحسب شاخص بار Π برای تعداد آرایه‌های مختلف (N)

شاخص بارهای ۰/۰۰۱ و ۰/۰۰۲ در جدول ۲ آورده شده است. نتایج الگوریتم بهینه‌سازی گروه ذرات [۱۴] نیز در جدول ۲ گنجانده شده است. همان طور که مشاهده می‌شود الگوریتم رقابت استعماری به نتایج مشابه با الگوریتم بهینه‌سازی گروه ذرات رسیده است. نمودارهای d/l ، d_c/l ، H/l و Ψ برحسب Π برای تعداد آرایه‌های مختلف در شکل‌های ۴ تا ۷ نشان داده شده است. با افزایش شاخص بارگذاری برای آرایه‌های مختلف، d/l و d_c/l افزایش می‌یابد تا از تسلیم و کماتش رویه و هسته جلوگیری کند.



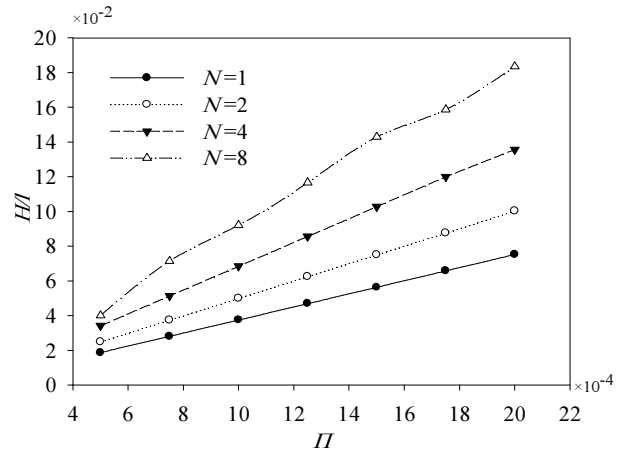
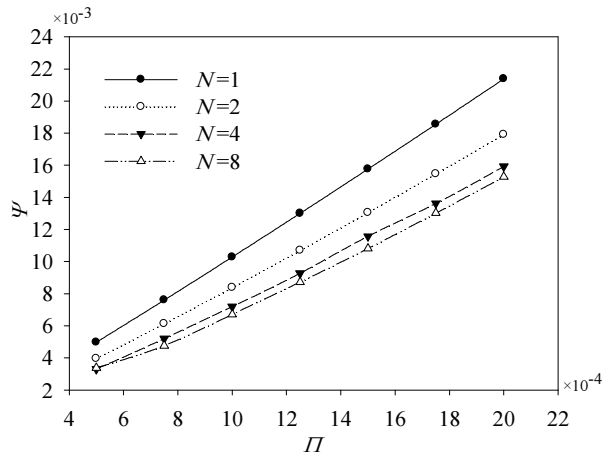
شکل ۶ ضخامت رویه (d/l) برحسب شاخص بار Π برای تعداد آرایه‌های مختلف (N)

جدول ۲ شاخص وزن و پارامترهای به دست آمده از روش‌های بهینه‌سازی رقابت استعماری و گروه ذرات [۱۴]

Ψ	H/l	d_c/l	d/l	روش	Π	N
۰/۰۱۰۲۷۸۸	۰/۰۳۷۴۹۷۹	۰/۰۰۰۹۶۵۸	۰/۰۰۴۳۰۳۷	ICA	۰/۰۰۱	۱
۰/۰۱۰۲۷۸	۰/۰۳۷۵	۰/۰۰۰۹۶۶	۰/۰۰۴۳۰۳	PSO	۰/۰۰۲	
۰/۰۲۱۳۷۶۶	۰/۰۷۵۲۲۹۲	۰/۰۰۲۴۴۴۸	۰/۰۰۸۵۷۲۸	ICA	۰/۰۰۲	۲
۰/۰۲۱۳۷۶	۰/۰۷۵۲۳۱	۰/۰۰۲۴۵	۰/۰۰۸۵۷۳	PSO	۰/۰۰۱	
۰/۰۰۸۳۷۸۳	۰/۰۴۹۹۷۴۸	۰/۰۰۰۶۶۱۷	۰/۰۰۳۰۴۴۰	ICA	۰/۰۰۱	۳
۰/۰۰۸۳۷۸	۰/۰۴۹۹۷۵	۰/۰۰۰۶۶۲	۰/۰۰۳۰۴۴	PSO	۰/۰۰۲	
۰/۰۱۷۹۱۹۲	۰/۱۰۰۲۶۱۰	۰/۰۰۱۶۷۱۲	۰/۰۰۶۰۶۷۵	ICA	۰/۰۰۲	۴
۰/۰۱۷۹۱۸	۰/۱۰۰۲۶۴	۰/۰۰۱۶۷۱	۰/۰۰۶۰۶۶	PSO	۰/۰۰۱	
۰/۰۰۷۱۹۴۶	۰/۰۶۸۴۳۱۰	۰/۰۰۰۴۱۶۶	۰/۰۰۲۱۵۵۵	ICA	۰/۰۰۱	۵
۰/۰۰۷۱۹۳	۰/۰۶۸۴۵۶	۰/۰۰۰۴۱۷	۰/۰۰۲۱۵۵	PSO	۰/۰۰۲	
۰/۰۱۵۹۲۳۴	۰/۱۳۵۶۳۸۰	۰/۰۰۱۰۴۲۷	۰/۰۰۴۳۵۲۶	ICA	۰/۰۰۲	۸
۰/۰۱۵۸۷۵	۰/۱۳۷۲۳۵	۰/۰۰۱۰۵۱	۰/۰۰۴۲۹۹	PSO	۰/۰۰۱	
۰/۰۰۶۷۰۴۹	۰/۰۹۲۱۵۸۲	۰/۰۰۰۲۵۶۵	۰/۰۰۱۵۷۷۱	ICA	۰/۰۰۱	۸
۰/۰۰۶۶۸۱	۰/۰۹۵۲۲	۰/۰۰۰۲۶۲	۰/۰۰۱۵۲۵	PSO	۰/۰۰۲	
۰/۰۱۵۲۷۱۳	۰/۱۸۳۴۸۲۱	۰/۰۰۰۶۴۴۳	۰/۰۰۳۱۷۵۸	ICA	۰/۰۰۲	۸
۰/۰۱۵۲۴۹۲	۰/۱۹۰۴۱	۰/۰۰۰۶۶۱	۰/۰۰۳۰۵	PSO		

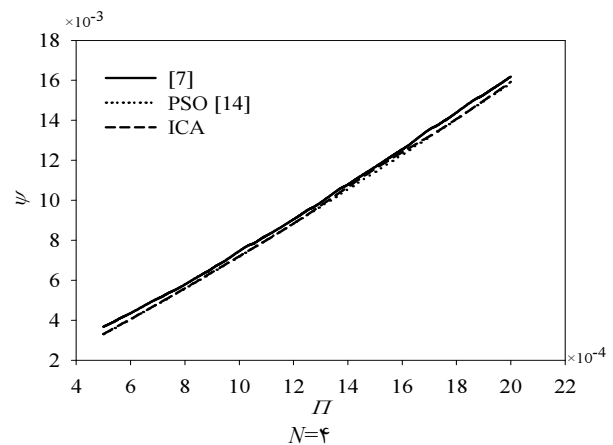
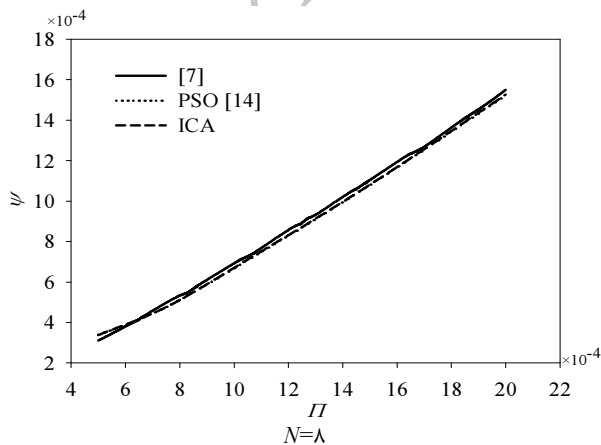
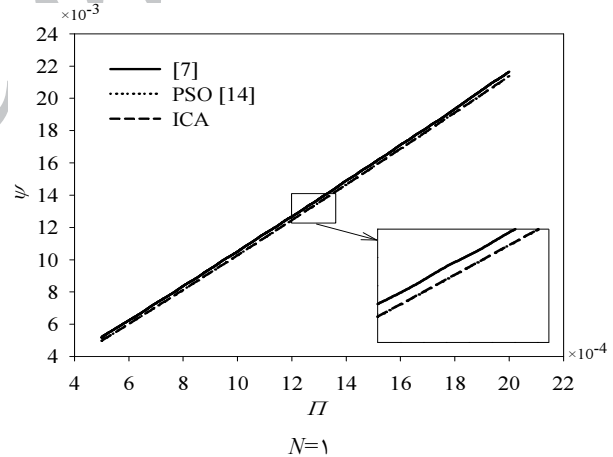
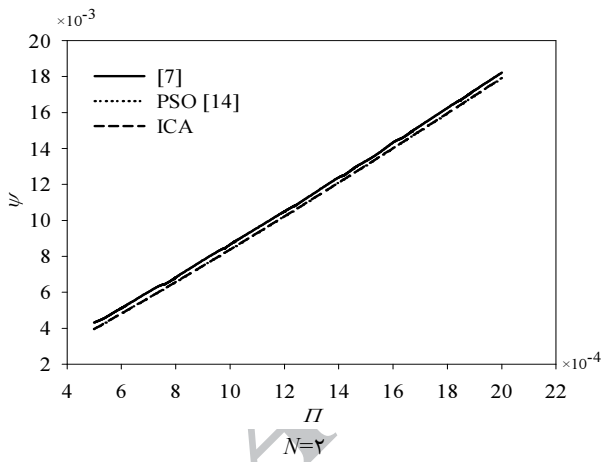
بار کاهش می‌یابد. افزایش تعداد آرایه‌ها از $N=1$ تا $N=4$ کاهش قابل توجهی را در وزن ایجاد می‌کند در حالی که با افزایش $N=4$ تا $N=8$ این روند کاهش می‌یابد.

همچنین در شکل ۷ مشاهده می‌شود که با افزایش تعداد آرایه‌ها وزن بهینه، کاهش و با افزایش بارگذاری وزن پانل به منظور جلوگیری از تسلیم و کمانش رویه و هسته افزایش یافته است. با افزایش تعداد آرایه‌ها، نرخ افزایش وزن به ازای افزایش



شکل ۷ شاخص وزن (Ψ) برحسب شاخص بار Π برای تعداد آرایه‌های مختلف (N)

شکل ۶ ضخامت پانل (H/l) برحسب شاخص بار Π برای تعداد آرایه‌های مختلف (N)



شکل ۸ مقایسه شاخص وزن (Ψ) برحسب شاخص بار Π برای تعداد آرایه‌های مختلف (N) با کار والدویت [۷] و همتیان [۱۴]

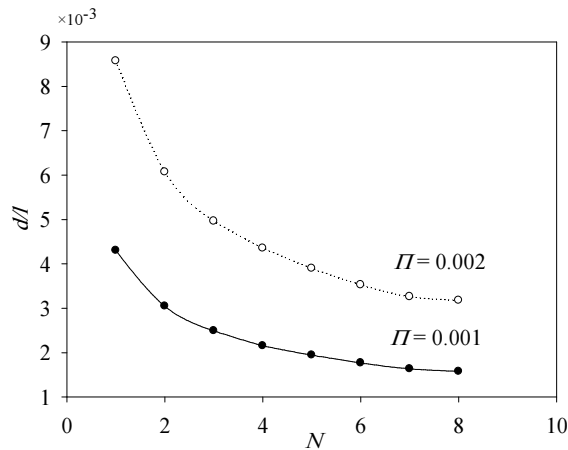
آرایه‌ها وزن پانل را کاهش داد. ضخامت بهینه هسته و رویه با افزایش N کاهش، ولی ارتفاع کلی پانل با افزایش N افزایش یافته‌اند. از آنجا که با افزایش N بعد از $N=4$ تغییر زیادی در کاهش وزن رخ نمی‌دهد، پانل با هسته لوزی شکل ($N=4$) دارای کارایی سازه‌ای قابل توجه نسبت به پانل با هسته تک آرایه‌ای می‌باشد.

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 می‌شود. به منظور بررسی روند الگوریتم برای رسیدن به حل بهینه، نمودارهای Ψ برحسب تکرار برای $N=4$ و بارگذاری‌های مختلف در شکل ۱۰ آورده شده است.

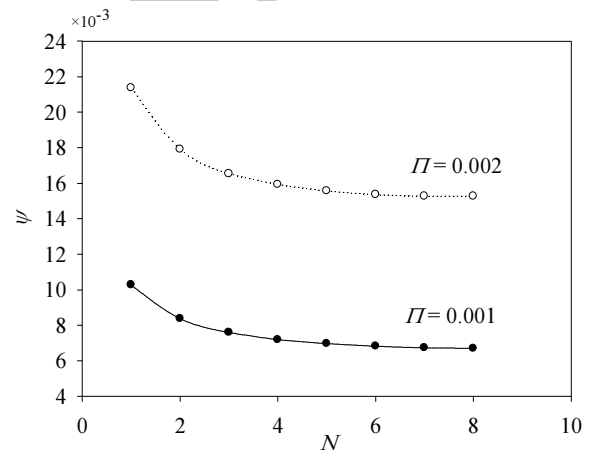
مقایسه شاخص وزن با کار والدویت [۷] و همتیان [۱۴] در شکل ۸ آورده شده است. نتایج الگوریتم رقابت استعماری با نتایج الگوریتم گروه ذرات تطابق خوبی دارد و هر دو به وزن پایین‌تری نسبت به کار والدویت رسیده‌اند.

در شکل ۹ نمودارهای Ψ ، d/l ، H/l و d_c/l برحسب N برای $\Pi = 0.001$ و $\Pi = 0.002$ آورده شده است. همان طور که مشخص است، در تعداد آرایه معین با افزایش شاخص بار، d/l ، d_c/l و H/l افزایش می‌یابند. اگر چنانچه تعداد آرایه ثابت در نظر گرفته شود، برای اینکه پانل ساندویچی تحت بارگذاری بیشتری دچار تسلیم و کمانش نشود، وزن پانل باید افزایش یابد.

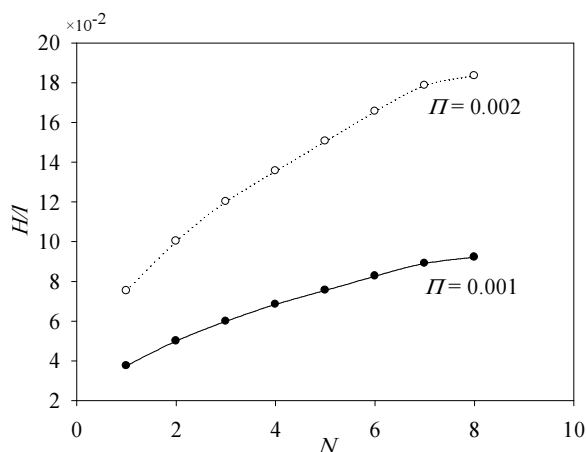
ولی برای یک بارگذاری معین می‌توان با افزایش تعداد



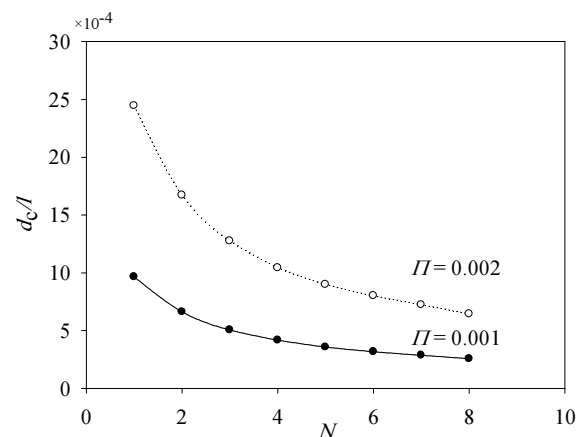
ب- ضخامت رویه



الف- شاخص وزن



د- شاخص پانل



ج- ضخامت هسته

شکل ۹ نمودارهای شاخص وزن، ضخامت هسته، ضخامت رویه و ضخامت پانل برحسب تعداد آرایه (N) برای $\Pi = 0.001$ و $\Pi = 0.002$

در چندین بار اجرای تصادفی برنامه، مقدار کمینه شاخص وزن تغییری نکرد ولی تعداد تکرار در رسیدن به این مینیمم دچار تغییر شد. به عنوان نمونه برای $N=4$ و شاخص بار $0.175/0$ با جمعیت اولیه ۸۰ کشور، الگوریتم در اجرای اول بعد از ۵۸ تکرار و در اجرای دوم بعد از ۵۲ تکرار به حالت پایدار و بهینه می‌رسد. برای جمعیت اولیه ۶۰ کشور الگوریتم در تکرار ۸۶ام به حالت پایدار می‌رسد. در تمامی حالتها جوابهای نهایی تابع هدف یک مقدار ثابتی می‌باشد و تنها تفاوت اجراها، در تعداد گام‌های رسیدن به همگرایی می‌باشد. با تغییر سایر پارامترها نیز تنها تعداد گام‌های رسیدن به همگرایی تغییر می‌کند.

پارامترهای الگوریتم رقابت استعماری نقش مؤثری در رسیدن به بهینه کلی و سرعت همگرایی دارند، مقادیر متفاوتی برای این پارامترها در نظر گرفته شده و بهینه‌سازی انجام گردیده است. همان طور که نتایج و نمودارهای همگرایی شکل ۱۰ نشان می‌دهد، مقادیر پارامترهای ارائه شده در جدول ۱، مقادیر مناسبی برای این مسأله می‌باشند.

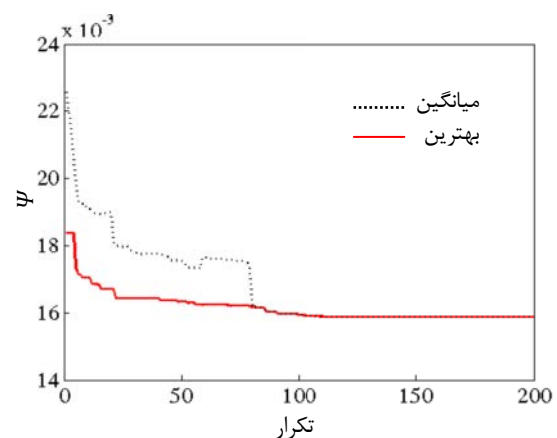
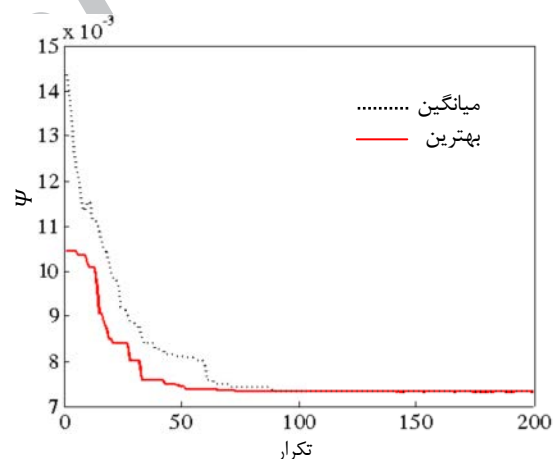
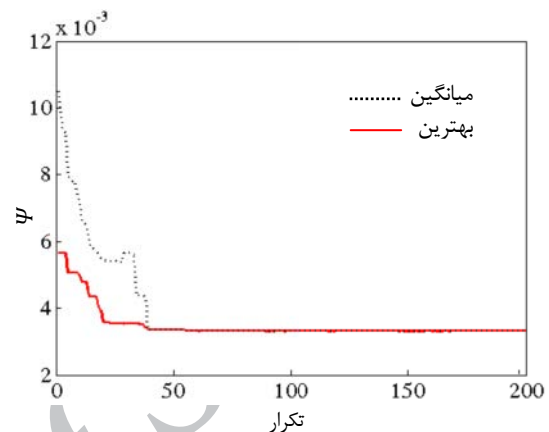
۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله بهینه‌سازی وزن پانل ساندویچی هسته منشوری در معرض بارگذاری‌های عرضی بر اساس قیود تسلیم و کماتش رویه و هسته با استفاده از الگوریتم رقابت استعماری مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور تعداد آرایه‌ها، ضخامت هسته و رویه و ارتفاع پانل به عنوان متغیرهای طراحی در نظر گرفته شدند.

نتایج نشان داد که با افزایش بارگذاری برای تعداد آرایه معین، d/l ، d_c/l و H/l افزایش می‌یابند. علاوه بر این برای یک بارگذاری معین، با افزایش تعداد آرایه‌ها، d/l و d_c/l کاهش و H/l افزایش می‌یابد، یعنی ضخامت هسته و رویه با افزایش N کاهش ولی ارتفاع کلی پانل با افزایش N افزایش یافته است.

نتایج نشان داد که با افزایش تعداد آرایه‌های هسته، وزن پانل کاهش می‌یابد. همچنین با افزایش تعداد آرایه‌ها، نرخ افزایش وزن به ازای افزایش بار کاهش می‌یابد و پانل با هسته لوزی شکل دارای کارایی سازه‌ای قابل توجه نسبت به پانل با هسته تک آرایه‌ای می‌باشد. مقایسه نتایج، توانایی الگوریتم رقابت استعماری را در رسیدن به بهینه کلی با استفاده از

نمودارهای همگرایی به خوبی نشان‌دهنده توانایی الگوریتم در دستیابی به حل بهینه هستند. همانطور که در شکل ۱۰ مشاهده می‌شود الگوریتم در تعداد تکرارهای کمی به جواب بهینه رسیده است، برای سایر موارد نیز الگوریتم به نتایج مشابهی دست یافته است.



شکل ۱۰ نمودارهای Ψ برحسب تکرار برای $N=4$

سازه‌های لانه زنبوری تحت بار فشاری"، *مجله مهندسی مکانیک مدرس*، دوره ۹، شماره ۳۷، ۱۳۸۸، صص ۷۳-۸۲.

- [7] Valdevit L., Hutchinson J., and Evans A., "Structurally Optimized Sandwich Panels with Prismatic Cores", *International Journal of Solids and Structures*, Vol. 41, No. 18-19, 2004, pp. 5105-5124.
- [8] Zok F., Waltner S., Wei Z., Rathbun H., McMeeking R., and Evans A., "A Protocol for Characterizing the Structural Performance of Metallic Sandwich Panels; Application To Pyramidal Truss Cores", *International Journal of Solids and Structures*, Vol. 41, No. 22-23, 2004, pp. 6249-6271.
- [9] Tan X., and Soh A., "Multi-Objective Optimization of the Sandwich Panels with Prismatic Cores using Genetic Algorithms", *International Journal of Solids and Structures*, Vol. 44, 2007, pp. 5466-5480.

[۱۰] فریدون عبدالحسین، محمدیان مصطفی، همیتان حسین، "بهینه‌سازی پانل ساندویچی با هسته منشوری براساس روش قابلیت اعتماد"، *مجله مهندسی عمران، دانشگاه فردوسی مشهد*، دوره ۲۲، شماره ۱، ۱۳۹۰، صص ۸۹-۱۰۲.

- [11] Rathbun H. J., Zok F. W., and Evans A. G. "Strength Optimization of Metallic Sandwich Panels Subject to Bending", *International Journal of Solids and Structures*, Vol. 42, No. 26, 2005, pp. 6643-6661.
- [12] Dorigo M., Maniezzo V., and Colomi A., "The Ant System: Optimization by a Colony of Cooperating Agents", *IEEE Trans. Syst. Man. Cybernet. B*, Vol. 26, No. 1, 1996, pp. 29-41.
- [13] Hudson C. W., Carruthers J J., and Mark Robinson A., "Multiple Objective Optimization of Composite Sandwich Structures for Rail Vehicle Floor Panels", *Composite Structures*, Vol. 92, No. 9, 2010, pp. 2077-2082.

[۱۴] همیتان حسین، فریدون عبدالحسین، رجب‌پور مرتضی، "بهینه‌سازی پانل ساندویچی هسته منشوری براساس الگوریتم گروه ذرات"، *مجله مدل‌سازی در مهندسی، دانشگاه سمنان*، دوره ۸، شماره ۲۰، ۱۳۸۹، صص ۱۷-۲۶.

- [15] Atashpaz-Gargari E., Hashemzadeh F., Rajabioun R., and Lucas C., "Colonial Competitive Algorithm: A Novel Approach for PID Controller Design in MIMO Distillation Column Process", *International Journal of Intelligent Computing and Cybernetics*, Vol. 3, No. 1, 2008, pp. 337-55.
- [16] Kaveh A., and Talatahari S., "Imperialist Competitive Algorithm For Engineering Design Problems", *Asian Journal of Civil Engineering (Building And Housing)*, Vol. 11, No. 6, 2010, pp. 675-697.
- [17] Aghakhani M., MahdipourJalilian M., Mehdiabadi M., MahdipourJalilian M., and Karami A.,

متغیرهای پیوسته، نشان داد. همچنین این الگوریتم به دلیل استفاده مستقیم از مقادیر تابع و عدم نیاز به مشتق در مسائلی که نیاز به بهینه‌سازی کلی باشد بسیار مفید و قابل رقابت با سایر الگوریتم‌های فرا ابتکاری است.

۶- فهرست علائم

d	ضخامت صفحات رویه
d_c	ضخامت صفحات هسته
E	مدول الاستیسیته
H	فاصله صفحات رویه
K_c	ضریب کمانش هسته
K_f	ضریب کمانش رویه
M	ممان خمشی بیشینه
W	وزن سازه در واحد عرض
V	نیروی برشی بیشینه
ε_y	کرنش تسلیم
θ	زاویه قرار گرفتن صفحات هسته
ρ	چگالی ماده
σ_y	تنش تسلیم
Π	شاخص بارگذاری
Ψ	شاخص وزن

۷- مراجع

- [1] Haydn N., Norman A. and Anthony G., "Fabrication and Structural Performance of Periodic Cellular Metal Sandwich Structures", *Composites Science and Technology*, Vol. 63, No. 16, 2003, pp. 2331-2343.
- [2] Ashby M. F., Evans A. G., Fleck N. A., Gibson L. J., Hutchinson J. W. and Wadley H N G., *Metal Foams: A Design Guide*, Butterworth Heinemann, Boston, 2000.
- [3] Roper C. S., "Multiobjective Optimization for Design of Multifunctional Sandwich Panel Heat Pipes with Micro-Architected Truss Cores", *International Journal of Heat and Fluid Flow*, Vol. 32, No. 1, 2011, pp. 239-248.
- [4] Wicks N., and Hutchinson J. W., "Optimal Truss Plates", *International Journal of Solids Structures*, Vol. 38, 2001, pp. 5183-6165.
- [5] Zok F. W., Rathbun H. J., Wei Z., and Evans A G., "Design of Metallic Textile Core Sandwich Panels", *International Journal of Solids Structures*, Vol. 40, 2003, pp. 5707-5722.

[۶] لیاقت غلامحسین، سرایلو حبیب‌اله، "طراحی بهینه هسته در

- Structures”, *European Journal of Scientific Research*, Vol. 55, No. 2, 2011, pp. 174-187.
- [21] Mozafari H., Abdi B., and Ayob A., “Optimization of Composite Plates Based on Imperialist Competitive Algorithm”, *International Journal on Computer Science and Engineering (IJCSE)*, Vol. 2, No. 9, 2010, pp. 2816-2819.
- [22] Gu S., Lu T., and Evans A., “On the Design of Two-Dimensional Cellular Metals for Combined Heat Dissipation and Structural Load Capacity”, *Int. J. Heat Mass Transfer*, Vol. 44, 2001, pp. 2163-2175.
- [23] Atashpaz-Gargari E. and Lucas C., “Imperialist Competitive Algorithm: an Algorithm for Optimization Inspired by Imperialistic Competition”, *In: IEEE Congress on Evolutionary Computation, Singapore*, 2007, pp. 4661-4667.
- [24] Khabbazi A., Atashpaz-Gargari E. and Lucas C., “Imperialist Competitive Algorithm for Minimum Bit Error Rate Beamforming”, *Int. J. Bio-Inspired Computation*, Vol. 1, No. 1-2, 2009, pp. 125-133.
- “Application of Imperialist Competitive Algorithm in Optimizing the Width of Heat Affected Zone in GMAW Process”, *International Journal of Modeling and Optimization*, Vol. 1, No. 3, 2011, pp. 221-225.
- [18] Jam J. E., Kamarian S., and Pourasghar A., “Application of ICA and ANN for Optimization of Functionally Graded Conical Shells”, *International Journal of Emerging Trends in Engineering and Development*, Vol. 5, No. 2, 2012, pp. 171-189.
- [۱۹] شیخی مجتبی، قدوسیان علی، شیخی مرتضی، “طراحی موقعیت بهینه ساپورت‌های سازه با استفاده از روش رقابت استعماری و المان محدود اصلاح یافته”، *مجله مهندسی مکانیک مدرس*، دوره ۱۲، شماره ۳، ۱۳۹۱، صص ۵۰-۵۹.
- [20] Abdi B., Mozafari H., Ayob A., and Kohandel R., “Imperialist Competitive Algorithm and its Application in Optimization of Laminated Composite

Archive of SID