



بررسی پارامترهای بهینه مؤثر بر صفحه ارتوتروپیک حاوی گشودگی پنج ضلعی با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی رقابت استعماری

محمد حسین بیاتی چالشتری^۱، کرامت ملک‌زاده فرد^{۲*}، محمد جعفری^۳، علیرضا پورموید^۴

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی هوافضا، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود

۲- استاد، مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران

۳- استادیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود

۴- دانشجو دکترا و مربی دانشگاه پدافند هوایی خاتم الانبیا (ص)، مهندسی هوافضا، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران

* تهران، صندوق پستی ۱۳۸۷۷۶۳۶۸۱، kmalekzadeh@mut.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
دریافت: ۹۵/۳/۶	در این مقاله، مقادیر بهینه‌ی پارامترهای مؤثر بر توزیع تنش اطراف گشودگی پنج ضلعی واقع در صفحه ارتوتروپیک تحلیل و بررسی می‌شوند. برای تعیین پارامترهای بهینه به منظور دست‌یابی به کمترین مقدار تنش در اطراف گشودگی از الگوریتم بهینه‌سازی رقابت استعماری استفاده شده است. الگوریتم رقابت استعماری روشی در حوزه محاسبات تکاملی است که به یافتن پاسخ بهینه مسائل می‌پردازد. این الگوریتم با تقلید از روند تکامل اجتماعی، اقتصادی و سیاسی کشورها و با مدل‌سازی ریاضی بخش‌هایی از این فرآیند، عملگرهایی را در قالب منظم به صورت الگوریتم ارائه می‌دهد که می‌تواند به حل مسائل پیچیده بهینه‌سازی کمک کند. پایه‌های اصلی این الگوریتم را سیاست هم‌سان‌سازی، رقابت استعماری و انقلاب تشکیل می‌دهند. در واقع این الگوریتم جواب‌های مسئله‌ی بهینه‌سازی را در قالب کشورها نگریسته و سعی می‌کند در طی فرآیندی تکرار شونده این جواب‌ها را رفته رفته بهبود داده و در نهایت به جواب بهینه مسئله برساند. روش استفاده شده در این مقاله، بسط روش تحلیلی است که برای گشودگی دایروی و بیضوی توسط لخنیتسکی انجام شده است. متغیرهای طراحی در این پژوهش شامل زاویه لیاف، زاویه یار، شعاع انحنای گوشه گشودگی، زاویه چرخش گشودگی و در نهایت جنس صفحه می‌باشد. نتایج حاصل شده از الگوریتم بهینه‌سازی رقابت استعماری بیانگر مناسب بودن این روش در بهینه‌سازی صفحات ارتوتروپیک می‌باشد. برای اثبات درستی نتایج، از حل عددی اجزای محدود استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهند با انتخاب مناسب پارامترهای بهینه می‌توان مقدار تنش اطراف گشودگی را به میزان قابل توجهی کاهش داد.
پذیرش: ۹۵/۴/۲۱	
کلیدواژگان:	
صفحه ارتوتروپیک نامحدود	
الگوریتم رقابت استعماری	
گشودگی پنج ضلعی	
حل تحلیلی	

Determination of optimal parameters for orthotropic plates with pentagonal cutout by imperialist competitive algorithm

Mohammad Hossein Bayati Chaleshtari¹, Keramat Malekzadeh Fard^{2*}, Mohammad Jafari¹, Ali Reza Pourmoayed³

1- Department of Mechanical Engineering, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

2- Department of Mechanical Engineering, Malek Ashtar University, Tehran, Iran

3- Department of Mechanical Engineering, Malek Ashtar University and Inst Khatamul-Anbiya Air Defense University, Tehran, Iran

*P.O.B. 1387763681, Tehran, Iran, kmalekzadeh@mut.ac.ir

Keywords

Perforated plates
 Imperialist competitive algorithm
 Pentagonal Cutout
 Analytical Solution

Abstract

One of the designers concerns is structural failure as a result of stress concentration in the geometrical discontinuities. Understanding the effective parameters on stress concentration and proper selection of these parameters enables the designer to achieve a reliable design. In the analysis of perforated orthotropic plate, the effective parameters on stress distribution around cutouts include fiber angle, load angle, curvature radius of the corner of the cutout, rotation angle of the cutout and at last material of the plate. This paper tries to examine effective parameters on stress analysis of infinite orthotropic plate with central pentagonal cutout with imperialist competitive algorithm (ICA) introduced the optimum parameters to achieve the least amount of stress around the cutout. Like other evolutionary algorithms, ICA is becoming an important tool for optimization and other complex problem solving. The results reported in this review provide evidence of performance achievement of the ICA in terms of both computing time and quality of solution. In this paper, an analytical method has been used to Lekhnitskii theory for circular and elliptical cutouts. Finite element numerical solution is employed to examine the results of present analytical solution. Overlap of the results of the two methods confirms the validity of the presented solution. Results show that by selecting the aforementioned parameters properly, less amounts of stress could be achieved around the cutout leading to an increase in load-bearing capacity of the structure.

Please cite this article using:

Bayati Chaleshtari, M. H. Malekzadeh Fard, K. Jafari, M. and Pourmoayed, A.R., "Determination of optimal parameters for orthotropic plates with pentagonal cutout by imperialist competitive algorithm", In Persian, Journal of Science and Technology of Composites, Vol. 4, No. 2, pp. 161-170, 2017.

برای ارجاع به این مقاله از عبارت زیر استفاده نمایید:

۱- مقدمه

دائوست و هووا [۱۲] گشودگی‌های مثلثی و دایره‌ای را تحلیل کردند، آن‌ها به بررسی شعاع انحنای گشودگی نیز پرداختند، با تعریف نسبت اضلاع به‌عنوان یک پارامتر، توانستند علاوه بر مثلث متساوی‌الاضلاع، سایر مثلث‌ها با نسبت اضلاع مختلف را بررسی کنند. حل آن‌ها بر اساس حل لختیستی استوار بود. ترابی و همکاران [۱۳] به تحلیل تجربی و تئوری شکست قطعات پلیمری دارای شیار ۷ شکل با سوراخ انتهایی تحت بارگذاری مرکب کششی و برشی پرداختند. هافن باخ و همکاران [۱۴] تمرکز تنش بر روی صفحات چندلایه ضخیم کامپوزیتی تحت تنش برشی را با استفاده از تئوری تغییر شکل برشی مرتبه‌ی اول مورد بررسی قرار دادند. رضایی‌پژند و جعفری [۱۵-۱۸] به بررسی توزیع تنش در اطراف گشودگی‌های مختلف از جمله گشودگی مثلثی در صفحات غیرهمسان‌گرد و تحت بار کششی پرداختند و همچنین تأثیر پارامترهای مختلف را در توزیع تنش اطراف این گشودگی‌ها بررسی کردند، روش حل آن‌ها برگرفته از بسط روش حل تحلیلی ارائه شده از لختیستی و ساوین بود. محمدی و همکاران [۱۹] به تحلیل خرابی یک چند لایه کامپوزیتی دارای گشودگی دایروی با استفاده از مکانیک خرابی محیط-های پیوسته پرداختند. فراس دارویش و همکاران [۲۰] توزیع تنش را در اطراف گشودگی که توسط پرچ محکم شده است، در صفحات ارتوتروپیک تحت تنش تک‌محوری مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها از روش اجزای محدود برای تجزیه، تحلیل و مش‌بندی یک صفحه‌ی حاوی گشودگی استفاده کردند. آن‌ها در ادامه، تأثیر چند پارامتر هندسی مانند ضخامت ورق، عمق گشودگی و عرض صفحه را بررسی کردند. روش تحلیلی ارائه شده در این مقاله، برگرفته از بسط روش حل تحلیلی ارائه شده توسط ساوین [۲] و لختیستی [۳] می‌باشد.

همچنین اخیراً از الگوریتم‌های بهینه‌سازی هوشمند مبتنی بر هوش جمعی (دسته‌ی ذرات) مانند اجتماع ذرات، کلونی مورچگان و ... برای طراحی سازه‌های مهندسی استفاده شده است. از تحقیقات صورت گرفته در این زمینه می‌توان به کار سیوا کومار و همکاران [۲۱] اشاره داشت که به بهینه‌سازی صفحات کامپوزیتی چندلایه حاوی گشودگی بیضوی با استفاده از الگوریتم ژنتیک پرداختند. آن‌ها در تحقیق خود جهت‌گیری گشودگی، نسبت طول به عرض گشودگی، زاویه‌ی الیاف، ضخامت لایه‌ها، و جنس لایه‌ها را به‌عنوان پارامترهای طراحی و فرکانس طبیعی را به‌عنوان قید طراحی در این الگوریتم مورد بررسی قرار دادند. چو و رونالدز [۲۲] توانایی الگوریتم ژنتیک را در کمینه‌سازی تمرکز تنش در چندلایه‌های کامپوزیتی حاوی گشودگی نشان دادند. در این تحقیق از الگوریتم ژنتیک و برنامه‌ی المان محدود توسعه یافته‌ی ویژه‌ی استفاده شد. روش المان محدود برای تعیین تابع هزینه به‌منظور کمینه‌سازی تمرکز تنش اطراف گشودگی استفاده شد. هدف اصلی مقاله‌ی فوق دست‌یابی به مقادیر بهینه پارامترهای طراحی برای رسیدن به کمترین تنش ممکن بود.

استفاده از روش الگوریتم اجتماع ذرات اصلاح شده در بهینه‌سازی نحوه قرار گرفتن کامپوزیت‌های چندلایه توسط چانگ و همکاران [۲۳] مورد مطالعه قرار گرفت. آن‌ها در تحقیقات شان به بهینه‌سازی با این الگوریتم در فضای گسسته پرداختند، که نتایج آن‌ها حاکی از بهبود بازده محاسبات بود. از الگوریتم کلونی مورچه‌ها در بهینه‌سازی چند هدفه پانل‌های ساندویچی کامپوزیتی کف وسایل نقلیه ریلی توسط هادسون و همکاران [۲۴] استفاده شد. لیمان و همکاران [۲۵] روشی برای دست‌یابی به چیدمانی بهینه برای چندلایه‌های کامپوزیتی تحت بارگذاری عرضی و بار فشاری، با استفاده از روش الگوریتم ژنتیک و تحلیل ایزوژئومتریکی اجزای محدود ارائه کردند. تابع

صفحات به‌دلیل کاربرد وسیع در صنایع مختلف از اهمیت بسیاری برخوردار هستند. از جمله کاربرد آن‌ها می‌توان انواع مخازن مستطیلی، بدنه ماشین‌آلات صنعتی و غیر صنعتی و طراحی انواع هواپیماها و بالگردها اشاره کرد. گشودگی با اشکال مختلف در سازه‌ها برای ارضاء نیازهای طراحی به‌وجود می‌آیند. این گشودگی‌ها در بالا بردن تنش‌ها و به‌وجود آوردن شکست‌های فاجعه‌بار تأثیرگذار هستند. از جمله این موارد، می‌توان به گشودگی درها و پنجره‌ها در بدنه هواپیماها و فضاپیماها، محل اتصال فشارسنج‌ها و دماسنج‌ها در بدنه کوره‌ها، محل اتصال دو ورق به همدیگر توسط پیچ‌ها و پرچ‌ها، وجود گشودگی‌هایی در پره‌های توربین‌ها جهت جریان یافتن سیال خنک‌کننده در پره‌ها و ... اشاره کرد. استفاده از مواد مرکب در صنایع هوافضا و بسیاری از صنایع دیگر به‌خاطر نسبت استحکام به وزن و سفتی بالای این‌گونه مواد دارای افزایش چشم‌گیری است. بنابراین برای طراحی دقیق صفحات حاوی گشودگی دانستن اطلاعات دقیق در مورد تغییر شکل‌ها و توزیع تنش‌ها لازم است. در این مقاله، حل تحلیلی برای گشودگی پنج ضلعی صورت می‌گیرد و همچنین با توجه به طولانی بودن مراحل آزمون و خطا برای یافتن طرح بهینه‌ی آن‌ها، از الگوریتم رقابت استعماری^۱ برای انسجام دادن به فرآیند جستجو در رسیدن به طرح بهینه و اقتصادی مورد استفاده قرار گرفته است.

۲- مروری بر کارهای انجام شده

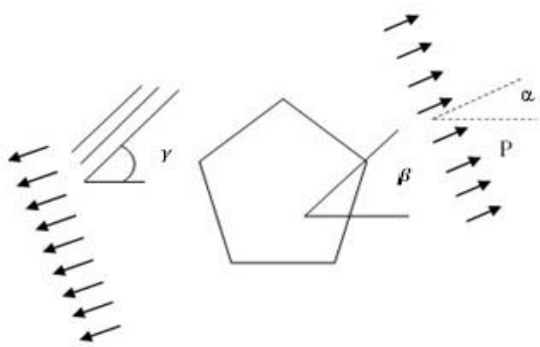
پژوهش در مورد مسئله‌ی تمرکز تنش در صفحات و پوسته‌های حاوی گشودگی برای مواد همسان‌گرد و غیرهمسان‌گرد توسط موشخلی شویلی [۱]، ساوین [۲] و لختیستی [۳] که پایه‌گذار استفاده از نگاشت همنوا و متغیر مختلط در این زمینه بودند، شروع شد. ساوین [۲] در مورد مواد همسان‌گرد برای گشودگی‌های مختلف و برای مواد غیرهمسان‌گرد فقط برای گشودگی بیضوی حل‌هایی را ارائه داد. لختیستی [۳] بررسی‌های متعددی روی ضریب تمرکز تنش در مواد ارتوتروپیک انجام داد. لختیستی روابطی برای ضریب تمرکز تنش صفحات حاوی گشودگی دایره‌ای و بیضوی با ابعاد نامحدود ارائه داد. هاجس و ون‌دیک [۴، ۵] تمرکز تنش در اطراف ترک را با بررسی ناحیه‌ی پلاستیک ایجاد شده در نوک ترک در یک تک‌لایه با طول و عرض بی‌نهایت محاسبه کردند. فرانکلین [۶] به بررسی تمرکز تنش در یک ماده‌ی مرکب با طول و عرض نامحدود که دارای گشودگی دایره‌ای بوده پرداخت و نتایج تمرکز تنش را با استفاده از تئوری شیرلگ^۲ به‌دست آورد.

پیترسون [۷] روابط متعددی برای اشکال مختلف با گشودگی‌های متعدد، هم برای ابعاد نامحدود و هم برای ابعاد محدود (عرض محدود) ارائه کرد. تان [۸] برای صفحات حاوی گشودگی با عرض محدود، با استفاده از برآیند نیروهای تعادل برای مواد کامپوزیتی و ارتوتروپیک در اطراف گشودگی، ضرایب تصحیحی را ارائه کرد. این روابط به یک صفحه‌ی تخت حاوی گشودگی با طول زیاد و عرض محدود تحت بار کششی تک‌محوری منحصر می‌شود. همچنین فوکودا و چائو [۹] توزیع تنش در یک ماده‌ی مرکب هیبریدی با الیاف‌های ناپیوسته را در حالت شکست متقارن به‌دست آوردند. در کتاب‌های پیلکی [۱۰]، نیوبر [۱۱]، برای محدوده‌ی وسیعی از گشودگی‌ها با اندازه‌های مختلف، ضرایب تمرکز تنش مناسبی برای مواد همسان‌گرد ارائه شد و همچنین در بعضی از قسمت‌ها معادلاتی نیز به‌دست آمده است.

1. Imperialist Competitive Algorithm
2. Shear Lag Theory

۳- تعریف مسئله

مطابق شکل ۱ صفحه ای را که در مرکز دارای یک بریدگی پنج ضلعی است و تحت تنش تک محوره کششی قرار گرفته است، در نظر گرفته می شود. تنش در فاصله ای دور از بریدگی و تحت زاویه دلخواه (α) نسبت به محور افق اعمال می شود. محور اصلی بریدگی پنج ضلعی در داخل صفحه می تواند زوایای مختلفی (β) را نسبت به محور افق داشته باشد. این زاویه، زاویه چرخش بریدگی نام گذاری شده است. ابعاد بریدگی نسبت به صفحه چنان است که بتوان صفحه را نامحدود تصور کرد. پارامترهای زاویه بار و زاویه چرخش و زاویه الیاف در شکل ۱ به ترتیب با زاویه α ، β و γ مشخص شده اند. ماده رفتار الاستیک خطی دارد و بین تنش و کرنش رابطه هوک برقرار است. با اعمال شرایط مرزی ($\tau_r = \sigma_r = 0$) تنها تنش ایجاد شده در اطراف گشودگی σ_θ است. مطابق شکل ۱، گشودگی به اندازه زاویه β نسبت به محور x چرخیده و گشودگی مرکزی عاری از بار می باشد.



شکل ۱ هندسه گشودگی در حالت بارگذاری تک محوری

۴- مدل سازی و روش حل

روش تحلیلی استفاده شده در این مقاله، برگرفته از گسترش روش حل تحلیلی ارائه شده توسط ساوین [۱۹] و لخنیتسکی [۱] می باشد. در این روش، تابع تنش به عبارتی تحلیلی با ضرایب نامعین تبدیل می شود و با مشخص شدن تابع تنش می توان تغییر مکان ها و تنش ها را محاسبه نمود. در حالت تنش صفحه ای با معرفی $F(x, y)$ به عنوان تابع تنش، معادله تعادل مطابق رابطه (۱) ارضا خواهد شد.

$$\begin{aligned} \sigma_x &= \frac{\partial^2 F}{\partial y^2} \\ \sigma_y &= \frac{\partial^2 F}{\partial x^2} \\ \tau_{xy} &= -\frac{\partial^2 F}{\partial x \partial y} \end{aligned} \quad (1)$$

با استفاده از روابط تنش-کرنش رابطه سازگاری برحسب تابع تنش در غیاب نیروهای حجمی مطابق رابطه (۲) خواهد بود [۱].

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

معادله (۲)، معادله سازگاری برای ماده ی غیرهمسان گرد می باشد که R_{ij} اعضای ماتریس نرمی کاهش یافته می باشند. بنابراین حل مسائل الاستیسیته ی صفحه ای در حالت دو بعدی، منجر به معرفی و حل معادله

هدف در این تحقیق دست یابی به استحکام و ظرفیت تحمل بار بیشینه در نظر گرفته شد و تئوری کرنش فون کارمن برای در نظر گرفتن تغییر شکل های بزرگ و رفتار غیرخطی صفحات ناشی از خمش و کمانش و پس کمانش مورد استفاده قرار گرفت.

آلانسو و همکاران [۲۶] به بررسی متغیرهای الگوریتم اجتماع ذرات مبتنی بر حرکت دسته ی پزندگان به صورت روش تناوبی برای بهینه سازی سازه های کامپوزیتی پرداختند. آن ها همچنین در مقاله ی خود به مقایسه الگوریتم اجتماع ذرات با الگوریتم ژنتیک پرداختند و در نهایت روش های مختلف به منظور بهبود بخشیدن در عملکرد این الگوریتم را ارائه دادند. جیانکیاو و همکاران [۲۷] توسعه یک روش برای طراحی بهینه ی (بر پایه یک قابلیت اعتماد) سازه های کامپوزیتی بر مبنای ترکیب روش PSO و FEA ارائه دادند.

چن و همکاران [۲۸] یک روش بهینه سازی برای طراحی قابلیت اطمینان سازه های کامپوزیتی بر پایه روش بهینه سازی انبوه ذرات و المان محدود ارائه کردند. در روش آن ها ابتدا یک جمعیت اولیه با موقعیت و سرعت تصادفی ایجاد می شوند و این داده ها برای محاسبه تنش سازه به نرم افزار انسیس داده می شوند و پس از آن داده های خروجی از نرم افزار برای محاسبه قابلیت اطمینان و بهینه سازی به نرم افزار متلب منتقل می شوند. در این روش داده ها همواره بین انسیس و متلب در حال تبادل می باشند. آن ها همچنین نتایج عددی برای چند لایه ها، پوسته های استوانه ای کامپوزیتی و مخازن تحت فشار کامپوزیتی را برای اثبات مؤثر بودن روش خود ارائه دادند.

باربوسا و همکاران [۲۹] به طراحی یک سازه چند سلولی کامپوزیتی تحت پیچش با بررسی تأثیر بسیاری از مواد و پارامترهای هندسی بر روی رفتار مکانیکی بهینه سازی سازه پرداختند. در این کار تکنیک بهینه سازی PSO برای بهینه سازی ثابت پیچشی (G) سازه مورد استفاده قرار گرفته است. به تازگی الگوریتم جدیدی با نام الگوریتم رقابت استعماری^۱ در زمینه محاسبات تکاملی، توسط آتش پز و لوکاس در سال ۲۰۰۷ ارائه شده است که نه از یک پدیده طبیعی، بلکه از یک پدیده اجتماعی- انسانی الهام گرفته است [۳۰]. در الگوریتم رقابت استعماری، از آن جا که کشورها (مستعمرات) با یک زاویه معین به سمت استعمارگر حرکت می کنند، امکان گیر افتادن در دام بهینه محلی وجود دارد.

از کاربردهای این الگوریتم می توان به زمینه کنترل و طراحی بهینه که توسط آتش پز و همکاران صورت گرفته است اشاره کرد [۳۱-۳۴]. زندی و همکاران به مقایسه الگوریتم رقابت استعماری با الگوریتم ژنتیک پرداختند و به رقابتی بودن نتایج الگوریتم رقابت استعماری دست یافتند [۳۵]. کریمی و همکاران [۳۶] به بررسی و بهینه سازی جریان انتقال حرارت در خنک کننده ها با استفاده از الگوریتم رقابت استعماری پرداختند.

در این مقاله با تکیه بر حل تحلیلی لخنیتسکی و بسط این حل به گشودگی پنج ضلعی منظم هندسی سعی شده است تا برای بارگذاری کشش تک محوری، مقادیر بهینه ی پارامترهای اشاره شده جهت دست یابی به کمترین تنش بی بعد معرفی شود. لازم به ذکر است، که مقدار تنش بی بعد در اطراف گشودگی به عنوان تابع هزینه^۲ برای الگوریتم بهینه سازی رقابت استعماری در نظر گرفته شده است. تنش بی بعد به صورت بیشترین تنش ایجاد شده در اطراف گشودگی به تنش اعمالی تعریف می شود.

1. Imperialist Competitive Algorithm
2. Cost Function

۵- الگوریتم رقابت استعماری

اغلب روش‌های بهینه سازی همانند الگوریتم ژنتیک، شبیه‌سازی فرآیندهای طبیعی می‌باشند. از دلایل این امر ملموس بودن، سادگی فرموله کردن و درک تکامل این فرآیندها می‌باشد. از طرف دیگر در ارایه الگوریتم‌های بهینه سازی، علی‌رغم توجه به تکامل زیستی انسان و سایر موجودات، به تکامل اجتماعی و تاریخی او به‌عنوان پیچیده‌ترین و موفق‌ترین حالت تکامل، توجه چندانی صورت نگرفته است. الگوریتم جدید رقابت استعماری، با الهام‌گیری از یک فرآیند اجتماعی-سیاسی در سال ۲۰۰۷ میلادی توسط آتش‌پز و لوکاس ارایه شده است. این الگوریتم نسبت به دیگر روش‌های بهینه‌سازی مانند ژنتیک، اجتماع ذرات و ... دارای توانایی بالایی بوده و از سرعت مناسبی برخوردار می‌باشد [۳۵].

الگوریتم رقابت استعماری، مانند سایر روش‌های بهینه‌سازی تکاملی، با ایجاد جمعیت اولیه شروع می‌شود. در این الگوریتم، هر عنصر جمعیت یک کشور نامیده می‌شود. کشورها نیز به دو دسته مستعمره و استعمارگر تقسیم می‌شوند. هر کشور استعمارگر به‌میزان قدرت خود، تعدادی از کشورهای مستعمره را به سلطه درآورده و آن‌ها را کنترل می‌نماید. سیاست جذب و رقابت استعماری، هسته اصلی این الگوریتم را تشکیل می‌دهند. مطابق سیاست جذب که به‌صورت تاریخی توسط کشورهای استعمارگری همچون فرانسه و انگلیس در مستعمراتشان اعمال می‌شود، کشورهای استعمارگر با استفاده از روش‌های همچون احداث مدارس به زبان خود سعی در از خود بی‌خود کردن کشور مستعمره با از میان بردن زبان کشور مستعمره و فرهنگ و رسوم آن داشتند. در ارائه این الگوریتم، این سیاست با حرکت دادن یک امپراطوری به سمت کشور امپریالیست صورت می‌پذیرد [۳۵].

۵-۱- پیاده‌سازی الگوریتم رقابت استعماری

همان‌طور که گفته شد، در ساختار این الگوریتم خواصی بنیادی نهفته است که پایه و اساس تعریف این الگوریتم به شمار می‌آید. سیاست جذب یا همگون‌سازی^۱، رقابت استعماری^۲ و انقلاب^۳ از ارکان مهم این الگوریتم هستند. این الگوریتم با الگو برداری از روند تکاملی اجتماعی، فرهنگی و اقتصادی کشورها، و قالب‌بندی آن‌ها در مدل‌های ریاضی، عملگرهایی را به‌صورت الگوریتم ایجاد کرده است. این الگوریتم جواب‌های مسئله که همان کشورها می‌باشند را در یک حلقه تکرار قرار می‌دهد و جواب‌ها را به تدریج بهبود داده و در نهایت به جواب بهینه می‌رسد.

۵-۱-۱- شکل‌دهی امپراطوری اولیه

در الگوریتم رقابت استعماری هر یک از اعضای جمعیت که آرایه‌ای از متغیرها می‌باشند یک کشور در نظر گرفته می‌شوند. سپس الگوریتم با ایجاد چندین کشور اولیه شروع می‌شود. تعدادی از بهترین اعضای این جمعیت یعنی کشورهای دارای کمترین مقدار تابع هزینه به‌عنوان امپریالیست^۴ انتخاب می‌شوند. بقیه کشورهای باقی‌مانده، مستعمرات امپراطوری‌ها^۵ را تشکیل می‌دهند. به‌منظور تقسیم مستعمرات اولیه بین امپریالیست‌ها به هر امپریالیست متناسب با قدرت آن، تعدادی از مستعمرات داده می‌شوند. برای انجام این کار می‌بایست هزینه نرمالیزه همه امپریالیست‌ها محاسبه شوند. هر امپریالیستی که دارای هزینه بیشتری باشد، دارای هزینه نرمالیزه کمتری

دیفرانسیل مرتبه‌ی چهار خواهد شد که به کمک چهار اپراتور مشتق خطی مرتبه‌ی اول بیان می‌شود. که برای ماده‌ی ارتوتروپیک به‌صورت رابطه‌ی (۳) است. لختیستکی اثبات کرد که این معادله‌ی مشخصه مربوط به ماده‌ی ارتوتروپیک در حالت کلی چهار ریشه‌ی موهومی دارد که دارای ریشه‌های دو به دو مزدوج می‌باشد.

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

در نهایت مؤلفه‌های تنش در یک صفحه‌ی ارتوتروپیک برحسب دو تابع پتانسیل $\psi(z_2)$ و $\phi(z_1)$ مطابق رابطه‌ی (۴) بیان می‌شوند.

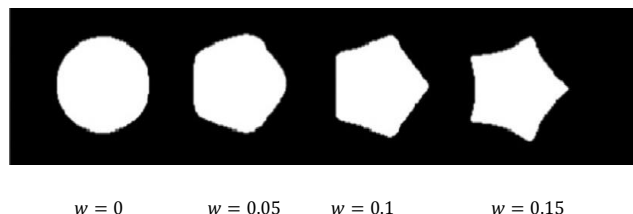
$$\begin{aligned} \sigma_x &= 2Re[\mu_1^2 \phi'(z_1) + \mu_2^2 \psi'(z_2)] \\ \sigma_y &= 2Re[\phi'(z_1) + \mu_2^2 \psi'(z_2)] \\ \tau_{xy} &= 2Re[\mu_1 \phi'(z_1) + \mu_2 \psi'(z_2)] \end{aligned} \quad (4)$$

در رابطه فوق منظور از $Re[]$ قسمت حقیقی عبارت داخل کروشه است. همچنین $Z_i = x + \mu_i y$ ($i = 1, 2$) و $\Phi(Z_1)$ و $\psi(Z_2)$ توابع دلخواهی می‌باشند که با تعریف شکل گشودگی و اعمال شرایط مرزی تنش در اطراف گشودگی به‌دست می‌آیند و $\psi''(Z_2)$ به‌ترتیب مشتق دوم توابع $\Phi(Z_1)$ و $\psi(Z_2)$ نسبت به Z_1 و Z_2 می‌باشد. در نهایت با انتقال دستگاه مختصات کارتزین به مختصات قطبی، می‌توان تنش‌های $\sigma_r, \sigma_\theta, \tau_{r\theta}$ را به‌دست آورد. همان‌طور که قبلاً اشاره شد؛ با استفاده از روش متغیر مختلط، توزیع تنش اطراف گشودگی دایره‌ای توسط ساوین و لختیستکی، بررسی شد. برای بسط روش حل آن‌ها به سایر گشودگی‌ها ابتدا باید با استفاده از یک تابع نگاشت ساده ($Z_i = x + \mu_i y$) نقاط روی مرز گشودگی با شکل خاص (کانتور) را به خارج دایره‌ای به شعاع واحد تبدیل کرد که x و y آن از روابط (۵) و (۶) به‌دست می‌آیند.

$$x = \lambda(\cos\theta + w \cdot \cos(n\theta)) \quad (5)$$

$$y = -\lambda(\sin\theta - w \cdot \sin(n\theta)) \quad (6)$$

در رابطه‌ی بالا، پارامترهای مختلفی وجود دارند که با تغییر آن‌ها، می‌توان گشودگی‌های مختلفی را مدل کرد. در این روابط n نشان‌دهنده‌ی نوع هندسه‌ی گشودگی است؛ به‌طوری‌که ۱ - تعداد اضلاع گشودگی $n =$ همچنین پارامتر λ بزرگی گشودگی را نشان می‌دهد. در معادله‌های مثلثاتی (۵) و (۶) برای گشودگی پنج ضلعی با طول اضلاع یکسان باید $n = 5$ باشد. از سوی دیگر w معیار تیزی یا نرمی گشودگی می‌باشد. تأثیر مقدار w در شکل ۲ نشان داده شده است، مطابق این شکل برای گشودگی چهارضلعی وقتی w کاهش می‌یابد گوشه‌های گشودگی ملایم‌تر می‌شود تا این‌که w به کمترین مقدار خودش، (یعنی $w = 0$) می‌رسد، در این حالت شکل گشودگی به دایره تبدیل می‌شود.



شکل ۲ تأثیر پارامتر w بر گوشه‌های گشودگی پنج‌ضلعی

1. Assimilation
2. Imperialistic Competition
3. Revolution
4. Imperialist
5. Empires

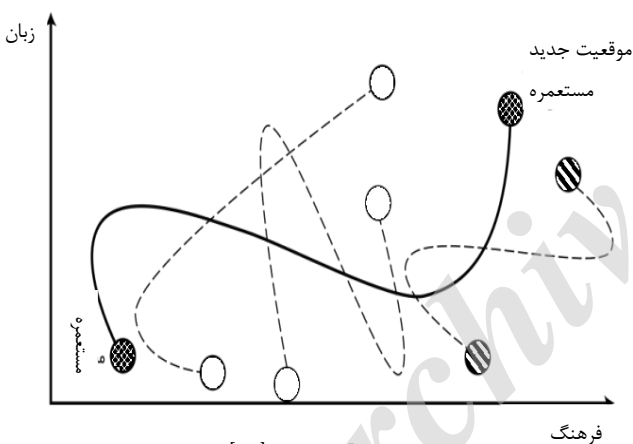
در رابطه (۸)، v پارامتری دلخواه می‌باشد که افزایش آن باعث افزایش جستجوی اطراف امپریالیست می‌شود و کاهش آن باعث نزدیک شدن مستعمرات به بردار واصل مستعمره و استعمارگر می‌شود. در اکثر مسایل میزان $\pi/4$ می‌تواند انتخاب مناسبی برای H باشد.

۵-۱-۳- جابه‌جایی موقعیت مستعمره و امپریالیست

در حین حرکت مستعمرات به سمت کشور استعمارگر ممکن است بعضی از این مستعمرات به موقعیتی بهتر از امپریالیست برسند، بدین معنی که به نقاطی در تابع هزینه برسند که هزینه کمتری را نسبت به مقدار تابع هزینه در موقعیت امپریالیست دارند. در این حالت کشور استعمارگر و کشور مستعمره جای خود را با یکدیگر عوض می‌کنند و کشور امپریالیست جدید شروع به اعمال سیاست هم‌گون‌سازی بر مستعمرات خود می‌کند [۳۶].

۵-۱-۴- انقلاب

بروز انقلاب تغییرات ناگهانی را در ویژگی‌های اجتماعی سیاسی یک کشور ایجاد می‌کند. در الگوریتم رقابت استعماری، انقلاب با جابجایی تصادفی یک کشور مستعمره به یک موقعیت تصادفی جدید مدل‌سازی می‌شود (شکل ۵). انقلاب از دیدگاه الگوریتمی باعث می‌شود کلیت حرکت تکاملی از گیرکردن در دره‌های محلی بهینگی نجات یابد که در بعضی موارد باعث بهبود موقعیت یک کشور شده و آن را به یک محدوده بهینگی بهتری می‌برد [۳۵].



شکل ۵ فرآیند انقلاب [۳۵]

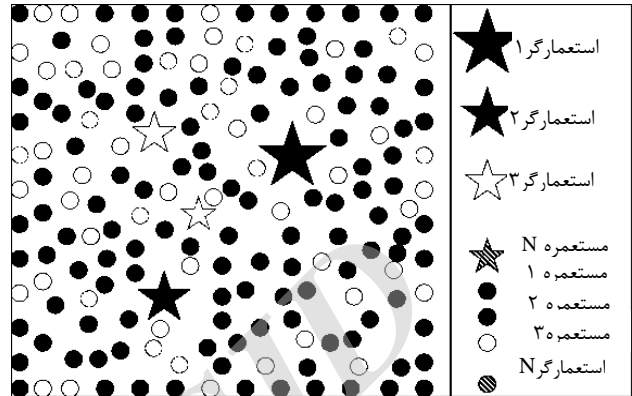
۵-۱-۵- محاسبه قدرت کل یک امپراطوری

قدرت یک امپراطوری برابر است با قدرت یک کشور استعمارگر و درصدی از قدرت کل مستعمرات آن. بنابراین هزینه کل یک امپراطوری به‌صورت رابطه (۹) محاسبه می‌شود.

$$T \cdot C_n = \text{cost}(\text{imperialist}_n) + \xi \text{mean}\{\text{cost}(\text{colonies of empire}_n)\} \quad (9)$$

در رابطه (۹)، $T \cdot C_n$ هزینه کل امپراطوری m می‌باشد. ξ عددی مثبت است که معمولاً بین صفر و یک و نزدیک به صفر در نظر گرفته می‌شود. کوچک در نظر گرفتن ξ باعث می‌شود که هزینه کل امپراطوری تقریباً برابر با هزینه حکومت مرکزی آن کشور امپریالیست شود و افزایش ξ نیز باعث افزایش تاثیر میزان هزینه مستعمرات یک امپراطوری در تعیین کل آن می‌شود [۳۵].

خواهد بود. سپس با توجه به هزینه نرمالیزه، قدرت نسبی نرمالیزه هر امپریالیست محاسبه شده و بر مبنای آن کشورهای مستعمره بین امپریالیست‌ها تقسیم می‌شوند. با داشتن حالت اولیه تمام امپراطوری‌ها الگوریتم رقابت استعماری شروع می‌شود. روند تکامل در یک حلقه قرار دارد که تا برآورد شدن یک شرط توقف ادامه می‌یابد. شکل ۳ نحوه تقسیم مستعمرات در بین امپریالیست‌ها را نمایش می‌دهد [۳۳].



شکل ۳ نحوه ایجاد امپراطورهای اولیه [۳۵]

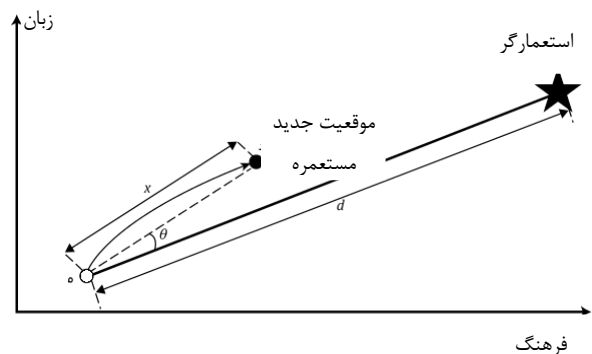
۵-۱-۲- سیاست جذب (حرکت مستعمره به سمت امپریالیست)

در این الگوریتم سیاست هم‌گون‌سازی موجود در فرآیند استعمار به‌صورت حرکت مستعمرات به سمت کشور امپریالیست مدل شده است. شکل ۴ شمای کلی این حرکت را نشان می‌دهد. همان‌گونه که در این شکل مشخص است، کشور مستعمره^۱ به اندازه x واحد به سمت کشور استعمارگر حرکت کرده و به سمت موقعیت جدید کشانده می‌شود. فاصله میان استعمارگر و مستعمره با d نشان داده شده است. همچنین x عددی تصادفی با توزیع یکنواخت است که به‌صورت رابطه (۷) محاسبه می‌شود [۳۵].

$$x \cong U(0, \rho \times d) \quad (7)$$

در رابطه (۷)، ρ عددی بزرگتر از یک و نزدیک به دو است. به‌منظور حرکت مستعمره به سمت استعمارگر در جهات مختلف، یک انحراف زاویه‌ای تصادفی کوچکی به جهت حرکت اضافه می‌شود. این میزان انحراف با H نمایش داده می‌شود و از رابطه (۸) قابل محاسبه می‌باشد [۳۵].

$$H \cong U(-v, v) \quad (8)$$

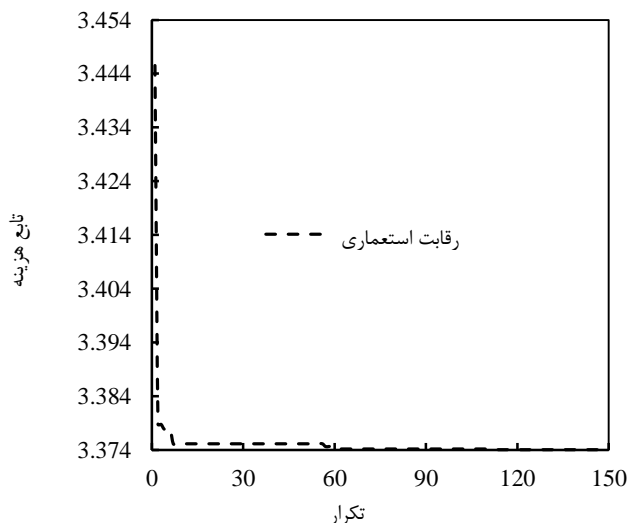


شکل ۴ حرکت مستعمره به سمت امپریالیست مربوطه [۳۵]

$$\begin{aligned} 0 < \alpha < 90 \\ 0 < \beta < 180 \\ 0 < \gamma < 90 \\ 0 < w < 0.2 \end{aligned}$$

(۱۰)

شکل ۷ نمودارهای همگرایی الگوریتم رقابت استعماری برای ماده شیشه/اپوکسی در یکی از حالت‌های بهینه ($w=0.05$, $\alpha=30$) را نشان می‌دهد. دیده می‌شود که به ازای حالت در نظر گرفته شده، الگوریتم رقابت استعماری مدام در حال بررسی نقاط بهینه محلی برای به دست آوردن دقیق‌ترین مقدار (بهینه‌ی مطلق) است.



شکل ۷ نمودار همگرایی الگوریتم رقابت استعماری

۷- بررسی درستی حل

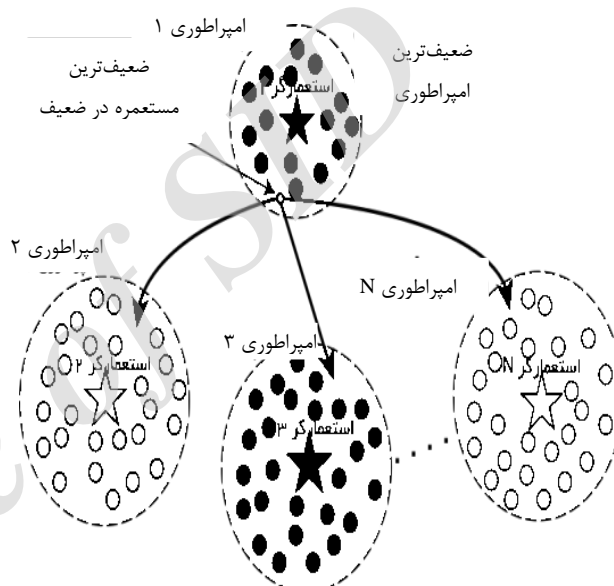
برای بررسی نتایج حاصل از روش بهینه‌سازی حاضر، از روش اجزای محدود (نرم افزار آباکوس) استفاده شده است. بدین منظور ابتدا یک خروجی از برنامه بهینه‌سازی نوشته شده در نرم‌افزار متلب برای تعیین پارامترهای بهینه مربوط به گشودگی پنج ضلعی برای یک ماده خاص تعیین می‌شود. سپس پارامترها و مختصات بهینه شده به دست آمده عیناً وارد نرم‌افزار آباکوس شده تا هندسه‌ی گشودگی کاملاً مطابق با مسئله حاضر باشد. به منظور دستیابی به تعداد مش بهینه و افزایش دقت در نتایج حاصل از حل عددی اجزای محدود، مش‌بندی در اطراف گشودگی بسیار ریزتر از مرزهای خارجی صفحه صورت گرفته شده است.

در این ناحیه تعداد المان‌ها از ۴۰ عدد تا ۱۸۰ عدد افزایش داده شد و مشاهده شد از این عدد به بعد با افزایش تعداد المان‌ها نتایج ثابت می‌ماند. مقایسه‌ی مقدارهای به دست آمده تابع هزینه از روش حل تحلیلی در این حالت و حل عددی در یکی از حالت‌های بهینه ($\alpha=0$, $\beta=144/4218$, $\gamma=64/1061$) به ازای ماده‌ی شیشه/اپوکسی در شکل ۸ نشان داده شده است.

همچنین شکل ۹ به مقایسه حل تحلیلی با حل عددی در یکی از حالت‌های بهینه ($\alpha=90$, $\beta=156/4981$, $\gamma=30$) به ازای ماده‌ی شیشه/اپوکسی می‌پردازد. زاویه‌ی θ ، زاویه‌ی نقاط روی مرز گشودگی را نسبت به محور افقی مشخص می‌کند. نزدیکی نتایج دو روش در شکل ۸ تأکیدی بر صحت نتایج ارائه شده می‌باشد.

۵-۱-۶- رقابت استعماری

هر امپراطوری که نتواند قدرت خود را افزایش دهد و قدرت رقابت خود را از دست به دهد در جریان رقابت ما بین امپریالیست‌ها حذف خواهد شد. مراحل حذف به صورت تدریجی صورت می‌پذیرد، بدین معنی که به مرور زمان امپراطوری‌های ضعیف مستعمرات خود را از دست داده و امپراطوری‌های قوی‌تر این مستعمرات را تصاحب می‌کنند و بر قدرت خویش می‌افزایند. بدین ترتیب، در تکرار الگوریتم، ضعیف‌ترین مستعمره از ضعیف‌ترین امپراطوری گرفته می‌شود و سپس رقابتی میان کلیه امپراطوری‌ها برای تصاحب این مستعمره ایجاد می‌شود. با توجه به شکل ۶، مستعمره مذکور لزوماً توسط قوی‌ترین امپراطوری تصاحب نخواهد شد؛ بلکه امپراطوری‌های قوی‌تر احتمال تصاحب بیشتری خواهند داشت. با تصاحب مستعمره توسط یکی از امپراطوری‌ها عملیات این مرحله از الگوریتم نیز به پایان می‌رسد [۳۳].



شکل ۶ رقابت استعماری [۳۵]

۵-۱-۷- سقوط امپراطوری‌های ضعیف

در جریان رقابت بین امپریالیست‌ها، امپراطوری‌های ضعیف به تدریج سقوط می‌کنند و مستعمراتشان را به امپراطوری‌های قوی‌تر می‌دهند. زمانی که یک امپراطوری تمام مستعمرات خود را از دست بدهد، حذف می‌شود.

۵-۱-۸- همگرایی

الگوریتم استعمارگر تا برآورده شدن شرط همگرایی و یا اتمام تعداد کل تکرارها ادامه می‌یابد. پس از مدتی رقابت همه امپراطوری‌ها سقوط کرده و تنها یک امپراطوری باقی خواهد ماند و بقیه کشورهای تحت کنترل این امپراطوری واحد قرار می‌گیرند. در چنین حالتی، تمام مستعمرات توسط یک امپراطوری واحد اداره می‌شوند. بنابراین رقابت امپریالیستی به پایان می‌رسد و با برآورده شدن یکی از شرط‌های توقف الگوریتم نیز متوقف می‌شود [۳۶].

۶- بررسی رقابتی الگوریتم رقابت استعماری

قیدها دارای حد پایین و حد بالا می‌باشند، که بر اساس شکل گشودگی قابل تغییر هستند. برای گشودگی پنج ضلعی محدوده‌ی قیود در این مقاله به صورت رابطه‌ی (۱۰) می‌باشد.

جدول ۱ خواص مواد صفحه دارای گشودگی [۱۸]

ماده	ν_{12}	G_{12} (GPa)	E_2 (GPa)	E_1 (GPa)
شیشه/اپوکسی	۰/۲۶	۷	۱۶/۲	۴۷/۴

در جدول ۲ نتایج بهینه در زوایای بار مختلف (شیشه/اپوکسی) و در جدول ۳ نتایج بهینه در زوایای الیاف مختلف (شیشه/اپوکسی) نشان داده شده است.

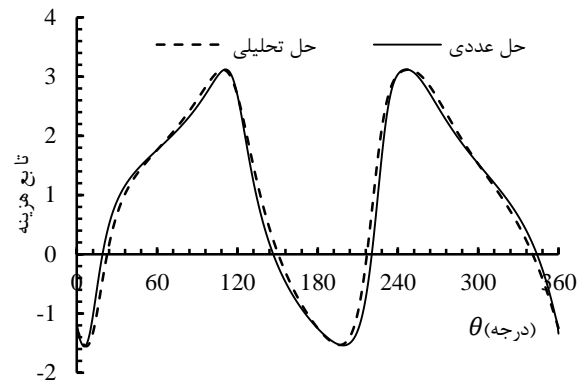
جدول ۲ نتایج بهینه در زوایای بار مختلف (شیشه/اپوکسی)

$w=0$				
C.F.	β	γ	α	
۲/۵۶۹۵	-	۵۹/۳۸	۰	
۲/۵۶۹۵	-	۸۹/۳۴	۳۰	
۲/۹۹۱۴	-	۰	۴۵	
۲/۵۶۹۵	-	۰/۶۰۸	۶۰	
۲/۵۶۹۵	-	۳۰/۶۸	۹۰	

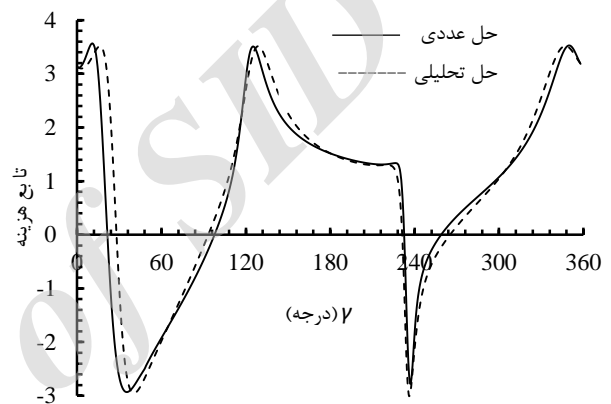
$w=0.05$				
C.F.	β	γ	α	
۳/۳۳۸۹	۱۴۴/۴۲۱۸	۶۴/۸	۰	
۳/۳۶۹۷	۳۵/۴۹۴۸	۹۰	۳۰	
۳/۷۱۵۳	۲۵/۵۳۱۵	۹۰	۴۵	
۳/۳۶۹۹	۹۰/۶۲۲۳	۰	۶۰	
۳/۳۳۸۷	۱۷/۴۶۳۱	۲۵/۳۸	۹۰	

$w=0.1$				
C.F.	β	γ	α	
۴/۶۶۷۵	۰	۶۵/۷۹	۰	
۴/۷۵۹۵	۲/۴۰۶	۹۰	۳۰	
۵/۳۲۲	۲۸/۳۹۰۶	۰	۴۵	
۴/۷۵۷۵	۱۵۹/۷۰۸۴	۰	۶۰	
۴/۶۶۵۴	۱۷/۹۹۹۶	۲۴/۳۰	۹۰	

$w=0.15$				
C.F.	β	γ	α	
۷/۳۳۸۴	۱۷۹/۳۳	۶۷/۱۸	۰	
۷/۵۱۶۳	۷۸/۴۱۴۲	۸۹/۳۴	۳۰	
۸/۶۳۸	۶۴/۹۳۱۴	۰	۴۵	
۷/۵۲۹۸	۱۲/۰۴۲۴	۰	۶۰	
۷/۳۴۷۴	۵۵/۱۶	۲۲/۲۵	۹۰	



شکل ۸ مقایسه‌ی حل المان محدود و حل تحلیلی حاضر در زاویه بار بهینه $w=0.05$ (شیشه/اپوکسی)



شکل ۹ مقایسه‌ی حل المان محدود و حل تحلیلی حاضر در زاویه الیاف بهینه $w=0.05$ (شیشه/اپوکسی)

۸- نتایج

تمرکز تنش در بسیاری از سازه‌ها باعث شکست زودرس بویژه در بارهای غیرایستایی است. هدف در این مقاله کاهش ضریب تمرکز تنش است. از جمله پارامترهای موثری که می‌تواند در این کاهش کمک کند هندسه گشودگی است. برای یک گشودگی پنج ضلعی نحوه قرار گیری گشودگی نسبت به زاویه الیاف و بار بسیار می‌تواند در کاهش تمرکز تنش دخیل باشد. انحنای گوشه‌های گشودگی که با w نشان داده شده است از دیگر پارامترهاست که تاثیر آن بر تمرکز تنش بررسی شده است. زاویه قرار گیری الیاف در یک ماده ارتوتروپیک می‌تواند در کاهش تمرکز تنش موثر باشد. در صورتی که اعمال بار با زاویه دلخواه در اختیار طراح باشد می‌توان این زاویه را هم جز پارامترها در نظر گرفت. در صورتی که این زاویه دست طراح نیست سعی شده است در مقاله در زوایای بار مختلف مقادیر بهینه دیگر پارامترهایی که در بالا اشاره شد تعیین شود. خواص مکانیکی ماده استفاده شده در این تحقیق در جدول ۱ ارائه شده است. بر این اساس ابتدا سعی می‌شود تا برای یک صفحه‌ی نامحدود ناهمسانگرد حاوی یک گشودگی خاص، با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی رقابت استعماری، در هر زاویه‌ی بار، مقادیر بهینه‌ی دیگر متغیرهای طراحی و کمترین مقدار تمرکز تنش اطراف گشودگی مورد بررسی قرار گیرد. سپس تاثیر زاویه الیاف و همچنین تاثیر شعاع انحنای گوشه‌ی گشودگی نیز مورد بررسی قرار می‌گیرد.

شکل ۱۰ تاثیر زاویه‌ی بار، بر مقدار تابع هزینه با در نظر گرفتن همزمان زوایای الیاف و چرخش گشودگی به‌عنوان متغیرهای طراحی برای ماده‌ی ناهمسانگرد شیشه/اپوکسی در تمامی شعاع انحنای گشودگی (w) را نشان می‌دهد. مقادیر زوایای الیاف و چرخش گشودگی در این حالت، مقادیر بهینه‌ی حاصل از الگوریتم بهینه‌سازی رقابت استعماری هستند. با توجه به شکل ۱۰، ماده‌ی شیشه/اپوکسی در زاویه ۴۵ درجه و $w=0.15$ نسبت به سه شعاع انحنای دیگر بیشترین مقدار تنش را دارد. جدول ۲، مقادیر بهینه‌ی زاویه‌ی چرخش، زاویه‌ی الیاف و تنش بی‌بعد کمینه متناظر با هر زاویه‌ی بار و در انحنای مختلف را نشان می‌دهد. همان‌طور که در جدول ۲ مشاهده می‌کنید، در $w=0$ کمترین مقدار تابع هزینه که همان تنش بهینه شده است، رخ داده است. مقدار تنش بهینه برابر ۲/۵۶۹۵ است. با توجه به نتایج جدول ۲ می‌توان به این نکته دست پیدا کرد که در گشودگی پنج ضلعی هر چه میزان انحنای گوشه گشودگی کمتر باشد، می‌توان به مقدار

این گونه می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش مقدار انحناء گشودگی بیشترین مقدار تنش بهینه و کمترین مقدار تنش بهینه آن در حالت بهینه $w=0$ حاصل می‌شود. در جدول ۴، تغییرات مقدار تنش بهینه برحسب پارامتر w با در نظر گرفتن مقادیر بهینه‌ی سه متغیر طراحی زاویه بار، زاویه الیاف و زاویه چرخش گشودگی حاصل از الگوریتم بهینه‌سازی رقابت استعماری برای ماده شیشه/اپوکسی ارائه شده است. مطابق نتایج بیان شده در جدول ۴، همان طور که انتظار می‌رود با کاهش w و نرمتر شدن انحنای گوشه‌ی گشودگی مقدار تنش بهینه کاهش می‌یابد تا جایی که در $w=0$ شکل گشودگی به دایره تبدیل می‌شود. در این حالت، مقدار تابع هزینه به کمترین مقدار ممکن می‌رسد. در نهایت، بهینه کلی به منظور دست‌یابی به بهترین حالت و بهینه‌ترین مقدار تنش، با در نظر گرفتن تأثیر مقادیر بهینه همه پارامترهای مورد بحث در کنار یکدیگر که منجر به کمترین تمرکز تنش در ماده شیشه/اپوکسی می‌شود در جدول ۵ ارائه شده است.

جدول ۳ نتایج بهینه در زوایای الیاف مختلف (شیشه/اپوکسی)

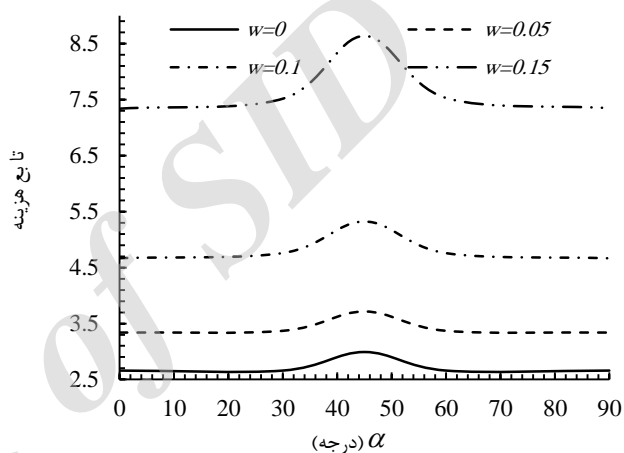
$w=0$			
C.F.	β	α	γ
۲/۶۵۹۵	-	۵۹/۴۱۲۱	۰
۲/۶۵۹۵	-	۸۹/۲۹۳۸	۳۰
۲/۹۹۱۴	-	۹۰	۴۵
۲/۶۵۹۵	-	۰/۶۲۶۳	۶۰
۲/۶۵۹۵	-	۳۰/۵۶۰	۹۰
$w=0.05$			
C.F.	β	α	γ
۳/۳۴۰۴	۱۰۰/۰۹۳۷	۶۴/۵۸	۰
۳/۳۶۹۸	۱۵۶/۴۹۸۱	۹۰	۳۰
۳/۷۱۶۸	۷۳/۳۲۵۴	۹۰	۴۵
۳/۳۳۹۵	۴۱/۴۳۴۲	۰	۶۰
۳/۳۳۹۴	۲۵/۸۱۵۲	۲۵/۳۰	۹۰
$w=0.1$			
C.F.	β	α	γ
۴/۶۶۱۷	۱۰۲/۹۶۱۸	۶۶/۵۶	۰
۴/۷۵۳۷	۸۱/۷۶۱	۹۰	۳۰
۵/۳۲۶۹	۱/۲۳۳۴	۹۰	۴۵
۴/۷۵۳۴	۸۰/۲۶۶۸	۰/۰۰۷	۶۰
۴/۶۶۲۲	۵۹/۰۹۵۶	۲۳/۴۵	۹۰
$w=0.15$			
C.F.	β	α	γ
۷/۳۴۰۹	۱۳۹/۹۶۷	۶۷/۲۲	۰
۷/۵۲۹۸	۴۲/۰۴۱۷	۹۰	۳۰
۸/۶۳۹۵	۵۲/۱۰۴۳	۰	۴۵
۷/۵۱۳۵	۴۸/۵۶۴۶	۰/۵۰۷	۶۰
۷/۳۲۲	۹۴/۶۴۰۵	۲۲/۹۹	۹۰

جدول ۴ نتایج بهینه در زوایای چرخش مختلف (شیشه/اپوکسی)

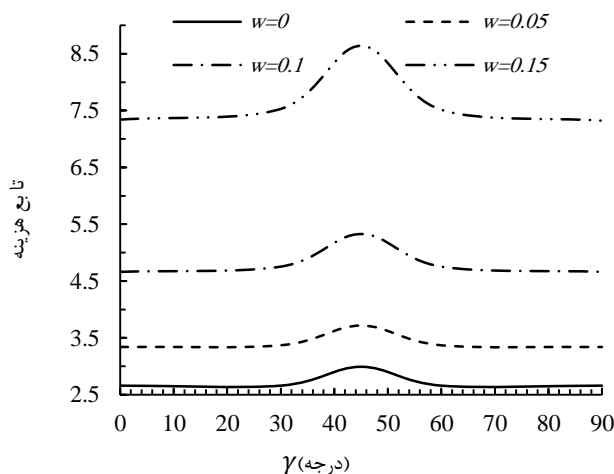
C.F.	β	γ	α	w
۲/۶۵۹۵	۷۸/۵۳۶۶	۷۸/۵۱۹۸	۱۹/۰۷۶۸	۰
۳/۳۳۹۲	۰/۹۹۳۴	۸/۲۵۱۰۱	۷۳/۲۸۶۲	۰/۰۵
۴/۶۶۴۷	۱۳۰/۹	۹۰	۲۳/۳۶۱۷۷	۰/۱
۷/۳۲۲۷	۷۴/۶۱۶۱	۶۹/۶۹۲۲	۲/۹۰۱۷۱	۰/۱۵

تنش بهینه‌تری دست یافت. هم‌چنین با توجه به شکل ۱۰ می‌توان به راحتی به این نتیجه رسید که در گشودگی پنج ضلعی بیشترین مقدار تنش حاصل شده در حالت بهینه مربوط به $w=0/15$ و در زاویه ۴۵ درجه و کمترین آن در حالت بهینه مربوط به $w=0$ رخ می‌دهد.

در شکل ۱۱، تأثیر زاویه‌ی الیاف بر مقدار تابع هزینه در انواع شعاع انحنای گشودگی بررسی شده است. در این مرحله زاویه بار در کنار چرخش گشودگی به‌عنوان متغیرهای طراحی در نظر گرفته شده‌اند، که مقادیر بهینه به‌دست آمده آنان حاصل از الگوریتم بهینه‌سازی رقابت استعماری می‌باشد. نتیجه حاصل شده از شکل ۱۱ بیان کننده آن است، که با در نظر گرفتن تأثیر زاویه‌ی الیاف بر مقدار تنش بهینه همانند نتیجه ملاحظه شده در شکل ۱۰، همچنان ماده‌ی شیشه/اپوکسی در زاویه ۴۵ درجه و $w=0/15$ نسبت به سه شعاع انحنای دیگر بیشترین مقدار تنش را دارد.



شکل ۱۰ تغییرات تابع هدف نسبت به زوایای بار مختلف ماده شیشه/اپوکسی



شکل ۱۱ تغییرات تابع هدف نسبت به زوایای الیاف مختلف ماده شیشه/اپوکسی

جدول ۳ نیز مقادیر بهینه‌ی زاویه‌ی بار، زاویه‌ی چرخش و تنش بهینه متناظر با هر زاویه‌ی الیاف در شعاع انحنای مختلف را نشان می‌دهد. مقدارهای به‌دست آمده از جدول ۳ حاکی از آن است که کمترین مقدار تنش بهینه برابر ۲/۶۵۹۵ و در حالتی که گشودگی به شکل دایروی است، رخ می‌دهد. بنابراین از تأثیر زاویه الیاف بر مقدار تنش بهینه در گشودگی پنج ضلعی

جدول ۵ نتایج بهینه کلی برای ماده شیشه/ اپوکسی

C.F.	w	γ	α	ماده
۲/۶۵۹۵	۰	۵۹/۴۸۳۶	۰/۰۸۹۳۲۳	شیشه/اپوکسی

۹- نتیجه گیری

در این مقاله، با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی رقابت استعماری به تعیین پارامترهای بهینه‌ی موثر بر تنش بی‌بعد اطراف گشودگی پنج ضلعی در زوایای بار مختلف واقع در صفحه‌های ارتوتروپیک پرداخته شد. متغیرهای طراحی در این پژوهش عبارتند از: زاویه‌ی بار، زاویه‌ی چرخش، زاویه‌ی لیاف و انحنای گوشه‌ی گشودگی. تابع هزینه‌ی مورد نظر این مقاله بر پایه‌ی روش حل لختیستکی که فقط برای گشودگی‌های دایروی و بیضوی بود، که با استفاده از نگاشت هم‌نوا و متغیر مختلط به گشودگی پنج ضلعی تعمیم یافت. برای بررسی صحت حل نتایج ارائه شده از روش اجزای محدود استفاده شد، که مقایسه‌ی نتایج حاصل از دو روش، صحت نتایج ارائه شده را تأیید می‌کند. همچنین نتایج نشان داد که شعاع انحنای گوشه‌های گشودگی تنها پارامتر موثر بر کاهش تمرکز تنش نیست، بلکه زاویه‌ی چرخش گشودگی، زاویه‌ی بار و زاویه‌ی لیاف مناسب هم در این کاهش تنش، تأثیر به‌سزایی دارند. که با انتخاب مقادیر بهینه‌ی پارامترهای مذکور در یک انحنای خاص می‌توان تمرکز تنش را به مقدار قابل توجهی کاهش داد.

۱۰- مراجع

- [18] Rezaeepazhand, J. and Jafari, M., "Stress Concentration in Metallic Plates with Special Shaped Cutout," International Journal of Mechanical Sciences, Vol. 52, pp. 96-102, 2010.
- [19] Mohammadi, B. Kazemi, A. and Ghasemi, R., "Damage Analysis of Holed Composite Laminates Using Continuum Damage Mechanics", In Persian, Journal of Science and Technology of Composites, Vol. 2, No. 3, pp. 23-34, 2015.
- [20] Darwish, F. Gharaibeh, M. and Tashtoush, G., "A Modified Equation for the Stress Concentration Factor in Countersunk Holes," Journal of Mechanics A: Solids, Vol. 36, pp. 94-103, 2012.
- [21] Sivakumar, K. Iyengar, N.G.R. and Deb, K., "Optimum Design of Laminated Composite Plates with Cutout Using a Genetic Algorithm," Composite Structures, Vol. 42, pp. 265-279, 1998.
- [22] Cho, H.K. and Rowlands, R.E., "Reducing Tensile Stress Concentration in Perforated Hybrid Laminate by Genetic Algorithm," Composites Science and Technology, Vol. 67, pp. 2877-2883, 2007.
- [23] Chang, N. Wang, W. Yang, W. and Wang, J., "Ply Stacking Sequence Optimization of Composite Laminate by Permutation Discrete Particle Swarm Optimization," Structural and Multidisciplinary Optimization, Vol. 41, pp. 179-187, 2010.
- [24] Hudson, C. Carruthers, J. and Robinson, M., "Multiple Objective Optimization of Composite Sandwich Structures for Rail Vehicle Floor Panels," Composite Structures, Vol. 92, No. 9, pp. 2077-2082, 2010.
- [25] Lemanh, T. and Lee, J., "Stacking Sequence Optimization for Maximum Strengths of Laminated Composite Plates Using Genetic Algorithm And Isogeometric Analysis," Composite Structures, Vol. 116, pp. 357-363, 2014.
- [26] Alonso, M.G. and Duysinx, P., "Particle Swarm Optimization (PSO): An Alternative Method for Composite Optimization," 10th World Congress on Structural and Multidisciplinary Optimization, Orlando, Florida, USA, May 19-24, 2013.
- [27] Yuanfu, T. Jianqiao, C. and Wenjie, P., "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, 2009.
- [28] Chen, J. Yuanfu, T. Rui, G. Qunli, A. and Xiwei, G., "Reliability Design Optimization of Composite Structures Based on PSO Together With FEA," Chinese Journal of Aeronautics, Vol. 26, No. 2, pp. 343-349, 2013.
- [29] Ines Barbosa, C.J. and Maria Amélia, R., "Design of a Laminated Composite Multi-C Structure Subjected to Torsion," 29th Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences, St. Petersburg, Russia, September 7-12, 2014.
- [30] Atashpaz-Gargari, E. and Lucas, C., "Imperialist Competitive Algorithm: an Algorithm for Optimization Inspired by Imperialist Competition," IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC 2007), pp. 4661-4667, 2007.
- [31] 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. 1, No. 3, pp. 337-355, 2008.
- [32] Rajabioun, R. Atashpaz-Gargari, E. and Lucas, C., "Colonial Competitive Algorithm As A Tool For Nash Equilibrium Point Achievement," Lecture Notes in Computer Science, Vol. 5073, pp. 680-695, 2008.
- [33] Khabbazi, A. Atashpaz-Gargari, E. and Lucas, C., "Imperialist Competitive Algorithm for Minimum bit Error Rate Beam Forming," International Journal of Bio-Inspired Computation, Vol. 1, No. 2, pp. 125-133, 2009.
- [34] Atashpaz-Gargari, E. Hashemzade, F. and Lucas, C., "Designing MIMO PID Controller Using Colonial Competitive Algorithm," Applied To Distillation Column Process, In Proceedings Of IEEE CEC, Within IEEE WCCI, Hong Kong, pp. 1929-1934, 2008.
- [35] Ayough A. Zandieh M. and Farsijani H., "GA and ICA Approaches to Job Rotation Scheduling Problem: Considering Employees Boredom," The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 29th August-1st September, 2011.
- [36] Karimi A. Rezae E. and Shahhosseini M., "Optimization of Heat Transfer in an Air Cooler Equipped with Classic Twisted Tape Inserts using Imperialist Competitive Algorithm," Journal of Experimental Thermal and Fluid Science, Vol. 12, No. 2, pp. 136-151, 2011.
- [1] Muskhelishvili, N.I., "Some Basic Problems of the Mathematical Theory of Elasticity," Second ed., Noordhoff, Netherlands, pp. 361-366, 1962.
- [2] Savin, G.N., "Stress Concentration around Holes," Pergamon Press, New York, pp. 1-10, 1961.
- [3] Lekhnitskii, S.G., "Anisotropic plates," Second ed., Gordon and Breach Science, New York, pp. 157-180, 1968.
- [4] Hedgepeth, J. and Van-Dyke, P., "Local Stress Concentration in Imperfect Filamentary Composite Materials," Journal Composite Materials, Vol. 1, pp. 294-309, 1967.
- [5] Hedgepeth, J., and Van-Dyke, P., "Stress Concentration from Single Filament Failure in Composite Materials," Textile Research Journal, Vol. 39, pp. 618-626, 1969.
- [6] Francin, H.G., "Hole Stress Concentration in Filamentary Structures," Fibers Science and Technology, Vol. 2, pp. 111-127, 1970.
- [7] Peterson, R.E., "Stress Concentration Factors," John Wiley & Sons, New York, 1974.
- [8] Tan, S.C., "Finite-Width Correction Factors for Anisotropic Plate Containing a Central Opening," Journal of Composite Materials, Vol. 22, pp. 321-327, 1988.
- [9] Fukuda, H., and Chou, T.W., "Stress Concentration in a Hybrid Composite Sheet," Journal of Applied Mechanic, Vol. 50, pp. 845-848, 1983.
- [10] Pilkey, W.D., "Stress Concentration Factors," Second ed., John Wiley & Sons, New York, 1997.
- [11] Neuber, H., "On the Effect of Stress Concentration in Cosserat Continua," Verlag Berlin Heidelberg, Springer, 1968.
- [12] Daoust, J. and Hoa, S.V., "An Analytical Solution for Anisotropic Plates Containing Triangular Holes," Composite Structures, Vol. 2, No. 19, pp. 107-130, 1991.
- [13] Torabi, A.R. and Amininejad, S.H., "Experimental And Theoretical Fracture Analysis Of Quasi-Brittle Polymer Components Containing V-Notches With End Holes Under Combined Tensile-Shear Loading", In Persian, Journal of Science and Technology of Composites, Vol. 2, No. 2, pp. 41-54, 2015.
- [14] Hufenbach, W. Gottwald, R. Gruber, B. Lepper, M. and Zhou, B., "Stress Concentration Analysis of Thick-Walled Laminate Composites With a Loaded Circular Cut-Out By Using A First-Order Shear Deformation Theory," Journal of Composites Science and Technology, Vol. 68, pp. 2238-2244, 2008.
- [15] Rezaeepazhand, J. and Jafari, M., "Stress Analysis of Perforated Composite Plates," Composite Structures, Vol. 71, pp. 463-468, 2005.
- [16] Rezaeepazhand, J. and Jafari, M., "Stress Concentration in Composite Plates With Special Shaped Cutout," 12th European Conference on Composite Materials, 29th August-1st September, 2006.
- [17] Rezaeepazhand, J. and Jafari, M., "Stress Analysis of Composite Plates with Non Circular Cut Out," Key Engineering Materials, Vol. 385-387, pp. 365-368, 2008.

Archive of SID