طراحی بهینه سازه های خرپایی تحت قید فرکانس توسط الگوریتم اجتماع شیر

بابک دیزنگیان[۱]، مهران تمجیدی[۲]

[۱] استادیار، دانشگاه ولایت، ایرانشهر، b.dizangian@velayat.ac.ir
[۲] استادیار، دانشگاه ولایت، ایرانشهر، m.tamjidi@velayat.ac.ir

چکیده

در راستای بهینه سازی سازه های خرپایی از مثال خرپا دو بعدی ۱۰ عضوی تحت قید فرکانس و متغیرهای اندازه استفاده شده است. بدین منظور از نرم افزار فرمین جهت مدل سازی سازه های فضاکار و از الگوریتم جدید مبتنی بر جمعیت، با عنوان الگوریتم بهینه سازی شیر (LOA) استفاده شده است. نتایج حاصل از بهینه سازی LOA بیان گر بهبود بهتری نسبت به مقادیر گزارش شده توسط سایر محققین بود. همچنین سرعت همگرایی, الگوریتم شیر در مثال حل شده نشان داد در تعداد آنالیز کمتری می توان به جواب بهینه رسید که نمایانگر کاربردی بودن این الگوریتم در اینچنین مسائل می باشد.

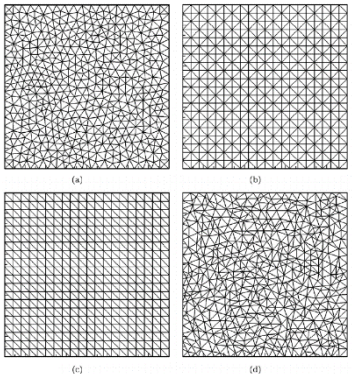
واژه های کلیدی

سازه های خرپایی, قید فرکانس, بهینه سازی, الگوریتم اجتماع شیر(LOA)

مقدمه

با توجه به پیشرفت سریع علوم و تکنولوژی, نیازها و خواسته های جدیدی در زمینه مهندسی سازه پدیدار گشته و فاکتور زمان در ساخت سازه ها اهمیت بسیار زیادی یافته و به همین علت مباحث سازه های پیش ساخته را افزایش داده است همچنین با افزایش روز افزون جمعیت جوامع بشری علاقه به داشتن فضاهای بزرگ بدون حضور ستون های میانی خواهان بسیار پیدا کرده است. در این پژوهش منظور از عبارت سازه فضاکار سیستم های اسکلت فلزی بوده که از بافت تعداد زیادی المان یا مدول با شکل های استاندارد به یکدیگر تشکیل می شو ند و نهایتا یک سیستم سبک و با صلبیت زیاد را ایجاد می کنند.

سازه های فضاکار در اشکال بسیار متنوعی ساخته می شوند که مهمترین آنها عبارتند از: شبکه های مسطح دو یا چند لایه (شکل۱)، چلیک ها (شکل۲)، گنبدها و قوس ها. مثال های متعددی از سازه های فضاکاری که در دنیا و ایران ساخته شده است: از جمله استادیوم های ورزشی، مراکز فرهنگی، سالن های اجتماعات، مراکز خرید، ایستگاه های قطار،آشیانه های هواپیماها، مراکز تفریحی، برج های رادیویی و غیره [۱].



شکل (۱): چند نمونه شبکه دو لایه [۲].

سازه فضاکار یک سیستم خرپای سه بعدی است که دهانه‌های آن در دو جهت گسترش یافته‌اند و اعضای آن فقط تحت تأثیر کشش و فشار قرار دارند. این سازه‌ها از مدول‌های یکسان و تکرار شونده با لایه‌های موازی در بالا و پایین (مشابه میله‌های فوقانی و تحتانی خرپا) تشکیل می‌گردند [۳].

سازه فضاکار، به مجموعه سازه‌های مشابهی اطلاق می‌شود که شامل شبکه‌ها، طاقها، برجها، شبکه‌های کابلی، سیستم‌های پوسته‌ای و غشایی، سازه‌های تا شونده و ترکیبات کش بستی می‌شود. این تعریف، یک تعریف ریخت شناسانه از سازه‌های فضا کار است [۵,۴].

شکل (۲): چلیک، کاری از شرکت تایو کوگیو [۲].

حل بسیاری از مشکلات بهینه سازی مهندسی معمولاً کاملاً دشوار است و بسیاری از برنامه ها باید با این مشکلات پیچیده کنار بیایند. در این مشکلات، فضای جستجو با اندازه مسئله رشد نمایی می کند. بنابراین، روش های بهینه سازی سنتی راه حل مناسبی برای آنها ارائه نمی دهند. از این رو، طی چند دهه گذشته، الگوریتم های فرا ابتکاری زیادی برای حل چنین مشکلاتی طراحی شده است. محققان عملکرد خوب الگوریتم های فرا ابتکاری را در طیف گسترده ای از مشکلات پیچیده مانند مشکلات زمان بندی [۶-۱۱]، خوشه بندی داده ها [۱۲,۱۳]، پردازش تصویر و فیلم [۱۴-۱۷]، تنظیم شبکه های عصبی [۱۸-۲۰] و تشخیص الگو [۲۱-۲۳] و غیره گزارش داده اند.

قاسمی و مستخدمین حسینی [۲۴] (۱۳۸۷) در پژوهش خود به بررسی بهینه سازی سازه های فضاکار با در نظر گرفتن احتمال خرابی اعضا و گره ها به کمک الگوریتم وراثتی اصلاح شده پرداختند. در این تحقیق هدف بهینه سازی وزن سازه های فضاکار با استفاده از نظریه قابلیت اعتماد می باشد.

شهابیان و احمدی [۳] (۱۳۸۶) در پژوهش خود به بررسی بهینه سازی سازه های فضاکار تخت دو لایه به کمک الگوریتم ژنتیک و شبکه های عصبی مصنوعی پرداختند. جعفر کاظمی و امیدی [۴] (۱۳۹۵) در پژوهش خود به بررسی بهینه سازی سازه های فضاکار با الگوریتم تلفیقی HAS-PSO پرداختند. بهینه سازی توپولوژی سازه های فضاکار از مباحث جدیدی می باشد که در رابطه با طراحی بهینه سازه های فضاکارمورد توجه قرار گرفته است.

عباس زاده و امیدی نسب [۲۵] (۱۳۸۸) در پژوهش خود به بررسی بهینه سازی هندسی سازه های فضاکار و گنبدی شکل با در نظر گرفتن کمانش اعضاء و ارتفاع متغیر گره ها با استفاده از الگوریتم ژنتیک پرداختند.

روش تحقیق

یکی از مسایل مهمی که در طراحی سازه های فضاکار ذهن دانشمندان را به خود معطوف کرده است، دست یافتن به راهکارهایی جهت حداقل کردن وزن ساختمان های فولادی با برآورده کردن حداقل شرایط آیین نامه های طراحی می باشد. در بهینه سازی سازه ها این عمل معادل با تعیین گروهی از متغیرهای طراحی است که در طی عمل بهینه سازی تغییر یافته و این تغییرات منجر به یافتن جواب بهینه که حداقل وزن ممکن ساختمان است، می شود. در طراحی سازه های بزرگ فضاکار متغیر های رایج طراحی و تعداد المان های به حدی زیاد است که استفاده از روش های کلاسیک بهینه سازی به تنهایی پاسخگو نیست. الگوریتم های فراابتکاری برای بهینه سازی در مسایل بزرگ و پیچیده ای در مهندسی پیشنهاد می گردند. به منظور طراحی بهینه سازه های فضاکار، در این پژوهش، الگوریتم جدید مبتنی بر جمعیت، الگوریتم LOA، استفاده شده است. سبک زندگی خاص شیرها و ویژگی های همکاری آنها انگیزه اساسی برای توسعه این الگوریتم بهینه سازی بوده است. برخی از مشکلات معیار از ادبیات انتخاب شده است و راه حل الگوریتم پیشنهادی با برخی از شناخته شده ترین و جدیدترین فراتورشناسی برای این مشکلات مقایسه شده است.

روش های تجزیه و تحلیل آماری

در این پروژه نرم افزار فرمین جهت مدل سازی سازه های فضاکار و الگوریتم شیر جهت بهینه سازی سازه های فضاکار به کار گرفته می شود. همچنین در اینجا ضروری می باشد که اشاره شود امروزه دو روش برای بهینه سازی سازه ها وجود دارد؛ استفاده از متغیرهای گسسته و استفاده از متغیرهای پیوسته. در این پژوهش برای تمامی مسائل از متغیرهای پیوسته استفاده شده است. تمامی مراحل آنالیز، طراحی و بهینه یابی با استفاده از برنامه نویسی در نرم افزار متلب انجام می شود.

الگوریتم LOA

شیرها بیشترین تمایلات اجتماعی را در بین گونه های گربه های وحشی دارند که سطح بالایی از همکاری و تضاد را نشان می دهند [۲۶]. شیرها به دلیل تغییر شکل شدید جنسی در رفتار اجتماعی و ظاهری مورد توجه خاص قرار می گیرند. شیر یک حیوان وحشی است و دارای دو نوع سازمان اجتماعی است: ساکنان و عشایر. ساکنان در گروه هایی زندگی می کنند که غرور نامیده می شود. یک غرور شیرها معمولاً شامل حدود پنج ماده، توله های آنها از هر دو جنس و یک یا بیش از یک نر بالغ است. نر های جوان هنگام بلوغ جنسی از غرور تولد خود مستثنی هستند. همانطور که قبلاً اشاره شد، رفتار سازمانی دوم عشایر نامیده می شود، که به صورت پراکنده یا به صورت جفت یا منفرد حرکت می کنند. جفت بیشتر در میان مردان مرتبط دیده می شود که از غرور مادری خود کنار گذاشته شده اند. توجه داشته باشید که شیر ممکن است سبک زندگی را تغییر دهد. ساکنان ممکن است عشایر شوند و بالعکس [۲۷].

در الگوریتم پیشنهادی یک جمعیت اولیه توسط مجموعه ای از راه حل های تولید شده به طور تصادفی به نام شیر تشکیل می شود. برخی از شیرها در جمعیت اولیه به عنوان شیرهای عشایر انتخاب می شوند و جمعیت بقیه (شیرهای ساکن) به طور تصادفی در زیر مجموعه های P به نام غرور تقسیم می شوند. S درصد اعضای غرور به عنوان ماده و بقیه به عنوان نر در نظر گرفته می شوند، در حالی که این میزان (میزان جنسیتS درصد) در شیرهای عشایر برعکس است.

برای هر شیر، بهترین راه حل به دست آمده در تکرارهای گذرا بهترین موقعیت بازدید شده نامیده می شود و در طی فرآیند بهینه سازی به صورت تدریجی به روز می شود.

کد شبه الگوریتم بهینه سازی شیر

نمونه تصادفی شیرهای N (پاپ) ایجاد کنید (N (پاپ) تعداد جمعیت اولیه است).

۱. افتخارات و شیرهای عشایر را آغاز کنید.

به طور تصادفیNدرصد (درصد شیرهایی که کوچ می کنند) از جمعیت اولیه را به عنوان شیر کوچی انتخاب کنید. پارتیشن به P شیر باقی ماند (P عدد است از غرور) غرور به طور تصادفی، و قلمرو هر غرور تشکیل شده است.

من. در هر غرور S درصد (میزان جنسیت) کل جمعیت به عنوان زن و بقیه به عنوان مرد شناخته می شوند. این میزان در شیرهای عشایر برابر معکوس است.

۲. برای هر افتخار انجام دهید.

من. تعدادی شیر ماده که به طور تصادفی انتخاب شده اند به شکار می روند. دوم هر یک از شیرهای زن که افتخار می کنند به سمت یکی از بهترین موقعیت های انتخاب شده از سرزمین می روند.

سوم با افتخار، برای هر مرد مقیم؛ R درصد (درصد رومینگ) از سرزمین به طور تصادفی انتخاب و بررسی می شود. Ma درصد (احتمال جفت گیری) زنان در همسر غرور با یک یا چند مرد مقیم. cub توله های تازه بالغ می شوند. چهارم ضعیف ترین مرد از غرور بیرون رانده و کوچ می کند.

۳. برای Nomad انجام دهید.

من. شیر عشایر (اعم از زن و مرد) به طور تصادفی در فضای جستجو حرکت می کنند. Ma درصد (احتمال جفت گیری) همسر زن عشایر با یکی از بهترین مردان عشایر. cub توله های تازه بالغ می شوند. دوم غرور به طور تصادفی توسط مرد کوچرو مورد حمله قرار می گیرند.

۴. برای هر افتخار انجام دهید.

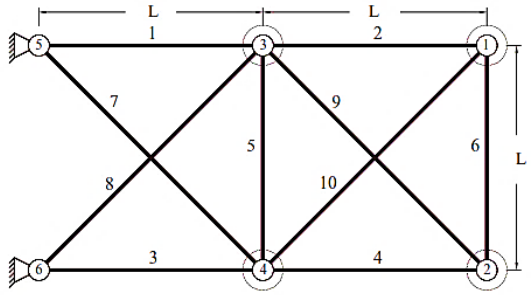
من. برخی از زنان با نرخ I ((نرخ مهاجرت)) از غرور مهاجرت می کنند و کوچ می کنند.

۵. انجام دهید.

من. اول، بر اساس ارزش تناسب آنها، هر جنسیت از شیرهای عشایر طبقه بندی می شود. پس از آن، بهترین زنان در میان آنها انتخاب و به غرورهایی که مکان های خالی از زنان مهاجر را پر می کنند، توزیع می شود. دوم با توجه به حداکثر تعداد مجاز از هر جنس، شیرهای عشایر با کمترین مقدار تناسب اندام حذف می شوند. اگر معیار خاتمه راضی نیست، به مرحله ۳ بروید.

تحلیل خرپای ۱۰ عضوی

شکل ۳ هندسه، شمایل و جرم‌های یک خرپای ۱۰ عضوی را نشان می‌دهد. این مسأله به عنوان یک مسأله طرح نمونه با چندین قید فرکانسی بررسی می‌شود. خصوصیات مصالح، قیدهای فرکانسی و محدوده متغیرها برای این خرپای ۱۰ عضوی در جدول ۱ مشاهده می‌شود.



شکل (۳): هندسه و شمایل خرپای ۱۰ عضوی [۲۹]

همان‌طور که از شکل۳ مشاهده می‌شود، یک جرم غیرسازه‌ای ۴۵۴ کیلوگرمی به هر یک از گره‌ها اضافه شده است. این مسأله را با الگوریتم مورداستفاده در این پژوهش، تحلیل می‌کنیم.

جدول (۱): مشخصات و پارامترهای طراحی خرپای ۱۰ عضوی [۲۹]

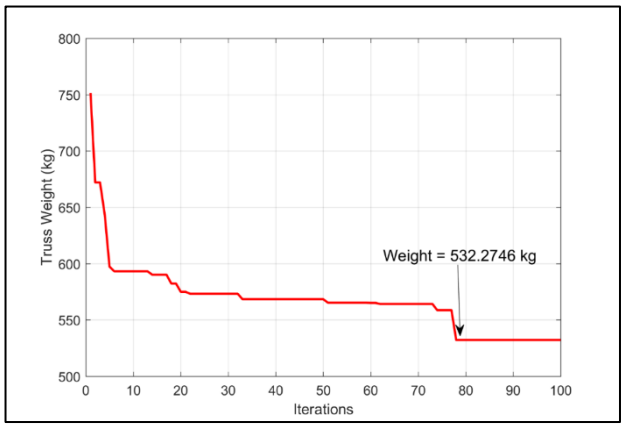
پارامتر یا ویژگی	مقدار (واحد)
مدول الاستیسیته (E)	$6.89 \times 10^{10}\ (N/m^2)$
چگالی مصالح (ρ)	$2270\ (kg/m^3)$
بار وارده به گره‌ها	$454\ (kg)$
حد پایین متغیر طراحی	$0.645 \times 10^{-4}\ (m^2)$
حد بالای متغیر طراحی	$50 \times 10^{-4}\ (m^2)$
قیدهای فرکانس	$f_1 \geq 7, f_2 \geq 15, f_3 \geq 20\ (Hz)$

نتایج حاصله از بهینه سازی خرپای ۱۰ عضوی به روش شیر در مقایسه با نتایج سه روش دیگر در جدول ۲ ارائه گردیده است. بر اساس این نتایج روش شیر پس از ۷۸۰۰ آنالیز به پاسخ ۵۳۲/۲۷۴ کیلوگرم همگرا شده است که ملاحظه می شود نسبت به پاسخ صداقتی و همکاران [۲۹] و کاوه و ذوالقدر [۲۹] مطلوب تر و نسبت به پاسخ ارائه شده توسط کاوه و جوادی [۲۹] در رتبه بعدی قرار می گیرد.

در شکل ۴ نمودار همگرایی وزن خرپای ۱۰ عضوی ارائه شده است. ملاحظه می‌شود این نمودار حداکثر تعداد تکرار برای دست‌یابی به جواب بهینه ۱۰۰ در نظر گرفته شده است که روش شیر توانسته تقریباً در ۷۸ تکرار آغازین به پاسخ مطلوبی پیرامون جواب بهینه نهایی دست پیدا کند این در حالی است که پاسخ بهینه با وزن ۵۳۲.۲۷۴۶ کیلوگرم در تکرار ۷۸-ام حاصل گردید.

جدول (۲): تکنیک‌های متفاوت بهینه‌سازی برای خرپای ۱۰ عضوی [۲۹]

گروه متغیرها	صداقتی و همکاران	کاوه و جوادی	کاوه و ذوالقدر	LOA
$A_1(cm^2)$	۳۸/۲۴۵	۳۵/۵۴	۳۵/۹۴۴	۳۵/۵۱۶
$A_2(cm^2)$	۹/۹۱۶	۱۵/۲۹۳	۱۵/۵۳	۱۵/۲۱
$A_3(cm^2)$	۳۸/۶۱۹	۳۵/۷۸۴	۳۵/۲۸۵	۳۶/۳۶
$A_4(cm^2)$	۱۸/۲۳۲	۱۴/۶۰۶	۱۵/۳۸۵	۱۵/۱۹۶
$A_5(cm^2)$	۴/۴۱۹	۰/۶۴۶	۰/۶۴۸	/۶۶۶
$A_6(cm^2)$	۴/۱۹۴	۴/۶۲۶	۴/۵۸۳	۴/۵۸۷
$A_7(cm^2)$	۲۰/۰۹۷	۲۴/۷۷۹	۲۳/۶۱	۲۳/۸۹
$A_8(cm^2)$	۲۴/۰۹۷	۲۳/۳۱	۲۳/۵۹۹	۲۳/۸۳
$A_9(cm^2)$	۱۳/۸۹	۱۲/۴۸۲	۱۳/۱۳۵	۱۲/۲۴۱
$A_{10}(cm^2)$	۱۱/۴۵۱۶	۱۲/۶۷۵	۱۲/۳۵۷	۱۲/۵۹۱
وزن کل (kg)	۵۳۷/۰۱	۵۳۲/۱۱	۵۳۲/۳۹	۵۳۲/۲۷۴
تعداد آنالیزها	NA	۲۱۰۰۰	۶۰۰۰	۷۸۰۰
تعداد اجراها	NA	۱۰	۲۰	۱۰۰



شکل (۴) نمودار همگرایی وزن خرپای ۱۰ عضوی

جدول (۳) فرکانس های طبیعی طرح بهینه خرپای ۱۰ عضوی

شماره فرکانس	صداقتی و همکاران	کاوه و جوادی	کاوه و ذوالقدر	LOA
۱	۷	۶/۹۹۹	۷	۷
۲	۱۷/۶۲	۱۶/۱۷۵	۱۶/۱۸۷	۱۶/۲۳۴
۳	۲۰	۱۹/۹۹۹	۲۰	۲۰/۰۰۱
۴	۲۰	۲۰/۰۰۶	۲۰/۰۲۱	۲۰/۰۰۴

در جدول ۳ فرکانس‌های طبیعی طرح بهینه خرپای ۱۰ عضوی ارائه شده است. مطابق با اعداد مندرج در این جدول ملاحظه می‌شود اولاً، فرکانس‌های مربوط به طرح بهینه مشابه فرکانس‌های به دست آمده از سایر مطالعات است که این موضوع نشان دهنده صحت نتایج حاصله از روش شیر است؛ ثانیاً، در مقایسه با سایر روش‌ها فرکانس‌های جواب بهینه تقریباً با مقادیر مرزی قیود فرکانس یکسان به دست آمده‌اند که نشان می‌دهد جواب بهینه حاصله یک جواب مرزی است و توانسته است قیود طراحی را فعال سازد.

نتیجه گیری

از آنجایی که کدهای آنالیز سازه ای در دو دسته ی محاسبه ی ویژگی های پایه ی سازه و محاسبه ی فرکانس سازه در قالب تحلیل دینامیکی انجام گرفت. این کدها از لحاظ دقت و سرعت محاسبه نتایج بسیار مطلوب ارزیابی شد و توابع کتابخانه ای نرم افزار متلب در این افزایش کارایی بسیار مؤثر بوده است.

از مسئله معروف خرپای ۱۰ عضوی که یک خرپای ۴ گره ای صفحه ای با جرم متمرکز در نظر گرفته می شود جهت بررسی عملکرد الگوریتم LOA بر اساس متغیرهای اندازه مربوط به سطح مقطع عرضی میله ها استفاده گردید. این الگوریتم توانست پاسخ های بهتری در حدود ۱٪ نسبت به مقادیر گزارش شده توسط سایر محققین دست یابد.

مراجع و منابع

[۱] گلابچی، محمود، ***"سازه‌های فضا کار"***، انتشارات دانشگاه تهران، ۱۳۹۰

[2] Yazdani, Maziar, and Fariborz Jolai. ***"Lion optimization algorithm (LOA): a nature-inspired metaheuristic algorithm"***, *Journal of computational design and engineering* 3, no. 1 (2016): 24-36.

[۳] فرزاد شهابیان، سید مسعود احمدی، ***"بهینه سازی سازه های فضاکار تخت دو لایه به کمک الگوریتم ژنتیک و شبکه های عصبی مصنوعی"***، اولین کنگره مشترک سیستم های فازی و سیستم های هوشمند، مشهد،۱۳۸۶

[۴] مهیار جعفر کاظمی، حسین امیدی، ***"بهینه سازی سازه های فضاکار با الگوریتم تلفیقی"***، سومین کنفرانس بین المللی علوم و مهندسی، تهران، ۱۳۹۵

[۵] جمالی و همکاران، ***" بهینه‌سازی اندازه و توپولوژی سازه‌های خرپایی فضاکار با استفاده از الگوریتم ترکیبی برنامه‌ریزی ژنتیکی و نلدر-مید"***، مهندسی مکانیک مدرس, دوره ۱۷, شماره ۶، صفحه ۳۲ تا ۴۰، ۱۳۹۶

[6] Sundar, S. and A. Singh, ***"A swarm intelligence approach to the early/tardy***

Swarm and Evolutionary Computation, 2013. 11(0): p. 46-54.

[17] Draa, A. and A. Bouaziz, ***"An artificial bee colony algorithm for image contrast enhancement"***, Swarm and Evolutionary Computation, 2014. 16(0): p. 69-84.

[18] Malviya, R. and D.K. Pratihar, ***"Tuning of neural networks using particle swarm optimization to model MIG welding process"***, Swarm and Evolutionary Computation, 2011. 1(4): p. 223-235.

[19] Azadeh A, Seif J, Sheikhalishahi M, Yazdani M, ***"An integrated support vector regressionimperialist competitive algorithm for reliability estimation of a shearing machine"***, International Journal of Computer Integrated Manufacturing. 2015:1-9. doi: 10.1080/0951192X.2014.1002810.

[20] Meysam Mousavi, S., et al., ***"A new support vector model-based imperialist competitive algorithm for time estimation in new product development projects"***, Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 2013. 29(1): p. 157-168.

[21] Liu, H.-C. and J.-S. Huang, ***"Pattern recognition using evolution algorithms with fast simulated annealing"***, Pattern Recognition Letters, 1998. 19(5–6): p. 403-413.

[22] Suganthan, P.N.,***"Structural pattern recognition using genetic algorithms",*** Pattern Recognition, 2002. 35(9): p. 1883-1893.

[23] Garai, G. and B.B. Chaudhurii,***" A novel hybrid genetic algorithm with Tabu search for optimizing multi-dimensional functions and point pattern recognition",*** Information Sciences, 2013. 221(0): p. 28-48.

[۲۴]محمدرضا قاسمی، محمدرضا مستخدمین حسینی، ***"نقش احتمال خرابی گره در بهینه سازی سازههای فضاکار بر اساس نظریه قابلیت اعتماد"***، دومین کنفرانس ملی سازه های فضا کار، تهران، ۱۳۸۶

[۲۵] عباس زاده،امیدی نسب، ***"بهینه سازی هندسی سازه های فضاکار و گنبدی شکل با در نظرگرفتن کمانش اعضاء و ارتفاع متغیر گره ها با استفاده از الگوریتم وراثتی"***، هشتمین کنگره بین المللی مهندسی عمران، شیراز، ۱۳۸۸

[۲۶]ذبیحی سامانی وهمکاران، ***"طراحی بهینه سازه های فضاکار با استفاده از الگوریتم بهینه یابی ارتقاء یافته اجسام متصادم"***، کنفرانس عمران، معماری و شهرسازی کشورهای جهان اسلام، تبریز، ۱۳۹۷

scheduling problem", *Swarm* and Evolutionary Computation, 2012. 4(0): p. 25-32.

[7] Suresh, K. and N. Kumarappan, ***"Hybrid improved binary particle swarm optimization approach for generation maintenance scheduling problem"***, Swarm and Evolutionary Computation, 2013. 9(0): p. 69-89.

[8] Layegh, J. and F. Jolai, ***" A memetic algorithm for minimizing the total weighted completion time on a single machine under linear deterioration"***, Applied Mathematical Modelling, 2010. 34(10): p. 2910-2925.

[9] Soltani, R., F. Jolai, and M. Zandieh, ***"two robust meta-heuristics for scheduling multiple job classes on a single machine with multiple criteria"***, Expert Systems with Applications, 2010. 37(8): p. 5951-5959.

[10] Behnamian, J., et al., ***"Minimizing makespan on a three-machine flowshop batch scheduling problem with transportation using genetic algorithm"***, Applied Soft Computing, 2012. 12(2): p. 768-777.

[11] Goldansaz, S.M., F. Jolai, and A.H. Zahedi Anaraki, ***" A hybrid imperialist competitive algorithm for minimizing makespan in a multi-processor open shop"***, Applied Mathematical Modelling, 2013. 37(23): p. 9603-9616.

[12] Senthilnath, J., S.N. Omkar, and V. Mani, ***" Clustering using firefly algorithm: Performance study"***, Swarm and Evolutionary Computation, 2011. 1(3): p. 164-171.

[13] Nanda, S.J. and G. Panda, ***" A survey on nature inspired metaheuristic algorithms for partitional clustering"***, Swarm and Evolutionary Computation, 2014. 16(0): p. 1-18.

[14] Panda, R., M.K. Naik, and B.K. Panigrah, ***" Face recognition using bacterial foraging strategy"***, Swarm and Evolutionary Computation, 2011. 1(3): p. 138-146.

[15] Fornarelli, G. and A. Giaquinto," ***An unsupervised multi-swarm clustering technique for image segmentation"***, Swarm and Evolutionary Computation, 2013. 11(0): p. 31-45.

[16] Saraswat, M., K.V. Arya, and H. Sharma, ***"Leukocyte segmentation in tissue images using differential evolution algorithm"***,

[۲۷] تخمه چی، محمدامین، ***"آشنایی با سازه‌های فضا کار"***، اولین همایش ملی معماری، عمران و محیط زیست شهری، همدان، ۱۳۹۳

[۲۸] عشقی صنتی، ***"نگاهی به فناوری‌های جدید"***، نشریه آبادی، شماره ۶۶، ۱۳۸۹

[29] M. Farshchin, C.V. Camp, M. Maniat, ***"Multi-class teaching–learning-based optimization for truss design with frequency constraints"*** , Department of Civil Engineering, The University of Memphis, Memphis, TN 38152, United States. 2016.