ارزیابی عملکرد الگوریتم‌های شبه‌بیولوژیکی جهت حل مسئلهٔ کوله‌پشتی در قالب تابع هدف کمینه‌سازی‌شده

مهتاب روزبهانی*[1]، میثم مرادی [2] و پروانه منصوری [3]

[1] گروه مهندسی کامپیوتر، دانشکده فنی و مهندسی، واحد علوم و تحقیقات لرستان، دانشگاه آزاد اسلامی واحد لرستان.
Mahtab.Roozbahani@Gmail.Com
[2] گروه کامپیوتر، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران.
En.M.Moradi.Co@Gmail.Com
[3] گروه ریاضیات، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک.
P-Mansouri@Iau-Arak.Ac.Ir

چکیده

در ریاضیات و علوم رایانه یک مسئلهٔ بهینه‌سازی، مسئله یافتن بهترین راه‌حل از میان همهٔ راه‌حل‌های ممکن است. با توجه به اهمیت مسئلهٔ کوله‌پشتی در مباحث علوم رایانه، از الگوریتم‌های مختلفی برای حل آن استفاده شده است. مسئلهٔ کوله‌پشتی یک مسئلهٔ به‌گزینی ترکیباتی است که هدف از حل آن یافتن بیشترین سود با درنظرگرفتن ظرفیت کوله‌پشتی است. با توجه به اینکه مسئلهٔ کوله‌پشتی یک مسئلهٔ بیشینه‌سازی مقید است، در این پژوهش ابتدا یک مدل ریاضی در قالب یک تابع کمینه‌سازی و بدون قید برای این مسئله طراحی شده، سپس این مدل روی الگوریتم‌های بهینه‌سازی تودهٔ ذرات، کرم شب تاب و کلونی زنبور مصنوعی در محیط نرم‌افزار متلب اجرا شده است که نتایج نشان‌می‌دهد الگوریتم کلونی زنبور مصنوعی روی مدل ارائه‌شده نسبت به دو الگوریتم دیگر عملکرد بهتری از خود نشان داده است. مزیت مدل ارائه‌شده این است که تابع هدف مسئله، به‌دلیل‌اینکه کمینه‌سازی و بدون قید مدل شده، قابل پیاده‌سازی با بسیاری از الگوریتم‌های شبه‌بیولوژیکی است.

واژگان کلیدی: مسئلهٔ کوله‌پشتی، الگوریتم بهینه‌سازی توده ذرات، الگوریتم کرم شب تاب، الگوریتم کلونی زنبور مصنوعی.

۱- مقدمه

در ریاضیات و علوم رایانه، مسئلهٔ کوله پشتی که با عنوان‌های napsack یا Rucksack مطرح می‌شود، مسئله‌ای در بهینه‌سازی ترکیباتی است. در مسئلهٔ کوله‌پشتی فرض می‌شود، مجموعه‌ای از اشیا، که هر کدام داری وزن و ارزش خاصی هستند، در اختیار است. به هر شیء تعدادی تخصیص داده می‌شود، به‌طوری‌که وزن اشیای انتخاب‌شده کوچک‌تر یا مساوی حدی ازپیش‌تعیین‌شده و ارزش آن‌ها بیشینه شود. علت نام‌گذاری این مسئله، جهانگردی است که کوله‌پشتی‌ای با اندازهٔ محدود دارد و باید آن را با مفیدترین صورت ممکن از اشیا پر کند [۱]. به‌طورمعمول در تخصیص منابع با محدودیت‌های مالی، در این مسئله روبه‌رو هستیم. همچنین مسائلی از این قبیل در ترکیبیات، نظریهٔ پیچیدگی محاسباتی، رمزنگاری و ریاضیات کاربردی به چشم می‌خورد. بسیاری از مسائل بهینه‌سازی در مهندسی، به‌طور طبیعی پیچیده‌تر از آن هستند که با روش‌های معمول بهینه‌سازی نظیر برنامه‌ریزی ریاضی و نظایر آن قابل حل باشند. برای یک مسئله ممکن است جواب‌های مختلفی موجود باشد که جواب بهینه، با تابعی به نام تابع هدف مشخص می‌شود؛ این تابع هدف به طبیعت مسئله وابسته است که یکی از مهم‌ترین گام‌های بهینه‌سازی محسوب می‌شود. بهینه‌سازی، یکی از حوزه‌های پژوهشی مهم در دهه‌های اخیر بوده که منجر به طراحی انواع مختلفی از الگوریتم‌ها شده است. یکی از این روش‌ها، روش‌های گروهی الهام‌گرفته از طبیعت است. هوش ازدحامی یا هوش گروهی [1] نوعی روش هوش مصنوعی است که از

[1] Swarm Intelligence

* نویسندهٔ عهده‌دار مکاتبات

[Downloaded from monadi.isc.org.ir on 2026-11-12]

رفتارهای گروهی از موجودات در طبیعت الهام گرفته شده است. روش‌های سابق برای حل‌کردن مشکلات بهینه‌سازی، مستلزم تلاش‌های محاسباتی بی‌شماری است؛ الگوریتم‌هایی از جمله الگوریتم‌های هوش‌جمعی تا حدی این مشکل را حل کرده‌اند. با این الگوریتم‌ها راه‌حل‌هایی پیدا می‌شوند که به‌طور تقریبی به جواب نزدیکند [۱۱]. موفق‌ترین الگوریتم‌های هوش‌جمعی که تاکنون به وجود آمده‌اند، الگوریتم‌های بهینه‌سازی تودهٔ ذرات[۱]، زنبور عسل[۲] و کرم شب تاب[۳]، کلونی مورچه‌ها[۴] و ... است.

از دید علوم رایانه، مسئلهٔ کوله‌پشتی شایان توجه است زیرا:

- الگوریتمی با زمان اجرای شبه‌چندجمله‌ای با استفاده از برنامه نویسی پویا دارد.
- الگوریتمی تقریبی با زمان چندجمله‌ای دارد که از الگوریتم‌های با زمان شبه‌چندجمله‌ای به‌عنوان یک زیربرنامه استفاده می‌کند.
- حل دقیق این سؤال، مسئله‌ای از نوع NP-complete است. بنابراین پیش‌بینی شده که راه‌حلی که هم درست و هم سریع باشد (با زمان اجرای چندجمله‌ای) برای هر ورودی دلخواه، ندارد.

در این پژوهش، مسئلهٔ کوله‌پشتی با یک تابع ریاضی کمینه، مدل شده و برای حل آن از الگوریتم‌های کرم شب‌تاب، بهینه‌سازی توده ذرات و کلونی زنبور مصنوعی استفاده شده و سپس عملکرد هر سه الگوریتم در حل مسئله کوله پشتی مورد بررسی قرار گرفته است.

ادامه این پژوهش به شرح زیر سازماندهی شده است. در بخش دوم پژوهش، به کارهای مرتبط، در بخش سوم، مروری بر الگوریتم‌های تکاملی و شبه‌بیولوژیکی، در بخش چهارم به توصیف کمینه‌سازی‌شده هدف پرداخته شده؛ در بخش پنجم نتایج حل مسئله با مدل ریاضی بیان شده توسط الگوریتم‌های پیشنهادی مقایسه می‌شود و نتیجه‌گیری پژوهش در بخش ششم است.

۲- کارهای مرتبط

کهفی اردکانی و همکاران [۲]، الگوریتم بهینه‌سازی توده ذرات را جهت حل مدل یک‌پارچهٔ برنامه‌ریزی تولید، توسعه دادند.Yuxiang و همکاران [۴]، حل مسائل کوله پشتی ۰/۱ را با استفاده از الگوریتم ژنتیک انجام دادند.Martello و همکاران [۵]، مسئله کوله پشتی را در قالب الگوریتم و پیاده‌سازی آن ارائه دادند. Spillman[۶]، مسئلهٔ کوله‌پشتی را در مقیاس بزرگ با استفاده از الگوریتم ژنتیک انجام داد.

Fukunagaو همکاران [۷]، یک الگوریتم ژنتیک گروهی را برای مسئلهٔ کوله‌پشتی چندگانه مطرح کردند.Gallo و همکاران [۸]، مسئلهٔ کوله‌پشتی را به‌عنوان یک مسئلهٔ بهینه‌سازی ترکیبیاتی ارائه دادند. Khan و همکاران [۹]، حل مسئلهٔ کوله‌پشتی را جهت تطبیق با سامانهٔ چندگانه مطرح کردند. Clerc[۱۰]، روشی را برای بهبود الگوریتم بهینه‌سازی تودهٔ ذرات ارائه داده است. Reddy و همکاران [۱۱]، در مورد الگوریتم‌های محاسباتی الهام‌گرفته‌شده از سیر تکاملی و پردازش بیولوژیکی، تحقیقی در این زمینه انجام دادند. Karaboga و همکاران [۱۲]، یک الگوریتم ژنتیک فازی مبتنی بر رمزنگاری دودویی برای حل مسائل کوله‌پشتی چندبعدی ارائه کردند. Karaboga و همکاران [۱۳]، یک الگوریتم کارآمد و قوی برای بهینه‌سازی توابع شمارشی با عنوان الگوریتم کلونی زنبور مصنوعی ارائه دادند. Kaystha و همکاران [۱۴]، الگوریتم ژنتیک حریصانه را برای مسئله کوله‌پشتی کران‌دار ارائه و Khaze و همکاران [۱۵]، کارایی الگوریتم‌های کلونی زنبور مصنوعی و کرم شب‌تاب را برای حل مسائل بهینه‌سازی پیوسته ارزیابی کردند. Khuri و همکاران [۱۶]، مسئلهٔ کوله‌پشتی ۰/۱ با الگوریتم ژنتیک بررسی کردند. Mahajan و همکاران [۱۷]، مطالعاتی روی الگوریتم‌های تکاملی برای حل مسئله کوله‌پشتی ۰/۱ انجام دادند. Zhang و همکاران [۱۸]، به بیان یک الگوریتم ترکیبی برای مسئله کوله‌پشتی چندبعدی پرداخته‌اند. Yang[۲۲ و ۲۰]، الگوریتم کرم شب‌تاب را برای بهینه‌سازی مدل چندگانه و کاربرد مختلف ارائه داد. Bolaji و همکاران [۲۱]، الگوریتم زنبور عسل مصنوعی را برای کاربردهای مختلف استفاده کردند. Karaboga و همکاران [۲۳]، یک روش خوش‌بندی جدید برای الگوریتم زنبور عسل مصنوعی معرفی کردند.Kwiecienn و همکاران [۲۴]، الگوریتم کرم شب‌تاب در را جهت بهینه‌سازی سامانه صف‌بندی پیشنهاد دادند. اساس کار در این پژوهش مدل کردن مسئله کوله‌پشتی به‌عنوان تابع کمینه‌سازی‌شده و بدون قید و حل آن با الگوریتم‌های شبه‌بیولوژیکی نظیر بهینه‌سازی کلونی زنبور مصنوعی، کرم شب‌تاب و بهینه‌سازی توده ذرات است. اجرای

[1] Particle Swarm Optimization
[2] Artificial Bee Colony
[3] Firefly
[4] Ant Colony Optimization

[Downloaded from monadi.isc.org.ir on 2026-11-12]

الگوریتم‌ها در محیط برنامه‌نویسی متلب انجام شده، و نتایج هر سه الگوریتم مقایسه شده است.

۳- الگوریتم‌های شبه‌بیولوژیکی (تکاملی)

امروزه یکی از مهم‌ترین زمینه‌های پژوهش، توسعه بر مبنای اصول تکامل طبیعی است. موجودات اجتماعی (زنبورعسل، مورچه‌ها، پرندگان و...) برای میلیون‌ها سال بر روی کره زمین زندگی کرده‌اند. کلونی موجودات اجتماعی بسیار انعطاف‌پذیر محسوب می‌شود و به‌خوبی قابلیت تطبیق با محیط جدید را دارند. این انعطاف‌پذیری این امکان را به موجودات با زندگی دسته‌جمعی می‌دهد تا بتواند حتی درصورت مواجه‌شدن با شرایط سخت به زندگی خود ادامه دهند. تعاملات بین موجودات بر اساس یک‌سری عوامل فیزیکی و شیمیایی امکان‌پذیر شده است. محصول نهایی این تعاملات و عملکردها، رفتار اجتماعی این‌گونه موجودات محسوب می‌شود. مثالی برای چنین رفتارهایی رقص زنبورهای عسل هنگام جمع‌آوری محصول است. سامانهٔ سازمانی زنبورها براساس یکسری قواعد ساده بنا شده است، با وجود نژادهای بسیار و تفاوت در الگوی رفتاری موجودات روی کره زمین، با الگوبرداری از این موجودات اجتماعی می‌توان مسائل پیچیده را حل کرد. همه زنبورها در یک فرایند تصمیم‌گیری شرکت می‌کنند و با استفاده از به‌اشتراک‌گذاشتن اطلاعات هم‌دیگر، راه‌حل‌های بهینه مسئله پیدا می‌شود.

۳-۱- الگوریتم بهینه‌سازی توده ذرات

یکی از جریان‌های اصلی در پژوهش، زندگی مصنوعی بررسی چگونگی رفتار موجودات طبیعی به‌صورت یک توده است و سپس آن پژوهش در رایانه پیاده‌سازی می‌شود. یکی از روش‌های جدید در بهینه‌سازی، استفاده از همانندسازی رفتارِ گروهیِ موجودات طبیعی است که در اوایل دهه ۱۹۹۰ ابداع شد. ابرهارت و کندی بهینه‌سازی توده ذرات (PSO) را براساس شبیه‌سازی از توده‌های پرندگان و دسته ماهی‌ها توسعه دادند. الگوریتم بهینه‌سازی توده ذرات یک روش سراسری کمینه‌سازی است که با استفاده از آن می‌توان با مسائلی که جواب آن‌ها در نقطه یا سطح در فضای n بعدی است، برخورد کرد. در این چنین فضایی، فرضیاتی مطرح می‌شود و یک سرعت ابتدایی به آن‌ها اختصاص داده می‌شود؛ همچنین کانال‌های ارتباطی بین ذرات درنظر گرفته می‌شود؛ سپس این ذرات در فضای پاسخ حرکت می‌کنند، و نتایج حاصله بر مبنای یک «ملاک شایستگی» پس از هر بازه زمانی محاسبه می‌شود. با گذشت زمان، ذرات به سمت ذراتی که دارای ملاک شایستگی بالاتری هستند و در گروه ارتباطی یکسانی قرار دارند، شتاب می‌گیرند. علی‌رغم این‌که هر روش در محدوده‌ای از مسائل به‌خوبی کار می‌کند، این روش در حل مسائل بهینه‌سازی پیوسته موفقیت بسیاری از خود نشان داده است.

PSO روشی مبتنی بر تکنیک‌هایی تصادفی است که از آن می‌توان برای پیدا کردن کمینهٔ سراسری (غیرقطعی) مسائل برنامه‌ریزی غیرخطی استفاده کرد. الگوریتم بهینه‌سازی توده ذرات نیز با یک ماتریس جمعیت تصادفی اولیه شروع می‌شود، هر عنصر جمعیت، یک ذره نامیده می‌شود که مجموعی از ذرات توده را تشکیل می‌دهد [۲۵]،[۱۹]. در اینجا، بر روش PSO به‌عنوان یکی از تکنیک‌های هوش جمعی متمرکز می‌شویم.

گام‌های الگوریتم PSO:

۱) یک جمعیت اولیه از پرندگان (ذرات) تولید می‌شود.

۲) موقعیت هر ذره طبق تابع هدف ارزیابی می‌شود.

۳) اگر موقعیت فعلی ذره بهتر از موقعیت قبلی باشد، جایگزین می‌شود.

۴) بهترین ذره مشخص می‌شود.

۵) سرعت ذره طبق رابطه زیر به‌روزرسانی می‌شود [۲].

$$V_i(t+1) = W.V_i(t) + c_1 r_1[pBest(t) - X_i(t)] + c_2 r_2[gBest(t) - X_i(t)] \quad (۱)$$

در رابطهٔ ۱، t شمارندهٔ هر مرحله، i شمارنده هر ذره، X_i و V_i موقعیت و سرعت ذره i ام است. همچنین W وزن اینرسی و C_1 وC_2 ضرایب شتاب وr_1 و r_2 اعداد تصادفی هستند.p_{Best} بهترین جوابی است که تاکنون به‌دست آمده و g_{Best} بهترین جواب سراسری است که توسط همه ذرات به‌دست آمده است.

۱) ذرات طبق رابطهٔ ۲ به موقعیت جدید جابه‌جا می‌شوند [۲].

$$X_i(t+1) = X_i(t) + V_i(t+1) \quad (۲)$$

[Downloaded from monadi.isc.org.ir on 2026-11-12]

۲) تا رسیدن به معیارهای توقف، الگوریتم مجدد از گام ۲ اجرا می‌شود.

۳-۲- الگوریتم کرم شب‌تاب

الگوریتم کرم شب‌تاب در سال ۲۰۰۵ توسط Yang ارائه شده است. الگوریتم کرم شب‌تاب به‌عنوان یکی از جدیدترین الگوریتم‌های بهینه‌سازی مبتنی بر هوش دسته‌جمعی است. این الگوریتم از برخی جهات شبیه الگوریتم بهینه‌سازی توده ذرات عمل می‌کند و حتی با انتخاب مقادیر مناسب برای پارامترهای اولیه درالگوریتم کرم شب‌تاب می‌توان عملکرد آن را تا حد زیادی شبیه الگوریتم بهینه‌سازی توده ذرات کرد. کرم شب‌تاب به‌عنوان الگوریتم‌های بهینه‌سازی و جستجوی تصادفی و تکاملی، روش نوین و کارآمدی هستند که به‌ویژه برای یافتن جواب‌های بهینه سراسری مسائل به کار می‌روند. ویژگی تصادفی‌بودن این الگوریتم مانع از گیرافتادن در نقاط بهینه محلی[1] می‌شوند. این الگوریتم با مدل‌سازی رفتار مجموعه‌ای از کرم‌های شب‌تاب، تخصیص مقداری مرتبط با برازندگی مکان هر کرم شب‌تاب (به‌عنوان مدلی برای میزان رنگ‌دانه‌های شب‌تاب) و با به‌روزکردن مکان کرم‌ها در تکرارهای متوالی، به جستجوی جواب بهینه مسئله می‌پردازد. درواقع دو مرحلهٔ اصلی الگوریتم در هر تکرار، مرحلهٔ به‌روزکردن رنگ‌دانه و مرحلهٔ حرکت است. کرم‌های شب‌تاب به سمت کرم‌های شب‌تاب دیگر با رنگ‌دانه بیشتر که در همسایگی آن‌ها باشند حرکت می‌کنند. به این ترتیب طی تکرارهای متوالی مجموعه به سمت جواب بهتر متمایل می‌شود [۲۰].

پایه و اساس الگوریتم کرم شب‌تاب، رسیدن به حد مطلوب در بررسی رفتارها و ویژگی‌های کرم شب‌تاب است. سه مؤلفه در الگوریتم کرم شب‌تاب وجود دارد:

۱) کرم شب‌تاب روشن‌تر و جذاب‌تر خواهد شد وقتی که به‌طور تصادفی حرکت می‌کند.

۲) جذابیت و زیبایی در کرم شب‌تاب متناسب با درخشندگی و نور آن‌هاست و با افزوده‌شدن فاصله از آن‌ها کاهش خواهد یافت (این مقایسه از دیدگان کرم‌های شب‌تاب دیگر صورت می‌پذیرد).

۳) کاهش شدت نورتوسط ضریب جذب نورγ است که با مقیاس مشخصی کنترل می‌شود.

با وجود عملکردخوب الگوریتم کرم شب‌تاب، این الگوریتم مانند سایر الگوریتم‌های هوش جمعی ممکن است دچار هم‌گرایی زودرس و جمعیت کرم شب‌تاب‌ها در بهینه محلی گرفتار شود.

۳-۳- الگوریتم کلونی زنبور مصنوعی

کلونی زنبور مصنوعی یک الگوریتم شبیه‌سازی‌کنندهٔ رفتارهای کاوشی و هوشمندانه مجموعه‌ای از زنبورهای عسل است که در سال ۲۰۰۵ توسط Karaboga وBasturk ارائه شد [۲۳]،[۱۳]،[۱۲]. الگوریتم کلونی زنبور عسل، یک الگوریتم بهینه‌سازی براساس هوش جمعی و رفتار هوشمندانه جمعیت زنبور عسل است. استفاده از هوش جمعی زنبور در توسعه سامانه‌های مصنوعی با هدف حل مسائل پیچیده در ترافیک و حمل و نقل است. علاوه‌بر آن قادر به حل قطعی مسائل ترکیبیات، و همچنین مسائل ترکیبی با مشخصه عدم قطعیت است.

طبیعت کلونی زنبورها شامل سه دسته زنبور است [۱۲] :

زنبورهای دیده‌بان[2]

زنبورهای کارگر[3]

زنبورهای تماشاچی[4]

فرایند جستجوی غذای یک کلونی به‌وسیلهٔ زنبورهای دیده‌بان آغاز می‌شود؛ زنبورهای دیده‌بان به‌صورت تصادفی، از گلزاری به گلزار دیگر حرکت می‌کنند. به زنبورهایی که اطلاعات مربوط به منبع غذایی مشخصی را نگه‌داری می‌کنند، زنبورهای کارگر گویند. این زنبورها اطلاعاتی شامل مسافت و جهت منبع نسبت به لانه و سودمندی منبع را به اشتراک می‌گذارند. به دسته‌ای از زنبورها که در لانه منتظر هستند و پس از اتمام فرآیند جستجو، اطلاعات هر کدام از زنبورهای کارگر را ارزیابی می‌کنند، زنبورهای تماشاچی گویند. این زنبورها با استفاده از یک تابع احتمال که متناسب با میزان کیفیت شهد منبع است، یکی از منابع غذایی را انتخاب می‌کنند. در این الگوریتم ابتدا توسط زنبورهای کارگر به تعداد NS جواب اولیه به‌صورت تصادفی تولید می‌شود. NS بیانگر تعداد منابع غذایی و برابر با تعداد زنبورهای کارگر است.

[1] Local Optimum

[2] Scout Bees
[3] Employed Bees
[4] Onlooker Bees

[Downloaded from monadi.isc.org.ir on 2026-11-12]

هر جواب $Xi = (xi_1, xi_2,....,xi_n)$ یک بردار n بعدی است. پس از تولید این جواب‌ها هر زنبور ناظر یک منبع غذایی را با احتمال pi انتخاب می‌کنند و pi طبق رابطه ۳ محاسبه می‌شود. تابع احتمال با رابطهٔ ۳ محاسبه می‌شود [۱۳].

$$P_i = \frac{fit_i}{\sum_{n=1}^{SN} fit_n} \qquad (۳)$$

که در آن fit_i fit_i برابر با تابع ارزیابی جواب i ام است و SN تعداد راه‌حل‌های موجود است. هر زنبور ناظر سعی می‌کند بر اساس جواب انتخابی یک جواب جدید تولید کند. این جواب جدید طبق رابطهٔ ۴ محاسبه می‌شود.

$$x_{ij}^{new} = x_{ij}^{old} + \lambda_{ij}\left(x_{ij}^{old} - x_{kj}^{old}\right) \qquad (۴)$$
$$\text{for } j = 1,2,...,n$$

در رابطهٔ بالا، k عددی است تصادفی که از بازه [1,NS] است. λ_{ij} نیز عددی تصادفی است که از بازهٔ [-1,1] انتخاب می‌شود. xij مقدار بعد i ام از جواب j ام است.

جواب جدید تولیدشده با جواب قدیمی مقایسه شده و اگر دارای کیفیت بهتری باشد، جایگزین آن خواهند شد؛ و این فرآیند توسط زنبورهای کارگر و ناظر تکرار می‌شود؛ و در هر مرحله بهترین جواب تولید شده ذخیره می‌شود. جواب‌هایی که پس از تکرارهای مشخص بهبود پیدا نکنند متروکه اعلام و با منبع جدیدی توسط زنبورهای اکتشاف مطابق با رابطه ۵ جایگزین خواهد شد.

$$x_{ij}^{new} = l_j + rand \times (u_j - l_j) \qquad (۵)$$

که در آن lj و uj حد پایین و بالای بعد j ام و rand نیز عددی تصادفی بین صفر و یک است.

۴- طراحی مدلی جهت حل مسئله کوله‌پشتی ۰/۱

روند مدل‌کردن مسئله به این صورت است: یک کوله‌پشتی که می‌تواند وزن خاصی را تحمل کند و یک‌سری کالا که دارای وزن و ارزش مشخص هستند، در اختیار است. منظور از حل مسئله یعنی انتخاب کالاهایی که دارای بیشترین ارزش و همچنین مجموع وزن آن‌ها کمتر یا مساوی وزن قابل تحمل کوله‌پشتی باشند. بنابراین مواردی برای انتخاب، اولویت دارند که نسبت ارزش به وزن آن‌ها بیشتر است. در این پژوهش حالت صحیح[1] مد نظر است (یک شیء یا به‌طور کامل انتخاب می‌شود و یا به‌طور قطعی انتخاب نمی‌شود).

مسئلهٔ کوله‌پشتی به‌صورت پارامترهای ریاضی در جدول (۱) آمده است.

(جدول-۱): مدل ریاضی مسئله کوله‌پشتی

پارامترها	توضیحات
vi	ارزش آیتم i ام
wi	وزن آیتم i ام
w	وزن کل قابل حمل کوله‌پشتی
xi	یک متغیر دودویی است

$$\sum_{i=1}^{n} v_i x_i \qquad (۶)$$

در رابطه ۶ مجموع کل ارزش کالاهایی که انتخاب شده‌اند (با در نظر گرفتن مقدار ۰ یا ۱ برای xi) محاسبه می‌شود. به‌طوری‌که

$$\sum_{i=1}^{n} w_i x_i \le W, x_i \in \{0,1\} \qquad (۷)$$

طبق رابطه ۷ و با توجه به اینکه ظرفیت هر کوله‌پشتی محدود است، بنابراین مجموع وزن کالاهایی که انتخاب شده‌اند، باید کمتر یا برابر ظرفیت کوله‌پشتی باشد.

با توجه به اینکه تابع هدف دارای محدودیت طراحی است، می‌توان به‌وسیله تابع پنالتی[2] مجموعه قیدهای مساوی و نامساوی را به یک رابطه تبدیل کرد، میزان تخطی[3] را نشان می‌دهد و سپس به بهینه‌کردن رابطهٔ مورد نظر می‌پردازد که در این صورت میزان تخطی برای مسئله کوله‌پشتی بالا به‌صورت رابطهٔ ۸ بیان می‌شود.

$$\text{violation}\{\sum_i w_i x_i \le W\} = \qquad (۸)$$
$$\max\left(\frac{\sum_i w_i x_i}{W} - 1, 0\right)$$

این میزان تخطی نشان می‌دهد که پاسخ چقدر از قید مورد نظر انحراف داشته است. اگر تخطی صفر باشد، یعنی پاسخ ممکن[4] است و اگر صفر نباشد پاسخ غیرممکن[5] است که در این صورت باید جریمه شود و در قالب تابع پنالتی مدل می‌شود.

[1] Integer
[2] Penalty Function
[3] Violation
[4] Feasible
[5] Infeasible

[Downloaded from monadi.isc.org.ir on 2026-11-12]

۴-۱- کمینه‌سازی تابع هدف

اکثر الگوریتم‌های بهینه‌سازی به‌صورت یک الگوریتم کمینه‌سازی بیان می‌شوند؛ لذا وقتی تابعی به‌صورت بیشینه‌سازی است، باید آن را طوری تعریف کرد که در عمل با کمینه‌کردن آن بتوان به جواب بهینهٔ درست رسید. با این شرایط برای حل مسئلهٔ کوله‌پشتی ابتدا می‌بایست مانند رابطه ۹ به یک مسئله کمینه‌سازی تبدیل شود و سپس به‌صورت یک مسئلهٔ بدون قید مدل شود.

$$\max \sum_i v_i x_i \qquad (۹)$$

که رابطه ۹ با رابطه ۱۰ معادل می‌شود.

$$\min \sum_i v_i (1 - x_i) \qquad (۱۰)$$

۵- نتایج و بحث

در مسئله بهینه‌سازی کوله‌پشتی، هدف کمینه کردن ارزش کالاهایی است که انتخاب نشده‌اند. مسئله کوله‌پشتی دودویی که به‌صورت مدل ریاضی تبدیل شده است با الگوریتم‌های کلونی زنبور مصنوعی، بهینه‌سازی توده ذرات و کرم شب‌تاب در محیط برنامه‌نویسی متلب روی سیستمی با مشخصات ذکرشده در جدول (۲) اجرا شده است.

(جدول-۲): مشخصات سیستم

پردازنده	۲,۳۰ گیگاهرتز
حافظه اصلی (RAM)	۴,۰۰ گیگابایت
نوع سامانه	۶۴ بیت

این الگوریتم‌ها روی داده‌هایی شامل یک مجموعهٔ دویست‌تایی از وزن کالا و یک مجموعه دویست‌تایی از ارزش کالا، برای یک کوله‌پشتی مدل‌شده با ظرفیت مشخص، اجرا شده است. برای حل مسئله کوله‌پشتی، ابتدا مانند رابطه ۱۰ مسئله به یک مسئلهٔ کمینه‌سازی تبدیل و سپس طبق رابطه ۱۱ به‌صورت یک مسئله بدون قید مدل می‌شود. بنابراین مدل ریاضی تابع هزینه مسئله به‌صورت رابطه ۱۱ است.

$$\sum_i v_i(۱ - x_i) + \alpha[\max\left(\frac{\sum_i w_i x_i}{W} - ۱,۰\right)] \qquad (۱۱)$$

قسمت نخست در رابطه ۱۱ مجموع ارزش کالاهایی است که انتخاب نشده‌اند و بخش دوم میزان جریمه است و با توجه به اینکه این مدل تابع هزینهٔ مسئله است، بنابراین بهترین حالت آن زمانی است که مقدار کمینهٔ خود را داشته باشد. داده‌ها با تابع تصادفی در محیط برنامه‌نویسی متلب تولید شده‌اند. پارامترهای اولیه برای الگوریتم بهینه‌سازی توده ذرات در جدول (۳) نشان داده شده‌اند.

پارامترهای اولیه برای الگوریتم کرم شب‌تاب در جدول ۳ آمده است.

(جدول-۳): پارامترهای اولیه الگوریتم کرم شب تاب

جمعیت اولیه	۲۰
پارامتر α	۰,۲۵
پارامتر β	۰,۲۰
پارامتر γ	۱

پارامترهای اولیه برای الگوریتم کلونی زنبور مصنوعی در جدول (۴) آمده است.

(جدول -۴): پارامترهای اولیه الگوریتم کلونی زنبور مصنوعی

معیار توقف	۱۰۰
معیار ترک زنبورهای کارگر	۱۰

الگوریتم‌های کلونی زنبور مصنوعی، بهینه‌سازی توده ذرات و کرم شب‌تاب جهت مقایسه‌های به‌کارگرفته‌شده، که نتایج مقایسه‌ها مربوط به هر سه الگوریتم براساس مدل طراحی شده در جدول (۵) آمده است.

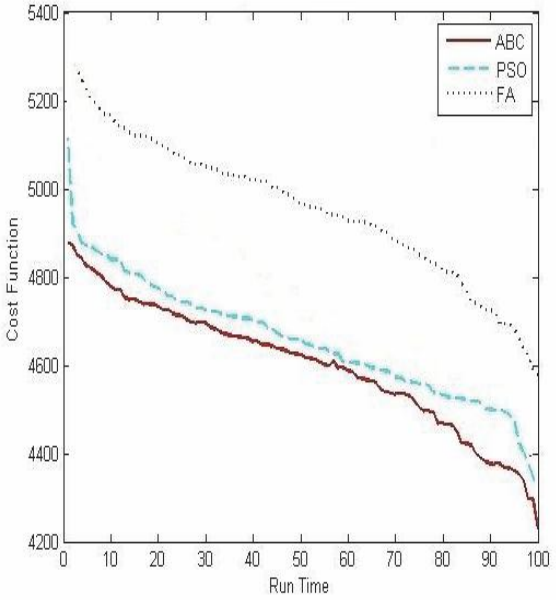
(جدول-۵): نتایج مقایسه تابع هزینه الگوریتم‌ها

الگوریتم	بیشینه	میانگین	کمینه
کرم شب‌تاب	۵۲۶۹	۴۹۶۸	۴۵۷۴
بهینه‌سازی توده ذرات	۵۱۱۳,۹۸	۴۶۵۹,۱۱	۴۳۳۱,۴۰
کلونی زنبور مصنوعی	۴۸۷۸	۴۶۲۵	۴۲۳۰

با توجه به مقادیر جدول (۵)، الگوریتم کلونی زنبور مصنوعی با داده‌های یکسان و با مقدار تابع هدف ۴۲۳۰ (کمترین مقدار)، نسبت به دو الگوریتم دیگر نتیجه بهینه‌تری در حل مسئله کوله‌پشتی از خود نشان داده است و الگوریتم بهینه‌سازی تودهٔ ذرات با مقدار تابع هدف ۴۳۳۱,۴۰ (کمترین مقدار) نسبت به الگوریتم کرم شب‌تاب عملکرد بهتری در حل مسئله کوله‌پشتی از خود نشان داده است.

[Downloaded from monadi.isc.org.ir on 2026-11-12]

نتایج حاصل از یکصد مرتبه اجرای الگوریتم‌ها روی یک کوله‌پشتی با ظرفیت و ارزش مشخص کالا روی نمودار در شکل (۱) نشان داده شده است. محور افقی، زمان اجرا و محور عمودی، مقدار تابع هزینه را برای الگوریتم‌ها نشان می‌دهد.



(شکل_۱): میزان تابع هزینه

در نمودار شکل (۱) به‌وضوح دیده می‌شود که الگوریتم کلونی زنبور مصنوعی روی مدل ارائه‌شده عملکرد بهتری در مقایسه با دو الگوریتم دیگر دارد؛ به‌طوری‌که در زمان کمتری به جواب بهینه می‌رسد و در تمام مراحل، کمینه مقدار را برای تابع هزینه دارد. در این نمودار الگوریتم بهینه‌سازی تودهٔ ذرات نیز در مقایسه با الگوریتم کرم شب‌تاب عملکرد بهتری از خود نشان داده است.

۶- نتیجه‌گیری

مسألهٔ کوله‌پشتی ۰/۱ که همواره به‌صورت تابع بیشینه‌سازی و با محدودیت بیان‌شده در این پژوهش در قالب یک تابع ریاضی کمینه‌سازی شده و بدون قید مدل شده و مدل پیشنهادی روی سه الگوریتم کلونی زنبور مصنوعی، بهینه‌سازی پرتو ذرات وکرم شب‌تاب اجرا شده است. نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که مدل پیشنهادی روی الگوریتم کلونی زنبور مصنوعی نسبت به الگوریتم‌های بهینه‌سازی پرتو ذرات و کرم شب‌تاب عملکرد بهتری و زمان اجرای کمتری در حل مسئله کوله‌پشتی دارد و الگوریتم بهینه‌سازی توده ذرات نسبت به کرم شب‌تاب عملکرد بهتری و زمان اجرای کمتری در حل مسئله کوله‌پشتی از خود نشان داده است. درآینده از این مدل و الگوریتم‌های شبه‌بیولوژیکی، برای حل مسائل بهینه‌سازی جدید استفاده خواهد شد.

۷- منابع

[۱] قلی‌زاده، بهروز." طراحی و تحلیل الگوریتم‌ها". تهران، موسسه انتشاراتی دانش پژوهان فردای روشن، ۱۳۸۵.

[۲] کهفی اردکانی، ع.، برزین‌پور، ف.، توکلی‌مقدم، ر."توسعه الگوریتم بهینه‌سازی انبوه ذرات جهت حل مدل یکپارچه برنامه‌ریزی تولید". نشریه تخصصی مهندسی صنایع،۱۳۹۱، دوره ۴۶، شماره ۱، از صفحه ۷۷ تا ۸۹..

[3] Shilane. D, Martikainen. J. S and Dudoit. S, "A general frame-work for statistical performance comparison of evolutionary computation algorithms", Information Sciences, 2008, NO.178, PP.2870-2879.

[4] Yuxiang Shao, Hongwen Xu, We iming Yin, “Solve zero-one knapsack problem by greedy genetic algorithm”, IEEE 2009 International Workshop on intelligent systems and applications, 2009, PP.1140-1143.

[5] Martello S., Toth P., “Knapsack problems, algorithms and computer implementations”, England: John Wiley & Sons, 1990, PP. 81-102.

[6] Spillman R, “Solving large knapsack problems with a genetic algorithm”, IEEE international conference R. Systems, man and cybernetics. Intelligent systems for the 21st century, 1995, Vol. 1, PP. 632 -637.

[7] Fukunaga Alex S, “A new grouping genetic algorithm for the multiple knapsack problem”, IEEE congress on evolutionary computation, 2008, PP. 2225-2232.

[8] Gallo G., Hammer P.L., and Simeone B.,“ Quadratic knapsackprob-lems,”in Combinatorial Optimization, Springer,1980, PP.132–149.

[9] Khan S.,Li K.F., Manning E.G., and Akbar M.M. ,“Solving the knapsack problem for adaptive multimedia systems”. Stud. Inform. Univ. 2, 2002,Vol.1, PP.157–178,.

[10]Clerc, M.“Amethod to improvestandard PSO” .Technical report, 2009.

[Downloaded from monadi.isc.org.ir on 2026-11-12]

[11] Janga Reddy, M.,Nagesh Kumar, D. "computational algorithms inspired by biological processes and evolution".2012, Vol.103, PP. 370-380.

[12] Karaboga, D.,Akay, B. "A comparative study of artificial bee colony algorithm".2009, Vol.214, PP.108–132.

[13] Karaboga, D.,Basturk, B. "A powerful and efficient algorithm for numerical function optimization: artificial bee colony (ABC) algorithm". J Glob Optim, 2007, PP.459–471.

[14] Kaystha, S.,Agarwal, S."Greedy genetic algorithm to bounded knapsack problem". Computer Science and Information Technology,2010, Vol.6, PP.301-305.

[15] Khaze, R.,Maleki, I., Hojjatkhan, S., Baghernia, A. "Evaluation the efficiency of artificial bee colony and the firefly algorithm solving the continuous optimization problem". IJCSA,2013, Vol.3, PP. 23-35.

[16] Khuri, S., Back, T., Heitkotter, J."The zero/one multiple knapsack problem and genetic algorithms".inproc of the ACM Symposium on Applied Computing,1994, PP.188-193.

[17] Mahajan, R., Chopra, S."study of evolutionary algorithm to solve 0/1 knapsack problem".2012, Vol. 2, PP.680-685.

[18] Zhang, X., Liu, Z., Bia, Q. "A new hybrid algorithm for the multidimensional knapsack problem".LNBI 6840, 2013, PP.191-198.

[19] Talukder, S."Mathematical modeling and applicationsof particle swarm optimization". Mathematical Modelling and Simulation, 2011, No 2010:8, PP.1-65.

[20] Yang, X. "Firefly algorithm for multimodal optimization. Department of engineering" .university of Cambridge, 2010.

[21] Bolaji, A., Tajudin,Khader, A.,Azmi Al-Betar, M.,Awadallah, M."Artificial bee colony algorithm its variants and applications:a survey". Journal of Theoretical and Applied Information Technology,2013, Vol. 47, PP.434-459.

[22] Yang, X. "Firefly algorithm recent advance and application", 2013,No. 19, PP.1-14.

[23] Karaboga, D.,Ozturk, C. "A novel clustering approach artificial bee colony algorithm".2011, Vol. 11, PP. 652–657.

[24] Kwiecienn, J.,Filipowicz,B.,"Firefly algorithm in optimization of queueing systems".2012, Technical Sciences, Vol.60, PP.363-368.

[25] Kennedy. J and Eberhart. R.C, "Particle Swarm Optimization", IEEE International Conference on Neural network, 2005, Vol.1, PP.192-194,

مهتاب روزبهانی تحصیلات خود را در مقاطع کارشناسی و کارشناسی ارشد در رشته کامپیوتر گرایش نرم افزار به ترتیب در دانشگاه آزاد اسلامی ملایر سال ۱۳۸۷ و دانشگاه علوم وتحقیقات تهران (لرستان) به پایان رساند و هم اکنون در حال تدریس در دانشگاه ملایر است. از زمینه‌های مورد علاقه وی می‌توان به الگوریتم‌های بهینه‌سازی و الگوریتم‌های شبه بیولوژیکی اشاره کرد.

میثم مرادی تحصیلات خود را در مقاطع کاردانی و کارشناسی در رشته کامپیوتر گرایش نرم‌افزار در سال ۱۳۸۴ در دانشگاه فنی و حرفه‌ای بروجرد و سال ۱۳۸۶ در دانشگاه آزاد اسلامی ملایر به پایان رساند و مقطع کارشناسی ارشد خود را در سال ۱۳۹۲ دردانشگاه علوم وتحقیقات تهران (همدان) به پایان رساند و هم اکنون در حال تدریس در دانشگاه ملایر است. از زمینه‌های مورد علاقه وی می‌توان به امنیت داده‌ها، امنیت شبکه‌های کامپیوتری، مهندسی نرم افزار، اختراع و نوآوری اشاره کرد.

پروانه منصوری تحصیلات خود را در مقاطع کارشناسی و کارشناسی ارشد به ترتیب در رشته‌های ریاضی محض در سال ۱۳۷۰ و ریاضی کاربردی سال ۱۳۷۳ در دانشگاه تبریز به پایان رسانید و مقطع دکترا خود را در سال ۱۳۹۵ در دانشگاه دهلی (هند) به پایان رسانید و هم اکنون در حال تدریس در دانشگاه اراک است. از زمینه‌های مورد علاقه وی می‌توان به بهینه‌سازی، طراحی الگوریتم وکاربرد آن‌ها و داده کاوی اشاره کرد.

[Downloaded from monadi.isc.org.ir on 2026-11-12]

مروری بر کنترل دسترسی مبتنی بر ویژگی در محیط‌های ابری

سعید رضایی[1*]، محمد علی دوستاری[2] و مجید بیات[3]

[1]دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی فناوری اطلاعات، دانشگاه شاهد، تهران، ایران
s.rezaei@shahed.ac.ir
[2]استادیار گروه مهندسی کامپیوتر دانشگاه شاهد، تهران، ایران
doostari@shahed.ac.ir
[3] استادیار گروه مهندسی کامپیوتر دانشگاه شاهد، تهران، ایران
mbayat@shahed.ac.ir

چکیده

محیط‌های‌ابری در دهه اخیر به‌عنوان یک انقلاب در صنعت IT شناخته شده و سازمان‌های زیادی به‌منظور پردازش و ذخیره اطلاعات خود از این سرویس استفاده می‌کنند. با وجود رشد سریع و مزایای فراوان این سرویس، هنوز برخی از سازمان‌ها به‌دلیل مشکلات امنیتی و حریم‌خصوصی مرتبط با ذخیره داده‌های حساس بر روی سرورهای غیرقابل اعتماد ابری، از این سرویس استفاده نمی‌کنند. مدیریت کنترل دسترسی کاربران با استفاده از تکنیک‌های رمزنگاری یکی از روش‌های پرکاربرد و مؤثر برای مقابله با این مشکلات است. رمزنگاری مبتنی بر ویژگی، شیوه‌ای جدید از رمزنگاری است که از ویژگی‌های توصیفی و ساختار دسترسی برای اعمال کنترل دسترسی استفاده می‌کند. در این مقاله جدیدترین روش‌های کنترل دسترسی در محیط‌های ابری که از رمزنگاری مبتنی بر ویژگی استفاده کرده‌اند، بررسی شده است. ما این پروتکل‌ها را بر اساس ویژگی‌های امنیتی و کارایی دسته‌بندی کرده‌ایم. در انتها نیز نقاط ضعف و قوت مقالات بررسی شده، آورده شده است و مقایسه امنیتی و عملکردی کاملی ارائه شده است.

واژگان کلیدی: رایانش ابری، رمزنگاری مبتنی بر ویژگی، کنترل دسترسی، حریم‌خصوصی، برون‌سپاری داده.

۱- مقدّمه

رایانش ابری[1] یک طرح محاسباتی جدید است که بخاطر مزایای فراوانی که ارائه می‌دهد، هم در حوزهٔ دانشگاهی و هم در حوزهٔ صنعت توجه زیادی را به خود جلب کرده است. این واژه برای نخستین بار در سال ۱۹۹۷ توسط Chellappa تعریف شد [۱]؛ و شامل سه مدل اصلی ارائه خدمت است: ۱)نرم‌افزار به‌عنوان خدمت[2]، ۲) بستر به‌عنوان خدمت[3] و ۳) زیرساخت به‌عنوان خدمت[4]. البته در سال‌های اخیر مدل‌های دیگری از این فناوری مانند امنیت به‌عنوان خدمت[5]، پایگاه داده به‌عنوان سرویس[6]، شبکه به‌عنوان سرویس، نظارت به‌عنوان سرویس[7] و... نیز ارائه شده است. این فناوری[8] به‌دلیل فراهم‌کردن فواید بسیار، مانند مقیاس‌پذیری[9] بالا، هزینه پایین، توسعه سریع، فراهم‌کردن خدمات ذخیره‌سازی و محاسباتی، دسترس‌پذیری فراگیر به شبکه[10]، انعطاف[11] بالا، پرداخت به‌ازای استفاده و... چه در کشورهای در حال پیشرفت و چه در کشورهای توسعه‌یافته فرصت‌های زیادی را برای شرکت‌ها و سازمان‌ها ایجاد کرده

[1] Cloud Computing
[2] Software as a service
[3] Platform as a service
[4] Infrastructure as a service
[5] Security as a service
[6] storage as a service
[7] monitoring as a service
[8] Technology
[9] Scalability
[10] Broad network access
[11] Flexibility

[*] نویسندهٔ عهده‌دار مکاتبات

[Downloaded from monadi.isc.org.ir on 2026-11-12]